

I



56

3912

B.P. de Soria



61060425

C 260







SALVAT

Riegos

Tomo sea

Ptas 16,-

CONTADO

1066425

SALVAT EDITORES, S. A.

BARCELONA - BUENOS AIRES

ENCICLOPEDIA AGRÍCOLA

Premiada por la Academia de Ciencias Morales y Políticas
y por la Sociedad Nacional de Agricultura de Francia

PUBLICADA BAJO LA DIRECCIÓN

DE

G. WÉRY

Director del Instituto Nacional Agronómico de Francia

Con la colaboración de reputados ingenieros agrónomos
y otras personalidades peritas en materias agrícolas

Formará una colección de tomos en octavo, de 500 a 700 páginas de texto cada uno, profusamente ilustrados, los cuales se publicarán sin orden determinado por ser independientes entre sí.

TOMOS PUBLICADOS Y EN PREENSA

I. CIENCIAS APLICADAS A LA AGRICULTURA

| | |
|--|-----------------------------|
| <i>Compendio de Agricultura</i> (2. ^a edición). | C. SELTENSPERGER. En prensa |
| <i>Botánica agrícola</i> (2. ^a edición). | E. SCHRIBAUX; NANOT. 1934 |
| <i>Química agrícola</i> (Química del Suelo) (2. ^a edición). Dos tomos. | G. ANDRÉ 1924 |
| <i>Química agrícola</i> (Química vegetal) (2. ^a edición). Dos tomos. | G. ANDRÉ 1929 |
| <i>Entomología y Parasitología agrícolas</i> (2. ^a edición). | G. GUÉNAUX 1943 |
| <i>Microbiología agrícola</i> . Dos tomos. | E. KAYSER. 1931 |
| <i>Hidrología agrícola</i> . | M. DIENERT. 1926 |
| <i>Meteorología y Física agrícolas</i> . | P. KLEIN y J. SANSON. 1928 |
| <i>Análisis agrícolas</i> . | R. GUILLIN. 1927 |
| <i>Higiene de la Granja</i> . | REGNARD y PORTIER. . 1926 |
| <i>Previsión del tiempo</i> . | J. SANSON 1934 |
| <i>Geología agrícola</i> . | E. CORD. 1930 |

II. PRODUCCION Y CULTIVO DE LAS PLANTAS

| | |
|---|---------------------------------|
| <i>Agricultura general</i> (2. ^a edición). Cuatro tomos. | P. DIFFLOTH 1928 |
| <i>Abonos</i> (2. ^a edición). Dos tomos. | C. V. GAROLA. 1926 |
| <i>Cereales</i> (2. ^a edición). Dos tomos. | GAROLA y LAVALLÉE. . 1930 |
| <i>Prados y Plantas forrajeras</i> (2. ^a edición). | C. V. GAROLA. En prensa |
| <i>Arboricultura frutal</i> (3. ^a edición). | L. BUSSARD; J. DUVAL. > |
| <i>Silvicultura</i> (2. ^a edición). | A. FRON. > |
| <i>Viticultura</i> (2. ^a edición). | P. PACOTTET 1928 |
| <i>Cultivo horticola</i> (2. ^a edición). | L. BUSSARD En prensa |
| <i>Cultivos meridionales</i> . Dos tomos. | CH. RIVIERE; H. LECQ. 1932 |
| <i>Plantas de escarda</i> . | H. HITIER. 1930 |

| | | |
|---|---------------|-----------|
| <i>La Mimbrera</i> (Cultivo y aplicaciones). | E. LEROUX. | 1926 |
| <i>Enfermedades de las plantas cultivadas.</i> | | |
| <i>Enfermedades parasitarias</i> (2. ^a edición). | J. DELACROIX. | 1931 |
| <i>Enfermedades no parasitarias de las plantas cultivadas</i> | J. DELACROIX. | En prensa |

III. PRODUCCION Y CUIDADO DE LOS ANIMALES

| | | |
|---|----------------------|-----------|
| <i>Zootecnia general</i> (5. ^a ed.). Tres tomos. | P. DIFFLOTH. | 1937 |
| <i>Razas bovinas</i> . | P. DIFFLOTH. | 1922 |
| <i>Razas caballares</i> . | P. DIFFLOTH. | 1927 |
| <i>Ganado lanar</i> . | P. DIFFLOTH. | 1921 |
| <i>Avicultura</i> (2. ^a edición). | C. VOITELLIER. | En prensa |
| <i>Alimentación de los animales</i> (2. ^a ed.). | R. GOUIN. | 1935 |
| <i>Higiene y Enf. del Ganado</i> (2. ^a ed.). | P. CAGNY; R. GOUIN. | 1924 |
| <i>Apicultura</i> (2. ^a edición). | R. HOMMELL. | En prensa |
| <i>Cabras, Cerdos, Conejos</i> . | P. DIFFLOTH. | 1924 |
| <i>Sericultura</i> . | M. VIEIL. | 1925 |
| <i>Producción y doma del caballo</i> . | G. BONNEFONT. | 1928 |
| <i>Piscicultura</i> . | G. GUÉNAUX. | 1932 |
| <i>Ornitología</i> . | G. GUÉNAUX. | 1939 |
| <i>La pesca y los peces de agua dulce</i> . | VILLATE DES PRUGNES. | 1932 |

IV. INGENIERIA RURAL

| | | |
|--|---------------------|-----------|
| <i>Material vitícola</i> | R. BRUNET. | 1920 |
| <i>Material vinícola</i> | R. BRUNET. | 1921 |
| <i>Construcciones rurales</i> (2. ^a edición). | J. DANGUY. | En prensa |
| <i>Riegos</i> (2. ^a edición). | E. RISLER; G. WÉRY. | 1931 |
| <i>Drenaje</i> (2. ^a edición). | E. RISLER; G. WÉRY. | 1931 |
| <i>Máquinas de labranza</i> . | G. COUPAN. | 1926 |
| <i>Prácticas de Ingeniería rural</i> . | PROVOST y ROLLEY. | 1926 |
| <i>Electricidad agrícola</i> . | A. PETIT. | 1928 |
| <i>Topografía agrícola</i> | C. MURET. | 1929 |
| <i>Máquinas de Recolección</i> . | G. COUPAN. | 1939 |
| <i>Cavas y Bodegas</i> . | R. BRUNET. | 1939 |

V. TECNOLOGIA AGRICOLA

| | | |
|--|----------------|-----------|
| <i>Vinificación</i> (3. ^a edición). | P. PACOTTET. | En prensa |
| <i>Aguardientes y Vinagres</i> (2. ^a edición). | P. PACOTTET. | " |
| <i>Lechería</i> (2. ^a edición). | C. MARTIN. | 1929 |
| <i>Las Conservas de Frutas</i> (2. ^a edición). | A. ROLET. | 1929 |
| <i>Las Conservas de Legumbres</i> . | A. ROLET. | En prensa |
| <i>Industria y comercio de los Abonos</i> . | C. PLUVINAGE. | 1923 |
| <i>La remolacha y la fabricación del azúcar de remolacha</i> . | E. SAILLARD. | 1923 |
| <i>El manzano de sidra y la Sidrería</i> . | G. WARCOLLIER. | 1925 |
| <i>Destilería agrícola e industrial</i> . Dos tomos | E. BOULLANGER. | 1929 |
| <i>Vinos de Champaña y Vinos espumosos</i> . | P. PACOTTET. | 1929 |

VI. ECONOMIA Y LEGISLACION RURAL

| | | |
|--|-------------|-----------|
| <i>Economía rural</i> (2. ^a edición). | E. JOUZIER. | En prensa |
| <i>Explotación de un dominio agrícola</i> . | R. VUIGNER. | 1926 |
| <i>El libro de la campesina</i> . | O. BUSSARD. | 1928 |

ENCICLOPEDIA AGRÍCOLA

publicada bajo la dirección de G. WERY

**Obra premiada por la Academia de Ciencias morales y políticas
y por la Sociedad Nacional de Agricultura de Francia**

E. RISLER y G. WERY

RIEGOS

EL AGUA EN LAS MEJORAS AGRÍCOLAS

213.7



ENCICLOPEDIA AGRÍCOLA

publicada por una Junta de Ingenieros agrónomos

R. 5126 BAJO LA DIRECCIÓN DE G. WÉRY



RIEGOS

EL AGUA EN LAS MEJORAS AGRÍCOLAS

POR

E. RISLER **Y** **G. WÉRY**

| | |
|--|--|
| Miembro de la Academia de Agricultura de Francia | Miembro de la Academia de Agricultura de Francia |
| Director honorario del Instituto Nacional Agronómico | Director del Instituto Nacional Agronómico |



SEGUNDA EDICIÓN ESPAÑOLA

TRADUCIDA DE LA CUARTA FRANCESA, CORREGIDA Y AUMENTADA

Con 103 grabados en el texto

BARCELONA

SALVAT EDITORES, S. A.

41-CALLE DE MALLORCA-49

1931

ES PROPIEDAD

INTRODUCCIÓN

Se ha calculado que en las regiones ecuatoriales el sol evapora cada año una capa de agua de 5 metros de altura. Después de esta cantidad vuelve inmediatamente al mar una capa de 2 metros de altura en forma de lluvia que cae en la misma zona de formación. El resto es arrastrado por las corrientes atmosféricas y cuando encuentra los vientos más fríos que vienen del polo hacia el ecuador, se condensa, perdiendo el calor que lo había evaporado y contribuyendo así a hacer más templadas las regiones en que esta condensación se produce. Alrededor de los polos y sobre las montañas más altas se forman las nieves y en los demás lugares las lluvias, que se dividen en tres partes: unas se evaporan de nuevo, ya directamente en la superficie del suelo, ya después de haber alimentado a las plantas; otras se infiltran en los terrenos permeables, recipientes naturales cuyo caudal más o menos regular da lugar a los manantiales, y, finalmente, las restantes corren por la superficie de las rocas y terrenos arcillosos, siguen las pendientes y se reúnen en ríos y arroyos que vuelven al mar después de haber regado los prados y proporcionado fuerza motriz o vías de comunicación al comercio; pero a veces también, desgraciadamente, después de devastar las regiones ribereñas con inundaciones desastrosas.

Siendo la superficie de Francia de 53 millones de hectáreas y el promedio de la altura anual de la lluvia de 750 mm., se puede calcular en 400.000.000.000 de metros cúbicos el volumen de agua de lluvia que cae anualmente. Como que los cursos de agua arrastran 180.000.000.000 de metros cúbicos al mar, se puede

evaluar la evaporación en el 55 por 100 de la lluvia que cae. Pero esta cifra representa el promedio de las cifras, que son mucho menos considerables en las rocas y en las pendientes rápidas de los países montañosos, y, por el contrario, mayores en los llanos cubiertos de bosques o de cultivos. En Calèves, cerca de Ginebra, el promedio de diez años de observación en un llano débilmente inclinado, saneado y bien cultivado fué de 74 por 100, o sea 696 mm. de agua evaporada por cada 944 mm. de lluvia. Durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre, casi toda el agua de lluvia se evaporaba. Las nieves al derretirse y las lluvias de invierno alimentan los ríos en los terrenos impermeables y los manantiales en los permeables.

Las condensaciones de vapor de agua son más abundantes en las montañas que en las llanuras, y en las más altas la condensación se verifica en forma de nieve y de hielo. El calor que las ha conducido a tales alturas vuelve a ponerles disponibles en estado de fuerza hidráulica, de *hulla blanca*, empleando la expresión consagrada desde hace algún tiempo. Además, la fusión de las nieves se efectúa principalmente en verano, cuando los demás manantiales dan la menor cantidad de agua y cuando es mayor la necesidad de la misma. Así es como los ventisqueros que coronan los paisajes alpinos y los lagos que se extienden a sus pies son reguladores naturales para el caudal de las corrientes de agua. Las más bellas comarcas pueden convertirse en las más ricas, si saben los habitantes utilizar sus recursos naturales como los cultivadores de Lombardía han hecho para la formación de sus magníficas praderas.

Según la fórmula de Gasparín, calor \times humedad = vegetación; cuanto más unidos estén estos factores en las proporciones justas, tanto más abundantes serán los productos de la tierra. El calor sin agua produce los desiertos; la humedad excesiva crea las marismas.

Entre estos dos extremos, el mayor o menor equilibrio de los factores suministra mayor o menor riqueza. El sol es el elemento más regular. No podemos modificar apenas las cantidades de calor y de luz que cierta superficie de tierra recibe en el transcurso de un año. Esto depende de su situación geográfica.

Las lluvias, en cambio, se distribuyen con menor regularidad; su abundancia varía mucho, no solamente según los lugares, sino según los años. En casi todas partes son insuficientes para dar el máximo de vegetación que el calor local permitiría y además no se corresponden siempre con las necesidades de las plantas. No podemos hacer caer la lluvia donde y cuando queremos, pero podemos retrasar su curso y aumentar la infiltración de la que cae en las montañas, conservando los bosques y construyendo depósitos de embalse en los valles altos. Después de regularizar así el descenso de las aguas, podemos emplearlas en el riego de nuestros prados y nuestros cultivos, en las épocas en que más lo necesiten.

M. Bechmann, ingeniero jefe y profesor de la Escuela de puentes y calzadas, calcula que las corrientes de agua permitirían regar aproximadamente la cuarta parte del territorio francés, mientras que las estadísticas no indican más que 2.360.000 hectáreas de praderas de regadío; cita entre otros, después de los informes dados en 1892 por la dirección de la Hidráulica agrícola, los canales Alpinos, de Craponne, del Verdon, de Saint-Martory, etc., cuyo conjunto podría regar 255.000 hectáreas, siendo así que únicamente riega efectivamente 51.000 hectáreas. ¿De qué depende esto? Es cierto que el ramo de puentes y calzadas ha construido los grandes canales con la perfección que pone en todas sus obras, pero en la mayor parte de los casos ahí se detuvo su acción. El agua era conducida a las cercanías de los terrenos que debía regar, pero permanecía demasiado

tiempo sin ser empleada, porque los propietarios de estos terrenos carecían de conocimientos y de medios para construir los canales de distribución. Fué preciso que el decreto de 27 de enero de 1903 viniese a dar, como dice el ministro de Agricultura en su informe al presidente de la República, a la dirección de la Hidráulica una orientación más netamente agrícola y a completarla, creando, junto al servicio hidráulico, que conserva sus antiguas funciones, un nuevo servicio técnico, el de *Mejoras agrícolas*, actualmente de *Ingeniería rural*. Este nuevo servicio tiene a su cargo secundar la iniciativa privada, no solamente en los trabajos de riego y de drenaje, sino también para el cambio y reunión de parcelas, sin las cuales estos trabajos con frecuencia serían imposibles, así como para todos los perfeccionamientos que podrían seguirles: trazado de nuevos caminos de explotación, captación de manantiales, utilización de saltos de agua para producir fuerza, construcciones rurales, etc.

En Alemania y Austria, desde hace unos treinta años, tienen una organización semejante que les ha producido muy buenos resultados. Desde el origen del Instituto agronómico, la dirección ha mandado a cierto número de sus mejores alumnos a estudiarla; sus informes, especialmente el de M. Faure, han contribuido mucho a darla a conocer en Francia y a la creación del servicio de Mejoras agrícolas en el ministerio de Agricultura. Estos antiguos alumnos de nuestra Escuela Superior de Agricultura han suministrado el primer núcleo del personal del nuevo servicio, que en 1921 se componía de dos inspectores generales, diez ingenieros y veintisiete ingenieros adjuntos. Ya han practicado sus pruebas y estamos persuadidos de que la aplicación del decreto de 27 de enero de 1903 será origen de considerables progresos en la utilización de nuestras riquezas hidráulicas.

RIEGOS

EL AGUA EN LAS MEJORAS AGRÍCOLAS

PRIMERA PARTE

EL AGUA, LA PLANTA Y LA TIERRA

CAPÍTULO PRIMERO

RELACIONES ENTRE LA TIERRA, EL AGUA Y LA PLANTA DESDE EL PUNTO DE VISTA QUÍMICO

I.—PAPEL FISIOLÓGICO DEL AGUA

Bajo la influencia del sol y del agua, las materias minerales de la tierra se unen a los gases de la atmósfera para nutrir las plantas.

No podemos modificar en nada las cantidades de calor y de luz, es decir, la energía solar que recibe determinada superficie en el transcurso de un año. Esto depende de su situación geográfica.

Pero podemos aumentar el valor de las cosechas obtenidas en dicha superficie destruyendo los vegetales inútiles o nocivos y plantando o sembrando aquellos otros que nos pueden producir mayores servicios. Por el laboreo, podemos mullir hasta mayor o menor profundidad la superficie del suelo, permitiendo así la colocación de las raíces que en él han de fijarse y de él han de extraer su sustento mineral y nitrogenado, y si este alimento es insuficiente para dar buenas cosechas, es decir, para producir una dotación abundante de carbono, podemos completarlo con abonos.

Pero todo esto no sirve de nada, si al propio tiempo no encuentran los vegetales los 300 ó 400 kilogramos de agua que necesitan para formar un kilogramo de materia seca, es decir, de 1.500.000 a 3.000.000 de kilogramos por hectárea y año, o sea 150 a 300 milímetros de altura de agua de lluvia.

Sin agua, el sol es impotente. Sin agua, los abonos no pueden disolverse ni penetrar en las plantas. Entre todos los factores que contribuyen a dar cosechas abundantes, es el agua el que tiene mayor influencia, y si las lluvias que durante la época calurosa reciben nuestros campos son insuficientes para alimentar las cosechas, deberemos emplear todos los medios de que dispongamos para conservar en el subsuelo, convenientemente saneado, una parte de las aguas caídas en el invierno o para reunir en nuestros predios mediante el riego las que fluyen de los terrenos más elevados.

En cuanto el cultivador ha sembrado el trigo, espera con impaciencia la lluvia que tiene que hincharlo, desarrollar las primeras raicillas y solubilizar las substancias que estas raíces absorben del suelo.

Lo que principalmente diferencia el tallo de las raíces de las plantas, es que el tallo recibe la luz del sol, mientras que las raíces crecen en la obscuridad y en la humedad de la tierra. Se ha conseguido hacer vegetar la mayor parte de nuestras plantas agrícolas en vasos de vidrio que contenían soluciones nutritivas al 3 ó 4 por 1.000; pero para obtener el desarrollo normal ha sido preciso proteger las raíces contra la luz con envolturas de cartón o de papel negro. Si no se toma esta precaución, el líquido no tarda en llenarse de algas verdes, cuya presencia perjudica a las plantas que se quieren cultivar. Las raíces de estas plantas se alargan tanto más cuanto más diluidas están las soluciones. Además, es preciso renovar estas soluciones de vez en cuando o por lo menos inyectarles aire.

En estos medios líquidos, las raíces toman la forma normal que caracteriza su especie, fasciculada en los cereales, penetrante en las leguminosas, con raíces secundarias y terciarias que se alejan más o menos de la dirección vertical y están más o menos ramificadas.

En el aire húmedo, el peso puede tener la influencia que

los experimentos de laboratorio le atribuyeron (*geotropismo*) en la dirección de las raíces.

Pero no ocurre lo mismo en la tierra.

Para penetrar y para alargarse, las raíces tienen que vencer obstáculos mecánicos más o menos considerables, según la capacidad del suelo; para ello es preciso que *formen cuña* y que esta cuña aumente por el desarrollo de nuevas células alrededor de su punto vegetativo. Toman luego tal o cual dirección, según encuentren las condiciones más favorables para su alargamiento o para su aumento, y entre estas condiciones la que parece tener una influencia predominante es la humedad. Pero como la presencia y la abundancia de agua en la tierra en general varía según un plano horizontal, o por lo menos paralelo a su superficie, las raíces que van hacia ella por el camino más corto tienden a tomar la dirección vertical; este fenómeno no es *geotropismo* sino *hidrotropismo*.

Al propio tiempo que agua, es preciso que la raíz encuentre aire; sin él no se alarga más y, por el contrario, tiende a perecer. Finalmente, es preciso que esta agua contenga los alimentos convenientes al desarrollo de las plantas.

El alargamiento de las raíces parece depender principalmente de la humedad; su engrosamiento y la formación de raíces secundarias o terciarias, de la cantidad de sustancias alimenticias que le llegan. Los pelos y las ramificaciones más finas de las raíces laterales se desarrollan en todas direcciones, entran en los intersticios que separan las partículas de tierra, se unen a estas partículas y penetran en sus poros. Las células de la zona de crecimiento aumentan de volumen; se forman otras nuevas y todo este conjunto empuja al extremo de la raíz y le fuerza a penetrar en el suelo como una cuña.

Esta fuerza varía en las diversas plantas; pero siempre depende de la turgencia de las células de la raíz, turgencia que les comunica el agua que absorben a su alrededor.

1.— Cantidad de agua que consumen las plantas

La cantidad de agua contenida en las plantas varía según las especies, pero siempre es considerable.

Según Hellriegel:

| | Agua por 100 de su peso |
|--|-------------------------------|
| Las hojas de los árboles. | contienen 60 |
| Los cereales. | » 75 |
| Las plantas jóvenes. | » 80 |
| Las legumbres frescas. | » 90 |
| Los melones, espárragos y lechugas | » 95 |

Las plantas forrajeras en estado verde pueden contener de 70 a 80 por 100 de su peso de agua. Henificadas, es decir, secas al aire, las plantas pueden todavía contener de 14 a 16 por 100.

Aquí no se trata, evidentemente, más que del agua de constitución, prescindiendo de la contenida en las raíces.

A continuación damos algunas cifras que se refieren a buenas cosechas de las principales plantas cultivadas:

| | Peso total de la cosecha en kilog. | Cantidad de agua contenida en la cosecha en kilog. |
|---|--|---|
| Por hectárea | | |
| Trigo de invierno (cosecha seca). | 9 000 | 1 350 |
| Centeno » » | 9.000 | 1.352 |
| Cebada » » | 6.600 | 1.020 |
| Avena » » | 9.000 | 1.300 |
| Patatas. | 30.000 | 24.000 |
| Aguaturma | 30.000 | 24.000 |
| Remolacha forrajera. | 50.000 | 52.800 |
| » azucarera. | 50.000 | 41.000 |
| Maíz verde. | 60.000 | 50.000 |
| Alfalfa. | 48.000 | 37.000 |
| Trébol. | 30.000 | 40.000 |
| Vallico. | 32.000 | 17.000 |

Se ve la gran cantidad de agua que contienen los forrajes recolectados en estado verde. Y no obstante, esta masa tan importante es poca cosa si se la compara con la cantidad de agua que ha atravesado por la planta durante su vegetación.

M. Risler en Suiza, Hellriegel y Wolny en Alemania, Lawes y Gilbert en Inglaterra, King en América, Dehérain, Marié-Davy en Francia, y por último, M. Houllier (1908), se dedicaron a evaluarla. Todos han reconocido que la formación de cada gramo de materia seca en la planta exige el paso de cier-

to número de gramos de agua, número variable según la planta, el suelo, el clima y la importancia de la cosecha, pero siempre considerable.

El cuadro adjunto da, según M. Hall, director de los laboratorios de Rothamsted (1), las cantidades de agua evaporada que corresponden a algunas buenas cosechas. M. Hall supone en sus cálculos que la formación de un gramo de materia seca exige 300 gramos de agua.

| | Peso de la cosecha | Peso de la materia seca | Agua evaporada durante la vegetación por hectárea | |
|----------------------|------------------------|-------------------------|---|--|
| | Toneladas por hectárea | Toneladas por hectárea | Toneladas por hectárea | Correspondiente a una altura de lluvia caída en milímetros |
| Avena | 6,0 | 5,04 | 1.512 | 151 |
| Remolacha. | 72,0 | 8,64 | 2.592 | 259 |
| Trigo | 6,0 | 4,92 | 1.476 | 147 |
| Habas. | 5,0 | 3,98 | 1.195 | 119 |
| Heno de gramíneas | 3,6 | 3,02 | 907 | 90 |
| » de tréboles. | 5,0 | 4,03 | 1.209 | 120 |
| Cebada. | 5,0 | 3,98 | 1.195 | 119 |
| Patatas | 18,0 | 4,49 | 1.346 | 134 |
| Nabos de Suecia. . . | 40,8 | 4,90 | 1.469 | 146 |

Hellriegel prosiguió sus investigaciones en Dahme (Brandeburgo, Prusia) desde 1868 a 1873. Encontró que para elaborar un gramo de materia seca:

| | | |
|-----------------------------|-----|----------------|
| El trigo de verano requería | 338 | gramos de agua |
| El centeno | » | 353 |
| La avena | » | 376 |
| Las habas | » | 283 |
| Los guisantes | » | 273 |
| El trébol encarnado | » | 310 |
| El alforfón | » | 363 |
| La colza | » | 329 |



(1) A.-D. HALL, *Le sol*, traducción francesa de A. DEMOLON, ingeniero agrónomo (Paris, J.-B. Baillière, 1906).

M. Risler, por su parte, después de sus experiencias de Calèves, cerca de Nyón (Suiza), encontró que para formar un gramo de materia seca:

| | | |
|---------------------------------|-----|---------------|
| La avena requería | 250 | grs. de agua. |
| El trébol » | 263 | » » |
| El maíz » | 216 | » » |
| El heno de los prados requería. | 438 | » » |

En los experimentos que M. Risler hizo desde 1867 a 1876 en su granja de Calèves, cerca del lago de Ginebra, halló para la transpiración media por hora y por decímetro cuadrado de superficie foliácea (1):

| | | |
|-------------------------|-------|------|
| En la alfalfa | 0,46 | grs. |
| » la col | 0,25 | » |
| » el césped | 0,21 | » |
| » el trigo | 0,175 | » |
| » el maíz | 0,16 | » |
| » la avena | 0,14 | » |
| » la vid | 0,12 | » |
| » la patata | 0,09 | » |
| » la encina | 0,06 | » |
| » el pino | 0,052 | » |
| » el nogal | 0,04 | » |

Para pasar después a la transpiración media por hectárea, había que determinar la superficie de las hojas que cubren cada metro cuadrado de terreno cultivado. M. Risler hizo cierto número de estas determinaciones, cuyos resultados fueron:

| | Superficie de evaporación |
|--|------------------------------|
| Centeno, 2 de mayo, magnífica cosecha, en el momento de espigar. | 8,24 m. ² |
| Centeno, 2 de mayo, otro campo. | 6,50 » |
| Trigo, 30 de mayo, muy hermoso, principio de la floración. | 10,95 » |
| Avena, 30 julio, hermosa, seis hojas. | 9,11 » |
| Maíz, julio, plantas separadas de 30 a 33 centímetros. | 8,00 » |
| Maíz, 12 de septiembre, sembrado muy apretado, para forraje verde. | 22,04 » |
| Césped, 31 de mayo. | 12,40 » |
| Alfalfa, 4 de junio, bastante hermosa. | 7,03 » |

(1) *Recherches sur l'évaporation du sol et des plantes*, Ginebra, 1879.

| | Superficie de evaporación |
|--|------------------------------|
| Alfalfa, 3 de mayo, cuarto año, alta de 35 centímetros. | 12,42 m ² |
| Patatas, 3 de julio. | 6,88 » |
| Col ramosa, septiembre | 8,00 » |
| Cepa Chasselas, 24 de agosto. | 4,94 » |
| Pino de treinta a cuarenta años. | 11,75 » |
| Encina, tronco de 1,15 metros de circunferencia a un metro de altura | 9,00 » |

No obstante, debemos advertir que, en un campo de trigo, de maíz forrajero o de trébol muy apretado, así como en un bosque muy frondoso, las hojas superiores hacen sombra a las inferiores y, por consiguiente, disminuyen su evaporación, de modo que es poco probable que la superficie realmente activa del follaje pase nunca de 8 a 10 metros por metro cuadrado de terreno.

Sirviéndose de los datos precedentes y corrigiéndolos con las observaciones hechas en sus cultivos de Calèves, sobre la cantidad de lluvia que habían recibido y la proporción de agua que había circulado por los drenajes, M. Risler llegó a las siguientes cifras para el consumo medio por día de las cosechas, expresado en milímetros de agua:

| | |
|-------------------|-------------------|
| Alfalfa | De 3,4 a 7,00 mm. |
| Prados | 3,14 a 7,28 » |
| Avena | 2,9 a 4,90 » |
| Habas | Más de 3,00 » |
| Maíz | 2,8 a 4,00 » |
| Trigo. | 2,67 a 2,80 » |
| Trébol | 2,86 » |
| Centeno | 2,26 » |
| Vid. | 0,86 a 1,3 » |
| Patatas | 0,74 a 1,4 » |
| Pino | 0,5 a 1,1 » |
| Encina | 0,45 a 0,3 » |

Estas cifras comprenden a la vez la *transpiración de las plantas* y la *evaporación directa de la tierra en que se cultivan*. En el trigo, alfalfa, viña, etc., la tierra estaba bien abonada.

En Munich, Wollny, después de las experiencias que hizo en 1879 y 1880 con sus lisímetros, cajas de cinc de 30 centí-

metros de altura y 400 centímetros cuadrados de superficie, con el fondo agujereado que permite recoger las aguas de drenaje, llegó a las cifras siguientes. En 1879, la evaporación en los lisímetros fué:

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| Los guisantes | De 3,7 mm. por día |
| Las habas | 2,9 » » |
| Las arvejas. | 3,6 » » |
| Los altramuces blancos . . . | 2,2 » » |
| Los altramuces amarillos . . | 2,0 » » |
| El trébol rojo | 3,6 » » |
| La esparcilla | 3,4 » » |
| El alforfón | 3,5 » » |
| La mostaza. | 3,6 » » |
| La avena temprana | 3,5 » » |
| La avena tardía | 3,1 » » |
| La cebada | 3,4 » » |
| La hierba de los prados . . . | 3,0 » » |

Desde 1.º de mayo a 1.º de octubre habían caído 562,67 milímetros de lluvia, o sea un promedio de 3,67 milímetros diarios.

En 1880, desde el 20 de abril al 1.º de octubre cayeron 706 milímetros de lluvia, o sean 4 milímetros por día.

La evaporación en los lisímetros fué:

| | |
|-----------------------------|--------------------|
| Los guisantes | De 4,0 mm. diarios |
| Las habas | 3,0 » » |
| Las arvejas. | 4,4 » » |
| La avena temprana | 3,6 » » |

En experimentos más antiguos practicados en Alemania, Schübler había hallado 7,5 milímetros por día como evaporación de un césped, y Schleiden, 2,5 milímetros para una mezcla de avena y trébol, un poco más que la altura de lluvia caída durante el período de vegetación.

M. P. Houllier, desde 1906 prosigue, en la Estación hidrológica de Abbeville, investigaciones de esta naturaleza. En diciembre de 1908 comunicó a la Asociación de químicos de azucarerías y destilerías sus primeras observaciones sobre las cantidades necesarias de agua para el desarrollo de la remolacha forrajera.

Utiliza cajas de grandes dimensiones (superficie útil, 0,5 m.²) y opera en condiciones que se aproximan mucho a las naturales.

El período activo de la vegetación se extendió desde el 20 de junio al 31 de octubre. Halló que la cantidad de agua transpirada para formar un kilogramo de substancia seca había sido, en 1906, de 418 kilogramos; en 1907, de 430, y en 1908, de 466. Semejantes investigaciones proseguidas en las diversas regiones, para las principales cosechas, suministrarían cifras interesantes que contribuirían a fijar bases racionales para el drenaje y el riego.

Según Dehérain, Lawes y Gilbert y Hellriegel, *la cantidad de agua transpirada para producir cierto peso de materia seca es tanto menor cuanto más completos y abundantes son los abonos*; pero si la cantidad relativa de agua transpirada disminuye, Hellriegel demostró que su cantidad absoluta, es decir, el peso de agua transpirado por metro cuadrado de tierra, aumenta, aunque en una proporción menor que la cosecha.

Evidentemente, la cosecha producida por una hectárea no puede aumentar sin que haya más agua transpirada por dicha cosecha; pero el aumento del consumo de agua es proporcionalmente menor en una tierra rica que en una tierra pobre.

La luz y el calor actúan en el mismo sentido. Se sabe que los agentes de la transpiración de las plantas verdes son el calor, entre ciertos límites, y las radiaciones luminosas, comprendidas en el espectro entre el anaranjado y el principio del violeta. La clorofila las absorbe y las transforma en energía calorífica. La falta de luz, como la falta de calor, aumenta la cantidad de agua transpirada necesaria para producir un kilogramo de materia seca. El grado de humedad del aire influye en la transpiración de las plantas. Hellriegel halló que podría ser dos veces mayor en el aire seco que en el aire normal. También el movimiento del aire ejerce su acción.

Las cifras que hemos dado para las cantidades de agua necesarias a la elaboración de la materia seca no se refieren más que a la *cosecha aérea*, hojas y tallos, salvo en lo relativo a las plantas de tubérculos.

Sería interesante medir la cantidad de agua transpirada por la planta solamente, *hecha la deducción del agua evaporada por la tierra*, pero es difícil. Las parcelas de ensayo que se dejan en barbecho evaporan más que las parcelas cultivadas, porque éstas están cada vez más sombreadas a medida que el vegetal crece. No obstante, Hellriegel tuvo en cuenta la evaporación del suelo en cifras que hemos reproducido. Se sirvió también de parcelas tipo dejadas sin cultivar, pero obtuvo resultados menos dudosos recubriendo con placas de madera, previamente sumergidas en una mezcla de cera y parafina fresca, la superficie del suelo de sus macetas de experiencias.

También se deberían poder mantener siempre con el mismo grado de riqueza las soluciones que empapan la tierra, puesto que su concentración actúa sobre la evaporación. Pero con frecuencia difieren desde el principio del experimento, y, a medida que éste se prosigue, la riqueza de la solución contenida en el suelo cultivado disminuye más de prisa que la de la que humedece un suelo inculto.

Por otra parte, lo que nos interesa aquí especialmente es la cifra global, puesto que no podemos prescindir de la tierra ni impedir en la mayor parte de los casos que evapore agua.

2.— Comparación entre el régimen de lluvias y las necesidades de los principales cultivos

Comparemos ahora las necesidades de las plantas con las cantidades de agua que les aportan las lluvias.

De una Memoria de M. Angot (1), profesor del Instituto agronómico, entresacamos los promedios anuales y mensuales de lluvia caída en Francia desde 1841 a 1860.

Estas cifras son promedias. Pero la cantidad de lluvia que recibe un mismo campo varía, a menudo, de uno a otro año, entre límites muy amplios, a veces de 1 : 10, en los correspondientes meses de dos años consecutivos. De ahí provienen en gran parte las diferencias que en un mismo campo presen-

(1) *Annales du Bureau central météorologique de France*, 1894.

Regimenes de lluvia en Francia

| Alt. | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Tot. |
|------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
| m. | | | | | | | | | | | | | | mm. |
| 188 | Albi (Tarn) | 49 | 43 | 57 | 71 | 68 | 73 | 50 | 48 | 62 | 65 | 55 | 40 | 692 |
| 25 | Arlès (Bocas del Ródano) . . | 44 | 43 | 40 | 57 | 45 | 42 | 17 | 35 | 59 | 79 | 57 | 51 | 569 |
| 183 | Avesnes (Norte) | 65 | 53 | 60 | 46 | 63 | 69 | 89 | 73 | 90 | 79 | 79 | 76 | 821 |
| 555 | Bagnères-de-Bigorre (A. P.) . | 93 | 93 | 120 | 130 | 122 | 128 | 63 | 69 | 83 | 107 | 113 | 81 | 1202 |
| 100 | Barberey (Troyes) (Aube) . . | 38 | 34 | 41 | 37 | 56 | 60 | 63 | 60 | 54 | 58 | 54 | 48 | 603 |
| 186 | Bar-le-Duc (Mosa) | 72 | 65 | 73 | 60 | 65 | 89 | 91 | 81 | 77 | 96 | 99 | 92 | 960 |
| 15 | Bayona (Bajos Pirineos) . . . | 90 | 76 | 96 | 95 | 75 | 82 | 60 | 69 | 114 | 141 | 146 | 106 | 1150 |
| 253 | Besançon (Doubs) | 79 | 66 | 86 | 89 | 99 | 112 | 93 | 89 | 87 | 117 | 104 | 87 | 1108 |
| 10 | Burdeos (Gironde) | 71 | 58 | 64 | 67 | 74 | 81 | 51 | 55 | 66 | 94 | 93 | 74 | 848 |
| 56 | Brest (Finisterre) | 84 | 75 | 57 | 54 | 49 | 51 | 53 | 54 | 78 | 91 | 96 | 82 | 824 |
| 415 | Brioude (Alto Loira) | 20 | 25 | 29 | 51 | 72 | 79 | 65 | 61 | 69 | 69 | 41 | 28 | 600 |
| 123 | Cahors (Lot) | 53 | 48 | 60 | 72 | 71 | 69 | 52 | 51 | 69 | 75 | 61 | 52 | 733 |
| 117 | Carcasona (Aude) | 52 | 51 | 58 | 75 | 60 | 58 | 26 | 31 | 59 | 58 | 48 | 48 | 624 |
| 8 | Châteaulin (Finisterre) . . . | 104 | 90 | 79 | 70 | 64 | 64 | 71 | 67 | 92 | 111 | 117 | 115 | 1044 |
| 225 | Chatillon-s.-Seine (C. de O.) . | 50 | 49 | 58 | 53 | 66 | 79 | 71 | 73 | 68 | 84 | 71 | 64 | 786 |
| 20 | Cherburgo (Mancha) | 78 | 63 | 58 | 43 | 49 | 44 | 54 | 56 | 81 | 116 | 107 | 87 | 836 |
| 378 | Clermond-Ferrand (P.-d.-D.) . | 28 | 29 | 34 | 42 | 60 | 71 | 57 | 50 | 57 | 57 | 38 | 32 | 555 |
| 138 | Confolens (Charente) | 72 | 66 | 71 | 73 | 84 | 76 | 58 | 59 | 74 | 102 | 100 | 79 | 914 |
| 350 | Contrexéville (Vosgos) | 52 | 50 | 66 | 58 | 71 | 81 | 93 | 67 | 68 | 88 | 82 | 72 | 848 |
| 237 | Dijón (Costa de Oro) | 40 | 35 | 46 | 52 | 59 | 71 | 62 | 62 | 55 | 77 | 63 | 49 | 671 |
| 551 | Florac (Lozère) | 77 | 89 | 91 | 79 | 92 | 70 | 51 | 64 | 96 | 113 | 81 | 98 | 1001 |
| 408 | Ginebra (Suiza) | 42 | 41 | 54 | 61 | 79 | 81 | 78 | 91 | 86 | 107 | 74 | 54 | 848 |
| 328 | Gréasque (Bocas Ródano) . . | 54 | 45 | 63 | 59 | 57 | 41 | 17 | 31 | 63 | 104 | 97 | 65 | 696 |
| 218 | Grenoble (Isère) | 52 | 59 | 68 | 67 | 86 | 96 | 72 | 88 | 76 | 123 | 83 | 68 | 938 |
| 920 | Langogne (Lozère) | 47 | 49 | 60 | 70 | 77 | 69 | 50 | 62 | 51 | 89 | 72 | 63 | 759 |
| 78 | Le Mans (Sarthe) | 55 | 41 | 48 | 51 | 59 | 64 | 57 | 55 | 56 | 68 | 65 | 59 | 678 |
| 160 | Lescar (Bajos Pirineos) . . . | 82 | 73 | 77 | 120 | 114 | 114 | 58 | 58 | 81 | 94 | 98 | 74 | 1043 |
| 596 | Les Settons (Morvan) | 146 | 132 | 149 | 120 | 109 | 126 | 129 | 134 | 128 | 188 | 182 | 179 | 1722 |
| 26 | Lille (Norte) | 54 | 46 | 56 | 42 | 57 | 58 | 70 | 64 | 64 | 77 | 72 | 63 | 723 |
| 218 | Limoges (Alto-Vienne) | 69 | 59 | 73 | 74 | 90 | 82 | 70 | 71 | 73 | 96 | 88 | 72 | 917 |
| 260 | Lyón (Ródano) | 34 | 36 | 54 | 67 | 83 | 85 | 87 | 83 | 75 | 96 | 65 | 49 | 814 |
| 74 | Marsella (Bocas Ródano) . . . | 49 | 35 | 46 | 52 | 40 | 26 | 13 | 25 | 61 | 88 | 76 | 56 | 567 |
| 722 | Mende (Lozère) | 46 | 44 | 52 | 61 | 74 | 69 | 62 | 63 | 77 | 82 | 58 | 50 | 738 |
| 311 | Mirepoix (Ariège) | 57 | 54 | 58 | 89 | 73 | 76 | 44 | 44 | 55 | 61 | 63 | 50 | 724 |
| 29 | Montpeller (Hérault) | 88 | 64 | 61 | 64 | 58 | 37 | 23 | 53 | 70 | 115 | 78 | 74 | 785 |
| 668 | Montagny (Loira) | 47 | 50 | 66 | 82 | 96 | 106 | 105 | 98 | 78 | 105 | 72 | 67 | 972 |
| 215 | Moulins (Allier) | 36 | 34 | 43 | 51 | 56 | 75 | 62 | 61 | 59 | 62 | 48 | 39 | 626 |
| 924 | Murat (Tarn) | 53 | 44 | 55 | 56 | 76 | 78 | 62 | 73 | 84 | 99 | 72 | 64 | 816 |
| 221 | Nancy (Meurthe-et-Mos.) . . . | 52 | 50 | 57 | 51 | 60 | 75 | 85 | 63 | 63 | 80 | 77 | 69 | 782 |
| 13 | Narbona (Aude) | 47 | 35 | 44 | 47 | 34 | 38 | 17 | 25 | 41 | 84 | 36 | 42 | 484 |
| 186 | Nevers (Nièvre) | 44 | 44 | 53 | 50 | 62 | 72 | 62 | 60 | 63 | 67 | 62 | 52 | 691 |
| 57 | Nimes (Gard) | 49 | 48 | 44 | 58 | 55 | 47 | 27 | 48 | 69 | 83 | 65 | 52 | 645 |
| 100 | Orléans (Loiret) | 47 | 41 | 51 | 46 | 54 | 59 | 59 | 57 | 55 | 68 | 59 | 50 | 646 |
| 56 | Paris (Sena) | 36 | 28 | 37 | 39 | 47 | 53 | 50 | 47 | 48 | 54 | 48 | 40 | 527 |
| 37 | Perpiñán (Pirineos Orien.) . . | 47 | 42 | 49 | 50 | 49 | 35 | 22 | 23 | 45 | 66 | 35 | 38 | 501 |
| 117 | Poitiers (Vienne) | 52 | 40 | 55 | 53 | 65 | 70 | 49 | 47 | 55 | 74 | 66 | 53 | 679 |
| 9 | Rochefort (Char.-Infer.) . . . | 57 | 40 | 47 | 47 | 51 | 55 | 40 | 45 | 61 | 98 | 92 | 69 | 702 |
| 49 | Ruan (Sena Inferior) | 55 | 43 | 52 | 45 | 53 | 58 | 68 | 63 | 64 | 70 | 68 | 65 | 704 |
| 545 | Saint-Etienne (Loira) | 22 | 30 | 47 | 66 | 88 | 87 | 81 | 74 | 63 | 85 | 58 | 35 | 736 |
| 8 | Saint-Nazaire (Loira-Inf.) . . | 64 | 47 | 50 | 43 | 44 | 46 | 39 | 41 | 57 | 82 | 80 | 75 | 668 |
| 18 | Saint-Servain (Ille-et-Vil.) . . | 69 | 54 | 59 | 56 | 58 | 64 | 62 | 58 | 74 | 96 | 93 | 82 | 825 |
| 89 | Sanoie (El Havre) (S.-L.) . . . | 76 | 52 | 58 | 51 | 58 | 57 | 66 | 72 | 87 | 107 | 93 | 77 | 854 |
| | Saulieu (Costa de Oro) | 52 | 52 | 71 | 63 | 69 | 89 | 82 | 76 | 72 | 96 | 88 | 76 | 893 |
| 412 | Tarare (Ródano) | 42 | 46 | 61 | 69 | 80 | 77 | 80 | 69 | 67 | 94 | 68 | 54 | 807 |
| 18 | Tolón (Var) | 72 | 56 | 65 | 64 | 41 | 29 | 8 | 33 | 63 | 100 | 106 | 71 | 708 |
| 194 | Tolosa (Alto Garona) | 46 | 43 | 50 | 71 | 71 | 78 | 43 | 49 | 58 | 66 | 49 | 42 | 666 |
| 54 | Tours (Indre y Loira) | 49 | 44 | 50 | 46 | 56 | 60 | 55 | 44 | 44 | 63 | 58 | 53 | 622 |
| 36 | Venette (Compiègne) (Oise) . . | 38 | 30 | 34 | 37 | 47 | 54 | 63 | 51 | 57 | 54 | 48 | 39 | 552 |
| 64 | Villeneuve-sur-Lot (L. y G.) . . | 39 | 39 | 46 | 54 | 62 | 63 | 45 | 42 | 58 | 55 | 56 | 42 | 601 |

tan las cosechas de un año a otro, y estas diferencias serían todavía mayores si no existiese en el subsuelo de los campos una reserva de humedad, una especie de regulador que absorbe el exceso de agua cuando se presenta y lo cede a las siembras durante los meses demasiado pobres en lluvia, que son precisamente aquellos en que se desarrollan. *Cuanto más volumen tenga este depósito regulador, es decir, cuanto más profundamente mullida haya sido la tierra, ya sea por medio de excavaciones o de drenajes, tanto más eficaz será este seguro natural contra la sequía.*

El cuadro de la página 11 demuestra que, en muchas localidades, cae menos agua durante el período activo de la vegetación que durante el resto del año. Esta observación prueba la utilidad del suelo como depósito de agua para las plantas.

Las zonas de vegetación de las diferentes plantas dependen principalmente de la temperatura y de la luz que encuentran en estas zonas. Para llegar a florecer y fructificar necesitan cierta cantidad de temperatura entre límites extremos de frío y calor. Pero no pueden llegar a un desarrollo bastante grande para que su cultivo sea aprovechable, y a veces llegan a perecer si no pueden absorber bastante agua en este período de vegetación. Es preciso, pues, que durante este período reciban lluvias suficientes para proporcionarles el agua que necesitan o que las tierras les puedan suministrar un suplemento procedente de la absorción de lluvias anteriores. Por ejemplo, el *trigo* no medra mientras la temperatura media no es superior a 6° durante muchos días consecutivos. Según M. Angot, las temperaturas medias mensuales durante los años 1851 y 1897 (1) fueron las que se indican en el cuadro de la página 15.

Así, en todo el norte de Francia hasta los alrededores de París y en todos los lugares más elevados del Centro, el trigo medra poco y muy raramente, y, por lo tanto, también transpira muy poco durante los cinco meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, y como que la siega se efectúa

(1) *Études sur le climat de la France*, 1899. (Oficina central meteorológica.)

desde julio, consume el máximo de agua durante los meses de abril, mayo y junio; entonces necesita, por término medio, de 2 a 2,7 mm. por día, o de 60 a 80 mm. por mes (1).

Pero estas condiciones, como se ve en la tabla de los regímenes de lluvia (pág. 11), no quedan satisfechas en los alrededores de Lille, Ruán y París.

En Brie, por ejemplo, las lluvias no dan más que un promedio de 1 a 1,5 mm. de agua por día. El trigo necesita un suplemento aproximado de un milímetro diario, o sea 91 mm. en los tres meses. Para hallarlos, *es preciso que recurra a la humedad que la tierra tiene almacenada en sus profundidades procedente del invierno y de la primavera*. Si esta tierra es capaz de retener 25 por 100 y si el trigo no sufre sequedad más que hasta el límite de 10 por 100, puede consumir un 15 por 100. Así, pues, en una tierra que pese 1.400 kilogramos por metro cúbico, el 15 por 100 en un espesor de:

| | | | |
|----------------|-------------|---------------|-------------------|
| 30 centímetros | representan | 68 milímetros | de altura de agua |
| 40 | » | 84 | » |
| 50 | » | 105 | » |

Es, pues, necesario que las raíces del trigo encuentren un suelo bastante aireado para que puedan descender hasta más de 40 centímetros de espesor. Así ocurre en los limos fértiles que cubren los llanos de Picardía, etc. Con frecuencia este limo tiene muchos metros de espesor, y gracias a sus propiedades físicas, tan favorables a la producción de trigo, se pueden obtener cosechas de más de 40 hectolitros por hectárea.

Cuando este limo descansa sobre yeso o sobre caliza basta, estas propiedades se acentúan todavía en el sentido de la permeabilidad para el aire, que siempre es correlativa de la permeabilidad para el agua; la una sigue a la otra. Si el limo no tiene espesor suficiente para conservar bastante hu-

(1) M. Ringelmann, utilizando las cifras que M. Garola dió para el peso de las materias secas producidas por diversas plantas (trigo, centeno, maíz, remolacha, alfalfa, mijo) en diferentes periodos de su vegetación, trazó unos gráficos que representan claramente que las cosechas absorben agua, especialmente durante el período activo de su crecimiento, es decir, en verano, en una época en que la capa subterránea no está alimentada por las lluvias, ni aun en los terrenos incultos. (*Journal d'agriculture pratique*, 10 de agosto y 16 de octubre de 1905).

medad hasta la madurez de las variedades tardías, es prudente no cultivar más que trigos tempranos. En gran parte de Francia, los cereales, y con mayor razón los forrajes, consumen toda el agua de lluvia que cae directamente sobre ellos durante la estación más activa de su vegetación. Rara vez reciben demasiada, pero con frecuencia no tienen la suficiente.

Pero si, como ocurre en Brie y en el país de Caux, hay arcilla debajo del limo y sobre todo si esta capa de limo no es muy gruesa, las raíces de los cereales no pueden penetrar a gran profundidad, ya sea porque lo compacto del subsuelo les opone un obstáculo infranqueable, ya también porque este subsuelo no esté bastante aireado; hay que acondicionarlo por labores profundas y drenajes, y abriéndolo a las raíces y al aire se abre al propio tiempo a las aguas de lluvia, que pueden descender y formar reservas para los tiempos de sequía, en lugar de correr inútilmente hacia los arroyos y ríos o de producir perjuicios quedando estancadas en la superficie. En las tierras arcillosas, de subsuelo impermeable, las lluvias de invierno y de otoño son nocivas. No solamente es difícil en ellas hacer las labores y las siembras en tiempo conveniente, sino que además los trigos experimentan daños en los lugares en que las aguas quedan estancadas o también pueden ser desenterrados cuando se producen alternativas de hielos y deshielos. Antes se procuraba evitar estos perjuicios practicando caballones o zanjas a cielo abierto, a los cuales venían a desembocar las regueras y surcos de saneamiento. Lo mejor de la tierra y de los abonos era arrastrado a estas zanjas y se perdía; las tierras, mal preparadas, mal aireadas y, por consiguiente, mal nitrificadas o, peor aún, desnitrificadas, no dejaban que las raíces descendiesen a una profundidad suficiente para resistir las sequías de primavera y verano. El agua misma, corriéndose por la superficie o evaporándose en ella, no se conserva en el subsuelo, y las cosechas sufrían la sequía en cuanto cesaban las lluvias. Pero hoy día, expurgando estos terrenos compactos, abriendo su subsuelo al paso del aire, del agua y, al propio tiempo, a la penetración de las raíces, se disminuye a la vez el exceso de humedad durante el invierno y el exceso de sequía durante el período en que la vegetación necesita más agua.

Promedios mensuales de la temperatura de 1851 a 1897

| | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | AÑO |
|-------------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------|
| Larentise, cerca de Lille | 2,01 | 3,34 | 5,42 | 9,10 | 12,43 | 15,82 | 17,53 | 17,27 | 14,83 | 10,24 | 5,61 | 2,64 | 9,69 |
| Saint-Maur, cerca de Paris. | 2,15 | 3,55 | 5,99 | 9,94 | 13,06 | 16,51 | 18,26 | 17,57 | 14,68 | 9,99 | 5,71 | 2,68 | 10,01 |
| Vendôme | 2,90 | 4,55 | 7,11 | 10,99 | 13,92 | 17,39 | 19,32 | 18,69 | 15,99 | 11,30 | 6,64 | 3,41 | 11,02 |
| Estrasburgo | 0,15 | 1,71 | 4,76 | 9,67 | 13,63 | 17,25 | 18,69 | 17,77 | 14,39 | 9,38 | 4,24 | 0,74 | 9,34 |
| Ginebra | 0,04 | 1,74 | 4,80 | 9,18 | 12,98 | 16,74 | 19,00 | 18,15 | 14,85 | 9,73 | 4,70 | 0,74 | 9,38 |
| Bourg | 1,40 | 3,29 | 6,29 | 10,67 | 14,07 | 17,92 | 20,08 | 19,31 | 16,24 | 11,20 | 5,76 | 1,76 | 10,67 |
| Marsella | 6,88 | 7,92 | 9,68 | 13,00 | 16,30 | 19,92 | 22,43 | 21,97 | 19,36 | 15,06 | 10,41 | 7,23 | 14,18 |
| Montpeller | 5,36 | 6,96 | 9,28 | 12,84 | 16,39 | 20,09 | 22,95 | 22,32 | 19,01 | 14,29 | 9,39 | 5,95 | 13,74 |
| Perpiñán | 6,84 | 8,19 | 10,26 | 13,27 | 16,42 | 20,10 | 22,87 | 22,41 | 19,50 | 14,93 | 10,48 | 7,44 | 14,39 |

Esto se puede conseguir hasta determinados límites con las labores profundas, pero se efectúa mejor, y de un modo más duradero, con un buen drenaje. Aumentando el espesor de la capa removida y activa del suelo, el drenaje regulariza el aprovisionamiento de agua de las plantas.

El agua estancada perjudica al suelo; pero ocurre todo lo contrario con el agua en movimiento, que no hace más que pasar y atravesar la capa superior del terreno. Esta agua arrastra los productos de oxidación de las materias orgánicas contenidas en el suelo y proporciona a su paso una nueva provisión de oxígeno; airea el suelo, y el principal resultado del drenaje de las tierras anteriormente impermeables es el de llevar la capa de oxidación a una profundidad mayor, donde están colocados los drenes. El drenaje, actuando como las trompas que se emplean en nuestros laboratorios, tiende constantemente a producir el vacío encima de sí, y con ello se origina al mismo tiempo una fuerza mecánica que, arrastrando parcialmente las partes finas, arena y arenilla, aumenta cada vez más los intersticios por los cuales el agua, y detrás de ella el aire, pueden penetrar en el suelo. De esta agua, la tierra arcillosa retiene del 25 a 35 por 100, y el resto, que entonces penetra fácilmente por las raíces de las plantas, contiene bastante oxígeno para proporcionarlo a estas raíces y al propio tiempo para nitrificar las sustancias orgánicas que deben servirles de alimento. Las labores profundas practicadas después del drenaje completan su acción; pero sin drenaje la influencia de las labores profundas es mucho menor y menos duradera; generalmente no penetran más que a 40 centímetros, y rara vez a más de 50 centímetros de profundidad; favorecen el acceso de agua hasta esta profundidad, pero allí esta agua queda estancada, y no pudiendo expulsar por abajo al aire cargado de ácido carbónico a que substituye, lo empuja hacia arriba, impidiendo así la llegada de un aire más puro.

La *avena* consume relativamente más agua que el trigo; según Risler, 250 kilogramos aproximadamente para formar un kilogramo de substancia seca; el *maíz*, únicamente 216. En cuanto a calor y luz, la zona de cultivo del maíz coincide con la de la *vid*; pero ésta necesita mayor cantidad de agua.

En Calèves, la *viña* (a razón de 12 a 13.000 cepas por hectárea) evapora, en los días buenos de julio, aproximadamente 1 kilogramo de agua por cepa, o sea 1,2 a 1,3 mm. por hectárea. Para producir fécula, azúcar o alcohol, los países de clima templado tienen la patata y la remolacha: la primera se conforma con 0,75 a 1,5 mm. de agua como promedio y en tierras ligeras; la segunda necesita más agua, sobre todo en los meses de julio, agosto y septiembre, y en los llanos de los alrededores de París sufriría sequía si sus raíces no pudiesen hallar reservas de humedad en las capas profundas del limo.

Entre las leguminosas que sirven como forrajes, el *pipirigallo* es la que menos agua exige.

El *trébol*, para preparar su primera siega requiere cerca de 3 milímetros diarios, y la segunda depende en absoluto de la cantidad que reciba durante el verano.

La transpiración de la *alfalfa* es todavía más abundante que la del trébol; llega por lo menos a 3,4 mm. diarios y las lluvias de primavera o de verano que caen en nuestro clima no alcanzan ni de lejos esta cifra. Es, pues, preciso que la alfalfa recurra a la humedad que la tierra ha almacenado durante el invierno, y por esta razón su cultivo es preferible en las tierras profundas y frescas que en cierto modo sirven de recipiente para las considerables masas de agua que necesita. Si estas tierras pueden retener agua en un 25 por 100 en peso, la alfalfa puede consumir un 15 por 100 sin llegar al límite en que queda el terreno demasiado seco. Pero en una capa de 60 centímetros de profundidad, el 15 por 100 son 126 mm. de agua, que extraídos de la tierra en el transcurso de dos meses equivalen a una lluvia media diaria de 2 milímetros. Añadiéndola a la lluvia que realmente cae, por ejemplo, en los alrededores de París, 1,55 milímetros durante los meses de mayo, junio y julio, se llega a un promedio de 3,55 mm. de agua por día, que puede bastar para el consumo de la primera siega de la alfalfa. Mas para alimentar la segunda y la tercera siega es preciso que, gracias a sus largas raíces, absorba a profundidades cada vez mayores de 60 centímetros. Esto es posible en los limos que tienen más de un metro de espesor y que descansan sobre terrenos permeables como la caliza y el

yeso. Cuando debajo del limo hay arcilla, y el drenaje, como en Brie, se ha practicado a un metro, las raíces de la alfalfa descienden hasta el nivel de los drenes. En el sur de Francia se llegan a obtener hasta cuatro o cinco siegas de alfalfa, o sean de 12 a 15.000 kilogramos de forraje seco por hectárea, aunque para lograr esto es preciso regar.

Con mucho sol y mucha agua, realmente se convierte la alfalfa en la *merveille du mesnage*, como ha dicho Olivier de Serres.

La cifra de 7 mm. diarios que Schübler, Marié-Davy y M. Risler han hallado para la evaporación de las *praderas naturales*, supone igualmente que estas praderas están abundantemente dotadas de agua en la estación más calurosa del año, es decir, regadas. Esta cifra no se aleja de la de un litro por segundo y por hectárea (8,6 mm. diarios) que se emplea en el mediodía de Francia.

En su Memoria sobre el empleo de las aguas de riego, Hervé-Mangon cita una pradera de Isle (departamento de Vaucluse) donde ha aforado 1,126 litros por segundo y hectárea. Las aguas de lluvia que caen directamente sobre una hectárea de pradera, no alcanzan en ninguna parte de Francia promedios de 7 mm. La tabla de la pág. 11 no da 4 mm. para el promedio de abril, mayo y junio, más que para Settons en Morvan. Caen más de 3 mm. en Bagnères-de-Bigorre y en Besançon. Pero en Grenoble, Ginebra, Lyon y Limoges no hay más que 2,5 mm. aproximadamente; en Nancy, Lille y Ruán, 2 mm., y en París, 1,55 milímetros. Pero con un promedio de 1,55 mm. y 2,5 mm. de lluvia por día en los meses en que debe efectuarse el crecimiento de la hierba, es imposible obtener henos abundantes. *Es preciso que, además del agua de las lluvias, puedan aprovechar las praderas las aguas que discurran por terrenos más elevados procedentes de manantiales, si los terrenos son permeables, o de las corrientes que se formen, si son impermeables.* Es un riego natural producido por la constitución de los terrenos que están escalonados en las vertientes de las montañas y de los valles, y nuestras obras de riego no consisten en otra cosa que imitar y completar este riego natural acumulando en una misma superficie las aportaciones de agua que la lluvia ha producido

más arriba sobre terrenos inclinados o permeables. Unas veces son los filetes de agua que atraviesan las grietas del granito los que el labriego del Limousin reúne en *balsas* para regar las praderas situadas en el fondo de los valles; otras veces son las lluvias que han caído en las mesetas agrietadas de las calizas jurásicas, que van a perderse en las *cavernas*, y más abajo reaparecen en la superficie de las margas del terreno liásico o del oxfordiano, las que sirven para regar las pradera y abreviar el ganado que se alimenta de los pastos. En el capítulo destinado al régimen de las aguas en las diversas formaciones geológicas, citaremos numerosos ejemplos.

En todas partes conviene convertir en praderas permanentes las partes bajas de los terrenos que se explotan. Así se aumentan las dotaciones de agua que estos terrenos reciben directamente de la lluvia, haciendo llegar a ellos el exceso de la que ha caído en las alturas, y al mismo tiempo se enriquecen con las substancias fertilizantes, especialmente nitratos que esta agua extrae de los campos.

3.—Cómo dar a las plantas la cantidad de agua que necesitan

El estudio al cual nos acabamos de dedicar enseña que para dar una base racional a los principios del drenaje y del riego y para apreciar la utilidad de estas mejoras es preciso:

1.º *Comparar las cantidades de agua que necesitan nuestras cosechas con las que proporcionan las lluvias caídas directamente en los campos en que se cultivan.*

2.º *Estudiar las tierras desde el punto de vista de su permeabilidad, de su poder de absorción para el agua y de la profundidad de la capa cultivada.*

Efectivamente, el período activo de la vegetación no dura más que algunos meses. Y cualquiera que sea la cantidad de agua que al año caiga, la que llega a las plantas en el corto tiempo de su crecimiento no sería suficiente. Es preciso que encuentre en el suelo reservas, que dependen de sus propiedades físicas y de su profundidad.

Las cantidades de agua que se ofrecen a los vegetales, ¿son insuficientes?

Cuando ello sea posible, convendrá llevar por riego a los campos o a los prados las aguas caídas en superficies más elevadas y de mayor extensión, ya se utilice el caudal de manantiales, ya se aproveche el de los ríos.

Y si falta este recurso, se darán a la tierra con tanto mayor cuidado las labores que la abran a las lluvias y la hagan capaz de conservar el producto. Se profundizarán para aumentar la capacidad del recipiente en que absorben las raíces.

Finalmente, se practicará un drenaje, que, según veremos, es un poderoso medio de aumentar la previsión de agua útil que la tierra contiene y de conservarla.

II. — INFLUENCIA DE LOS CULTIVOS EN EL CAUDAL DE LOS MANANTIALES Y EN EL CAUDAL DE LAS CORRIENTES DE AGUA

El examen de las considerables cantidades de agua absorbidas por las cosechas condujo a M. P. Houllier, ayudante de obras públicas, a emitir ideas interesantes sobre la relación que existe entre la disminución del caudal de las corrientes de agua, el aumento de las superficies cultivadas y los perfeccionamientos de los métodos de cultivo. Sus observaciones se refieren a la cuenca del Soma y sus afluentes, hasta Abbeville inclusive. La superficie correspondiente es de 590.000 hectáreas y la altura de las lluvias de 0,63 mm. por año. El volumen de agua caído alcanzaba a 118 m.³ por segundo, como promedio. Hace cien años el río daba 35 m.³ de agua por segundo; hoy no da más que 27 m.³ o sea una disminución de 8 m.³.

Así, pues, hace un centenar de años:

1.º Existían 170.000 hectáreas más de barbecho que ahora, que dejaban correr un exceso anual de agua de 170.000 por 0,085 igual a 4,6 m.³, promedio por segundo, si se aceptan las cifras de M. Dehérain sobre las cantidades de agua suministradas por los barbechos.

2.º Entonces el suelo producía por hectárea 1.000 kilogramos menos de materia seca, o sea $310.000 \times 1.000 \times 250 = 2,5 \text{ m.}^3$ de agua por segundo más que la cantidad que hoy corresponde al consumo de las 310.000 hectáreas sembradas hace cien años. M. Houllier admite que bastan 250 kilogramos de agua para producir la formación de un kilogramo de materia seca.

Las demás condiciones: evaporación directa, climatología, etc., eran sensiblemente las mismas.

La supresión de los barbechos y la mejora de los cultivos produciría, en consecuencia, un aumento en el consumo de agua que, repartido en todo el año, equivaldría a $4,6 \text{ m.}^3 \times 2,5 \text{ m.}^3 = 7,100 \text{ m.}^3$ por segundo, cifra que se aproxima mucho a los 8 m.^3 por segundo comprobados hoy en el caudal del Soma.

M. Houllier prevé que en el porvenir el caudal de los manantiales que emerjan en cuencas cultivadas, disminuirá nuevamente y que en particular *muchos manantiales permanentes se convertirán en periódicos* (*Comp. rendus de l'Acad. des Sciences*, 6 febrero 1905).

III.— FENÓMENOS QUÍMICOS QUE ACOMPAÑAN LA CIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO

Acabamos de exponer el papel importantísimo del agua en el desarrollo y alimentación de las plantas. Es la historia del agua fisiológica. Aun tiene otro cuyos múltiples capítulos no son menos interesantes. Queremos hablar de los fenómenos de que depende su presencia y su circulación en el suelo.

Cayendo en forma de lluvia o de nieve, precipitándose en forma de rocío, el agua aporta al suelo elementos cuya importancia en la vegetación conocemos: oxígeno, ácido carbónico, nitrógeno combinado, amoníaco o ácido nítrico. Más tarde indicaremos las proporciones. A menudo, después de llenar los intersticios que separan las moléculas terrosas, se filtra al subsuelo, o siguiendo las pendientes de una capa impermeable va a salir lejos y arrastra aire para substituirlo en las capas

que ha atravesado y que abandona. Así la lluvia, después de haber suministrado por sí misma oxígeno a la tierra, y por su movimiento en las capas profundas, produce una aireación tanto más enérgica cuanto mayor es su masa y más rápido su descenso.

La propiedad que posee de aumentar de volumen al solidificarse la hace un auxiliar del labrador. La tierra labrada antes del invierno se reconoce bien en primavera. Las alternativas de hielos y deshielos la han reducido a polvo. Pero además gracias a ella la tierra se ha formado en sus orígenes y en algunos lugares continúa formándose. El agua, por estas alternativas de hielo y deshielo, disgrega las rocas más o menos porosas por donde se infiltra.

Arrastrados por los torrentes o por los cursos de agua, los minerales frotándose entre sí se desmenuzan en un limo impalpable. Con ayuda del agua, el ácido carbónico y el oxígeno del aire atacan a la mayoría de las rocas y las reducen a tierras finas. Las rocas silicatadas pierden sus bases: potasa, sosa, cal, magnesia, y dan carbonatos eliminados por el agua. El silicato de alúmina que contienen permanece intacto y, al hidratarse, forma la arcilla. En cuanto al óxido de hierro, queda con la alúmina.

El granito sufre la misma alteración. Los esquistos se destruyen y se exfolian con gran facilidad. Las piedras calizas, en presencia del ácido carbónico, se disuelven lentamente en el agua. El agua, pues, ejerce una acción directa muy importante sobre la tierra arable, ya actúe mecánicamente como cuando se transforma en hielo por el frío e introduciéndose como una cuña rompe las rocas más duras, ya sea cuando en presencia del ácido carbónico las ataca lentamente.

Aquí no trataremos más que del agua contenida en el suelo. También mencionaremos de paso la acción considerable que los glaciares ejercen sobre las rocas que constituyen su lecho. Se sabe que estas enormes masas de hielo se desplazan lentamente y que, durante su marcha, los guijarros y las piedras que aprisionan desgastan las paredes de las rocas próximas, arrancando fragmentos que transportan lejos, como lo atestiguan sus morenas frontales.

En estos últimos tiempos se ha hecho mucha luz sobre el papel indirecto, pero muy importante, que juegan los seres inferiores y los microorganismos en la descomposición de las rocas y en la formación de la tierra arable. Los microorganismos que pululan por el suelo todos producen ácidos carbónico o nítrico. Si se establecen sobre una roca, ya más o menos descompuesta, es evidente que ayudan a su destrucción. Así lo ha comprobado M. Muntz: «Uno de los ejemplos de más relieve — dice — me fué proporcionado por un macizo de los Alpes del Oberland de Berna, el Faulhorn (Pico podrido), que está constituido por una caliza esquistosa negra y quebradiza en vías de desmenuzamiento y cuya masa está toda ella invadida por el fermento nítrico.»

A las arenas, a las arcillas, al hierro y a la cal se añade el mantillo que resulta de la descomposición de la materia orgánica de los residuos vegetales que se han ido sucediendo en el suelo. Es el testigo y la garantía de la fertilidad. Esta descomposición de la materia orgánica a la cual es debido, se efectúa gracias a la intervención activa de los microbios, a la de los hongos y a la de los gusanos de tierra, como demostró Darwin. Las *lombrices* se nutren de hojas muertas y de restos de plantas; sus excrementos forman el mantillo. Además, abren surcos en la tierra en todos sentidos, favoreciendo la penetración del aire y del agua.

«La tierra es algo vivo» — dijo M. Berthelot. Pero este «algo» no puede ser vivo más que con la condición de contener bastante agua para mantener la vida. Se necesita agua para el desarrollo de las algas que fijan el nitrógeno del aire (Schlœsing, hijo, y Laurent). Se necesita agua para nitrificar (Schlœsing y Muntz).

La nitrificación, que tanto interés tiene para fertilizar el suelo, se detiene completamente en la tierra seca. En cuanto la tierra contiene 0,05 por 100 de agua, la nitrificación principia; de 0,10 a 0,15 por 100 parece ser el grado óptimo de humedad. Es claro que, siendo la nitrificación un fenómeno de oxidación, debe cesar si la tierra está saturada de agua, pues entonces ya no contendría oxígeno. La vida microbiana, para ejercerse, requiere agua y materias orgánicas. Se puede des-

arrollar al máximo en las tierras proporcionándoles agua y estiércol.

Las plantas asimilan ácido carbónico del aire para formar materia orgánica. Los animales que se nutren de plantas por su parte también la forman. Es preciso que esta materia orgánica sea luego descompuesta, a fin de que el ácido carbónico y las sustancias minerales que encierra vuelvan a entrar en la circulación. Así se cierra el ciclo de la vida. Los organismos inferiores, animados por el calor, por la humedad y por el oxígeno, se encargan de esta descomposición, que va simplificando poco a poco la materia orgánica. Como dijo Pasteur, sin agua cesaría la vida, porque pronto la tierra estaría llena de cadáveres. El agua es absolutamente indispensable a su actividad.

Los medios absolutamente secos suspenden su funcionamiento útil. El agua adquiere aquí nueva importancia; la simetría, la armonía que se admira en los fenómenos naturales, el ciclo que recorren sus agentes, reaparecen en el estudio de las relaciones entre el agua y la sustancia orgánica. Después de haber contribuido a su creación, dando vida a las plantas junto con el calor y la luz, el agua contribuye a destruirla. Y así asegura su perpetuidad.

1.—Poder absorbente de las tierras para las materias fertilizantes

Cabe preguntar si las considerables cantidades de agua necesarias para la fertilidad de las tierras y la vida de las plantas arrastran a las profundidades del subsuelo los elementos de fertilidad acumulados, casi siempre, con grandes gastos en la superficie. La lluvia, el riego y, en fin, cualquier aportación de agua, ¿no pueden convertirse en factores nocivos y agotar las tierras? No, gracias a una propiedad feliz descubierta en 1819 por el italiano Gazerri y en 1848 por los ingleses Huxtable y S. Thompson; es decir: *la que posee la tierra vegetal de fijar ciertos principios fertilizantes*. Sin esto no sería posible la fertilidad. La lluvia arrastraría en seguida

los alimentos de las plantas. El riego se haría imposible. Lavaría las tierras hasta el agotamiento.

Huxtable comprobó que filtrando purín (parte líquida del estiércol) en la tierra, se obtiene un líquido incoloro, desprovisto de olor. Por su parte, Thompson reconoció, hacia la misma época, que la tierra retiene en estado insoluble el amoniaco de una sal como el clorhidrato, el sulfato o el nitrato. Way extendió estas investigaciones a otras substancias. Probó que el poder absorbente de las tierras se ejerce sobre todas las bases alcalinas y terrosas necesarias para los vegetales. Así es que, como ha dicho M. Schloesing, «el suelo no es ya únicamente el laboratorio donde se forman los principios fertilizantes o donde se preparan en forma conveniente para su asimilación». Aparece también como un almacén donde se acumulan, «donde se ponen en reserva». Liebig, Brustlein y, en estos últimos años, M. P. de Mondésir, han completado las primeras investigaciones sobre el poder absorbente.

Way ha medido su valor. Se ejerce muy enérgicamente, pero fácilmente queda satisfecho. La proporción de principios absorbidos no excede de dos tercios de milésima del peso de la tierra, lo que representa de 6.000 a 9.000 kgs. de álcali por hectárea, cuyo peso se supone de 3.000.000 de kgs.; es decir, una cantidad muy superior a la que requieren las plantas más exigentes.

Las cantidades de álcalis fijadas dependen del grado de aprovisionamiento de las tierras. Así, *el poder absorbente de la tierra es casi nulo para la sosa y la cal. Es mucho mayor para la potasa y el amoniaco*. En efecto, el suelo es incesantemente despojado de estas dos bases. Todas las plantas consumen potasa. En cuanto al amoniaco, a cada instante es transformado en ácido nítrico. La sosa apenas es utilizada por las plantas. La cal casi siempre se encuentra en proporción suficiente.

Si el álcali se presenta en estado de sal, nitrato potásico, sulfato amónico, únicamente se fija la base; el ácido se combina con la cal del carbonato cálcico preexistente en la tierra y que se descompone. La condición indispensable para la fijación de estos álcalis, suministrados en forma de sal a las

tierras, es la presencia de cal en el suelo. Si no existe, la materia fertilizante no se fija, pero sí se fija cuando está en forma de disolución acuosa. Así la tierra fijará el amoníaco de una disolución amoniaca, aun con ausencia de cal. Entre los diversos ácidos, *únicamente el fosfórico es retenido por la tierra*. Pero el poder absorbente no es su propiedad capital, sino la de que se combina con las bases del suelo para formar fosfatos insolubles, circunstancia bien feliz, puesto que el ácido fosfórico es uno de los elementos más preciosos para las plantas.

El ácido nítrico no puede formar más que sales solubles y la tierra no lo retiene. Así, este principio fertilizante, de una importancia tan grande, no es conservado por el suelo. Ocurre lo mismo con la cal que, en presencia del ácido carbónico de que está cargada la atmósfera confinada en la tierra, se disuelve en el agua.

El poder absorbente del suelo entra en la categoría de fenómenos atribuidos a la afinidad capilar (M. Schloesing). Se ejerce sobre las disoluciones acuosas de los álcalis. Se ejerce sobre sus disoluciones salinas, siempre que, gracias al carbonato de cal, puedan transformarse en carbonatos por doble descomposición. *No pertenece ni a las calizas puras ni a las arenas puras, sino a la arcilla o al mantillo*. Como todas las tierras vegetales contienen mantillo, todas manifiestan poder absorbente.

2.— Composición de las disoluciones contenidas en el suelo

Es muy interesante, desde el punto de vista de la desecación de las tierras o, por el contrario, de su riego, conocer cómo se comporta el agua una vez en el suelo con relación a los principios fertilizantes. Por esto debemos decir algo del poder absorbente del suelo respecto a esos elementos. El estudio de la composición química de las disoluciones contenidas en el suelo es el complemento necesario del estudio del poder absorbente. Lo que de éste hemos dicho hace prever que

las aguas que circulan por la tierra serán pobres en elementos fertilizantes, salvo en lo que se refiere a los nitratos, que no son retenidos por la tierra y la caliza. Muchos experimentadores han analizado las aguas de drenaje que entrañan disoluciones que han atravesado el suelo y el subsuelo. Veamos los resultados obtenidos por M. Risler en su propiedad de Calèves.

El 25 de mayo de 1872 el colector funcionaba muy lleno. Desde principio del mes habían caído 135 milímetros de lluvia. El agua de drenaje era turbia. Por cada litro contenía:

0,0127 gramos de substancias en suspensión, separadas por filtración, y 0,3167 gramos de substancias disueltas. Estas substancias se componían de:

| | |
|------------------------------------|---------------|
| Sílice | 0,0105 gramos |
| Precipitado por amoníaco | 0,0075 » |
| Carbonato cálcico | 0,2370 » |
| — de magnesia | 0,0257 » |
| Acido sulfúrico | 0,0017 » |
| Cloro | 0,0020 » |
| Potasa y sosa | 0,0140 » |
| Acido nítrico | 0,0033 » |
| Pérdidas, etc. | 0,0150 » |
| Total. | 0,3167 gramos |

El agua contenía por litro 42,85 cm.³ de gases, compuestos de:

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Acido carbónico | 30,50 cm. ³ . |
| Nitrógeno | 10,10 » |
| Oxígeno | 2,25 » |

El 8 de agosto, después de una serie de lluvias y tormentas que habían durado unos diez días, el agua de la misma procedencia, turbia y de aspecto lechoso, contenía por cada litro 0,083 gramos de substancias en suspensión y 0,305 gramos de substancias disueltas, de las cuales 0,0018 gramos eran de ácido nítrico, pero no existía amoníaco.

Way ha efectuado numerosos análisis de aguas de drena-

je, cuyos resultados ha resumido M. Schloesing en el siguiente cuadro:

| | Substancias contenidas en un litro de agua de drenaje | | |
|-------------------------------|--|-------|-------|
| Potasa. | De 0 | a 3 | mgrs. |
| Sosa | 12 | a 45 | » |
| Cal. | 33 | a 185 | » |
| Magnesia | 3 | a 35 | » |
| Oxido de hierro y alúmina. . | 0 | a 18 | » |
| Sílice | 6 | a 25 | » |
| Acido fosfórico | 0 | a 1,7 | » |
| Amoníaco. | 0,1 | a 0,3 | » |
| Acido nítrico. | 27 | a 165 | » |
| Cloro y ácido sulfúrico . . . | Extraordinariamente variables | | |

Estas cifras demuestran que las aguas subterráneas no arrastran más que débiles cantidades de substancias fertilizantes, exceptuando los nitratos y la cal.

Los nitratos son extraídos en proporciones realmente importantes. MM. Lawes, Gilbert y Warrington estiman que, como promedio anual, las aguas de drenaje extraen de una tierra no cultivada unos 47 kilogramos de nitrógeno nítrico, lo que equivale a un abono de 300 kilogramos de nitrato sódico. La pérdida es mucho menor cuando la tierra está cultivada. Varía además según los abonos y las siembras que se han dado a la tierra. MM. Lawes y Gilbert hallaron en uno de los campos de la hacienda de Rothamsted, cultivado desde 1884, que el promedio de la cantidad de nitrógeno perdida por hectárea y año, durante el período 1881-1894, varió, según los abonos, de 16,73 kilogramos a 82,81 kilogramos.

P.-P. Dehérain, en el clima de Paris y en la Escuela de Grignon ha efectuado importantes investigaciones sobre este punto y ha llegado a resultados del mismo orden. Ha hallado que si los barbechos podían dejar perder por hectárea y año 209 kilogramos de nitrógeno, y también en el caso de un barbecho cultivado hasta 220 kilogramos, las tierras cultivadas no dejaban perder más que 2,5 kilogramos (vallico), 0,3 kilogramos (remolacha), 24,2 kilogramos (avena), 33,25 kilogramos (trigo).

La exportación de la cal, según los experimentos de Rothamsted, alcanza a 230 kilogramos por hectárea y año; las de la magnesia, potasa y ácido potásico son muy escasas. Además, como ya se había comprobado en Rothamsted, las pérdidas de ácido nítrico son más considerables a fines de otoño y en invierno, época en que las tierras están desnudas, y mínimas durante el periodo de la vegetación. Las plantas cultivadas absorben los nitratos que serían arrastrados por las aguas. El malogrado sabio se fundaba en esta observación para preconizar el siguiente medio de lucha contra el arrastre de los nitratos por las aguas de lluvia: practicar cultivos secundarios después de la siega. Las plantas forrajeras, como las arvejas, pueden enterrarse provechosamente en otoño y constituyen un excelente abono verde que incorpora al suelo el nitrógeno que las lluvias hubiesen arrastrado. Evidentemente es necesario que el final del verano no sea muy seco y que haya llovido lo suficiente para facilitar la obtención de esta cosecha secundaria, sin lo cual los gastos por ella requeridos no se cubrirían.

¿Las aguas de drenaje representan, efectivamente, las disoluciones que empapan la tierra y que existen en su suelo? Se puede decir que están diluidas por las aguas de lluvia y que, por consiguiente, tienen una composición diferente. M. Schloesing ha resuelto esta cuestión gracias a un método y a un aparato extraordinariamente ingeniosos. Este aparato extrae las disoluciones contenidas en el suelo sin modificar su composición.

El cuadro siguiente da el resultado del análisis de las disoluciones extraídas de siete terrenos fértiles. Estos resultados demuestran que la composición de las aguas contenidas en el suelo es sensiblemente la misma que la de las aguas de drenaje. Lo mismo que las aguas de drenaje, están casi por completo desprovistas de amoníaco y son muy pobres en potasa y ácido fosfórico. Además, como ocurre con las aguas de drenaje, son bastante ricas en cal y en ácido nítrico. Contienen cantidades notables de sosa y de cloro. La cal se halla, como en sus congéneres, en estado de bicarbonato cálcico. Su riqueza depende de la tensión del ácido carbónico de la

atmósfera confinada en el suelo y con ella aumenta. Por esta razón es muy variable.

| | TIERRA DE BOLONIA | | TIERRA DE ISY | | CINCO TIERRAS DE NEAUPHLE-LE-CHATEAU |
|--|-------------------------------|------|-------------------------------|------|--------------------------------------|
| | (arcillosocalcárea preparada) | | (arcillosocalcárea preparada) | | (arcillosas silic. preparadas) |
| Tanto por 100 de humedad. | 19,1 | 18,8 | 15,8 | 15,8 | 15 a 21 |
| Tanto por 100 de ácido carbónico en la atmósfera de la tierra. | 0,49 | 0,54 | 2,55 | 2,4 | > |

Un litro de disolución contiene:

| | miligr. | miligr. | miligr. | miligr. | miligr. |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Acido carbónico. | 117 | 199 | 480 | 1438 | 138 a 200 |
| » nítrico. | 305 | 332 | 154 | 231 | 15 a 600 |
| Cloro. | 7 | 6 | 6 | > | 12 a 46 |
| Acido sulfúrico. | 58 | 75 | 50 | 50 | 22 a 50 |
| » fosfórico y hierro. | 0,8 | 2,8 | 0 | 0 | 0,5 a 1,5 |
| Silice. | 29 | 32 | 26 | 34 | 23 a 48 |
| Amoníaco. | trazas | trazas | trazas | trazas | 0 a 0,8 |
| Cal. | 264 | 227 | 301 | 694 | 140 a 311 |
| Magnesia | 13 | 20 | 21 | 47 | 15 a 33 |
| Potasa. | 7 | 157 | 3 | 2,6 | 0 a 5 |
| Sosa. | 8,8 | 14 | 27 | 38 | 18 a 42 |
| Materia orgánica. | 37 | 90 | 64 | 87 | 24 a 50 |

Hemos dicho que Lawes y Gilbert estimaban que por término medio las aguas de drenaje extraen anualmente de una tierra no cultivada unos 47 kilogramos de nitrógeno, que equivalen a un abono de 300 kilogramos de nitrato sódico, pero también hemos dicho que los cultivos reducían considerablemente esta pérdida.

En lo que se refiere a la caliza, suponiendo que la atmósfera confinada en el suelo contenga una centésima de ácido carbónico y que caigan 60 centímetros de lluvia, de los cuales la tercera parte vaya a las capas profundas, se halla que los

2.000 metros cúbicos de agua que pasan del suelo al subsuelo arrastran anualmente 406 kilogramos de caliza (1).

Estas cifras son de una aproximación muy somera; pero bastan para dar una idea de las pérdidas que el agua puede hacer sufrir al suelo, ya provenga de las lluvias, ya se conduzca artificialmente por el riego. Contra las pérdidas de ácido nítrico, las plantas cultivadas constituyen la mejor defensa. El arrastre de la caliza por las lluvias o por las aguas de riego desprovistas de cal demuestra la gran utilidad de los marga-dos y encaladuras periódicos. Volveremos a tratar de ello.

¿En qué medida las disoluciones salinas contenidas en el suelo sirven para alimentar a las plantas?

Con objeto de contestar a esta pregunta, y aconsejados por el conde de Gasparin, a la sazón director del Instituto agromónico de Versalles, MM. Verdeil y Risler analizaron en 1852 las substancias solubles en el agua de las tierras de las granjas que pertenecían a este Instituto (2). Hallaron por kilogramo de tierra y por litro de agua de medio a un gramo de substancias disueltas. Estos extractos se componían de 29,50 a 67 por 100 de materias minerales y de 70,50 a 33 por 100 de materias orgánicas, que contenían de 1,5 a 2 por 100 de su peso de nitrógeno.

A continuación damos los detalles de estos análisis:

Las plantas absorben los principios insolubles o retenidos por el suelo, gracias al jugo ácido que secretan las raíces. El fisiólogo Sachs demostró la acción de este jugo cultivando plantas en vasos cuyo fondo era una placa de mármol. Las raíces dejan huellas que prueban su acción corrosiva sobre las calizas.

Las raíces pueden, pues, atacar directamente los materiales que contienen sus alimentos en estado insoluble. Pero cabría preguntar si las consecuencias que se deducen de estos hechos no restringen demasiado el papel del ácido fosfórico y la potasa disueltos en el agua. Las importantes investigaciones

(1) C.-V. GAROLA, *Contribution à l'étude physique des sols*.

(2) VERDEIL y RISLER, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXXV, 1895, y DE GASPARIN, *Cours d'agriculture*, t. VI, 1863.

que desde 1898 emprendió M. Schloesing, hijo, prueban que estas disoluciones desempeñan en la nutrición de los vegetales un papel mucho más importante de lo que hasta ahora se había supuesto. *Al mismo tiempo prueban una vez más qué precioso agente de fertilidad es el agua y cuán útil es su presencia en el suelo.* Por esto insistimos.

Se sabe que una hectárea de tierra arable con un peso de 3.000 a 4.000 toneladas puede contener de 1 a 2 ó 3 por 1.000 de ácido fosfórico o de potasa, o sea de 1.000 a 3.000 kilogramos de ácido fosfórico total, no disuelto, y aun frecuentemente hasta 4.000 kilogramos de potasa en estado bruto, y aun más, sin disolver. De modo que una tierra que contiene 15 por 100 de agua no contendría en estado de disolución más que 0,45 kilogramos de ácido fosfórico por hectárea, cantidad muy escasa con relación al contenido de la cosecha. Podría también contener de 1 a 2 kilogramos de potasa llamada «asimilable», es decir, en estado soluble, cantidad también muy pequeña si se compara con los 50 kilogramos de potasa que, por ejemplo, una cosecha media de trigo extrae de una hectárea de tierra.

¿Tan pobres disoluciones son, sin embargo, capaces de suministrar a las cosechas las cantidades de ácido fosfórico y de potasa que necesitan?

Si una cosecha de trigo contiene de 30 a 40 kilogramos de ácido fosfórico y si para formarse esta cosecha ha transpirado 2 millones de litros de agua por hectárea, basta que este agua haya disuelto en la tierra de 15 a 20 miligramos de ácido fosfórico por litro. Esto está de acuerdo tanto con el resultado de las investigaciones de M. Schloesing, como con el de las de M. Risler.

Suelos de gres estériles, ineptos para alimentar convenientemente por sí mismos de ácido fosfórico a las plantas, se regaron con líquidos nutritivos que contenían este ácido en dosis diferentes. En estos suelos se cultivaron diferentes plantas que extrajeron su ácido fosfórico casi exclusivamente de las disoluciones que se les ofrecían. Sin adición de ácido fosfórico en las disoluciones, las plantas se desmedraron. En presencia de disoluciones que contenían cantidades de ácido fosfórico semejantes a las que existen en las tierras arables, prosperaron; con aguas

| DESIGNACIÓN DE LOS ANÁLISIS | MALLO | PAISANERÍA | CÉSPED | AVENIDA DE LA REINA | HUERTA | SATORY | ARCILLA DE GALY | CALIZA DE GALY | TERRA | ARENISGA | PROMEDIO |
|--------------------------------|-------|------------|--------|------------------------|--------|--------|-----------------|----------------|-------|----------|----------|
| Materias orgánicas. | 43,00 | 70,40 | 35,00 | 44,00 | 37,00 | 33,00 | 48,00 | 47,00 | 46,00 | 47,04 | 45,14 |
| Cenizas. | 57,00 | 29,50 | 65,00 | 66,00 | 63,00 | 67,00 | 52,00 | 53,00 | 54,00 | 52,06 | 54,86 |

Composición por 100 de cenizas

| | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-----------|-------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-------|-------|
| Sulfato cálcico. | 48,92 | 31,49 | 48,45 | 43,75 | 36,60 | 18,70 | 18,75 | 17,21 | 24,45 | 22,31 | 31,06 |
| Carbonato cálcico. | 25,60 | 35,29 | 6,08 | 6,03 | 12,35 | 24,25 | 45,61 | 48,50 | 30,01 | 31,50 | 26,90 |
| Fosfato cálcico. | 4,17 | 2,16 | 2,05 | 6,32 | 11,20 | 18,50 | 3,80 | 9,90 | 0,92 | 8,10 | 6,69 |
| Oxido de hierro. | 1,55 | 0,47 | 1,21 | 2,00 | vestigios | 3,72 | 0,95 | vestigios | 5,15 | 1,02 | 1,61 |
| Alúmina. | 0,62 | vestigios | » | vestigios | » | 0,90 | 1,55 | » | vestigios | » | 0,30 |
| Cloruros sódico y potásico. | 7,63 | 3,55 | 6,10 | 11,45 | 8,51 | » | 9,14 | 6,21 | 6,06 | 4,05 | 7,58 |
| Silice. | 5,49 | 13,67 | 25,71 | 15,61 | 19,60 | 21,60 | 5,00 | 5,50 | 8,75 | 15,58 | 18,65 |
| Potasa y sosa de los silicatos. | 3,17 | 4,25 | 5,06 | 4,13 | 7,23 | 4,65 | 7,60 | 8,32 | 7,45 | 6,57 | 5,01 |
| Magnesia. | » | » | » | » | vestigios | » | 7,60 | 5,26 | » | » | 1,59 |
| Otras substancias. | 2,85 | 9,14 | 4,55 | 7,66 | 4,41 | 7,78 | » | » | 16,63 | 7,78 | » |



de 2 miligramos por litro se obtuvo un magnífico maíz, y con sólo 0,5 miligramos a un miligramo, trigos que corresponden a los de cosechas convenientes.

Otro experimento evidenció que las plantas se pueden alimentar suficientemente de potasa a costa de disoluciones que no contengan más que algunas millonésimas.

En estos experimentos las soluciones nutritivas se renuevan, naturalmente, de un modo constante. Las plantas se riegan de un modo regular con ayuda de dispositivos especiales, y gracias a este contacto incesante con el líquido alimenticio, por pobre que sea, las plantas pueden prosperar. Pero M. Schläsing ha demostrado que en las condiciones normales los suelos ponen a disposición de las raíces soluciones cuyo tanto por ciento de ácido fosfórico y de potasa permanece constante. Ha analizado soluciones contenidas en un mismo suelo, tomadas en la misma época, aunque en diferentes estados de humedad, y ha comprobado que la dosis de ácido fosfórico y de potasa de estas disoluciones es casi invariable. Así, en muestras de tierra muy arenosa de Joinville-le-Pont, pasando la humedad del 5 al 11,5 por 100 y al 25 por 100, la cantidad de ácido fosfórico contenida en el primer litro de la disolución que empapaba la tierra, extraído por disolución, fué sucesivamente de 1,02 miligramos, 1,19 miligramos y 1,05 miligramos. En otra muestra, procedente de una tierra de la propiedad de M. Brandin, de Galande (Seine-et-Marne), variando la humedad de 12,4 por 100 a 22 por 100 y el agua inicial contenida en la tierra variando también de 5 litros a 8,8 litros, la cantidad de ácido fosfórico extraída del primer litro fué de 0,09 miligramos y de 0,12 miligramos.

Así es que, a pesar de las variaciones considerables de la humedad, la cantidad del elemento fertilizante contenido en la disolución que impregna la tierra permanece sensiblemente constante en el mismo suelo y en el mismo momento.

Entre la cantidad de ácido fosfórico o de potasa insoluble y el agua se establece un estado de equilibrio por reacciones químicas muy complejas. Según las variaciones del contenido en ácido fosfórico o en potasa de la disolución que baña las partículas terrosas y las raíces de los vegetales, se rompe dicho

equilibrio en uno u otro sentido. Las plantas absorben cierta cantidad de materia fertilizante; entonces disminuye la riqueza de la disolución; pero la cantidad insoluble disponible suministra la dosis necesaria para que el equilibrio se restablezca. Lo mismo ocurre si se altera por la lluvia o por una sequía persistente. Esta constancia relativa se explica muy bien cuando se reflexiona que la cantidad de materia fertilizante que se disuelve es muy pequeña con relación a la de potasa o ácido fosfórico, que la mantiene en virtud del equilibrio considerado.

Así, del hermoso trabajo de M. Schloësing, hijo (1), resulta, por una parte, que las disoluciones nutritivas muy débiles — 0,95 miligramos, 1 miligramo, 2 miligramos — pueden suministrar a las cosechas las cantidades necesarias de ácido fosfórico y de potasa. Por otra parte resulta que la riqueza de estas disoluciones contenidas en el suelo se mantiene constante, gracias a un equilibrio químico. La renovación de las cantidades de ácido fosfórico y de potasa se efectúa a medida que las plantas absorben lo que necesitan. Y esta renovación se efectúa bastante de prisa — en algunas horas para una tierra que se riegue ligeramente con agua —, de modo que en el transcurso de la duración de una cosecha es capaz de suministrar a las plantas todo el ácido fosfórico que absorben.

Esta renovación constante del ácido fosfórico — y de la potasa —, soluble a medida que las plantas lo van consumiendo, hace que, a pesar de su relativa escasez, el ácido fosfórico desempeñe un papel muy importante en la fertilidad de los campos. El agua, en cierto modo, le sirve de vehículo. Es verdad que transporta muy poco cada vez, pero este transporte es incesante. Además, como quedó establecido por M. Schloësing, la proporción de ácido fosfórico soluble que puede suministrar una tierra es considerable respecto de las necesidades de la cosecha. Mezclando enérgicamente 300 gramos de tierra con 1.300 cm.³ de agua — según un procedimiento particular —, decantando enseguida un litro y reemplazándolo por agua nueva, repitiendo luego estas operaciones gran número de veces y analizando los diversos litros decantados, ha podido

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 13 mayo 1901.

fácilmente obtener el total del ácido extraído por el agua a 300 gramos de tierra, y de aquí deducir el de la hectárea de un peso medio de 4.000 toneladas, aunque no llegó a determinar la cantidad verdaderamente suministrada, pues la tierra no se agotó por completo. Así vió que una muestra de tierra de Boulogne (Sena) podía dar, sometida en su totalidad al experimento, una cantidad de ácido fosfórico por hectárea hasta de 440 kilogramos de ácido soluble en el agua; la tierra de Joinville puede contener 210 kilogramos; una tierra de Neauphle, 130. Por tanto, en una hectárea de tierra de fertilidad conveniente, como las precedentes, hay una proporción de ácido fosfórico soluble en agua que por sí sola podría bastar para las necesidades de cinco, de diez y hasta de veinte cosechas. Esta proporción se sostiene por los abonos, por la descomposición de los residuos de las cosechas y por la de los fragmentos de rocas que hay en el suelo.

M. Schlœsing (1) hace notar que en sus experimentos tuvo que emplear gran cantidad de agua con relación al peso de la tierra, porque era el único medio de rebajar la riqueza de los líquidos y permitirles disolver suficiente cantidad de ácido fosfórico. Pero las raíces de las plantas son capaces de rebajar la riqueza de las disoluciones y de prolongar así indefinidamente la acción disolvente ejercida en el suelo por una misma masa de agua, aun siendo escasa.

A la gran cantidad de pruebas que M. Schlœsing había logrado reunir en su favor, quiso añadir una demostración directa del papel importante que en la alimentación de las plantas desempeña el ácido fosfórico soluble en el agua.

Para ello dosificó el ácido fosfórico de las disoluciones extraídas del mismo suelo cultivado y no cultivado. Experimentó en dos tierras: una de ellas, la de Boulogne, muy rica relativamente en fosfatos solubles en el agua; la otra, la de Galande, particularmente pobre.

Halló tales diferencias entre las cantidades de ácido fosfórico contenido en las soluciones extraídas de las tierras no cultivadas y de las que se cultivaron, que quedó claramente

(1) TH. SCHLÆSING, hijo. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1898.

establecido que las plantas empobrecieron las tierras de un modo muy notable y en su provecho de fosfato soluble en el agua.

M. Schlœsing, hijo, fué más lejos todavía. Después de separar con gran cuidado las plantas del suelo, dosificó el ácido fosfórico de las plantas enteras y, comparando los resultados obtenidos (disminuídos en la pequeña cantidad preexistente en la semilla) con la pérdida de fosfatos solubles experimentada por el suelo, halló que el maíz cultivado en la tierra de Boulogne contenía 1.115 miligramos de ácido fosfórico, al mismo tiempo que los 36 kilogramos de tierra que servían para el experimento habían perdido 1.012 miligramos de ácido fosfórico soluble en el agua, y que, en las tierras de Galande, el maíz cosechado contenía 450 miligramos de ácido fosfórico contra 199 miligramos perdidos por la tierra.

Así, en la tierra fértil de Boulogne, el maíz extrajo de los fosfatos solubles en el agua la casi totalidad del fósforo asimilado y cerca de la mitad en la tierra de Galande. Estas proporciones son mínimas, pues no habiendo sido completos los agotamientos de las tierras por lavajes sucesivos, no pudo evaluarse exactamente la absorción por las plantas.

Los fosfatos solubles en el agua — la potasa también soluble — desempeñan en la alimentación de las plantas un papel mucho más importante de lo que hasta ahora se suponía. De las investigaciones de M. Schlœsing, hijo, se pueden deducir nuevas conclusiones en favor de la importancia del agua en la vegetación. El agua del suelo, dice, puede considerarse como el vehículo de una gran parte, de la mayor parte tal vez, del ácido fosfórico (y de otros principios) absorbido por las raíces. Más exactamente, puede constituir un medio que utiliza el ácido fosfórico para ir del suelo a las raíces, las que, a su vez absorben este ácido y el suelo repara esta pérdida. Para ello no es preciso que el agua se renueve ni que sea muy abundante, si bien cuanto más abundante es, tanto mejor cumple su misión. No es preciso tampoco, para que el ácido fosfórico entre en la planta, que el agua sea absorbida al mismo tiempo que aquél; en este aspecto, el agua y el ácido son independientes desde este punto de vista. Este medio de comunicación que el

agua representa, sólo deja circular a la vez una corta cantidad de ácido fosfórico; pero la circulación es incesante en el período de vegetación y llega a suministrar a las plantas una importante cantidad de alimento. Sin este proceso constituiría un medio inútil para la vegetación una parte de los fosfatos no disueltos, que las raíces no tendrían la probabilidad de hallar en el suelo y que, por consiguiente, no podrían atacar directamente.

CAPITULO II

RELACIONES ENTRE LA TIERRA, EL AGUA Y LA ATMÓSFERA DESDE EL PUNTO DE VISTA FÍSICO

I. — PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

El suelo que soporta las plantas es el almacén donde éstas encuentran sus alimentos y el recipiente donde abrevan. Ya puede preverse que su constitución física no puede ser indiferente a esta doble función. Es claro que su capacidad mayor o menor, su grado de permeabilidad, de humedad, la cohesión de sus partículas, etc., ejercerán una influencia manifiesta en el recorrido de las raíces, y, por consiguiente, en la alimentación de las plantas. Pero ésta depende especialmente de las disoluciones salinas y de los gases que circulan por la tierra. El estudio de las relaciones entre la atmósfera, el agua y el suelo tiene, pues, una extraordinaria importancia desde el punto de vista general. Adquiere un interés capital cuando se trata de aportar a la tierra, mediante el riego, el agua que necesita o de extraerle el exceso por un drenaje. *No hay que dar artificialmente a la tierra mayor cantidad de agua que la que es capaz de recibir con arreglo a su grado de permeabilidad, porque dándosela en exceso en primer lugar la estropearía y después porque en todos los casos se cometería una grave falta económica.* Además, según sea más o menos compacta, se dispondrán los tubos de drenaje a profundidad y separación diferentes o se separarán más o menos las regueras o acequias.

Las normas para el riego y la desecación de las tierras descansan especialmente en su *poder de absorción* y en su *permeabilidad*. Hace más de 50 años que M. Schloësing explicó las pro-

propiedades físicas de los suelos de un modo tan exacto, que desde entonces los observadores se basan siempre en sus conclusiones. Pero hasta hace poco tiempo, los ingenieros no se preocupaban bastante, y así se han trazado canales muy caros, para regar tierras de constitución física no apropiada para ello. Casi toda el agua se reparte entre los ribereños sin considerar la aptitud de sus tierras para el riego, cuando algunos terrenos en este respecto están en la relación de 1 a 600. Así se han comprometido capitales no solamente poco productivos, sino que gravan a los usufructuarios con réditos tanto más onerosos, puesto que es poco el provecho que de ello sacan. Desde hace algún tiempo esta interesante cuestión se estudia de un modo continuo. M. Kopecky, director de la estación agronómica de Praga, la ha estudiado en sus relaciones con el drenaje. Un ex alumno del Instituto agronómico, M. de Ville-Chabrolle, publicó en *Anales del Instituto* (t. VII, 2.^a serie) un excelente trabajo sobre estas investigaciones. En Francia, el servicio de ingeniería rural, que desde su creación y con actividad incesante estudia las bases racionales sobre las que se deben asentar sus trabajos, se ha dedicado a este problema fundamental. M. Müntz, miembro del Instituto, nuestro eminente maestro del Instituto agronómico, con M. Faure, inspector de las mejoras, y M. Lainé, preparador de la Escuela Superior de Agricultura, han publicado en los *Anales de la Dirección de Hidráulica y de las mejoras agrícolas* (años 1905, fasc. 33; 1907, fasc. 36 bis; 1913, fasc. 44) muchas memorias muy importantes sobre la permeabilidad de las tierras desde el punto de vista de los riegos.

Estos estudios, empezados en 1905 con M. Faure, proseguidos hasta 1912 con M. Lainé, han contribuido notablemente a resolver esta difícil cuestión.

Lo que le hace tan delicada es que el agricultor no le interesa más que la tierra en el campo, que se comporta de muy diferente modo que una muestra transportada al laboratorio. Sería, pues, preciso que el experimentador trabajase sobre el terreno o que en el laboratorio se colocase en condiciones que se aproximaran en todo lo posible a las de la naturaleza.

El poder de absorción de las tierras, su permeabilidad al

agua y al aire, se suman con las otras propiedades de los suelos, que constituyen un conjunto solidario. Examinaremos unas y otras en el siguiente orden:

1.º **Poder de absorción de las tierras.** *Capacidad total y capacidad absoluta de absorción para el agua. Porosidad. Capacidad para el aire. Número y superficie de las partículas terrosas.*

2.º **Permeabilidad.** *Experimentos de MM. Müntz, Faure y Lainé. Experimentos y aparato de M. Kopecky.*

3.º **Capilaridad.** *Movimientos del agua en el suelo.*

4.º **Desecación de las tierras. Evaporación.**

5.º **Contracción del suelo. Agrietamiento.**

6.º **Temperatura del suelo.**

El conocimiento exacto de las propiedades físicas de los suelos que se trata de mejorar permitirá responder con precisión a las siguientes preguntas:

¿Cómo se comportarán estas tierras sometidas a la acción del agua de lluvias o riego? ¿Cómo circulará esta agua? ¿En qué medida quedará retenida? ¿Qué dosis de riego conviene darle? ¿Qué grado de energía debe alcanzar el drenaje? ¿Cuáles son los mejores procedimientos para favorecer la penetración del agua en la tierra, su difusión, su permanencia y su distribución a las plantas?

1. — Poder de absorción de las tierras

La facultad que tiene la tierra de conservar el agua después de mojada o su poder de absorción, ha sido estudiada por primera vez en las condiciones naturales por M. Risler. Y ya hemos dicho cuanto importaba esto para la exactitud de los resultados.

Valiéndose de una sonda, M. Risler extraía de los campos muestras de tierra que llevaba al laboratorio, donde determinaba la cantidad de agua que contenían. Halló que en su propiedad de Calèves, estas cantidades variaban desde 6,5 por 100 al 25 por 100 del peso total de la tierra (1). Y demostró

(1) EUG. RISLER, *Recherches sur l'évaporation du sol et des plantes*, Ginebra, 1879.

en la época en que se efectuaron sus experimentos, es decir, desde 1869, que las cifras dadas por Schübler para medir el poder de absorción de las tierras eran exageradas, porque no respondían a la realidad.

Schübler empleaba un procedimiento cuya inexactitud fué también puesta de manifiesto por M. Schloesing. Tomaba 20 gramos de tierra seca, la colocaba sobre un filtro y la regaba. Dejaba que el filtro se secase y luego lo pesaba con la tierra húmeda. Previamente había pesado el filtro vacío, mojado y vuelto a secar. Por la diferencia de pesadas determinaba el peso de la tierra húmeda, y, por consiguiente, la proporción de agua retenida por la tierra seca. Así obtenía cifras que variaban desde el 25 por 100 en la arena silícica hasta 190 por 100 en el mantillo. Para comprender el error que cometía hay que examinar cuidadosamente la constitución de una tierra. Cualquiera que sea su naturaleza, siempre está compuesta de partículas porosas de mayor o menor tamaño y separadas entre sí por intersticios capilares. Estas partículas, gracias a la atracción molecular, retienen el agua en su superficie y en sus poros. En los intersticios que las separan, el agua se sostiene a una altura vertical que depende de las fuerzas capilares puestas en juego y del peso de esta agua.

Así, el agua que se filtra en un terreno está sometida a dos influencias: el peso y la atracción por los granos sólidos. Si los intersticios son anchos, hay mucha agua para poca superficie de atracción, el peso vence y el agua desciende. Si, por el contrario, los huecos son de dimensiones capilares, vence la atracción molecular que retiene el agua y aun la hace ascender de nuevo.

Consideremos, con M. Schloesing, un ancho tubo vertical de una altura de 30 a 40 cms., abierto por su extremo superior y cerrado inferiormente por una tela tensa, atada a sus bordes. Pongamos en él tierra más o menos fina, después de llenarlo previamente de agua, y dejemos escurrir el aparato. La misma coloración de la tierra, visible a través de las paredes del tubo, manifiesta que la cantidad de agua va aumentando de arriba abajo.

El tubo se puede dividir en tres partes. En la superior, la

humedad de la tierra es uniforme y relativamente débil; en la segunda es variable, pero creciente desde arriba abajo; en la tercera vuelve a ser uniforme, pero mucho más intensa que en la primera. En la parte superior únicamente están llenos los poros y vacíos los canales capilares; en la parte inferior unos y otros están colmados de agua. Como las partículas que constituyen la tierra no son todas del mismo tamaño, dejan entre sí canales capilares más o menos estrechos que retienen el agua a mayor o menor altura, tanto mayor cuanto más se aproximan a la parte inferior del tubo. Esto explica que entre las dos partes extremas del tubo, de una proporción casi uniforme de agua, exista una región en que la humedad va aumentando de arriba abajo.

En la parte superior del tubo, la fuerza capilar no habrá podido retener hasta esta altura el peso excesivo del agua que llenaba los canales intersticiales. Esta parte de tierra sólo habrá conservado el agua que penetra en los poros de las moléculas o que cubre su superficie. Por el contrario, la tierra de abajo se halla saturada de agua, gracias a los canales intersticiales ya colmados. La tierra de arriba estará *seca*; la de abajo se encontrará en las mismas condiciones que la que M. Schübler había echado en su filtro. Las ideas que anteceden son de M. Schloesing. Véase el cuadro adjunto (pág. 44), que, comparativamente, da los resultados que le suministraron los procedimientos de Schübler y el de la desecación en tubos, aplicados ambos a las mismas tierras.

Este cuadro demuestra cómo el procedimiento seguido por Schübler conduce a resultados exagerados, que han reproducido los tratados de hidráulica agrícola, drenajes y riegos. Por esta razón hemos querido oponerles los números hallados por Risler y Schloesing.

Por poco conformes que los resultados obtenidos por Schübler, Meister y otros autores se hallen en las condiciones naturales, prueban, no obstante, que las tierras pueden contener cantidades máximas y mínimas de agua; máximas, en las partes inferiores del tubo de Schloesing, donde los espacios capilares y las partículas están colmadas de agua; mínimas, en la parte superior.

Influencia de las condiciones experimentales en que se determina el poder de absorción de una tierra

(Los números indican el tanto por ciento de agua retenida)

| | DETERMINACION EN UN FILTRO (Procedimiento Schübler) | | DETERMINACION en un tubo después de la desecación |
|---|--|---|---|
| | Tierra diluida en agua y echa- da luego en el filtro | Tierra disgre- gada sobre el filtro y regada des- pués con agua | |
| Arena fina | 20 | | 7,3 |
| » gruesa | 16 | | 3,0 |
| Tierra arcillosa | 47,7 | 49,0 | 35,0 |
| Tierra arcillocalcárea preparada | 43,5 | 51,7 | 30,0 |
| Tierra arcilloarenosa » de bosque (are- na muy fina). | 45,7 | 54,7 | 37,5 |
| | 57,7 | 61,8 | 42,0 |
| Caliza arenosa | 40,0 | 41,0 | 32,0 |

Estas cantidades corresponden a lo que se denomina *capacidad total para el agua* (máxima) y *capacidad absoluta* (mínima). Pero lo que hemos dicho de las observaciones de Schloësing demuestra cuán variables son, según las condiciones del experimento, estos dos términos, sobre todo el primero. No tendrán valor más que con la expresa reserva de proceder cada vez en condiciones rigurosamente semejantes.

En resumen:

La *capacidad total* de las tierras para el agua es la cantidad total de agua que un peso o un volumen determinado de tierra puede absorber.

Se mide por el volumen total de los espacios intersticiales que una cantidad dada de tierra puede contener. Es sensiblemente constante para las distintas tierras.

Es fácil darse cuenta de ella *a priori*.

En efecto, consideremos un metro cúbico de tierra compuesto de n^3 partículas; el volumen de cada una de estas partículas es de:

$$\frac{4}{3} \pi \left(\frac{1}{2n} \right)^3 = \frac{1}{6} \frac{\pi}{n^3}$$

Y el volumen total:

$$\frac{n^3}{6} \frac{\pi}{n^3} = \frac{\pi}{6}, \text{ valor constante.}$$

La *capacidad absoluta* es la cantidad de agua que un peso o un volumen determinado de tierra puede retener, por adherencia, en la superficie de sus partículas.

Es, pues, proporcional a la superficie total de las partículas que puede contener un peso o un volumen dado de tierra.

Varía sensiblemente con las tierras según que estén compuestas de elementos más o menos finos.

Así, es de un 20 por 100 para una arena gruesa, mientras que puede llegar al 50 por 100 para una arcilla de elementos muy finos.

El conocimiento de la *capacidad absoluta* de las tierras para el agua tiene una gran importancia desde el punto de vista de la fertilidad, pues una tierra que puede retener en la superficie de sus elementos una cantidad notable de humedad sin que sus canales intersticiales estén llenos, deja circular el aire a través de ellos con gran provecho para la vida de las raíces. Por esta razón las tierras arcillosas de elementos finos son muy fértiles, porque pueden retener cantidades enormes de agua en la superficie de sus partículas sin que por ello impidan que el aire circule por los intersticios que las separan.

La *capacidad total* no es de gran interés desde el punto de vista práctico.

La *capacidad de las tierras para el aire*, que depende también de la finura de los elementos, juega igualmente un papel preponderante en la fertilidad.

Los agrónomos que han seguido a Schübler se han esforzado en perfeccionar el método empleado en el laboratorio.

extrayendo muestras en condiciones idénticas y tratándolas rigurosamente del mismo modo; luego, en vez de colocar la tierra en embudos o en tubos muy largos, la han colocado en aparatos de pequeño calibre. Hilgard emplea mejor técnica. Se sirve de una caja cilíndrica de latón de 1 centímetro de profundidad y de 6 centímetros de diámetro.

No entraremos en los detalles del procedimiento. Sólo diremos, según M. Hall (1), que satura de agua la tierra contenida en esta caja sumergiéndola en agua destilada hasta un milímetro por encima del fondo perforado. La deja escurrir, y por pesadas hechas con algún esmero, antes y después de la inmersión, obtiene la *capacidad total*. Para determinar la *capacidad absoluta* pone esta misma capa de tierra (1 cm.) saturada de agua, en contacto con una capa de medio centímetro de espesor de tierra seca, pero que contiene toda su agua higroscópica. Reanuda esta operación hasta que la tierra seca permanece una media hora en la superficie sin manifestar absorción de agua por un cambio de color. Finalmente, pesa la caja y su contenido, luego la seca en la estufa y vuelve a pesar. Así se han obtenido las cifras anotadas en el siguiente cuadro; por ellas puede verse que si la *capacidad total* no varía mucho para las distintas tierras, la *capacidad absoluta* oscila entre límites mucho más amplios.

| | CAPACIDAD TOTAL O MÁXIMA POR 100 | | CAPACIDAD ABSOLUTA O MÍNIMA POR 100 | |
|----------------------------------|-------------------------------------|------------|--|------------|
| | En peso | En volumen | En peso | En volumen |
| Arena gruesa . . . | 31,0 | 50,5 | 15,3 | 22,2 |
| Tierra franca . . . | 33,5 | 55,8 | 22,6 | 35,4 |
| » fuerte. . . . | 49,6 | 67,6 | 36,1 | 45,6 |
| » arenosa hume- decida. . . . | 60,8 | 63,2 | 53,7 | 52,8 |

En todos los casos, estas cifras son superiores a las obtenidas, como ha recomendado Risler (véase pág. 5), extra-

(1) A.-D. HALL, *El suelo en la agricultura*, traducción francesa por A. DEMOLON, ingeniero agrónomo, profesor de la Escuela práctica de Agricultura de Chesnoy.—J. B. Bailliére, Paris, 1905.

yendo muestras de tierra *en el campo* de 10 en 10 centímetros de profundidad, y sólo estas cifras responden a las condiciones reales.

Sin embargo, desde el punto de vista del riego y del drenaje, al práctico no le interesa tanto el valor absoluto de los resultados como el valor relativo. Y sobre todo hay que esforzarse en realizar los ensayos en condiciones tan rigurosamente comparables como sea posible.

M. Kopecky, director de la Estación agronómica de Praga, ha ideado un aparato que en cierto modo subsana las deficiencias achacadas a los experimentos de laboratorio.

Su aparato (fig. 1) se compone de un tubo de acero de 20 centímetros de altura, cuyos bordes inferiores se adelgazan para que en forma de cuña puedan penetrar más fácilmente en el suelo. La parte superior lleva un sombrerete que sirve de cierre. Está provisto de un mango sobre el cual se ejerce presión con el fin de hundir el aparato en el suelo, como se haría con una sonda. El tubo de acero contiene tres cilindros de latón superpuestos de 50,5 milímetros de diámetro y una altura respectiva de 35,4 milímetros, 100 milímetros y 35,4 milímetros. Estos cilindros se deslizan por frotamiento suave a lo largo del tubo, pero el sombrerete de cierre los mantiene inmóviles. Cuando se hunde esta sonda en el suelo, los tres cilindros se llenan. Se retira la sonda del suelo y se cierran los dos extremos del tubo con telas metálicas que se fijan con aros de goma, se transporta el aparato al laboratorio, donde se hacen resbalar con cuidado los cilindros de latón a lo largo del tubo, para extraer las muestras de tierra. Se aparta el cilindro superior y se conserva el central para practicar ensayos de permeabilidad. El cilindro inferior se pone en un plato que contenga

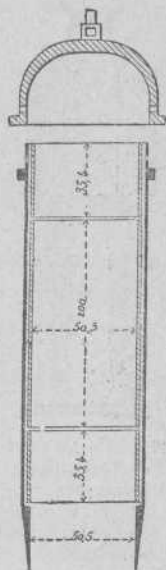


Fig. 1

agua, de modo que la tierra se empape completamente. En seguida se coloca sobre tierra pulverizada y seca, de la misma procedencia que la contenida en él, a fin de que se seque. Cuando ya no varía su peso, contiene la cantidad de agua que corresponde a la *capacidad absoluta de la tierra para el agua*; entonces se seca a 100° y se pesa de nuevo.

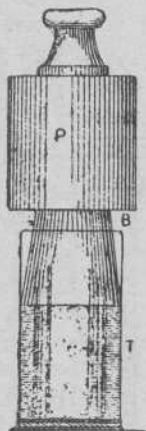


Fig. 2. — Aparato de Müntz, Faure y Lainé para determinar la *capacidad de las tierras para el agua*.

La diferencia entre los dos pesos es igual al peso del agua p que la tierra contiene. Sean: P el peso de la tierra a 100°C ; V su volumen, calculado según el del cilindro que la contiene, y que es igual a 70 c. c.; C_p la capacidad absoluta en peso; C_v la capacidad absoluta de volumen. Se tiene (1):

$$C_p = \frac{100 \times p}{P}, \quad C_v = \frac{100 \times p}{70}.$$

Este método, que consiste en valerse del suelo tal como está el terreno, presenta reales ventajas. Está juiciosamente concebido.

Pero el aparato tiene el inconveniente de no funcionar en condiciones más que en un terreno homogéneamente fino. Se hunde muy difícilmente en los terrenos guijarrosos, como existen tantos en Francia. Por ello Müntz, Faure y Lainé lo substituyeron con un dispositivo de su invención para determinar sobre el terreno la permeabilidad del suelo. Vamos a describirlo.

Para determinar la *capacidad para el agua*, Müntz, Faure y Lainé pasan por un tamiz de 2 mm. la tierra secada al aire y la introducen en un tubo de vidrio T (fig. 2), cuya sección interior es de 10 cm.² Este tubo está cerrado en uno de sus extremos por una tela metálica fina, número 120 , muy tensa. A 5 centímetros del fondo lleva un trazo, indicador de los

(1) A.-D. HALL y A. DEMOLON, *Le sol en agriculture*, 1905.

50 cm.³ de capacidad. Se llena con la tierra que se ha de examinar, por pequeñas porciones, apretadas con un tapón que entra a rozamiento duro y que se carga con un peso de un kilogramo. Cuando el tubo contiene 50 centímetros cúbicos de tierra, se pesa, y como que aparte se ha determinado el agua higrométrica que contenía la tierra desecada al aire, se puede deducir el peso P_s de la tierra seca.

Entonces se satura de agua esta tierra. Y para ello se sumerge la parte inferior del tubo algunos milímetros en una cuba de agua. Esta asciende por capilaridad. Se deja que la tierra se impregne así durante veinticuatro horas; luego se seca, poniéndola en contacto con tierra seca de la misma naturaleza, secada y tamizada hasta no perder más peso; se pesa y se determina otro peso P_p .

Después, como al hidratarse y resecarse la tierra ha podido cambiar de volumen, se prensa nuevamente con un tapón y un peso de un kilogramo encima. Se mide el volumen V .

El peso de agua retenida por la unidad de volumen de tierra o capacidad de agua en volumen, está dado por la fórmula:

$$Cv = \frac{P_p - P_s}{V}.$$

El poder de absorción de las tierras, tal como se comportan en el terreno, se halla evidentemente en relación directa con la totalidad de los espacios que se pueden llenar, de los huecos que contienen por unidad de volumen; la totalidad de estos huecos forma lo que se llama *porosidad*.

El volumen de los huecos, la *porosidad*, se determina comparando entre sí la *densidad absoluta* y la *densidad aparente* de la tierra. El estudio del poder de absorción nos obliga a definir estas densidades.

La *densidad absoluta* D_r o *real* de la tierra se mide por el llamado método del frasco con determinado volumen de tierra, cuidadosamente desmenuzada y prensada, y cuya cantidad de agua se ha calculado por desecación a 100° C. Unos 10 gramos de tierra se secan en la estufa y se pesan, obteniéndose un peso P . Se introducen en un frasco de densidades de 50 cm.³

de capacidad, que se llena con agua destilada, teniendo cuidado de diluir perfectamente la tierra en el agua, a fin de eliminar todo vestigio de aire. Se pesa y se obtiene un peso p , habiéndose previamente determinado el peso p' del frasco lleno únicamente de agua destilada.

La densidad de la tierra es:

$$D_r = \frac{P}{p - p'}$$

Varia poco en las diferentes tierras de composición física normal; oscila alrededor de 2,65.

La *densidad aparente* Da es el peso de la unidad de volumen de tierra con los huecos que contiene. La mayoría de los autores la determinan llenando un vaso metálico de capacidad conocida con la tierra dada; se prensa suavemente; se nivela la superficie con una regla y se pesa. Del peso hallado se deduce la cantidad de agua contenida en la tierra, cantidad que ha sido calculada por la desecación de una muestra a 100° C. La diferencia, dividida por el volumen, da la densidad aparente.

Pero esta disgregación de la tierra y la operación posterior de prensar pueden modificar la colocación de las partículas y disminuir la porosidad. Parece preferible determinar el peso de un volumen de tierra tomado sobre el terreno. Así lo hace Garola utilizando una sonda cilíndrica de 0,05 metros de diámetro, y también del mismo modo lo practica Kopecky con el aparato descrito.

Pesa una muestra de 70 centímetros cúbicos que ha extraído del suelo y deduce de su peso el de la cantidad de agua que contiene, cantidad de agua que determina aparte, desecando a 100° C. La diferencia, dividida por 70, da la densidad aparente.

Müntz, Faure y Lainé, utilizando el aparato representado en la figura 2, calculan la densidad aparente con auxilio de la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{Ps}{V}$$

y la capacidad absoluta en peso C para el agua es suministrada por la fórmula:

$$Cp = \frac{Cv}{Da}$$

He aquí algunas densidades aparentes, según Hall:

| | DENSIDAD APARENTE | PESO POR METRO CÚBICO |
|---|-------------------|-----------------------|
| | | Kilogramos |
| Tierra arcillosa | 1,062 | 1,115 |
| » arcillosilíceo | 1,279 | 1,344 |
| Subsuelo arcillosilíceo | 1,18 | 1,238 |
| Tierra franca | 1,122 | 1,283 |
| Subsuelo de una tierra franca | 1,144 | 1,201 |
| Tierra arenosoarcillosa | 1,225 | 1,288 |
| » arenosohumífera | 0,782 | 823 |
| » arenosa | 1,266 | 1,330 |

Siendo el promedio de la densidad real de las tierras 2,65, se ve qué diferencia la separa de la densidad aparente.

Este cuadro muestra que, contra la comun opinión, no son las tierras arcillosas las más *pesadas*. La expresión de tierras *pesadas* o de tierras *ligeras* corresponde a la mayor o menor resistencia que los suelos oponen a los instrumentos de laboreo y nada más.

En cuanto al volumen v , representado por los espacios vacíos contenidos en la unidad de volumen o *porosidad*, viene dado por la siguiente expresión, en la que Dr y Da representan las densidades real y aparente de la tierra:

$$vDr = Dr - Da, \quad v = \frac{Dr - Da}{Dr}$$

Y la porosidad P expresada en por 100 de volumen:

$$P = \frac{100 (Dr - Da)}{Dr}$$

Si, para cierta tierra, $Dr = 2,58$, $Da = 1,34$,

$$P = \frac{100 (2,58 - 1,34)}{2,58} = 48.$$

La porosidad es tanto menor cuanto más apretada esté la tierra. También varía entre límites muy extensos según su constitución. Por ejemplo, las tierras arcillosas poseen una gran porosidad, mientras las tierras arenosas, no arcillosas, llamadas con frecuencia *tierras ligeras*, tienen una porosidad mucho menor.

Hall estima que en los suelos ordinarios, los huecos varían desde el 25-30 por 100 en las arenas gruesas de estructura uniforme, hasta un poco más de 50 por 100 en las arcillas compactas.

Garola comprobó que en volumen variaban de 38,8 a 47 por 100, según el origen geológico. Así, el promedio quedaría establecido en 40 por 100.

La noción de la porosidad conduce inmediatamente a la de la *capacidad para el aire*, que en las cuestiones de que nos ocupamos desempeña un importante papel.

Se entiende por *capacidad para el aire* el volumen de aire que subsiste en la tierra cuando está satisfecha su capacidad absoluta en volumen para el agua. Se mide deduciendo de la cifra que representa la porosidad, la que mide la capacidad absoluta para el agua. Designando por C_a la capacidad para el aire, se tiene, conservando las precedentes notaciones:

$$P = C_a + C_v, \quad C_a = P - C_v.$$

Sea una tierra de porosidad igual a 48 por 100 y de capacidad absoluta para el agua en volumen a 47,6:

$$C_a = 48 - 47,6 = 0,40 \text{ p. } 100.$$

Kopecky considera que la capacidad para el aire de las tierras de cereales debe ser de 10 a 18 por 100 como mínimo y de 6 a 10 por 100 en las praderas.

La capacidad para el aire es muy débil en las tierras llamadas *asfixiantes*, que es preciso regar con especiales precauciones por su escasa permeabilidad; generalmente veremos que están formadas de arena no arcillosa, de elementos extraordinariamente finos.

Las cifras que hemos dado anteriormente, que son las que

han hallado todos los observadores que se ocuparon de la cuestión, prueban que el volumen de huecos, o sea la porosidad, depende del grado de finura de las partículas. Es fácil comprenderlo. Los espacios elementales vacíos, cuya medida constituye la porosidad, serán tanto mayores cuanto mayor sea la superficie que los limita. A igual peso de tierra, será esta superficie tanto mayor cuanto menores sean las partículas supuestas esféricas.

Se puede, pues, anticipar que el *volumen de huecos o la porosidad está en relación directa con el número de partículas terrosas contenidas en un volumen o en un peso determinado de tierra*. Cuanto más numerosas sean estas partículas en un mismo peso o en un mismo volumen, mayor será la superficie, y, por consiguiente, la porosidad. Por lo tanto, conviene evaluar el número y la superficie de estas partículas terrosas. Evidentemente, esto no se puede hacer más que de un modo muy aproximado. Así, no hay que dar un valor absoluto a las cifras obtenidas, sino ver en ellas solamente imágenes que demuestran la importancia de la división y de la finura de los elementos terrosos, desde el punto de vista de las propiedades físicas de los suelos.

El análisis mecánico permite separar los elementos que componen las tierras: piedras, arena, limo y arcilla, cuyo tamaño se puede medir. Así es cómo se designan con el nombre de *piedras* o de *grava* los elementos retenidos por un tamiz de latón de mallas cuadradas de un milímetro de lado.

Los granos que atraviesan el tamiz tienen, todo lo más, un milímetro de diámetro, admitiendo que sean aproximadamente esféricos. Los más finos pueden tener hasta un diámetro de $\frac{1}{1.000}$ de milímetro. La misma arcilla coloidal, en estado de difusión, no presenta al microscopio ordinario forma alguna visible. Entre estos límites se pueden agrupar los granos en tres categorías principales: la arena propiamente dicha, cuyos granos más finos no tienen más de $\frac{50}{1.000}$ de milímetro de diámetro; el limo, cuyas dimensiones están comprendidas entre 50 y $\frac{5}{1.000}$ de milímetro, y la arcilla en bru-

to, cuyos granos tienen menos de $\frac{5}{1.000}$ de milímetro de diámetro.

Para determinar el número de partículas contenidas en una tierra, M. Garola divide el suelo que se estudia en lotes de dimensiones definidas, tales como establecimos precedentemente. Suponiendo que los granos sean esféricos, si se designa por d su diámetro medio y por D la densidad de la materia terrosa, el número de granos N que contiene un gramo de un lote cualquiera es igual a:

$$\frac{6}{\pi d^3 D}$$

Si se aplica esta fórmula a los lotes precedentemente definidos, para cada uno de ellos se obtiene:

| | Número de granos por gramo |
|--|-------------------------------|
| Grava (0,2 cm. de diámetro) | 90 |
| Arena (diámetro medio 0,0525 cm.) | 4.980 |
| Limos (» » 0,00275 ») | 34.650.000 |
| Arcilla ordinaria (» » 0,000255 ») | 43.462.000.000 |

Conociendo la cantidad de estos diferentes elementos que contiene un peso determinado de tierra, fácilmente se calcula el número de granos que esta tierra contiene. Así Garola halló que el limo de Archevilliers contiene por gramo 9.236.259.317 granos y que una arcilla de sílice de Poiffonds contiene 16.401.688.134.

Como de la arcilla ordinaria (diámetro de los granos = 0,000255 centímetros) depende casi exclusivamente el número de granos que contiene una tierra cultivada, esto equivale a decir que una tierra es tanto más porosa cuanto más arcilla contiene.

También por el cálculo se puede determinar la superficie de todos estos granos, que varía en razón inversa del cuadrado del diámetro de cada uno de ellos. Pero el cálculo sólo puede dar una idea muy somera de la verdad, porque supone que todos los granos son rigurosamente esféricos, y aunque así fuese y se pudiese contar con su exacta repartición—lo que es imposible—, su superficie total no correspondería a la superficie efectiva desde el punto de vista en que nos ocupamos: la

absorción del agua o del aire, el contacto con las soluciones nutritivas y con las raíces. Esta superficie efectiva es realmente mucho menor que la superficie total, puesto que se tendría que deducir el contacto de las partículas entre sí.

Sea como fuere, si se trata de una tierra arenosa de partículas independientes, se puede deducir su superficie de la cantidad de agua o de gas que contiene un volumen determinado de la tierra.

Así ha obtenido King los siguientes resultados:

| | VOLUMEN POR 100 DE LOS HUECOS | SUPERFICIE de los elementos por metro cúbico |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--|
| Arcilla muy fina | 52,9 | 64,27 hect. |
| Tierra arcillosa | 48,0 | 40,89 » |
| » fuerte, elemento fino | 49,2 | 26,08 » |
| » franca | 44,1 | 17,20 » |
| » arcillosilíceas | 38,8 | 13,65 » |
| » arenosa | 32,5 | 4,07 » |

Así es que la superficie de los elementos alcanza números extraordinariamente grandes. Reduciéndola a una hectárea por metro cúbico de tierra franca ordinaria, se evaluaría en 4.000 hectáreas la superficie de los elementos terrosos contenidos en una hectárea cultivada de un espesor de 0,40 metros, cifra que evidentemente no se puede aceptar en realidad, pero curiosa, a pesar de todo, por dar un bosquejo desmesuradamente agrandado del interés de las labores y preparaciones de las tierras. Estas operaciones las dividen en partículas tan pequeñas como sea posible, aumentando la superficie de contacto entre el suelo así desmenuzado y el oxígeno que circula por la tierra, el ácido carbónico, las soluciones salinas, etc.

2. — Permeabilidad

Además del poder de absorción de los suelos y de su capacidad para el aire, la permeabilidad es una de las propiedades que más interesan al riego y al drenaje. *La permeabilidad es la velocidad mayor o menor con que un volumen dado de agua, comprendido en determinada altura, penetra en el suelo y cir-*

cula por él bajo la influencia del peso y de las fuerzas capilares. Podría suponerse *a priori* que la permeabilidad debe aumentar con la capacidad del suelo para el agua, con la porosidad y, por consiguiente, con el grado de finura de las partículas. Pero no es así, pues la permeabilidad no depende tanto del volumen global de los intervalos capilares como de su diámetro medio. La física nos ha demostrado con cuanta dificultad se mueve el agua en los intersticios capilares. Y aun cuando los líquidos están separados por espacios llenos de aire, hay que ejercer una presión considerable para ponerlos en movimiento. La permeabilidad — lo demuestra la experiencia — depende del diámetro medio de los canales capilares que separan entre sí las partículas terrosas y de la altura de la capa de agua que tiende a penetrar en la tierra.

Por consiguiente, a igual capa de agua, será tanto menor cuanto más finas sean las partículas, y tanto mayor cuanto mayores sean éstas. Es muy fácil probarlo disponiendo en tubos de 35 centímetros de altura sendas columnas de tierra y de arena de composición física determinada, y superponiéndoles una capa de agua de 0,05 metros de altura. En cuanto un suelo contiene vestigios de arcilla, la rapidez de la filtración disminuye, aumentando, por el contrario, con el predominio de elementos gruesos.

Kopecky, en Bohemia, ha estudiado la permeabilidad de los suelos desde el punto de vista del drenaje y Ville-Chabrolle, ingeniero agrónomo, en los *Annales de l'Institut agronomique* ha dado cuenta de sus trabajos. Kopecky enlaza la separación y la profundidad a que se deben colocar los tubos de drenaje con muchos factores, entre los cuales desempeña un papel muy importante el grado de finura de las partículas terrosas. Y, para llegar a una aproximación suficiente, separa los elementos que constituyen la tierra en siete categorías:

| | | | | |
|-----------------------|---|---|------------------------|-----------------|
| Elementos de diámetro | } | 1. ^a < 0,01 mm. | Partículas decantables | |
| | | 2. ^a comprendido entre 0,01 y 0,05 mm. | Polvos. | |
| | | 3. ^a » » 0,05 y 0,10 » | Polvo arenoso. | |
| | | 4. ^a » » 0,10 y 0,30 » | Arenas { | |
| | | 5. ^a » » 0,30 y 0,50 » | | Arena muy fina. |
| | | 6. ^a » » 0,50 y 1,00 » | | Arena fina. |
| | | 7. ^a » » 1,00 y 2,00 » | | Arena semifina. |
| | | | Arena gruesa. | |

Hay que continuar el análisis hasta la determinación de los elementos dosificados con el nombre de arcillas en el método Schloesing y que tienen menos de 0,002 mm. de diámetro.

Finalmente, debe tenerse también en cuenta la proporción de caliza que tenga la tierra, que aumenta la permeabilidad, y el mantillo y el hierro, que la disminuyen.

Volveremos a recordar estas observaciones al tratar del drenaje. Para efectuar la separación de los elementos terrosos en las siete divisiones que hemos enumerado, Kopecky imaginó un aparato que hoy se encuentra en casi todos los laboratorios donde se practica la pedología. Daremos de él una breve descripción.

Los ensayos se practican con 50 gramos de *tierra fina*.

Por *tierra fina* entiende Kopecky la que pasa a través de un tamiz de 2 milímetros.

Recordemos las divisiones en que están distribuidos los elementos:

- | | | |
|------|------------------------------------|---------------------------------------|
| I. | Elementos de diám. inf. a 0,01 mm. | o partículas decantables. |
| II. | » | » de 0,01 a 0,03 mm. o polvo. |
| III. | » | » de 0,05 a 0,10 mm. o polvo arenoso. |
| IV. | » | » super. a 0,10 mm o arena. |

La cuarta categoría comprende las cuatro subdivisiones siguientes:

- | | | |
|-----------------|--------------------------|--------------|
| 1. ^a | Arena muy fina | De 0,1 a 0,3 |
| 2. ^a | Arena fina | 0,3 a 0,5 |
| 3. ^a | Arena semifina. | 0,5 a 1,0 |
| 4. ^a | Arena gruesa | 1,0 a 2,0 |

El aparato (fig. 3) construido por Hunek, de Praga, se compone de cuatro cilindros de vidrio, II, III, IV, V, sostenidos en un cuadro de madera, unidos entre sí por tubos de vidrio con enlaces de goma. Lo atraviesa una corriente regular de agua que en cada cilindro circula de abajo a arriba y a su salida va al vaso I. El diámetro de cada uno de estos cilindros está calculado de manera que la corriente de aire adquiera una velocidad tal que los elementos de la correspondiente categoría se depositen y los otros sean arrastrados al siguiente cilindro.

Se colocan 50 gramos de tierra fina, cuidadosamente diluida

en agua, en el menor de los cilindros (V). El aparato se llena completamente de agua y se le aplica una corriente de agua de caudal exactamente constante en el sentido que indica la flecha colocada a la derecha de la figura. La velocidad máxima de esta corriente se desarrolla en el cilindro (V), donde se depositarán los elementos mayores, mientras que los pulverulentos se depositarán en el vaso II y las partículas decantables

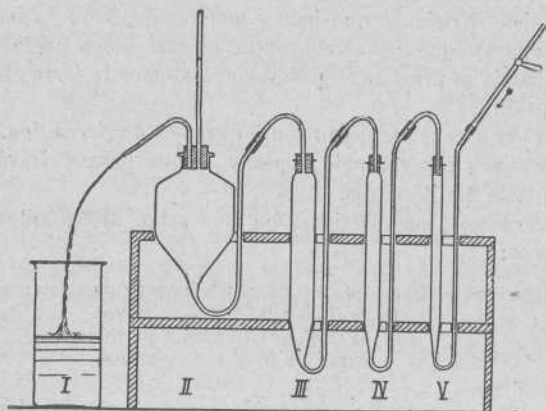


Fig. 3. — Aparato de Kopecky para el análisis mecánico de las tierras

en el vaso I. La operación dura unas cuatro horas. Se detiene cuando el agua que pasa al vaso I es clara o sólo ligeramente turbia. Entonces se recogen cuidadosamente los sedimentos depositados en los diversos cilindros, se secan y separan. Por diferencia con los 50 gramos de tierra fina que han servido para el ensayo, se obtiene el peso de las partículas decantables.

Sin que sea preciso insistir, se concibe el gran interés que para el ingeniero encargado de trabajos de riego o de drenaje tiene el conocimiento de las tierras que debe mejorar. Desgraciadamente, la apreciación de esta cualidad de los suelos es muy difícil. Y la parte más delicada de sus investigaciones está en que las tierras se comportan de modo diferente en el terreno y en el laboratorio.

Evidentemente, el origen geológico de las tierras desempeña un papel importante, aunque en la práctica se encuentran diferencias enormes en puntos próximos, porque la menor alteración, el paso de un gusano, de una raíz que se ha podrido, la presencia de una piedra de algún tamaño, son otras tantas causas de error.

Se puede actuar artificialmente sobre la permeabilidad, ya que el apretamiento de las tierras la disminuye, puesto que reduce los espacios.

Las soluciones salinas diluídas ejercen muy señalada acción en la contextura del suelo y, por consiguiente, en su permeabilidad.

De las investigaciones practicadas por Garola a este respecto, resulta que las sales de sosa disminuyen la permeabilidad, dando al suelo mayor compacidad.

Por el contrario, las otras sales favorecen la permeabilidad y, por consiguiente, el laboreo de las tierras. Especialmente las sales de cal han dado resultados señaladísimos a este respecto.

Los factores que intervienen en la permeabilidad desempeñan un papel cuya gran importancia es evidente cuando se trata del riego o del drenaje.

Terminando ahora lo que teníamos que decir del poder de absorción y de la permeabilidad, observemos que, en el fondo, todos los métodos de análisis en el laboratorio que hemos mencionado se reducen a determinar el grado de finura de las partículas y las proporciones según las cuales los elementos de diferentes gruesos entran en un mismo peso o volumen de tierra. Este es el procedimiento preconizado desde hace tiempo por Schloesing y será siempre el inductor de todas las nuevas investigaciones que se practiquen.

Müntz, Faure y Lainé atribuyen a la permeabilidad decisiva influencia sobre las cuestiones que se refieren al drenaje y al riego de las tierras. De 1905 a 1912, Müntz, primero con la colaboración de Faure y luego con Lainé, ha proseguido una serie de investigaciones que demuestran cuán fundada es esta opinión. El fin práctico que perseguían estos sabios era establecer una especie de escala en que los grados de permeabilidad indicasen las intensidades de los riegos. El propósito es extra-

ordinariamente arduo, pues depende de numerosos factores, entre los cuales juega papel muy importante el clima. *A priori*, las conclusiones de los experimentos sólo interesan a determinadas regiones, y es preciso repetir los ensayos en los territorios de diferentes condiciones de temperatura, pluviosidad, etc.

A fin de aportar toda la precisión posible a sus estudios, Müntz y sus colaboradores establecieron simultáneamente para las mismas tierras, ensayos sobre el terreno y en el laboratorio. El experimento puso de manifiesto que los primeros eran de precisión muy superior a los segundos.

Las investigaciones proseguidas por Müntz, Faure y Lainé se refieren, para cada una de las regiones que han estudiado:

1.º A la medida de la permeabilidad sobre el terreno. Es la determinación más probable.

2.º Al examen de las tierras en el laboratorio.

1.º Medida de la permeabilidad de las tierras por el procedimiento de Müntz, Faure y Lainé sobre el terreno

Müntz, Faure y Lainé se han servido, perfeccionándolo, del siguiente aparato debido a Heinrich.

Consiste en un cilindro de palastro, aguzado en toda su circunferencia por la parte inferior y cuya parte superior lleva dos mangos. Su diámetro es de 25 cm.; su altura, de 22; apoyándolo contra el suelo y dándole vueltas regularmente, sin sacudidas, penetra hasta 7 cm., quedando su borde superior a 15 cm. sobre el suelo.

Entonces se llena de agua y, por medio de una reglilla dividida en centímetros, que se acerca a la pared, se observa qué cantidad baja el agua en un tiempo dado.

Es fácil ver que este aparato, reducido a esta forma sencilla y empleado en condiciones tan poco precisas, no puede dar resultados de gran confianza. Evidentemente variarán con el estado de cultivo del suelo, según esté o no cubierto de vegetación, esté o no labrado, seco o húmedo, etc. Además, el agua penetrará tanto más de prisa en la tierra cuanto más elevado sea

su nivel en el cilindro, de modo que la permeabilidad parecerá que disminuye a medida que el ensayo se prolongue.

Así Müntz, Faure y Lainé llegaron a la conclusión, desde sus primeras investigaciones, que conviene operar siempre en condiciones comparables y en particular:

1.º Mantener constante el nivel del agua en el cilindro.

2.º Anotar siempre el estado de la tierra observada; ¿está en barbecho?; ¿está desnuda o cubierta de vegetación y de qué clase?; ¿está o no labrada?

3.º Averiguar si previamente estaba impregnada de agua; si ha habido lluvias recientes o si está seca.

4.º Anotar la rapidez del descenso en el estado en que la tierra se encuentre, teniendo en cuenta especialmente esta rapidez cuando la tierra está impregnada de agua, como ocurriría después de una lluvia copiosa o después de un riego. En este momento se establece un régimen permanente y regular que permite las comparaciones. Además había que remediar las causas de error producidas por la colocación del aparato, removiendo las tierras guijarrosas y por el cambio del nivel del agua en el cilindro.

Los experimentadores perfeccionaron el aparato del siguiente modo:

Primero, disminuyeron el diámetro del cilindro. Así el aparato es más manejable y se hunde en el suelo sin removerlo tanto. Después imaginaron un dispositivo para mantener constante el nivel del agua.

El cilindro (fig. 4), construido de plancha de acero fuerte-

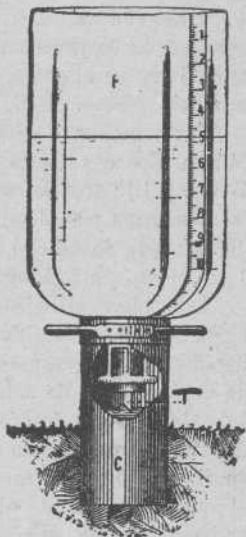


Fig. 4. — Aparato de Müntz, Faure y Lainé para medir la permeabilidad de las tierras en el mismo suelo.

mente remachada o mejor soldada a la llama oxiacetilénica, tiene 25 cm. de altura y 112 mm. de diámetro interior; su sección es, pues, próximamente de 1 cm.² Los bordes inferiores son cortantes, y los superiores, reforzados, están provistos de dos orejas. Para hundirlo en el suelo, se coloca bien vertical y se golpea con un martillo después de colocar un trozo de madera, según la dirección de un diámetro. Así penetra el cilindro unos 6 cm. en el suelo. Operando cuidadosamente, no se deben producir grietas.

Para obtener la constancia del nivel del agua en el cilindro, Müntz, Faure y Lainé disponían encima un frasco aforador F de 5 a 10 litros de capacidad. Este frasco lleva una graduación en litros y en decilitros que parte del fondo. Está provisto de un tapón de caucho con un agujero y un tubo T de salida, de 1 cm. de diámetro interior aproximadamente, cortado en bisel.

Colocado el cilindro en su lugar, se introduce en su centro, hasta descansar de plano sobre el suelo, un disco de madera de 3 centímetros de espesor. El frasco aforador, vacío, provisto de tapón y tubo de salida, se invierte sobre el cilindro, y el tubo de vidrio se gradúa de modo que, colocando la parte baja del frasco descansando bien a plomo sobre el tubo de hierro, su extremo biselado roce con el disco de madera. Regulado así el aparato, se retiran el frasco y el disco. Después el primero se llena de agua, se adapta el tapón y se pone el frasco invertido sobre el cilindro. El agua sale por el tubo de vidrio y se extiende por el interior del vaso, donde alcanza una altura uniforme de 3 centímetros, que permanece constante. Efectivamente, cuando el agua, por haber penetrado en parte en la tierra, desciende de los 3 centímetros, inmediatamente se forma una bola de aire que penetra en el frasco y se derrama una cantidad de agua exactamente igual a la que acaba de desaparecer.

Hemos dicho ya que el frasco lleva una graduación en litros y fracciones de litro que se leen sin desplazarlo. La lectura puede principiar en cuanto el agua alcanza 3 centímetros de altura. Entonces se anota el volumen de agua que ha salido en un tiempo determinado por intervalos, por ejemplo, de un cuarto de hora.

Si se produjera una grieta, no tardaría en llenarse. Habría que esperar unos minutos antes de efectuar las primeras lecturas.

El agua desciende primero bastante de prisa. Luego se establece un régimen. En este período son realmente interesantes las lecturas. Este régimen se alcanza rápidamente cuando se trata de tierras permeables y de modo más lento en las tierras arcillosas. En las primeras, las observaciones pueden verificarse con pequeños intervalos y el experimento se termina en algunas horas. Para las segundas hay que dejar intervalos mayores y a veces continuar las observaciones hasta el día siguiente.

No es necesario efectuar las lecturas de los volúmenes evacuados al cabo de tiempos iguales. Pero siempre hay que reducirlas a la unidad que sirve de prueba. Así, para experimentos de larga duración se puede hacer una lectura por la noche y otra a la mañana siguiente.

Se expresan en decilitros evacuados por hora. Siendo la sección del cilindro de un decímetro cuadrado, cada decilitro de agua que penetra en el suelo corresponde a una altura de un centímetro de aire por hora. Por ejemplo, si cuando el régimen está establecido se evacúan 1,6 litros por hora, esto significa que ha penetrado en el suelo una altura de agua de 16 centímetros. Müntz y Lainé han tomado por unidad de filtración un centímetro por hora. Así, si se han evacuado 16 centímetros, el número 16 corresponde a la permeabilidad del terreno estudiado, y se dirá que es igual a 16, y estos números representan los grados de la escala de permeabilidades de que hemos hablado.

Para medir la permeabilidad de las tierras en el terreno, Kopecky se sirve del aparato ya descrito. Separa del suelo un cilindro de 10 centímetros de altura y de 50,5 cm. de diámetro, en el que se puede considerar que la tierra se halla en un estado tan análogo como es posible al de la tierra en el suelo. Extrayendo el cilindro grande del aparato, y habiéndose desembarazado su parte superior de la tela metálica, se añade un cilindro de vidrio donde se coloca agua hasta una altura determinada. Cuando principia a salir por la parte inferior, se mide la velocidad de filtración.

Müntz, Faure y Lainé observan que han debido renunciar al empleo de este aparato en Francia, del que se ha servido Mr. Kopecky en los terrenos de Bohemia, cuyos elementos son relativamente finos. En los suelos no homogéneos en que han operado Müntz, Faure y Lainé, llenos de guijarros y de restos vegetales, el aparato no puede funcionar.

Resumiremos este capítulo de la permeabilidad diciendo:

Una tierra de elementos muy finos, como la arcilla, tiene una gran capacidad para el aire y el agua, pero es impermeable. Una tierra de elementos gruesos tiene una pequeña capacidad para el aire y el agua y es permeable. Finalmente, algunas tierras arenosas de elementos excesivamente finos, llamadas *tierras asfixiantes*, sólo tienen una capacidad muy pequeña para el aire y el agua y son muy poco permeables.

2.º EXAMEN DE LAS TIERRAS EN EL LABORATORIO

Ya hemos dicho que la permeabilidad está en relación muy íntima con la constitución y las propiedades físicas de las tierras. Los experimentadores han procurado establecer un paralelismo, no siempre hallado, entre los ensayos directos sobre el terreno y el estudio de estas propiedades en el laboratorio. Y así, indudablemente, convendrá proceder cuando se quiera fundar sobre bases racionales el riego de una comarca. Así creemos que debemos consagrar algunas líneas al estudio de esta parte de las investigaciones de Müntz y Lainé.

El examen de las tierras en el laboratorio, tal como ellos lo establecieron, se compone de:

a) Análisis fisicoquímico por los procedimientos Schläesing y Kopecky.

b) Medida de las propiedades físicas.

Suministra los siguientes informes:

Análisis fisicoquímico (procedimiento Schläesing):

| | |
|-----------------|-----------|
| Arena | { Gruesa. |
| | { Fina. |

Arcilla.

Mantillo.

Por lo demás, estos investigadores creen que el análisis físico en el laboratorio de una tierra todavía desconocida bastará algún día para hallar en la escala de que hemos hablado la indicación aproximada de su permeabilidad sobre el terreno y, por consiguiente, de la cantidad necesaria de agua para el riego.

Análisis mecánico (procedimiento Kopecky):

| | |
|-----------------|-------------------------------|
| Grava | |
| Arena | { Gruesa Media Fina |
| Limo | { Arenoso Fino Muy fino |

Medida de las propiedades físicas:

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Densidad | { Real Aparente |
| Porosidad. | |
| Capacidad para el agua | { En volumen En peso |
| Capacidad para el aire | |

Permeabilidad (altura de agua, expresada en centímetros, filtra por hora a través de un espesor determinado de tierra).

Ya hemos expuesto cómo miden los autores de estos experimentos las densidades, la porosidad y la capacidad para el aire y el agua.

En cuanto a la medida de la *permeabilidad* en el laboratorio, emplean el tubo que ha servido en los ensayos precedentes. Contiene la tierra mojada y luego seca y comprimida a la presión de un kilogramo por 10 centímetros cuadrados. Manteniendo encima de la superficie de la tierra un espesor constante de 2,5 cm. de agua, se mide la altura del líquido que se evacua en un tiempo dado.

El experimento se practica con el dispositivo representado en la figura 5. Se opera en doce tubos a la vez. Van fijos a la misma altura sobre una tabla con doce agujeros del diámetro conveniente. Se conduce el agua por los tubos *t, t*, unidos a



otro con doce ramificaciones. Este constituye una de las ramas de un sifón, cuya entrada está sumergida en un vaso *v*, donde se mantiene el agua a un nivel constante. Cuando el sifón está cerrado, el nivel del agua en cada tubo permanece fijo. Se regula de manera que esté a 2,5 centímetros sobre la superficie de la tierra.

Toma de muestras.—El análisis y las medidas de laboratorio suponen que las muestras han sido escogidas con mucho

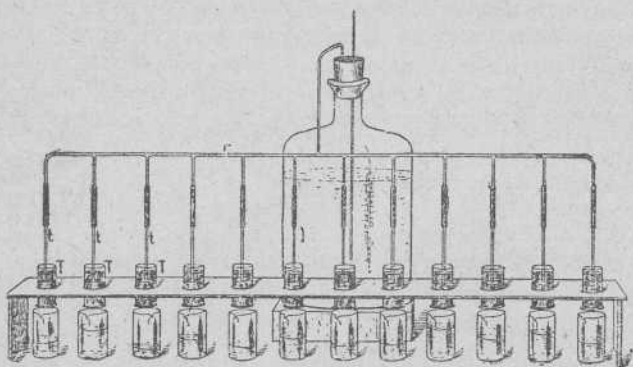


Fig. 5.— Aparato para medir la permeabilidad de las tierras en el laboratorio

método y gran cuidado. Veamos las recomendaciones que sobre este punto hacen los autores de los experimentos. El acto de escoger los lugares de extracción supone un previo estudio geológico del territorio. Este se divide en tantas zonas cuantas formaciones geológicas y agrológicas diferentes haya. Transportando estas divisiones a un plano en gran escala, se aprecia su importancia. En cada una de ellas se marca el lugar de la extracción. El número de éstas varía según la extensión y la mayor o menor homogeneidad de las regiones: composición mineralógica, naturaleza y aspecto de la vegetación espontánea y cultivada. Se atiende a los grandes rasgos. Fijados los lugares de extracción, se excava una trinchera de profundidad variable, según la naturaleza del subsuelo. Es

absolutamente necesario que su profundidad sea tal, que permita estudiar todas las capas que influyen en la permeabilidad. En general, bastan 50 o 60 centímetros. Se toma una muestra aproximadamente de un kilogramo de peso de tierra, que representa la capa estudiada, y se coloca en un saco al que se le da un número de orden.

Resultados suministrados por los experimentos de Müntz, Faure y Lainé. — Estos autores desde 1905 a 1912 se dedicaron a practicar centenares de ensayos sobre tierras de la región meridional caracterizadas por aptitudes diferentes a la permeabilidad: en los valles del Garona, gredales casi impermeables o limos arcillosos poco permeables; en Vaucluse, aluviones modernos bastante permeables; en Drôme, en los alrededores de Valence, terreno muy permeable. En todas estas regiones establecieron estaciones de investigación. Los observadores, con el aparato ya descrito, experimentaban sobre el terreno la permeabilidad y enviaban al laboratorio las muestras de tierra extraídas con las precauciones que hemos dicho.

Desde 1905 a 1908 los autores estudiaron especialmente la permeabilidad y las aptitudes de la tierra para recibir agua. A partir de 1908 procuraron determinar en cada estación el *módulo*, es decir, el caudal suministrado a la parcela regada, la cantidad que debía distribuirse por el riego y la influencia sobre la marcha de un reparto más o menos frecuente de una misma cantidad total de agua. Daremos cuenta más tarde de los resultados obtenidos a medida que vayamos tratando de ello en los capítulos correspondientes. Aquí no hablaremos más que de los primeros experimentos y de su finalidad, tal como la hemos definido.

Desde el principio, Müntz, Faure y Lainé comprobaron, como podía esperarse, diferencias enormes, que varían de la unidad al céntuplo, y aun más allá, entre las diversas tierras, aunque a veces pertenezcan a una misma formación geológica, en las velocidades con que las atraviesa el agua. Comparando las cifras obtenidas en las mediciones con las observaciones en los cultivos, vieron que aquellos lugares en que los riegos dan resultados mediocres, en general coinciden con una permeabilidad escasa, y que, por el contrario, donde los rie-

gos dan resultados ventajosos, la tierra se deja penetrar y atravesar fácilmente. De ahí nació la idea de distribuir las cantidades de agua, no solamente por unidad de superficie, como se hace habitualmente, sino según la permeabilidad, puesto que ésta puede servir de medida a la aptitud de los suelos para recibir el agua.

Y terminaba así la exposición de los resultados de sus primeras investigaciones (1907). Parece que las tierras se pueden clasificar en tres categorías:

1.^a Las que se pueden considerar como *casi impermeables*; es decir, en las que el agua no penetra más que unos pocos milímetros por hora y que, por consiguiente, no son capaces de dejarse penetrar por el agua en las condiciones de un riego ordinario y para las cuales sería inútil hacer sacrificios de traída de agua, a no ser en condiciones técnicas y económicas muy especiales.

2.^a Las *tierras poco permeables*, en las cuales el agua, en las condiciones prácticas de un riego, penetra siempre, aproximadamente, un centímetro por hora, y a las cuales convendrían riegos poco copiosos y más o menos frecuentes.

3.^a Aquellas en que el agua penetra por lo menos algunos centímetros y más, y que pueden calificarse de *permeables*, es decir, aptas para absorber agua. A estas tierras les convienen riegos más copiosos. Más allá de cierta permeabilidad no vale la pena de determinar el grado exacto de la escala. Son todas aptas para el riego. Pero entonces conviene sobre todo determinar el volumen de agua realmente útil para la vegetación, a fin de dar esta cantidad y no otra mayor que seguramente serían capaces de absorber.

El cuadro de la página 69 indica cómo clasifican los ensayos los campos de experimentación escogidos.

Estos experimentos, limitados a los resultados que acabamos de enunciar, tienen ya el gran interés de explicar el por qué ciertos canales de riego han respondido a las esperanzas que se habían depositado en ellos y otros, en cambio, sólo han ocasionado decepciones. Así, la región francesa del canal de Saint-Martory, que se extiende desde el pie de los Pirineos hasta Tolosa, no ha visto aumentada su prosperidad por los

| CAMPO DE EXPERIMENTACIÓN | NATURALEZA DEL SUELO | GRADO DE PERMEABILIDAD (Un grado corresponde a 1 cm. de altura que se filtra en una hora) |
|--------------------------------------|---|--|
| Fourcadel (valle del Garona) | Arcilla arenosa casi impermeable. | 0,05 a 0,1 |
| Ondes (valle del Garona) | Limos arcillosos poco permeables. | 0,6 |
| Cavaillon (en Vaucluse) | Aluviones modernos bastante permeables. | 2 |
| Carpentras | Aluviones antiguos permeables. | 3, 10 y 12 |
| Valence | Terrenos muy permeables. | 50 a 60 |

canales, sino muy al contrario, a causa de la escasa permeabilidad de las tierras. No pueden absorber más que parcialmente el agua que se les suministra, y rápidamente se convierten en tierras pantanosas. El fracaso del canal de Bourne (orilla izquierda del Ródano) se había atribuido al clima, a la naturaleza del agua, etc. Los trabajos de Müntz, Faure y Lainé prueban que se debe a la extraordinaria permeabilidad del suelo. El agua queda absorbida al primer contacto, sin regar las superficies que debía alcanzar. Por el contrario, los canales de Carpentras y de Saint-Julien, que los dos se alimentan del Durance, han dado resultados excelentes porque las tierras tienen una permeabilidad y una constitución física conveniente para los riegos. Los ingenieros encargados de construir canales de riego deberán preocuparse más en lo sucesivo, al redactar sus proyectos, de las propiedades físicas en primer lugar y sobre todo de la permeabilidad de los terrenos que han de regarse. Las investigaciones de que hablamos demuestran cómo pueden determinar de un modo relativamente preciso los elementos que hasta ahora les faltaban. Los canales cuestan caros, el agua tiene valor. Es, pues, evidente que sólo conviene darla a las regiones que los puedan remunerar y limitar su empleo a las cantidades realmente útiles.

Las memorias de Müntz, Faure y Lainé contienen advertencias de orden general que será bueno citar.

Hay tierras compuestas por limos finos, y aun a veces muy finos, que deberían ser impermeables y que, no obstante, no lo son, porque contienen una notable proporción de arcilla. Este hecho, a primera vista, puede parecer paradójico. Se explica cuando se sabe que la arcilla, con las partículas arenosas muy finas, forma agregados que dejan entre sí espacios vacíos de dimensiones mayores. El efecto de la arcilla, cuando su cantidad no pasa de ciertas proporciones, es el de disminuir la compactibilidad de los suelos formados por arenas muy finas; es decir, les da permeabilidad.

La descomposición de las raíces de las plantas influye en la permeabilidad. Así ésta se ha manifestado mucho mayor en un campo de alfalfa, en tierra seca, que en un campo labrado, que varia según los campos tengan o no césped y según éste sea más o menos viejo.

Cuando la sequía es grande (años 1906 y 1921), las tierras con césped dejan filtrar el agua mucho más de prisa que las tierras labradas. Las diferencias pueden variar de la unidad al quintuplo y más. Esto se debe principalmente a la presencia de raíces muertas, que en el momento de su vitalidad, hinchadas y bajo la influencia de su poder vegetativo, han comprimido el terreno a su alrededor y luego, al secarse y encogerse, han dejado numerosos canales por donde se habían desarrollado. El agua, pues, encuentra caminos para filtrarse en el suelo. Operando en un año húmedo, Müntz comprueba el fenómeno inverso. No habiéndose producido la desecación ni el marchitamiento del sistema radicular, no se formaron canales, y en este caso las tierras labradas fueron las más permeables.

Los limos de elementos arenosos muy finos, con débil cantidad de arcilla (menos del 12 por 100), llamados *bulbenas* sobre las mesetas que dominan el Garona, en oposición a las *tierras fuertes* del valle, constituyen lo que se llama *tierras batientes*. El agua las disgrega y rápidamente las reduce a una masa continua, a través de la cual el agua penetra con dificultad. En vez de filtrarse corre por su superficie. Da lugar a marismas y el terreno generalmente está quebrado por arroyuelos que se secan en la estación calurosa. Su capacidad para el aire es débil (7 a 10 por 100). La permeabilidad es muy peque-

ña (menos del 5 por 100). Ciertas tierras poco permeables pueden tener una fuerte capacidad para el agua y, en cambio, poseer una débil capacidad para el aire (menos del 10 por 100). Se las denomina *asfixiantes*. En cuanto contienen el menor exceso de agua, la reserva de oxígeno necesaria para las raíces de las plantas queda casi suprimida y se renueva difícilmente a causa de la compacidad. Así se explica la extraña abundancia, en ciertos lugares, de plantas acuáticas, como los juncos.

3.º Capilaridad. Movimientos del agua en el suelo

El agua estancada es nociva. El agua debe circular en el suelo, primero para extender su acción bienhechora, después porque así es cómo lleva a las raíces y a las tierras el oxígeno necesario para la vida y para la asimilación de los elementos. En cierto modo, debe *vivir* para no engendrar la muerte. Por medio de las labores del riego y del drenaje, el hombre interviene en su circulación subterránea. Pero siempre está sometida a la poderosa acción de la gravedad y de las fuerzas capilares.

Como ha dicho P. P. Dehérain, los trabajos y las labores de preparación desempeñan un papel extraordinariamente importante en cuanto a la penetración del agua en el suelo. Abren la superficie endurecida de nuestros campos, esponjan a veces el subsuelo y dan a la tierra una consistencia tal que favorece la entrada del agua. La lluvia resbala sin penetrar en un suelo no removido desde largo tiempo. El rastrillado y las binas destruyen las hierbas nocivas. Así economizan el agua que absorberían estas plantas y dan lugar a que la tierra la reserve para las plantas útiles.

Las tierras en barbecho son notablemente más húmedas que las tierras cultivadas. En sus campos de vegetación de Grignon, Dehérain ha recogido menos agua de drenaje en los campos cultivados que en los que dejó en barbecho. Durante los años secos, únicamente los campos en barbecho daban agua de drenaje. La preparación del suelo y la destrucción de plantas nocivas tienen, pues, gran importancia. El drenaje, como veremos después, determina encima de las líneas de

tubos, cuando se seca la tierra, largas grietas más o menos anchas que recorren la tierra de arriba a abajo. Estas aberturas dejan penetrar en el suelo las aguas de lluvia. De modo que, cosa inesperada, *el drenaje, cuyo objeto es mejorar los campos extrayéndoles el agua excesiva, durante el período seco, facilita el aprovisionamiento de agua atmosférica.* Por el contrario, observación es ésta que tampoco deja de ser curiosa, *las lluvias excesivas destruyen la preparación de la tierra y la hacen impermeable, porque alteran el estado ordinario de las partículas terrosas.*

«Las tierras que más agua retienen, dice Mr. Schläsing, son las de elementos muy finos, que no contienen suficiente proporción de cemento, mineral u orgánico, para conservar la división en partículas. Estas tierras se desecan muy difícilmente. Sus elementos muy débilmente unidos entre sí se separan por la acción del agua y tienden a formar barro en los que no hay canales intersticiales como en la tierra mullida, sino espacios capilares muy pequeños que quedan anegados de agua. En las tierras arcillosas, los elementos, por pequeños que sean, están tan cementados que la lluvia no destruye su estado particular; las partículas llenan sus poros de agua sin romperse y los intersticios continúan libres después de la desecación. Estas tierras retienen menos agua que las arenosas de elementos muy finos.»

El agua desciende en la tierra por efecto de la gravedad y también porque la atraen las capas inferiores cuando están menos húmedas que las superiores. Las labores y especialmente el drenaje tienen por objeto favorecer la entrada de agua, su penetración, su absorción por las capas superiores y, finalmente, la llegada de su exceso al subsuelo, donde se almacena. La provisión de agua formada queda allí, inalterable o enriquecida con las aportaciones de las capas subterráneas, hasta el momento de ser absorbida en virtud de la desecación de las capas superiores. ¿Qué fuerza determina su ascensión? La capilaridad. Las consideraciones sobre las cuales hemos ya disertado ampliamente muestran que las fuerzas capilares actuarán con tanta mayor energía cuanto más finos sean los elementos constitutivos de la tierra o cuanto más apretados estén.

Además, los movimientos del agua en el suelo están regulados de un modo inmediato por el estado de sequedad o de humedad relativa de las capas próximas. Se sabe que la ascensión o el movimiento capilar nace de la tensión superficial o sea la tendencia que toda superficie líquida tiene a contraerse hasta presentar el área mínima compatible con su masa. Cuando la tierra está bastante lejos de la saturación, el agua recubre de una delgada capa de líquido los granos que forman el suelo. Podría compararse, dice M. Garola, a una burbuja de jabón cuyo contenido de aire ha sido substituído por el grano de arena o de arcilla. «En los puntos de contacto de los granos entre sí, añade este agrónomo, las envolturas líquidas se unen para formar una capa continua de agua muy delgada que a través del suelo une una de sus caras a los granos terrosos con tanta mayor fuerza cuanto más pequeños sean estos granos y más agudos sean los ángulos que formen al superponerse, y la otra superficie está en contacto con el aire del espacio intergranular. Esta es una superficie libre de gran extensión relativa, cuando el suelo está lejos de su punto de saturación. Entonces se acerca al área superficial de los granos del suelo, que es muy considerable y que alcanza como promedio 250 metros cuadrados por kilogramo de tierra seca. Se concibe, pues, que esta fuerza, proporcional a la extensión de la superficie libre, pueda ejercer una acción muy importante y contrabalancear y aun vencer los efectos de la gravedad.

»Si un suelo, saturado así parcialmente, recibe agua por su parte superior, la misma capa de agua que rodea los granos aumenta de espesor; por consiguiente, la superficie libre de la envoltura acuosa disminuye y con ella la potencia de la tensión superficial. Por fin, cuando todos los huecos queden llenos, al estar el suelo saturado, no quedará superficie libre y la tensión superficial en la tierra será nula.

»Continuemos considerando el suelo no saturado. Supongámoslo colocado sobre un subsuelo de la misma contextura y admitamos que la tensión superficial sea idéntica en las dos capas. No se producirá movimiento alguno de agua. Pero si cae una lluvia sobre la superficie, el espesor de la capa acuosa que envuelve los granos del suelo aumenta, la superficie libre

disminuye y con ella disminuye también la intensidad de la tensión superficial. Desde entonces el agua será atraída hacia el subsuelo, donde la tensión superficial es mayor, hasta que se restablezca el equilibrio, hecha abstracción de la gravedad. En este caso, la tensión superficial se suma a la gravedad para descender el agua.

»Si el mismo terreno pierde agua por evaporación o por transpiración de las plantas, en lugar de recibirla, la envolvente acuosa disminuye de espesor, aumenta la superficie libre y proporcionalmente crece la acción de la tensión superficial. Esta se traduce en una llamada de agua del subsuelo hacia el suelo, que continuará mientras subsistan las mismas causas.

»Cuando dos volúmenes de tierra en contacto tienen una humedad diferente, siempre hay movimiento de agua desde el punto más húmedo hacia el más seco, y el movimiento continúa mientras difieran las intensidades de saturación.

»En resumen, cada vez que el área de la superficie acuosa libre aumenta en un punto cualquiera, la tensión superficial tiende a contraerla, lo que da origen a una absorción de agua hacia el punto considerado.»

En el laboratorio se ha estudiado el movimiento del agua en los suelos de abajo arriba. En tubos de 100 centímetros de longitud y 2 centímetros de diámetro cerrados por un extremo se introduce la tierra que se quiere estudiar. Estos tubos, cerrados por su parte inferior por un lienzo fino, se sumergen 1 ó 2 centímetros en una cubeta con agua. Y al cabo de cierto tiempo se mide hasta qué altura se ha elevado el agua en los diversos tubos,

Meister halló las siguientes cifras:

| Suelos | Altura en milímetros después de | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | 1/3 hora | 5 1/2 horas | 6 1/2 horas | 21 1/2 horas |
| Arcilloso | 340 | 1.100 | 1.150 | 2.000 |
| Mantillo | 400 | 1.100 | 1.140 | 1.770 |
| Tierra de jardín | 290 | 950 | 980 | 1.610 |
| Arena cuarzosa muy fina | 440 | 920 | 970 | 1.170 |
| Turboso | 260 | 500 | 570 | 1.140 |
| Arenoso | 450 | 620 | 669 | 900 |
| Yesoso | 120 | 400 | 400 | 820 |
| Cretáceo | 60 | 330 | 540 | 700 |

Estas cifras dan muy remota idea de lo que realmente ocurre en el suelo, donde las fuerzas capilares actúan con mucha menor facilidad.

No obstante, evidencian que el agua se eleva a mucha mayor altura al cabo de algunas horas en los suelos compuestos de elementos muy finos, como la arcilla, el mantillo y la arena fina cuarzosa, que en los que contienen elementos más gruesos.

Estas cifras manifiestan también que el agua se transporta mucho más de prisa en las tierras de elementos gruesos, como la arena. Estas tierras se desecan más rápidamente porque el agua circula con más facilidad, pero si la capa acuifera es profunda, sólo ejercerá su acción hasta una pequeña altura. Cuanto más anchos son los tubos de experimentación, más rápida es la ascensión capilar. Se puede llegar a la conclusión de que en los terrenos la ascensión es más rápida que en los tubos. Hay que recordar, además, que los suelos naturales tienen a veces huecos y grietas, que, naturalmente, interrumpen el fenómeno.

Todos los experimentos que se han hecho a propósito de la ascensión del agua en las tierras prueban que es tanto más alta cuanto más finas son éstas.

También demuestra el experimento que cuando el suelo es muy seco, la ascensión capilar del agua se efectúa más difícilmente, porque entre las partículas terrosas hay aire que se opone al movimiento ascendente del líquido. Por otra parte, el agua circula más de prisa alrededor de las partículas ya mojadas. Por esta razón un suelo seco se empapa tan difícilmente por la lluvia, que resbala sobre su superficie como si estuviese lubricado.

Esta circunstancia, como expuso el agrónomo americano King, explica un fenómeno interesante que a primera vista parece paradójico. King, con muestras de un mismo suelo antes y después de una lluvia, observó que la tierra extraída a alguna distancia por debajo de la superficie se había vuelto más seca después de la lluvia que antes de ella, mientras que, como es natural, la tierra de la superficie era más húmeda. Este resultado, aparentemente extraordinario, se explica fácilmente si se reflexiona que una lluvia ligera sólo moja las ca-

pas superiores del suelo. La capilaridad, que no se ejercía por exceso de sequedad, se puede manifestar nuevamente a expensas de las capas subyacentes. King expresa que el beneficio de una lluvia ligera consiste en el restablecimiento de esta capilaridad, que favorece la alimentación de las plantas de raíces no profundas.

Según Wollny, el movimiento capilar del agua en el suelo requiere que éste contenga bastante cantidad de agua, de 30 a 50 por 100 de la que puede contener en saturación.

El desecamiento de las capas superiores, siempre que no sea excesivo, provoca la ascensión capilar del agua contenida en el subsuelo. Cuando se excede de cierto límite, que naturalmente varía según las tierras, la ascensión capilar se interrumpe. Las capas superiores no pueden recibir, de las situadas bajo de ellas, más que vapor de agua. La circulación se restablece inmediatamente después de una lluvia o de un riego que humedezca los canales capilares y expulse el aire que los llena.

Los experimentos cuidadosamente practicados en la India por J. W. Leather demostraron que en tiempo de sequía la tierra se aprovisiona bien de agua en el subsuelo, pero solamente hasta cierta profundidad.

La presencia de sales solubles aumenta la ascensión capilar en cierta medida. Pero estas sales son arrastradas por el agua, y cuando ésta se evapora, se depositan en la superficie. Esto se puede comprobar en las tierras húmedas, cuyo subsuelo contiene sal marina, como, por ejemplo, en Camargue.

Las sales fertilizantes que se incorporan al suelo en forma de abonos minerales favorecen la ascensión del agua del subsuelo. Mantienen la frescura de la tierra durante los periodos de sequía, especialmente las sales de sosa y de potasa.

El agua se eleva con tanta mayor facilidad en las tierras cuanto más finas son o más apretadas están. Ya hemos explicado el por qué. Desde hace tiempo los cultivadores ponen en práctica esta observación. La siembra y la planta joven necesitan agua superficial. Por esto se pasa el rodillo sobre las siembras nuevas. Las tierras así apretadas dejan llegar el agua hasta la semilla o la planta. Más tarde, cuando el vegetal echa raíces, se practica una bina. Primero el agua penetra mucho

más fácilmente, como hemos explicado, y se almacena mejor. Pero, por otra parte, la reja o el azadón, al remover la tierra, ha interrumpido los canales capilares. Y las capas profundas del suelo, por donde las raíces se extienden, permanecen más húmedas porque la ascensión del agua se efectúa en peores condiciones. Por otra parte, si en tal sazón llega una lluvia, penetra más fácilmente en la tierra. Sobre un suelo apisonado, el agua resbala o permanece en charcos que se evaporan. Así es que la bina y el rastrillo no tienen como único objeto destruir las hierbas nocivas, sino también el de facilitar la penetración del agua en el suelo y su conservación. Este resultado es el que expresan los labradores al decir: «dos binas valen por un riego».

M. Schløesing, por medio de un ingenioso experimento, demostró en el Instituto agronómico la importancia del mullido en la ascensión del agua en el suelo. En un plato que contenía agua colorada con fucsina o sencillamente café, colocaba en uno de los bordes un pedazo de azúcar, uno de cuyos lados superiores estaba cubierto con un poco de azúcar en polvo. El agua colorada o el café asciende rápidamente hasta la parte superior del terrón de azúcar; pero en cuanto llega a la base del montoncito de azúcar en polvo, el movimiento se detiene o se hace mucho más lento.

4.º Desecación de las tierras. Evaporación

Hemos visto como podían los suelos cargarse de humedad. Examinemos ahora cómo pueden perderla. Las necesidades de las plantas la extraen en cantidades considerables. Se evalúa en unos 300 kilogramos por kilogramo de materia seca que contenga la cosecha.

Véanse algunas cifras proporcionadas por Vogel y citadas por Detmer:

Evaporación sobre una superficie de un pie cuadrado en 108 días de vegetación, expresada en gramos (temp. med. 15,2º C.)

| | |
|-------------------------------|--------|
| Suelo desnudo | 7.044 |
| » cubierto de avena | 21.602 |
| » cubierto de trigo | 20.169 |

La evaporación de un suelo depende de su estado de división, de la finura de sus elementos, de su orientación, del estado higrométrico del aire y de los movimientos de la atmósfera.

Durante la evaporación entran en juego dos fenómenos. El agua se evapora en la superficie de la tierra y se transporta del interior a la superficie. El examen atento de estos dos fenómenos, como lo ha practicado Sachs, permite formarse idea clara de lo que ocurre en un suelo cuando se deseca. Cada uno de los elementos que constituyen el suelo está rodeado de una capa de agua de mayor o menor espesor. Esta capa líquida se puede considerar formada por zonas concéntricas, tanto más adherentes al núcleo terroso que constituye su centro cuanto más próximas se encuentren a dicho núcleo. Cuando en una región determinada se produce una pérdida de agua por evaporación o por otra causa, se rompe el equilibrio que existía entre el sistema formado por las partículas terrosas y el agua que las envolvía. Se producirá una emigración de agua hacia esta región. Esta agua saldrá de las capas exteriores de las moléculas líquidas, porque son las menos adherentes. Cuando la humedad de una tierra es grande, este transporte se hace sin dificultad. Pero cuando la tierra está seca, es mucho más difícil, porque las capas de agua son mucho más adherentes a las partículas terrosas. Lo mismo ocurre cuando los elementos que constituyen la tierra son muy finos. Entonces la capa de agua que las reviste, por ser mucho más fina, es también mucho más adherente. En efecto, siendo sensiblemente mayor la superficie total que presentan las partículas terrosas que la que presentaban los granos gruesos, para el mismo grado de humedad, el espesor de la capa líquida depositada sobre cada elemento necesariamente es menor. Estos dos fenómenos, evaporación en la superficie y transporte de agua de los elementos hacia esta superficie, predominan en la evaporación o desecación de las tierras. Una tierra de elementos gruesos, como la arena, por ejemplo, evapora más de prisa que una tierra de elementos finos, como una tierra arcillosa, por ejemplo, porque el transporte de agua se efectúa mucho más fácilmente en aquélla que en ésta.

Pero la evaporación dura menos tiempo y la cantidad de agua evaporada es bastante menor que la que evaporaría una tierra arcillosa, porque contiene menos agua. Por la misma causa, o sea por la adherencia de las capas líquidas a las partículas sólidas, adherencia tanto más enérgica cuanto más finas son estas partículas, una tierra arcillosa luchará siempre con mucho mejor éxito contra la evaporación que una tierra arenosa.

Masure ha dado las siguientes cifras, que confirman lo que acabamos de decir:

| | Tiempo necesario a los diversos elementos para cesar de perder agua por evaporación espontánea | Altura de agua evaporada (en milímetros) | Cantidad de agua que todavía retienen los elementos que ya no pierden nada por evaporación espontánea (en p. 100) |
|--------------------|--|--|---|
| Arena | 3 días | 3,7 | 2,1 |
| Caliza | 7 » | 3,5 | 3,6 |
| Arcilla | 7 » | 4,3 | 7,0 |
| Mantillo | 3 » | 4,5 | 41,0 |

La cifra que se refiere al mantillo demuestra que esta substancia, desde el punto que nos ocupa, tiene un interés particular.

De que las tierras de partículas finas pueden conservar el agua durante más tiempo que las de partículas gruesas, no hay que deducir que alimentarán a las plantas durante más largo tiempo. Llega pronto el momento en que, siendo la película líquida que cubre las partículas demasiado delgada, la raíz no puede vencer su adherencia a la tierra. Así es cómo Sachs ha hallado que en un suelo arcilloso de elementos finos, una planta de tabaco se marchita en cuanto la humedad desciende a 8 por 100, mientras que en una tierra cuarzosa de granos gruesos la misma planta no se marchita hasta que la humedad desciende a 1,50 por 100.

La *orientación* ejerce notable influencia sobre la evaporación. Una tierra de igual naturaleza y con el mismo riego eva-

pora más sensiblemente orientada al sur que si lo estuviese al norte.

El viento, y en particular el seco del este y del norte, seca las tierras desnudas o poco cubiertas.*

Las disoluciones de sales evaporan menos que el agua pura. Por consiguiente, *la adición de abonos a las tierras puede disminuir la evaporación hasta cierto punto.*

¿Cómo proteger las tierras contra la evaporación? — El trabajo del suelo, su desmenuzamiento y esponjamiento, no sólo permiten que el agua se almacene en el suelo y que se reparta uniformemente, como ya hemos dicho, sino que se conserve. El útil, al abrir la tierra, permite que el agua penetre; desmenuzándola, corta los canales capilares que llegan hasta la superficie y le permite resistir la evaporación. Un agrónomo alemán, Eser, ha dado los siguientes resultados obtenidos en experimentos practicados expresamente por él:

Evaporación sobre una superficie de 1.000 centímetros cuadrados en veinticuatro horas, expresada en gramos

| Fecha | Suelo binado | Suelo no removido |
|------------------------|--------------|-------------------|
| 13-14 agosto | 237 | 212 |
| 14 15 . » | 455 | 633 |
| 15-16 . » | 165 | 187 |
| 16-19 . » | 350 | 507 |
| 19-20 . » | 325 | 482 |
| 20 21 . » | 225 | 325 |

Estas cifras confirman lo que acabamos de decir. Las capas que pueden extenderse sobre el suelo, tales como el estiércol, la turba, etc., disminuyen naturalmente la evaporación. La adición de abonos también la disminuye.

Contra el viento, los bosques, los setos y la misma vegetación constituyen defensas eficaces.

La evaporación origina en las tierras bien mullidas la formación de una especie de costra sólida que pronto protege contra la desecación. Esta corteza protectora se forma tanto más de prisa cuanto más ardientes son los rayos del sol y más seco, caliente y violento es el aire. A esto se debe el que pronto la evaporación es superior a la aportación interior de agua, y que

la capa superficial se deseca hasta el extremo de que el agua ya no puede moverse en ella más que con lentitud extremada.

El conjunto de los procedimientos mecánicos que permiten a los suelos, en climas secos, retener el agua de lluvia y ponerla a disposición de las plantas, se le ha dado en los Estados Unidos el nombre de *dry farming* (cultivo de secano) por oposición a *wet farming* (cultivo de regadío).

Esta nueva palabra designa prácticas ya antiguas y que se han recomendado en Francia hace ya mucho tiempo.

H. W. Campbell es el que las ha vulgarizado y, es preciso reconocerlo, perfeccionado en América hacia el año 1900.

Comprenden sucesivamente:

El *laboreo*, que abre el suelo a las lluvias y deja penetrar el agua en el suelo.

El *rulaje* que comprimiendo la tierra y estrujando los canales intersticiales hasta convertirlos en capilares encierra el agua en ellos mientras prepara su ascensión hacia las raíces.

La *bina*, que rompe, por el contrario, la capilaridad e impide la evaporación oponiéndose a que el agua suba a la superficie.

Hemos ya relatado la ingeniosa experiencia que ha ideado Schloësing para demostrar la influencia de la rotura de los canales capilares.

El trabajo de las binadoras hace salir el suelo a la superficie, donde prepara una capa pulverulenta que rellena las otras capas que la soportan, desempeñando el mismo papel exactamente que el del azúcar en polvo encima de un terrón de azúcar.

La bina impide, por lo tanto, la evaporación del suelo. Es lo que nos hace decir en Francia hace ya mucho tiempo: *dos binas equivalen a un riego*.

Las diferentes labores de cultivo deben, por lo demás, hacerse en época oportuna, con instrumentos apropiados y con arreglo a un método determinado.

En esto consiste el arte del cultivador de secano (*dry-farmer*).

La labor es siempre la base de todo cultivo.

El cilindrado o rulaje precede a la bina.

La bina, en tiempo seco, debe ir seguida inmediatamente de una lluvia o de un temporal.

En tiempo muy seco, si no llueve, cuando las plantas cultivadas tienen las raíces superficiales se puede dudar en efectuar la bina porque se corre el riesgo de que el instrumento corte las raíces.

5.º Contracción de las tierras. Agrietamiento

Cuando la tierra se deseca, experimenta una contracción natural. De ello resulta que se agrieta en una profundidad mayor o menor. Sometiendo a la desecación pequeños prismas de tierra, se ha hallado que 1.000 partes cúbicas se reducen a:

| | |
|---------------------------|-----------------|
| Cal carbonatada | 950 |
| Arcilla | 940 |
| Mantillo | 846 |
| Arena | Sin contracción |

Las grietas, que siempre se encuentran en las tierras fuertes cuando la sequía sigue a la lluvia, permiten que el agua penetre nuevamente en el suelo. También el aire, que tan útil es a la vida de las raíces y a la elaboración de los alimentos, halla fácil acceso. Como veremos, el drenaje, al secar el suelo demasiado húmedo, produce la formación de estas grietas, y esto tanto más enérgicamente cuanto más arcilloso sea el suelo. Cuando la sequía llega, los suelos más arcillosos, tan ávidos de agua, podrán, gracias al drenaje, aprovisionarse más fácilmente a la menor lluvia. Así es que, con M. Risler, se puede decir que *el drenaje aporta agua a las plantas*. Esta afirmación parece paradójica, pero los hechos y el razonamiento la justifican.

Las tierras se endurecen por desecación tanto más cuanto más finas son.

6.º Temperatura del suelo

Las plantas necesitan hallar en el suelo cierta cantidad de calor, a fin de que puedan cumplirse los fenómenos que re-

gulan su nutrición. A este respecto, no todas tienen las mismas exigencias. Unas no pueden vivir más que en climas muy calurosos; otras, por el contrario, prosperan en latitudes elevadas. El sol es casi la única fuente de calor para el suelo. Boussingault ha demostrado hace tiempo que en las condiciones prácticas ordinarias el estiércol no podía dar, por su combustión, una gran cantidad de calórico; sólo es eficaz desde este punto de vista cuando se emplea en gran abundancia, como en las capas calientes de los jardines.

Muchas circunstancias intervienen en el caldeo de la tierra por los rayos solares: el grado de humedad, la oblicuidad de los rayos, el calor de la tierra, su orientación, la temperatura del aire.

Unicamente nos referiremos a la humedad.

Una tierra húmeda se calienta menos de prisa que una tierra seca. Pierde más rápidamente la cantidad de calor que contiene. Entre dos lotes de la misma tierra expuesta al sol, uno seco y otro húmedo, Schubler ha hallado una diferencia de 8° en la capa superficial.

Véanse los resultados que obtuvo en el examen de cierto número de tierras:

| | Temperatura del suelo en grados centígrados | |
|---|--|-------|
| | Húmeda | Seca |
| Arena cuarzosa | 37,25 | 44,75 |
| Arcilla flaca | 36,75 | 44,12 |
| Tierra calcárea blanca y fina | 36,65 | 43,00 |
| Mantillo | 39,75 | 47,37 |
| Tierra de jardín | 37,50 | 45,25 |
| Tierra arable ordinaria | 36,88 | 44,25 |

El suelo húmedo, pues, está constantemente más frío que el suelo seco.

Esto se debe, en primer lugar, a que la evaporación es más activa en un suelo húmedo que en otro seco, y a que absorbe necesariamente calor. Se debe también a que, siendo el calor específico del agua (1) superior al de los demás constituyentes

(1) Se llama *calor específico de un cuerpo* la cantidad de calorías necesarias para elevar un grado la temperatura de un kilogramo de este cuerpo. La

del suelo, se necesita más calor para calentar un terreno húmedo que uno seco.

Por otra parte, como el agua conduce peor el calor que los demás elementos que constituyen el suelo, el sol recalienta menos fácilmente una tierra húmeda que otra seca. Finalmente, el agua posee considerable poder de radiación. Las capas superiores del suelo en contacto con la atmósfera se enfrían muy pronto y el agua que contienen desciende, en virtud de su mayor densidad. Es substituida por el agua contenida en las capas inferiores, que a su vez se enfría, y así sucesivamente.

De todas estas circunstancias resulta también que un suelo húmedo, y por consiguiente frío, posee una temperatura menos variable que un terreno seco. Las variaciones de la temperatura exterior se hacen sentir menos en el primero que el segundo. También se calienta más lentamente en primavera.

Estas ideas sobre las relaciones entre el grado de humedad de las tierras y su temperatura presentan mucho interés desde el punto de vista del *drenaje* y del *riego*. Volveremos a ocuparnos de esta cuestión.

Efectuando el drenaje, se hace desaparecer la causa de la baja temperatura de las tierras húmedas, de las tierras arcillosas, que, en consecuencia, son frías. Un exceso de agua rebaja todavía su temperatura, que entonces se hace absolutamente insuficiente y perjudica las cosechas.

El riego lleva agua al suelo. Esta, según su origen, la época del año y aun la hora del día, puede ser más fría o más caliente que la tierra. En el primer caso la refresca y en el segundo la calienta.

caloría es la unidad de medida y es el calor específico del agua. Por definición es, pues, igual a 1.

Véase, según el agrónomo Pfundler, el calor específico de algunos de los constituyentes del suelo:

| | Calor específico de las materias desechadas a 100° |
|---|--|
| Arena de ribera, sin mantillo | 0,1938 |
| Arena caliza | 0,2081 |
| Turba | 0,5069 |
| Tierra de trigo muy fértil | 0,2847 |

siendo 1 el calor específico del agua

Recientes experimentos de Müntz y Gaudechon evidencian que el agua al llegar a una tierra calentada por los rayos del sol eleva su temperatura tanto más cuanto más materia orgánica contenga. En este curioso fenómeno hay una acción molecular y una acción de afinidad. La tierra, rica en mantillo y caliente, tiene tanta afinidad por el agua, que la absorbe desprendiendo un calor tal que su temperatura puede llegar a más de 50° C. Aquí está la explicación que se ignoraba del peligro de regar las tierras en pleno sol.

¿CUÁL ES LA CANTIDAD DE AGUA ÓPTIMA QUE DEBE CONTENER UNA TIERRA?

No es posible condensar en una cifra la contestación a esta pregunta. Varía con la naturaleza de las tierras y hasta con el clima. El conde de Gasparin (1) ha dicho que considera como un tipo ideal la *tierra fresca*: «esta rara y feliz combinación de todas las cualidades del terreno, que no permite que a 30 centímetros de profundidad haya nunca menos de 0,10 de humedad en las grandes sequías de verano, o más de 0,23 en la estación de las lluvias.»

Según Hellriegel, la humedad óptima se alcanza cuando la tierra contiene de 50 a 60 por 100 de su máxima capacidad para el agua, es decir, de 50 a 60 por 100 de su porosidad, y si ésta es de 40 por 100, de 20 a 25 por 100 de su volumen total. Se trata de experimentos efectuados en Dahme (Prusia, Brandeburgo).

II.—RELACIÓN ENTRE LA CANTIDAD DE LLUVIA CAÍDA Y LA CANTIDAD DE AGUA QUE ATRAVIESA LA TIERRA

Se comprende su importancia, puesto que indica la cantidad de agua que el drenaje debe extraer. Las aguas de lluvia o de nieve que recibe un terreno que suponemos horizontal, se dividen en tres fracciones; una se evapora (parte directamente y parte por intermedio de las plantas); la segunda penetra en el

(1) DE GASPARIN, *Cours d'agriculture*, t. I, 3.ª edición, 1863.

suelo y, si éste no está saturado, permanece en él provisionalmente; la tercera lo atraviesa, y por el drenaje se escapa, por lo menos en parte. Lo que hemos dicho hasta ahora hace prever que los valores de estas fracciones dependen: de la naturaleza del suelo, de su grado de mullimiento y humedad, de su cultivo, del clima, de la estación y de la rapidez con que la lluvia caiga. Y esta diversidad de factores hace ver cuán difícil es el estudio de esta cuestión. Muchos observadores han tratado de ella; algunos han proseguido sus experimentos durante gran número de años. Citemos a Dalton (1790), Dickinson y Evans (1836-1884), Greaves (1851-1880), Lawes y Gilbert (veinticinco años), Möllendorf y Wäge (cuatro años), Hervé Mangon (1855-1857), Wollny, Dehérain, Risler (1886-1876). Excepto Risler, no se situaron en condiciones rigurosamente naturales. Algunos operaban en tierra desnuda (Lawes y Gilbert), en la que incluso destruían la hierba, de modo que la cantidad de agua de drenaje recogida era mucho más considerable de lo que hubiera sido si la tierra hubiese estado cultivada del modo usual; otros utilizaban los *lisímetros*, cajas de pequeña superficie, en las que las propiedades físicas de las tierras, su contextura íntima, se modificaban siempre más o menos. Desde 1855 a 1857, Hervé Mangón practicó experimentos en condiciones normales. Operaba en un terreno cultivado y drenado de más de una hectárea. Pero las observaciones de 1855 y 1856 no duraron más que veintidós meses; las de 1857 se practicaron en un campo que recibía probablemente el agua de uno de los terrenos superiores. Estas circunstancias han disminuído su valor

De la cantidad de agua que atraviesa el suelo, como más tarde diremos (véase *Drenajes*), depende el cálculo de los colectores de la red de drenajes y, por consiguiente, el buen funcionamiento y una parte del precio de coste de esta mejora. Se comprende la conveniencia de determinar tan exactamente como sea posible la cantidad de agua que llega a los tubos de drenaje.

A este respecto no hay que considerar los promedios anuales, ni siquiera los promedios por estación, sino *los mayores promedios mensuales de las alturas de agua caída y de agua*

filtrada. Efectivamente, es preciso que la desecación del terreno quede garantizada para el mes en que la cantidad de agua evacuada por el drenaje sea máxima, es decir, aquel en que el producto es máximo, producto que se obtiene *multiplicando la cantidad media de agua caída por la cantidad media por 100 de agua salida*.

Las figuras 6 y 7 demuestran que en las condiciones de clima, terreno, cultivo, etc., en que se halla Calèves (Suiza), es el mes de marzo el que da este máximo, no obstante ser el mes de noviembre el más lluvioso.

Marzo suministra a los tubos de drenaje una cantidad media de agua igual a $\frac{0,084^m + 54}{100} = 0,045$ metros. Noviembre, con una lluvia de 0,099 metros no da más que $\frac{0,099^m + 39}{100} = 0,038$ metros.

Es evidente que estas condiciones especiales de Calèves no se hallan en climas muy diferentes, en suelos de caracteres completamente distintos, por ejemplo, en el mediodía de Francia. Así, sería conveniente realizar en Francia experimentos con el mismo criterio que los de Risler, en las regiones más características, sobre las relaciones de clima, suelo y cultivos. Insistiremos en esta cuestión con algún detenimiento al tratar del drenaje.

M. Risler, de 1867 a 1876, halló en Calèves condiciones absolutamente normales. Los experimentos se practicaron en terrenos destinados a las habituales operaciones de cultivo, y con verdaderos drenes recogió las aguas que atravesaron el suelo. Escogió un campo de más de diez áreas, casi horizontal, que sólo recibía agua de lluvia o nieve en un suelo lo bastante arcilloso para tener la seguridad de que toda el agua que no se evaporaba salía por los tubos colocados a una profundidad de 1,20 m. El primer año, el campo tenía 2/5 de su superficie de patatas, 2/5 de trigo, 3/20 de alfalfa y 1/20 en caminos cuyas aguas iban a parar a los drenes. Mas tarde, 2/5 fueron de trigo, 2/5 de trébol, 2/20 de alfalfa y 1/20 en caminos. Las condiciones naturales en que experimentó Risler dan gran valor a sus estudios, que duraron diez años.

Los resultados pueden resumirse en las siguientes cifras medias:

| | |
|--|-------------|
| Altura media de agua de lluvia y de nieve caída en un año. | 944,4mm. |
| » » » » evacuada por los drenes. | 250,8 » |
| » » » » evaporada. | 693,8 » |
| Agua evacuada por los drenes. | 26 por 100. |
| » evaporada. | 74 » » |

Las temperaturas medias de los diferentes meses estuvieron comprendidas entre 0,5° C. (enero) y 20,5° C. (julio).

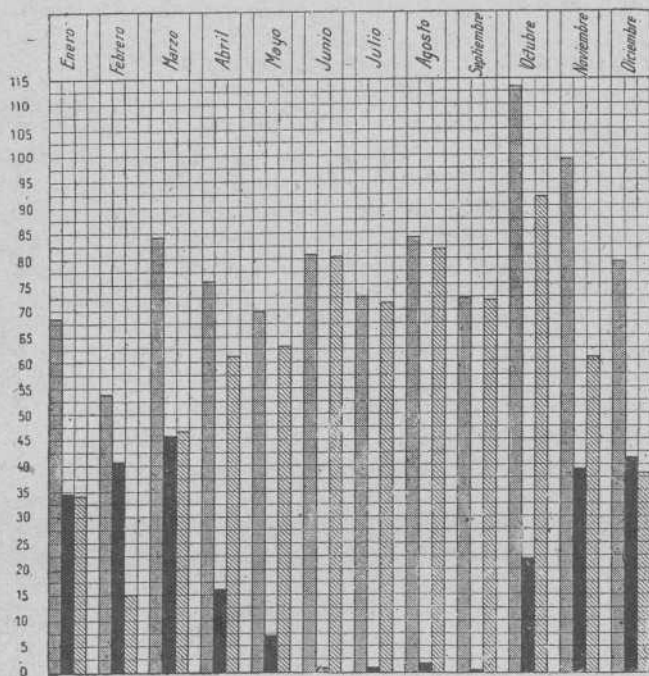





Fig. 6. — Cantidades medias mensuales de agua caída , de agua de drenaje  y de agua evaporada .

Resultado de diez años de observaciones de M. Hisler, en Calvès (Suiza).

Los experimentos de Lawes y Gilbert en tierra sin sembrar dieron en diez años (1871-1880) un promedio general de agua de filtración de 42 por 100.

Pero lo más interesante es comparar entre sí, cada mes, las alturas de lluvia caída y de agua evacuada y evaporada.

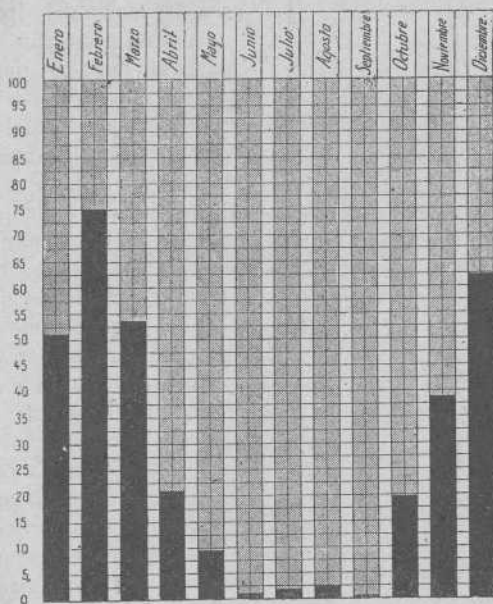




Fig. 7. — Cantidades medias mensuales de agua de drenaje  y de agua evaporada , expresadas en tanto por 100 de agua caída

Resultado de diez años de observaciones de M. Risler, en Calèves (Suiza)

Los gráficos (figuras 6 y 7) indican claramente estas comparaciones, demostrando que durante los meses en que es más activa la vegetación (mayo, junio, julio, agosto, septiembre), la evaporación es máxima y cabe decir que los drenes no dan agua.

Por el contrario, a fines de otoño, todo el invierno y el mes de marzo, período en que la vegetación se detiene o es casi nula, los drenes dan el máximo y la evaporación disminuye. La filtración sigue una marcha inversa a la temperatura media del aire.

Advirtamos cuán interesantes son para los riegos los gráficos suministrados por los experimentos de M. Risler, pues demuestran que la evaporación alcanza el máximo en el período de vegetación activa, de mayo a septiembre. Entonces los drenes no dan agua y toda la que cae se evapora, y precisamente en este momento es más necesaria para las tierras. Entonces, como ya hemos visto en uno de los capítulos precedentes, las plantas sólo pueden obtenerla de las reservas de la tierra. De aquí se infiere la utilidad de los riegos estivales, de las labores profundas y del drenaje; operaciones todas que aumentan la pro-

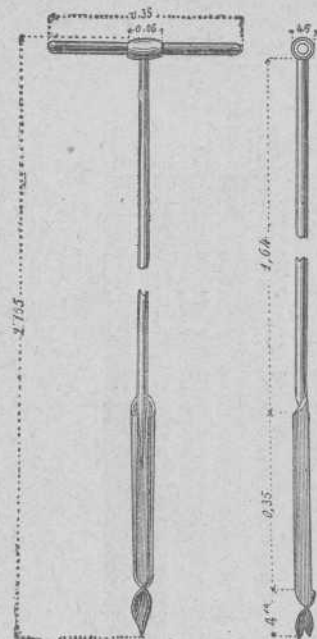


Fig. 8. — Sonda de Pallssy

fundidad del suelo y favorecen el almacenamiento del agua de las lluvias de otoño, invierno y primavera.

III. — INSTRUMENTOS PARA EXTRAER MUESTRAS DE TIERRAS. SONDAS

Ya se trate de riego o de drenaje, es preciso formarse claro concepto de las capas constitutivas del suelo y subsuelo, extraer muestras y analizarlas física y químicamente, sobre todo en lo que se refiere a la cantidad de cal y hierro. Cuando el terreno

linda con una carretera o un camino excavado en desmonte, se aprovechará esta circunstancia para hacer observaciones intere-

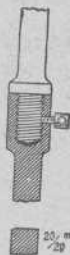


Fig. 9.—Varilla de acoplamiento

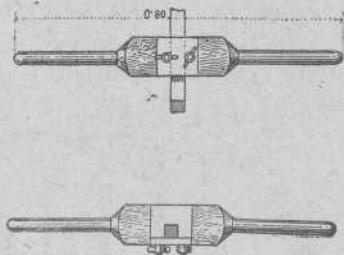


Fig. 10.—Empuñadura de sonda

santes. En todo caso, en puntos suficientemente próximos y que indiquen los parajes más característicos, a profundidades variables entre 0,30 a 2 y 3 metros, con auxilio de sondas apropiadas se extraerán muestras del terreno. Estos puntos se señalarán en el plano del campo sometido a la mejora. El análisis de

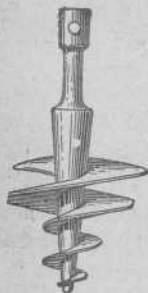


Fig. 11.—Perforador para tierras ligeras



Fig. 12.—Sonda para tierras arenosas

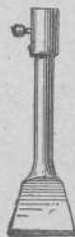


Fig. 13.—Barrena para terrenos pedregosos

estas se extraerán muestras del terreno. Estos puntos se señalarán en el plano del campo sometido a la mejora. El análisis de

las muestras servirá para completar las indicaciones de los perfiles longitudinal y transversal que se señalarán en el plano y que tan exactamente como sea posible representarán la infraestructura del terreno.

No creemos que la fabricación de estas sondas se haya extendido mucho en Francia, aunque la invención se deba indudablemente al célebre Bernardo de Palissy. La sonda conocida

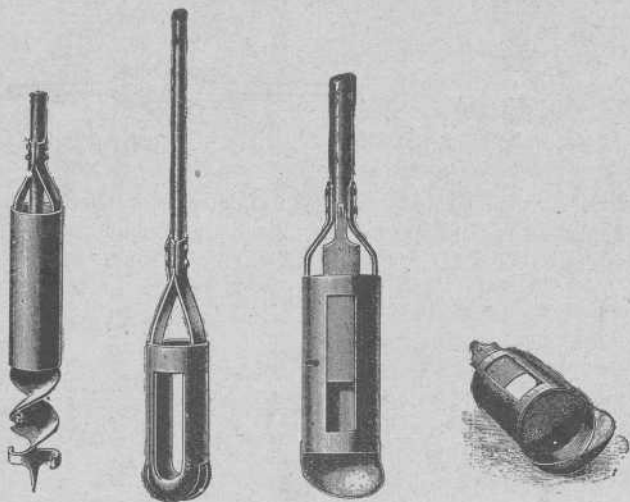


Fig. 14. — Sondas «Triumph», «Rapide» y «Universelle»

con su nombre, representada en la figura 8, es la más usada en Francia.

En el extranjero, los constructores ofrecen numerosos modelos de estos útiles instrumentos. Las figuras 11 y 12 representan sondas cuyo coste es de unos 40 francos. Los epígrafes de las figuras nos dispensan de entrar en pormenores. La figura 10 representa la empuñadura que se adapta en la parte superior del mango de la sonda para ayudar a hundirla. La figura 9 representa los trozos de sección igual a $\frac{20}{20}$ milímetros, que se fijan

para explorar el terreno a profundidades que limita la consistencia del suelo, pues conviene retirar la sonda sin que el esfuerzo exceda del de uno o dos operarios.

En cuanto se encuentra agua, se anota cuidadosamente su profundidad; los sondeos se multiplican con objeto de señalar los diversos puntos del plano. No conviene medir la profundi-

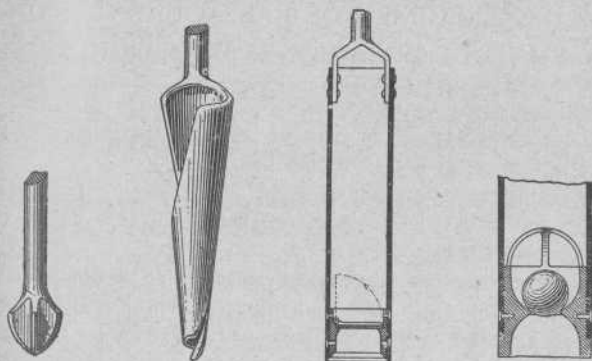


Fig. 15. — Taladro de percusión

Fig. 16. — Sonda para terrenos arcillosos

Fig. 17. — Sondas de válvula para terrenos esponjosos

dad del agua antes de doce horas, pues su nivel varía en los agujeros de sonda durante bastante tiempo.

No siempre basta la colección de sondas que acabamos de citar. Pueden también recomendarse las de las figuras 14 a 17.

La figura 15 representa un taladro que permite separar las piedras; las sondas de válvula representadas en la figura 17 se destinan a los terrenos arenosos y a los barrizales.

Las sondas taladros Triumph y Rapide merecen mencionarse por la rapidez con que se pueden maniobrar.

CAPÍTULO III

RÉGIMEN DE LAS AGUAS EN LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS

La geología nos da a conocer las capas impermeables que se hallan en las diversas formaciones.

Si estas capas están en la superficie del suelo o muy cerca de ella, las aguas de lluvia no pueden penetrar, y habrá que practicar en ellas un drenaje.

Si tienen superpuestas capas permeables en las cuales penetre y se acumule la lluvia como en un recipiente, constituyen un nivel de agua a que se puede llegar abriendo *pozos* o que fluya por las laderas de los valles produciendo los *manantiales*, que captados por procedimientos análogos al drenaje pueden servir para la alimentación de los habitantes o para el riego de los terrenos situados debajo de su nacimiento. Pero con mayor frecuencia los riegos se practican con aguas de arroyos o ríos formados por las aguas que discurren por terrenos de mayores altitudes.

Los drenajes, captación de manantiales y riegos dependen de la constitución geológica del terreno y del régimen de las aguas, que es su consecuencia.

Debemos basarnos en la descripción geológica de los terrenos para indicar las obras que deben efectuarse en cada caso, con objeto de utilizar lo mejor posible las aguas de lluvia.

1. — Terrenos primitivos

Las rocas primitivas, granitos, gneis, etc., se consideran generalmente impermeables; pero con frecuencia están atravesados por grietas o filones que permiten a las aguas de lluvia

penetrar a profundidades mayores o menores, y además casi siempre se descomponen en cierto espesor.

Durante la descomposición de los granitos se forman fragmentos de todos tamaños: arcilla, arena fina, pajillas de mica, granos de cuarzo y de feldespato, etc. Según su peso, volumen y la pendiente sobre que se acumulan, estos fragmentos permanecen en la roca de que proceden o son arrastrados por la gravedad de las aguas.

En las pendientes débiles queda una tierra ligera o *arena*, que el sol estival pone ardiente. Por el contrario, si el subsuelo es de roca impermeable, se colma de agua en las estaciones lluviosas, es frío en invierno y a veces lo levanta el hielo. Son los dos extremos superpuestos. Generalmente se labra en sentido transversal de la pendiente para evitar que las aguas arrastren demasiadas partículas terrosas.

En las alturas y en las pendientes rápidas se encuentran con frecuencia las rocas completamente desnudas.

Las tierras se acumulan en los valles, donde no sólo es más profunda, sino que está mezclada con arcilla e impregnada, en mayor o menor grado, de carbonatos alcalinos y terrosos arrastrados por las aguas. Este despojo de las partes más altas en beneficio de las bajas es más rápido cuando el suelo está labrado, y menos cuando está cubierto de césped o matorrales.

Bajo esta mullida capa, la roca está más o menos alterada, más o menos llena de grietas y más cerca de la superficie en los puntos altos. En las hondonadas, con frecuencia está cubierta de muchos metros de detritus y de tierra. Por lo tanto, las rocas no siguen exactamente las ondulaciones del terreno, sino que son más señaladas.

En las regiones graníticas, todos los valles de la superficie existen en el subsuelo con todas sus ramificaciones. Las aguas que se filtran a través de la capa de arena corren por la superficie de esta roca. Después de llenar las grietas, se reúnen en las depresiones y forman bajo tierra arroyos que tan pronto corren invisibles como brotan en fuentes. En la mayoría de los terrenos graníticos, las fuentes son numerosas, pero precisamente por serlo, la superficie que alimenta a cada una de ellas no puede ser grande. Por esto, la mayoría de ellas tienen un



caudal pequeño, que a veces no resiste una prolongada sequía. Los manantiales más persistentes se hallan en las depresiones que corresponden a grandes superficies claramente inclinadas hacia dichas depresiones.

Dice E. de Beaumont: «La inmensa cantidad de valles y de arroyuelos que cruzan en todas direcciones las montañas graníticas del Limousin y de Auvernia, se reproducen en la parte de Vendée, de Bretaña y de los Vosgos, cuyo suelo pertenece a los terrenos cristalizados. Esta disposición es tan señalada, que aproximadamente se pueden trazar los límites de estos terrenos por la sola consideración de las corrientes de agua».

Esta abundancia de fuentes que caracteriza las comarcas graníticas, permite diseminar las viviendas y las granjas, mientras que en otras formaciones, por ejemplo, en los terrenos jurásicos y cretáceos, los habitantes se ven en la necesidad de agruparse en grandes poblados, a lo largo de las escasas corrientes de agua que las atraviesan, y a abandonar al pastoreo o a un cultivo muy extensivo las mesetas alejadas de los centros populosos.

Después de atravesar las arenas ligeras que cubren la superficie de las mesetas, las aguas circulan más o menos de prisa por el subsuelo y aparecen en numerosos filetes en la parte superior de las pendientes, o también a veces se filtran por las grietas y filones de cuarzo que atraviesan las rocas, y aparecen más abajo produciendo manantiales más o menos abundantes en los puntos adonde van a aflorar estos conductos naturales.

Cuando estas aguas no tienen otra salida, se extienden sobre los campos y forman bariancos en que los cultivos son difíciles y las cosechas malas. Cuando vierten a los prados, las gramíneas son substituídas por carrizos y juncos, y el suelo tiende a convertirse en turboso.

Entonces hay que abrir una zanja de pendiente tan grande como sea posible, con algunas ramificaciones que vayan hasta los parajes en que la difusión de las aguas se manifieste por la humedad del terreno o la mala calidad de las hierbas, y establecer drenes de piedra o de tubería.

Los gneis y los micasquistos proporcionan losas de piedra muy propias para este uso.

Cuando no se tienen estas losas, se ponen las piedras mayores en el fondo de la zanja y encima las pequeñas.

Para estos drenes de piedra hay que cavar las zanjas más anchas que para los de tubos, y no existe ventaja efectiva en practicarlos más que cuando se tienen los materiales a mano. Proviene de las labores profundas, desmontes y despiedres que se practican en las tierras vecinas. Para desecar superficies de gran extensión es casi siempre más económico utilizar tuberías de barro cocido.

Los agricultores de las regiones graníticas del departamento de Tarn distinguen los terrenos que se han convertido en pantanosos por causa de las lluvias recibidas, de aquellos en que además se vienen a acumular las aguas aportadas por los manantiales y arroyos procedentes de terrenos más elevados. Los labriegos de Sinobre dan a los primeros el nombre patuá de *Sagnenc* y a los segundos el de *Glandoulenc*.

Los primeros se pueden encontrar en las mesetas elevadas de Sinobre, en los lugares que forman como una cubeta donde se acumulan las aguas sin salida: «en estos terrenos, dice Bernard Lavergne, es lo mejor renunciar a toda idea de cultivo y abandonarlos a la vegetación espontánea de bosques o de juncos».

Las aguas dulces, y con frecuencia también la de los arroyuelos, se reúnen en recipientes para regar los prados que se hallan o se establecen más abajo.

La capacidad de estos recipientes, en general, está calculada de modo que puedan llenarse en cuarenta y ocho o en setenta y dos horas durante los meses de marzo y abril.

El fondo del depósito se impermeabiliza por medio de arcilla apisonada y se le rodea de una pared de 0,60 metros a 0,70 metros de espesor y de 1 a 1,40 de altura, que exteriormente se sostiene con un contrafuerte de tierra. Una compuerta de madera de castaño da salida al agua. Las acequias se disponen escalonadas unas sobre otras en las vertientes de las colinas, de modo que pueda regarse mediante tomas de agua.

En el Limousin, los labradores trazan a ojo las regueras de circulación de agua, pero con frecuencia ocurre que luego tienen excesiva pendiente, y el agua acumulada en el extremo in-

ferior cría juncos y plantas acuáticas, mientras que hacia la parte central escasea. Deberían utilizarse niveles de agua para que la pendiente no excediese de un centímetro a centímetro y medio por metro.

Gracias a la acumulación de agua en estos depósitos, se puede utilizar mayor caudal y emplearlo para el riego de una mayor extensión de terreno.

Pero es esencial que las aguas pasen sobre el terreno y se filtren y corran sin estancarse. En caso contrario, criarían más juncos y plantas acuáticas que buenos forrajes y sería preciso un nuevo drenaje para evacuarlas.

Las praderas situadas en los valles al borde de los arroyos son con frecuencia demasiado húmedas y dan un heno basto y poco nutritivo. En este caso es útil construir una zanja de circunvalación para impedir que las aguas de los predios superiores se acumulen en la tierra arcillosa de estos bajos. Y aun a veces es necesario un drenaje regular para desecar completamente estas praderas, y entonces es preferible para ello emplear tubos de barro cocido.

Las aguas, al salir del granito, no contienen sulfato de cal y muy poco carbonato cálcico. Disuelven perfectamente el jabón y sirven para la cocción de legumbres, para suavizar la seda, para el blanqueo y la tintura de tejidos, etc.

Según Truchot, las aguas, al salir de los terrenos graníticos de Auvernia, contienen por litro:

| | SÍLICE | CAL | POTASA | SOSA | ÁCIDO FOSFÓRICO |
|---|---------|-----------|---------|---------|-----------------|
| | Millgr. | Millgr. | Millgr. | Millgr. | Millgr. |
| Montaigut | 40,0 | Vestigios | 2,7 | 2,0 | Vestigios |
| La Celle (fuente). . | 90 | 2,4 | 2,5 | 3,6 | Vestigios |
| Sauviat (fuente de la Santa Virgen) . . | 29,0 | 25,0 | 1,9 | 6,4 | Vestigios |
| Estaudenil (fuente) . | 28,5 | 13 5 | 8,2 | 13,5 | Vestigios |

Según Belgrand, las dosis hidrotimétricas de las aguas de fuente de terrenos graníticos de Morvan varían entre 2 y 7°.

Las que contienen más cal proceden de variedades de rocas en las cuales la ortosa está mezclada con oligoclasa y la mica está substituida por anfíbol. En el Limousin, las aguas más beneficiosas para los prados son las que han atravesado terrenos procedentes de la descomposición de estas rocas.

Cuando los granitos tienen grietas profundas, pueden formarse manantiales cuyas aguas a la vez son más abundantes y más puras que las que circulan por la parte descompuesta de la superficie. Captándolas por medio de acueductos de revestimiento impermeable, se ha llegado a obtener excelente agua para el abastecimiento de las ciudades de Rennes, Quimper, Lorient y Limoges.

El cuarzo y la leptinita, dice Emiliano Dumas en su *Estadística geológica del Gard*, forman en diversos puntos graníticos de las Cevenas numerosos y potentes filones, cuya cabeza tiene forma de dique, y desempeñan importante acción en el régimen de aguas de estos terrenos. Son presas naturales que retienen, no sólo una parte de las aguas de lluvia que corren por la superficie del suelo, sino que además, y en lo hondo, detienen las aguas ya filtradas. Las filtraciones chocan contra las salbandas arcillosas situadas encima y en la cresta de estos diversos filones y forman capas acuíferas verticales.

Los habitantes de las Cevenas conocen muy bien este fenómeno y designan estos filones con los nombres de *conductores de agua*. Especialmente en los alrededores de Saint-Jean-du-Gard se han sabido utilizar los numerosos filones acuíferos que atraviesan el terreno de esta localidad. Cuando desde un punto elevado se echa la vista sobre las vertientes de las montañas que rodean la aldea, sorprende ver, repartidos con cierta regularidad, pequeños jardines escalonados en las alturas. A cada uno de estos jardines corresponde una fuentecilla natural que brota del mismo filón. Por una galería transversal abierta sobre el filón se ha dado salida al agua.

2. — Terrenos volcánicos

En Auvernia, los basaltos agrietados verticalmente permiten que descendan las aguas caídas sobre las mesetas supe-

riores hasta las arcillas impermeables que las sostienen; se forman manantiales en las líneas de unión de la arcilla y el basalto, y muchas poblaciones están situadas sobre estas líneas.

En el Alto Loira, la meseta volcánica de Velay presenta igualmente debajo de las escorias y de los basaltos pedregosos y llenos de grietas, capas impermeables formadas por la descomposición de estas rocas, que detienen las aguas y forman manantiales (1).

Estas aguas abundan en cal, potasa y ácido fosfórico. Son muy estimadas para el riego, especialmente para el de los terrenos graníticos que abundan en Auvernia y en Cantal, debajo de los macizos y de las avenidas volcánicas.

3. — Terrenos primarios

En el Cotentin y en el Bocage normando, los esquistos del *cambriano* y del *silúrico*, al descomponerse, suministran tierras fuertes que con frecuencia conviene desfondar y drenar. Para esta última operación pueden utilizarse las piedras que se obtienen del desfonde.

Los bancos calizos intercalados a veces en los esquistos y el gres, por ejemplo, en los alrededores de Saint-Lô, están agrietados y contienen agua.

En Grandjouan (Bretaña), las tierras compradas antes a 100 francos la hectárea, se han convertido en terrenos muy productivos por medio de un gasto de 500 francos por hectárea, de los cuales unos 180 se invirtieron en drenajes.

En el otro extremo de Bretaña, en Brohet-Beffon, el conde de Troguindy, por el drenaje y los fosfatos, ha transformado marismas improductivas en campos fertilísimos. En lugar de tubos utilizó para los drenes placas de esquistos. Las labores profundas se las proporcionaron en gran cantidad, y el saneamiento obtenido de este modo no le costó más de 150 francos por hectárea.

En las Ardenas, el *devoniano* forma pliegues o series de hendiduras que contienen capas calizas muy agrietadas. A veces

(1) DAUBRÉE, *Les eaux souterraines*, 1887.

hay sobre estas calizas hoyos embudados. Las aguas de lluvia los atraviesan y van a acumularse en el fondo o forman minas subterráneas. Si las corta un valle, se produce un manantial.

En el *sistema permocarbonífero* se hallan tierras que varían desde las más arcillosas (*Beluzes*) hasta las arenas más secas (*Varennés*), con numerosos manantiales en los bancos de arcilla o de rocas compactas. Cuando las capas son horizontales, las filtraciones de agua de lluvia quedan detenidas por los bancos de arena. Cuando son inclinadas, pueden producirse estas filtraciones en la cabeza de sus afloramientos y así se forman filetes de agua subterráneos que circulan por los terrenos arenosos.

En las montañas de los Vosgos, el *asperón rojo* se compone de capas alternativas de arenisca basta y de arcillas rojas.

4. — Terrenos secundarios

El *asperón de los Vosgos* casi siempre está agrietado y sin capa alguna que pueda detener las aguas. Así es que hay pocos manantiales en los flancos de las montañas y ordinariamente aparecen en el fondo de los valles. En el país de Bitche, todas las poblaciones, como los manantiales, están agrupados en el fondo de los valles y el resto de la comarca está casi deshabitado.

«A pesar de su porosidad, bastante sensible, dice M. Bracconier (1), el *asperón abigarrado* deja pasar las aguas con suma lentitud. Las capas irregulares de esquisto arcilloso que contiene contribuyen a su impermeabilidad; así en su superficie son numerosas las charcas. Las aguas se filtran gracias a las grietas verticales que surcan más o menos el terreno y que con frecuencia se detienen en los lechos de arcilla. A causa de la irregularidad de estos lechos que retienen el agua, la situación de las capas acuíferas es muy variable; pero en general están a poca profundidad de las mesetas».

En medio de los bosques que cubren la mayor parte de los Vosgos, la producción agrícola se desarrolla únicamente en

(1) BRACCONIER, *Description des terrains de Meurthe-et-Moselle*, 1883.

los predios de los valles, donde la tierra fina, más o menos mezclada con arcilla, se ha acumulado y es en cierto modo capaz de recompensar el labrantío.

Los cultivadores han aprovechado todas las corrientes de agua para regar sus tierras; pero los manantiales que brotan del asperón de los Vosgos son tan pobres en materias fertilizantes como las rocas que han atravesado. Se ha procurado compensar la calidad con la cantidad de las aguas; en algunas praderas se utilizan hasta 100 litros por segundo y hectárea, logrando rendimientos de 5.000 kgs. de heno y 1.500 kgs. de retoño por hectárea; pero son forrajes poco nutritivos, sin apenas leguminosas. Sería mejor emplear menos agua en invierno y completar su acción con abonos químicos, fosfatos de cal o escorias de desfosforación esparcidos en primavera.

En el asperón de los Vosgos, Chevandier de Valdrôme realizó interesantes experimentos sobre la producción de los bosques, hallando que el crecimiento medio anual de los pinos de 80 a 100 años era de:

| | |
|---|--------------------|
| En los terrenos fangosos. | 1,89 kg. por árbol |
| En los terrenos secos. | 3,40 » » |
| En los terrenos regados por acumulación de aguas pluviales. | 8,20 » » |
| En los terrenos regados por aguas corrientes | 11,60 » » |

En consecuencia, estableció series de zanjas horizontales de 12 a 15 metros de distancia, para retener las aguas de lluvia de modo que regaran estos árboles en vez de correr a lo largo de las vertientes.

Pero las aguas corrientes fueron más ventajosas que las de lluvia a causa de las substancias nitrogenadas y minerales que contienen en solución. En Lorena, la *caliza conchífera* se compone de dos capas subterráneas de 70 a 100 metros de espesor. La inferior, donde los bancos de caliza dolomíticos alternan con márgas y gredas abigarradas, retiene el agua de lluvia que ha atravesado el piso superior, muy agrietado y muy permeable. Resulta un nivel de agua del que brotan numerosas fuentes, que riegan las praderas situadas en los valles. En las mesetas que las separan se cultiva admirable-

mente la alfalfa. Es, por todos conceptos y en toda su extensión, una tierra excelente, tanto por sus propiedades físicas como por su composición química.

Ocurrerá completamente lo contrario en las *margas irisadas*. En Lorena son tan impermeables, que las aguas de lluvia no pueden penetrar y se estancan en embalses que suelen utilizarse en piscicultura.

Debajo de estos embalses circulan lentamente los arroyuelos y los ríos, dando numerosos rodeos por los valles de poca pendiente que forman las depresiones de las mesetas. La mayor parte de estos amplios valles están cubiertos de prados, algunos de ellos pantanosos, en los que durante la sequía se ven eflorescencias, en medio de las cuales crecen plantas salícolas, como la *Salicornia herbácea*. Rectificando el curso de las aguas o por medio de oportunos drenajes, podrían mejorarse considerablemente los productos de estas praderas. Igualmente se debería aumentar su extensión a expensas de otras tierras más fuertes de desventajoso cultivo. El barbecho es casi siempre indispensable para obtener cosechas de trigo que, de otro modo, rara vez producen al cultivador positivo beneficio. Es preferible aprovechar la aptitud de las tierras para criar hierbas a fin de plantar praderas artificiales y para concentrar el cultivo en tierras altas y aun entre éstas, en las mejores y más próximas a las granjas, reservando las demás para bosque. El drenaje sería útil en todas partes, pero cuesta muy caro en las tierras mal desfondadas. En los suelos de marga irisada no pueden formarse recipientes para las aguas de lluvia, ni, por lo tanto, manantiales, como aparecen en las capas de caliza dolomítica o de asperón que allí se presentan intercaladas (Keuper). Estos manantiales son de poco caudal y están muy expuestos a secarse en verano.

Terrenos jurásicos. — Los terrenos jurásicos se pueden dividir en tres grupos, cada uno de los cuales se compone de una base arcillosa o margosa, sobre la cual hay una masa más o menos considerable de calizas llenas de grietas, cuevas y frecuentemente de cavernas, y, por consiguiente, muy permeable.

Las arcillas del liásico forman la base del oolítico inferior; las margas oxfordianas, la del oolítico medio, y las mar-

gas kimeridgianas, las del portlandiense. Podrían añadirse las margas del batoniense, que constituyen una subdivisión del oolítico inferior.

Además de estas capas principales de margas y arcillas, hay otras menos importantes de más delgado lecho, repartidas por en medio de las calizas, aunque sólo pueden formarse fuentes de muy poco caudal.

Las aguas de lluvia que caen sobre las alturas agrietadas de las mesetas jurásicas desaparecen rápidamente, se filtran por los intersticios, arrastran las margas que encuentran a su paso y agrandan cada vez más los conductos subterráneos. Así producen en la superficie de las mesetas una especie de *embudos*, llamados *emposieux* en las montañas del Jura, *bétoires* en el departamento de Lot y *kalavothres* en Grecia.

Lo que más llama la atención al recorrer comarcas jurásicas, son los valles completamente secos, en los que es inútil buscar el más leve indicio de arroyo por los pedregosos campos que los cubren. A veces consigue formarse el arroyuelo gracias a las grandes pendientes cubiertas de césped o a algún fragmento de marga que aparece entre la caliza; pero al cabo de algunos hectómetros de curso desaparece hundido en un abismo. Otras veces persiste el arroyo durante la estación de las nieves y lluvias, y aun en ocasiones se llegan a formar estanques o lagos durante esta estación; pero en verano se secan. En los Alpes Julianos hemos visto cerca de la famosa gruta de Aldelsberg, debajo de Trieste, un valle de hondonada en que se cosecha avena y heno en verano y se puede pescar en invierno. En otras partes el lago persiste todo el año, pero no sale de él ningún río. Desagua por las grietas de la montaña.

Todas estas aguas atraviesan las fracturas de las rocas calizas, hasta que se ven detenidas por capas de arcilla o de margas y entonces originan numerosas fuentes, dando lugar este reparto desigual de las aguas a consecuencias muy importantes en el orden económico. Mientras que en las comarcas graníticas las granjas están diseminadas lo mismo que las fuentes, en las regiones jurásicas están reunidas en grandes núcleos de población a lo largo de los ríos que corren por los

valles. Las fuentes más abundantes formadas en las calizas permeables afloran en la superficie del liásico. Las aguas de lluvia que caen directamente en estas tierras impermeables, corren por la parte superior y arrastran hacia el fondo de los valles la tierra mullida que cubre las pendientes. En un suelo muy rico en composición química no falta el ácido fosfórico y cualquier cultivo puede dar hermosos productos; pero es de difícil y costoso laboreo, sobre todo en primavera y otoño, y sería preciso drenarlo para suprimir el barbecho y cultivar plantas escardales como precursoras del trigo. ¿Mas para qué hacer gastos cuando la venta de las cosechas no los resarce? Vale más aprovechar la aptitud natural del liásico para criar forrajes que sólo requieren drenaje en los bosques más húmedos, y el agua que así se obtiene puede aprovecharse para abrevaderos.

Además de esta gran capa de agua que se forma en el liásico, se encuentran también otras muy importantes en las margas oxfordianas y en las arcillas kimeridgianas, y menores en la superficie de los bancos de margas repartidos por el batoniense y en la parte superior del coraliense. A veces también se han superpuesto a las calizas agrietadas de la serie jurásica capas más o menos impermeables de arrastres cuaternarios.

Pero lo más frecuente es que estas calizas formen mesetas secas y áridas como las de Causses de l'Aveyron y del Lozera. Los habitantes no tienen otro recurso que las cisternas, donde almacenan el agua de lluvia que cae sobre los tejados de sus casas, y las charcas que se forman temporalmente en las depresiones del suelo.

Pero cuando la sequía se prolonga demasiado, las cisternas y estos depósitos se vacían, y entonces hay que ir a buscar el agua al Tarn y al Lot. A veces, esta agua se vende en Causse a 25 céntimos el litro (1). Por lo tanto, los cultivos han de adaptarse a este régimen de sequía. En Causse predominan los pastos para carneros; pero en las montañas del

(1) E. CORD, *Étude géologique et agricole des terrains du département de la Lozère.*

Jura, donde las lluvias son más abundantes y frecuentes, el crecimiento de la hierba es más regular y pueden nutrirse reses bovinas. El clima corrige los defectos del terreno. En las partes más áridas y más lejanas de las ciudades, el bosque cubre vastas extensiones.

Las aguas de lluvia que atraviesan los terrenos jurásicos se cargan de cal, según se infiere de las estalactitas que se forman en las grutas del interior de los macizos y de las incrustaciones que forman las fuentes al brotar.

A veces son tan *calizas*, que no sólo perjudican a los prados que riegan, sino al ganado que en ellas abreva.

Las vacas se adelgazan, van perdiendo la leche y, cosa rara, manifiestan un invencible afán de roer la madera de los pesebres.

Conocemos muchas granjas que han renunciado a tener vacas de leche, limitándose a su cría porque las aguas de las fuentes próximas estaban muy cargadas de carbonato cálcico y probablemente eran también demasiado pobres en oxígeno, cosa que suele ocurrir al mismo tiempo.

Únicamente cuando las aguas atraviesan turberas mezcladas con fragmentos de rocas calizas se cargan de cantidades de carbonato cálcico suficientes para hacerlas impropias para el riego y la alimentación. Al mismo tiempo las materias orgánicas les quitan el oxígeno para producir anhídrido carbónico, que favorece la disolución del carbonato cálcico. Cuando estas aguas forman cascadas en las rocas o hacen mover turbinas, cuando atraviesan capas de grava y permanecen durante largo tiempo en recipientes naturales de gran superficie, una gran parte del ácido carbónico que contienen se disocia, y el carbonato cálcico se precipita y forma incrustaciones en la superficie de las rocas. Simultáneamente las aguas toman oxígeno del aire y son cada vez menos nocivas para el riego y la alimentación.

En todo caso benefician menos a los terrenos calizos que a los de origen granítico que necesitan cal, y, recíprocamente, en los terrenos jurásicos las aguas que brotan de los graníticos o de otras formaciones abundantes en potasa son más útiles que las aguas jurásicas.

Terrenos infracretáceos. — En el Norte de Francia los terrenos infracretáceos, compuestos de arcillas y arenas verdes, forman entre los últimos macizos jurásicos de Lorena y Borgoña y las mesetas yesosas de Champagne una zona cuya anchura varía de 10 a 20 kilómetros aproximadamente, y que a veces se llama la Champaña húmeda, porque tiene muchas praderas pantanosas, estanques y bosques.

Esta región, deprimida y húmeda, se prolonga desde los departamentos de las Ardenas del Marne hasta los de Yonne y Nièvre, donde se la llama la *Puisaye*.

Además de los bosques, las praderas es lo que mejor conviene a esta comarca, plantándolas permanentes en las partes bajas y temporales en los terrenos elevados, que se desaguan mejor y los drenajes se establecen fácilmente.

Aun cuando no queden al descubierto, estas capas arcillosas que están debajo del yeso ejercen notable acción en el régimen hidrográfico del nordeste de Francia. Forman una especie de hondonada inclinada hacia el oeste, y al este de Champaña están a más de 100 metros sobre el nivel del mar; en Grenelle, a más de 500 por debajo, y en las costas del canal de la Mancha, a flor de tierra. De modo que las aguas acumuladas en Champaña fluyen hacia el este y permiten abrir pozos artesianos en París, sobre la meseta del Paso de Calais; las fuentes que desembocan en su superficie en el borde del mar quedan al descubierto en la marea baja y brotan de entre los gujarros. Igualmente estos manantiales proporcionan agua a los más profundos valles del país de Caux, Picardía y Artois.

En el sudeste de Francia, los terrenos infracretáceos no tienen exactamente los mismos caracteres que en el norte. En la Grande-Chartreuse, toda la formación infracretácea, con unos 1.000 metros de potencia, se desarrolla en anfiteatro alrededor del convento edificado sobre la capa margosa que la separa de la base jurásica de la montaña, y domina los valles del Isère hasta Grenoble y Voreppe.

El neocomiense, que por sí solo tiene una altura de 500 a 600 metros, forma pendientes cultivadas con césped o con bosque, interrumpidas de cuando en cuando por salientes rocosos

Sobre ellas se levantan, en abruptas crestas y en gruesas capas, las calizas más blancas y compactas del urgoniense, que miden también algunos centenares de metros. Hacia la mitad superior se hallan algunos bancos de margas, pero son demasiado raros y delgados para modificar el carácter general del terreno, árido y pedregoso.

Las calizas del urgoniense no se descomponen tan fácilmente como las del neocomiense. Sobre las alturas peladas y en las pendientes rápidas, la tierra no se forma bastante de prisa para substituir a la que arrastran los vientos y las lluvias. Sólo quedan rocas agrietadas y llenas de oquedades por donde se filtran las aguas para reunirse al nivel de las margas neocomienses y reaparecer luego en abundantes manantiales en las pendientes por donde afloran las margas. Estos manantiales serían todavía más hermosos, y sobre todo más regulares, si la superficie de las mesetas urgonienses estuviese cubierta de bosque en lugar de recibir constantemente el sol abrasador del mediodía.

Al este del departamento de Vaucluse las calizas agrietadas del infracretáceo forman también la masa principal de los Alpes, donde se alimentan los ríos que riegan los llanos del Condado y, entre otras, la célebre fuente de Vaucluse.

Mientras que más arriba, en los Alpes, las lluvias torrenciales al caer sobre las capas impermeables y desnudas del liásico las desgastan, arrastrando la tierra arable y empobreciendo cada vez más al país, las aguas quedan absorbidas y almacenadas en los huecos de las calizas neocomienses que sirven de depósitos reguladores, y gracias a los riegos, se han convertido en el principal elemento de riqueza de Vaucluse. Según Barral, la superficie regada por los Sorgues que salen de la fuente de Vaucluse, es de 2.115 hectáreas y de 1.726 caballos de vapor la fuerza utilizada por las fábricas construídas junto a estos canales, siendo de 8 a 9 millones anuales el incremento de riqueza de la comarca.

El nombre de Vaucluse deriva de *vallis clausa*, valle cerrado, y, efectivamente, la fuente aparece al pie de una roca escarpada que como una muralla de piedra cierra el valle. «Encima y a cada lado de la fuente, dice M. Mézières, se ele-

van en semicírculo enormes murallas de tonalidad gris con algunas vetas rojas, cuya parte superior dentada y rasgada dibuja sobre el horizonte vagas siluetas de almenas y torreonés góticos. De cuando en cuando un agujero cavernoso, un nido de águilas o un pino colgado por sus raíces a las rocas, interrumpen con una mancha negra la uniformidad de las paredes de esta fortaleza natural.

»En la misma base de estas rocas se abre una caverna en donde nace el arroyo, que en seguida desciende por rápida pendiente estrellándose con furia contra los bloques negruzcos que cubre de espuma blanca. En cuanto reposa por no encontrar nuevos obstáculos, se extiende entre dos riberas floridas en una sábana límpida, de tan admirable color que no he podido hallar en parte alguna, ni en los Alpes, ni en los Pirineos, ni en Italia, ni en España, ni en Oriente, tonos tan suaves y transparentes. El lago de Zurich es menos puro, el lago de Como menos azul, el Mediterráneo más oscuro; los célebres ríos Peneo, Alfeo, Arqueloo, más plateados; la Estigia y el Aqueronte, más negros; el Arno, el Tajo, el Guadalquivir, el Ródano, más turbios. Solamente el Sorgues, de un verde suave desde su superficie hasta el fondo de su lecho, se parece a una planta convertida en agua. Es como hierba líquida que corre a través de los campos.»

Multiplicando la acción del sol del mediodía por la del agua, según la fórmula del conde de Gasparin, se produce una rica vegetación. Pero, ¿qué contiene el agua del Sorgues? Por litro:

| | |
|---|---------------|
| Alúmina, sílice, hierro carbonatado . . . | 0,0053 gramos |
| Carbonato de cal. | 0,1633 » |
| — de magnesia | 0,0053 » |
| Sulfato de cal. | 0,0147 » |
| — de magnesia | 0,0004 » |
| Residuo total. | 0,1890 » |

Carbonato y sulfato cálcicos, un poco de carbonato y de sulfato magnésicos, vestigios de hierro, esto es todo lo que las aguas de lluvia han podido disolver al atravesar las rocas neocómienses y urgonienses. Son aguas pobres en substancias

fertilizantes y, por lo tanto, no es *hierba líquida*; para obtener en sus prados regados tres siegas por año o 7.000 a 8.000 kilogramos de heno por hectárea, los cultivadores del Condado se ven en la precisión de añadir a la fórmula del conde de Gasparin el tercer factor: los *abonos*.

Terrenos cretáceos.—La formación de la creta se inició en terrenos que hasta cierto punto recuerdan a las arcillas y a las arenas verdes del infracretáceo.

Así, en Perche, las margas del cenomanense y, en Thiérache, al norte del departamento del Aisne, las *dievas* arcillosas forman sobre el limo de las mesetas una base impermeable que retiene las aguas y permite que medren magníficos herbajes. Los bancos superiores de la creta son de por sí margosos e impermeables, hasta el punto de que las galerías preparatorias para un túnel por debajo del canal de la Mancha, practicadas en estos terrenos, han permanecido casi sin filtraciones en muchos kilómetros, aun no estando separadas del mar más que algunos metros.

Pero la creta blanca es permeable porque está llena de grietas. El agua de lluvia que cae sobre su superficie descien-
de por estas grietas hasta las capas más compactas o más margosas. «Si el suelo fuese horizontal, dice Belgrand, las aguas, después de saturar las rocas, volverían a ascender a la superficie del suelo, que sería pantanoso.

»Cuando, por el contrario, la superficie del suelo está cortada por numerosos valles, como ocurre en la cuenca del Vanne y de la mayor parte de los riachuelos de Champaña, la capa de agua producida por la absorción de las aguas pluviales no puede ascender en las mesetas hasta la superficie del suelo; su exceso, a través de la masa de creta y con una gran pendiente, se dirige hacia los valles más profundos, que absorben como si fueran tubos de drenaje. El fondo de los valles al recibir agua por las grietas puede sumergirse de un modo permanente y transformarse en pantano turboso. La capa de agua procede del suelo permeable de cada lado del fondo del valle principal. Cuando la desembocadura de la capa impermeable que la soporta está por encima del fondo del valle, brota una fuente» (Belgrand, *El Sena*).

En Champaña llaman a estas fuentes *somas* y son, como dice Belgrand, el origen, el nacimiento de los arroyuelos.

«Así, en el departamento del Marne, la fuente del Suipe se llama *Sommesuipe*; la del Vesla, *Sommevesle*; la del Soude, *Sommesoude*, etc.; en el departamento del Aube, la fuente del Puits se llama *Sompuis*; la de Orvin, *Sommefontaine*.

»A veces, los nombres de estas fuentes derivan del término galorromano *Dhuie* o *Duie* (de *ductus*, acuoducto, de donde deriva *conducto*); por ejemplo, en Aube, la gran fuente de Soulaines, Dhuis y la fuente de Aix-en-Othe, valle del Vanne, Duée. Los hay también que derivan de la palabra latina *fons*, así, en el departamento del Aube, la fuente del Vanne, *Fontvannes*, que ha sido conducida a París; la fuente del Arce, *Fontarce*, etc.

»A veces la capa de agua subterránea se eleva a cada lado del valle principal a causa de la fuerza ascensional que le da la inclinación hacia el oeste de las capas de creta margosa que la sostienen, y si en esta elevación alcanza el nivel de un valle menos profundo, produce una fuente que en Francia se llama *Bème* (*abismo*) o *Ero*, *Gouffre* o *Fosse*.»

Dice M. Nivoit (1) que los habitantes de las poblaciones de la creta se procuran el agua necesaria, especialmente con cisternas y pozos. Cuando un pozo se acaba de abrir tiene un caudal escaso, pero al cabo de cierto tiempo llega el agua con mayor abundancia, exudada, puede decirse, por las paredes. Cuando se tropieza con una grieta, naturalmente, se halla mayor cantidad de agua.

Algunas veces estos pozos alcanzan grandes profundidades; en las poblaciones elevadas pueden llegar a 100 metros, y entonces son inagotables. Es fácil aumentar su caudal trazando en el fondo galerías horizontales y aumentando, por consiguiente, la superficie de exudación.

El agua suministrada por un pozo recién abierto es casi siempre turbia y como lechosa. Pero esta circunstancia no debe inquietar en modo alguno, pues las partículas de creta que contiene en suspensión se depositan lentamente, y el agua al cabo de algunos meses aparece limpia.

(1) NIVOIT, *Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur*, 1887-1889.

La creta se colmata fácilmente. Tapan sus poros pequeñas partículas arrastradas por el agua, y entonces se vuelve impermeable. De aquí las charcas en los pueblos de Champaña; pero basta quitar el barro cretáceo que cubre su fondo para que desaparezca el agua. Por el mismo motivo conviene limpiar los pozos de cuando en cuando para que no se interrumpa su alimentación.

Es frecuente en el noroeste de Francia y hasta Turena y Sancerrois, que debajo de la creta haya *arcilla silícea*, y debajo de ésta, limo cuaternario que forman las tierras más fértiles. Tal es, por ejemplo, la constitución geológica del país de Caux. La base general de esta comarca está constituida por creta que aparece en los acantilados al borde del mar y de los principales valles donde abundan las fuentes producidas por el yeso margoso, y forman algunos arroyos y ríos que se han utilizado en molinos y establecimientos industriales. En estos valles se asientan las ciudades manufactureras de Normandía.

Pero sobre las mesetas de que extraen el agua y que tienen una extensión mucho mayor, no se encuentran ni manantiales, ni núcleos importantes de población. Las viviendas agrícolas están diseminadas por el campo, en medio de los terrenos de cultivo. Muchas veces los términos municipales tienen muchos kilómetros cuadrados de extensión.

En estas granjas normandas los corrales son muy extensos; algunos tienen 2 y 3 hectáreas de superficie. Son verdaderos vergeles llenos de césped que llaman *masures* y están rodeados por *fosos*, que son todo lo contrario de los fosos verdaderos, pues forman como una especie de reductos de tierra de 1,50 a 2 metros de altura que cierran la finca, y en los cuales con frecuencia crecen en doble hilera encinas y hayas altísimas que resguardan los manzanos, que difícilmente florecerían y fructificarían expuestos a la acción directa de los vientos del oeste.

Las aguas de lluvia que caen sobre el césped se reúnen en una balsa construida en el punto más bajo e igualmente rodeado de corpulentos árboles que precaven la evaporación demasiado rápida. Estas aguas de balsa, generalmente muy cargadas de materia orgánica, sirven para abreviar el ganado, y se comprende que no siempre dejen de tener inconvenientes

para su salud. En cuanto al personal de la granja, emplea como bebida habitual una especie de aguapié de sidra que se obtiene añadiendo agua a las heces de manzanas. La fermentación la purifica; las substancias nocivas se depositan en el fondo del tonel y así se extrae un líquido amarillo bastante agradable y refrescante, al cual se añaden, de vez en cuando, algunos vasos de aguardiente de sidra.

En quintas y viviendas más cómodas que las simples granjas hay cisternas de mampostería donde se recogen las aguas de lluvia que caen sobre los tejados.

Para abrir pozos se tendría que llegar hasta la creta margosa.

Los manantiales que alimentan la ciudad del Havre (fuentes de Bruneval, Notre-Dame-du-Bec, Saint-Laurent) brotan de la creta margosa. Proceden exclusivamente de las lluvias locales, cuyo paso a través de la arcilla silicea y de la creta dura unos treinta meses.

5. — Terrenos terciarios

Arcilla plástica. — En los departamentos de Oise, Aisne y Eure, la arcilla plástica juega un papel importantísimo en el nivel del agua. Forma el fondo del gran valle del Oise y asciende por sus valles laterales; pero generalmente se disimula bajo aluviones de gran espesor o montones de arenas numulíticas y bajo calizas bastas que forman las laderas de estos valles y manifiestan su presencia reteniendo las aguas que llegan de las próximas mesetas y con frecuencia por el encharcamiento que producen. Para desembarazarse de estas aguas se necesitarían obras demasiado costosas, y es mejor aprovechar las aptitudes naturales de estos terrenos para conservar bosques como el de Compiègne o practicar cultivos apropiados como en Soissons.

Más cerca de París, en el Vexin francés, se encuentra arcilla plástica a flor de tierra, en las laderas y sobre el yeso que forma el fondo de los valles y bajo la caliza más o menos cubierta de limo que se extiende en las mesetas. Este es un nivel de fuentes de gran importancia cuando las masas de caliza

basta y limo que tienen encima son de bastante extensión y espesor para absorber mucha agua de lluvia.

Los manantiales que nacen al nivel de la arcilla plástica son muy numerosos en el valle del Marne, desde Epinay hasta La Ferté-sous-Jouarre y en el lindero que separa la Champaña de Brie, entre las montañas de Reims y Montereau. Muchas de las lindas ciudades asentadas al pie de los ricos viñedos de Epinay tienen fuentes alimentadas por la arcilla plástica.

Al sudeste de París se halla la arcilla plástica en macizos sobre la superficie de las mesetas cretáceas del senoniense y en vastas extensiones en la parte oriental del Gâtinais, entre el valle de Loing y la Puisaye de la Baja Borgoña. El carácter generalmente húmedo de toda esta comarca procede precisamente de esta capa de gran espesor de arcilla plástica.

Margas verdes. — La mayor parte de los terrenos de la cuenca de París, entre la arcilla plástica y las margas verdes, son demasiado permeables para dar lugar a cantidades importantes de agua cuando están a cierta profundidad o para necesitar drenajes cuando se extienden en la superficie del suelo. Las arenas medias son tan secas como la caliza basta, y, como ha dicho M. Adolfo Carnot, podrían servir de absorbente para las aguas de las alcantarillas de París.

La caliza de Saint-Ouen es más arcillosa, más difícil de labrar, porque después de las lluvias es demasiado húmeda y demasiado compacta después de las sequías. Lo mismo ocurre con las margas de yeso. A veces conviene el drenaje.

En cuanto a las margas verdes, forman en los valles que cruzan la comarca de Brie una zona húmeda adonde desembocan las aguas que han logrado atravesar los terrenos de pederual situados encima de ella. Villeneuve-Saint-Georges, Brunoy, etcétera, deben a este nivel del agua sus umbrías y su frescura. Las arcillas más importantes, dice Belgrand, Vaux cerca de Melun, Ferrières, Saint-Germain cerca de Corbeil, no han desdeñado la fuentecilla de las margas verdes. Este mismo nivel de agua alimenta los pozos de la mayor parte de las grandes y hermosas granjas situadas sobre la meseta de Brie.

Arcillas molares de Brie. — Las arcillas molares, en ciertos puntos cubiertas de una capa más o menos gruesa de limo,

forman en la superficie de la meseta de Brie tierras frías y húmedas, en las cuales el drenaje ha prestado grandes servicios. En el departamento de Seine-et-Marne, en Forges, cerca de Montereau, M. de Manoír practicó en 1840 los primeros ensayos de drenaje en Francia, con obreros venidos de Inglaterra junto con los útiles y tubos necesarios para este trabajo (1). En 1849, M. Chandora drenó la granja de Egrenay, explotada por M. Decauville, y luego las de Villaroche, Eprunes, etc. En 1859 le sucedió su hijo, bajo cuya dirección se ejecutaron grandes trabajos de drenaje con éxito completo en el departamento de Seine-et-Marne y en los demás departamentos vecinos.

«Si la topografía de la región de Brie, decía en 1871 Belgrand, el gran ingeniero que condujo a Paris las aguas de Vanne y Dhuys (2), fuese bastante quebrantada para dar curso rápido a las aguas de lluvia, no cabe duda que esta comarca tendría una desastrosa acción sobre las crecidas del río. Pero estas mesetas son tan uniformes que nuestros niveladores, al trazar el acueducto de Vanne, muchas veces tenían que andar muchos kilómetros para hallar una diferencia de nivel de un metro. Las aguas de lluvia permanecerían en la superficie de la región de Brie y este rico país se vería cubierto de aguas estancadas si las aglomeraciones de piedras molares no ejerciesen una acción de drenaje sobre las aguas exteriores, absorbiéndolas en parte, y si la industria humana no hubiese venido a ayudar a la naturaleza. En ciertas regiones, innumerables agujeros, restos de antiguas canteras de molares o de margas, sirven de recipientes para las aguas de lluvia. Hacia estas charcas conduce el profundo surco que abre en el campo o en el bosque el cultivador inteligente.

» Además, los profundos *riachuelos* que, trazados por el hombre, cruzan estas mesetas en todos sentidos, van a desembocar en los afluentes de los caudalosos ríos y contribuyen al desecamiento de la comarca y han hecho posible el drenaje que completó el saneamiento de la región de Brie.»

(1) JULIO BÉNARD, *Rapport à la Société d'Agriculture de Méaux*.

(2) BELGRAND, *La Seine*, 1869.

M. Arthur Brandin, uno de los más distinguidos agricultores de Brie, ha relatado la historia de las mejoras que sucesivamente se efectuaron en la granja de Galande (cantón de Briecomte-Robert), habitada por su familia desde 1690:

«La tierra de Galande, dice, arcillosilíceica con subsuelo impermeable, como la mayoría de las granjas de Brie, era húmeda y fría antes del drenaje. Atravesada por fosos que entonces, como ahora, recibían el agua de muchos términos vecinos, sufría tanto más por esta situación cuanto que los fosos eran poco profundos, cuidados por unos, abandonados por otros, sin nivelación general y de trazado caprichoso.

»Había en el llano numerosas excavaciones abiertas por la mano del hombre para extraer materiales de construcción o enmiendas, y muchas veces con el solo fin de sanear las tierras. Había zanjas que las reunían entre sí, y todas las aguas, de un modo o de otro, iban a parar al emisario principal denominado arroyo de Handres. En los años lluviosos, y por muchas precauciones que se tomasen, se estacionaban las aguas en las hondonadas, y el suelo se volvía tanto más duro en verano cuanto más tiempo habían necesitado para desaguar.

»Para facilitar la circulación de las aguas, los campos se labraban en surcos de 3 a 4 metros de ancho. Sembrado el trigo, se pasaba una especie de pujavante de madera por el fondo de estos surcos para limpiarlos, y luego, con el arado y en dirección transversal, se trazaban otros surcos más profundos que se terminaban con la pala y la azada y tenían por objeto conducir a las balsas y zanjas las aguas recogidas en la superficie de los campos.

»Los drenajes iniciados en 1857 se continuaron paulatinamente de 1861 a 1869; pero eran manifiestos los inconvenientes del procedimiento de una obra tan importante hecha a medias.

Efectivamente, despreciando las partes menos húmedas, con mucha frecuencia se había considerado suficiente poner colectores en las zanjas y balsas que se suprimían y algunos drenes secundarios en las partes más bajas. Muy pocas parcelas habían sido sometidas al drenaje regular, cuyas líneas pueden, según la naturaleza del terreno y del subsuelo, estar más o me-

nos separadas, pero sin el cual no hay saneamiento verdadero. Felizmente, los colectores estaban a bastante profundidad.

» En estas condiciones no dudé en pedir al propietario la continuación del drenaje, a pesar del aumento de gastos permanentes que debían gravitar sobre mí. El drenaje permite suprimir los antiguos surcos de 3 metros de ancho y en cambio disponer tablares de 15 a 20 metros. Además, se puede laborar en cualquier tiempo en tierras en las que antes era imposible penetrar después de las lluvias, se puede sembrar antes, emplear la sembradora y todos los instrumentos perfeccionados. La alfalfa dura un año más y es mucho mejor.

» En las mesetas de Brie, los *arroyuelos* están secos durante todo el verano. No circula agua por ellos más que durante la estación de las lluvias, y entonces alimentan las fuentes que afloran en los valles secundarios al nivel de las margas verdes. Se ha observado que desde que estas mesetas han sido drenadas y las aguas así extraídas se han conducido directamente a las corrientes de agua, algunas de estas fuentes de las margas verdes han dejado de dar agua.

» Otras, más regulares y más abundantes, fluyen más abajo a lo largo de los ríos y en los valles principales, tales como las de Petit-Morin, Clignon, etc., y proceden de los terrenos permeables comprendidos entre las margas verdes y la arcilla plástica y están agrupadas en la línea de afloramiento de esta arcilla plástica.»

Margas de ostras y arenas de Fontainebleau — Las arenas de Fontainebleau, cuyo espesor alcanza algunas veces de 40 a 60 metros, absorben rápidamente todas las lluvias que caen sobre su superficie, y constituyen así recipientes cuya base se compone de una capa de 2 a 10 metros de margas impermeables, que en francés se llaman *margas de ostras* a causa de gran cantidad de ostras fósiles que contienen. Las poblaciones edificadas sobre las arenas de Fontainebleau no pueden aprovechar las aguas acumuladas en estos recipientes más que por medio de pozos bastante profundos; pero estas aguas desembocan en las líneas de afloramiento de las margas de ostras en los valles cuyas laderas las forman las arenas de Fontainebleau, como puede verse en los hermosos valles de Essonne, de

Orge, de Yvette, etc., al sur de París, y a lo largo de las colinas de Meudon y de Sèvres, hasta los alrededores de Versalles.

Caliza de Beauce. — Cerca de París y de Versalles hay, sobre la arena de Fontainebleau, arcillas molares análogas a las de Brie, cuya impermeabilidad ha permitido construir cerca de Trappes los estanques de Saint-Hubert y de Saint-Quentin. Pero la verdadera región de Beauce, que principia al S. de Epernon, Rambouillet, Dourdan y Etampes, tiene por carácter distintivo la sequedad.

«Desembarazada de todo depósito superpuesto, salvo una pequeña capa de limo, la Beauce es demasiado seca, dice Mr. Lapparent (1), y está demasiado cercana al Loira y demasiado progresivamente inclinada hacia este río para que hayan podido constituirse corrientes de agua y formar valles. Así es que se ofrece a la vista como una superficie uniforme, extendiéndose hacia todos lados sin cambio de nivel perceptible. Los campos, uniformemente cubiertos de cereales y de praderas artificiales, no están divididos por fosos ni por arboledas. Se nota la rareza de los árboles y la falta casi absoluta de las viviendas aisladas. Esta concentración de casas es consecuencia de la permeabilidad del suelo que impide el establecimiento de balsas y obliga a buscar el agua necesaria para la vida del hombre y de los animales por medio de pozos profundos.»

Varias veces se ha propuesto construir un canal de derivación del Loira o de los estanques del Gâtinais para distribuir el agua a los términos rurales de Beauce.

La Sologne. — En Sologne alternan capas de arenas cuarzosas y feldespáticas con otras arcillosas, perfectamente estratificadas unas sobre otras. Las capas son continuas en una gran superficie; algunas capas arcillosas, por ejemplo, notables como nivel de agua, son visibles de una a otra colina a una altura correspondiente, y en los pozos de los términos vecinos se hallan estas capas a una cota generalmente uniforme.

Desde algunos años a esta parte ha hecho grandes progresos en los valles de Sologne la creación de praderas de regadío, y entre los agricultores que más se han distinguido a este res-

(1) DE LAPPARENT, *Description géologique du bassin parisien.*

pacto debemos citar a M. André Courtin, antiguo alumno del Instituto Agronómico. Los trabajos que ha efectuado en su propiedad de Salbris pueden citarse por modelo.

La Brenne. — La superficie de las mesetas presentan numerosos valles o simples depresiones con cierta inclinación hacia los ríos. Calzadas construidas transversalmente a estas pendientes han permitido acumular las aguas de lluvia sobre las arcillas que forman el subsuelo y han dado lugar a gran número de charcas que han hecho el país insalubre o con fiebres endémicas. Pero es fácil desecarlas y sustituirlas por praderas, construyendo zanjas o canales para sanear la comarca, y así se ha hecho ya en muchos puntos.

La llanura de Forez y la cuenca de Roanne. — Desde el punto de vista hidrográfico, los terrenos terciarios de la llanura de Forez y de la cuenca de Roanne, en el valle del Loira, presentan caracteres especiales. El predominio del elemento arcilloso se opone a la filtración de las aguas pluviales y la escasa pendiente del suelo impide su curso natural. A las menores lluvias se forman por todas partes charcos de agua que a la larga desaparecen en las partes bajas, menos por absorción que por evaporación lenta. Consecuencia de todo esto es la ausencia de verdaderos manantiales. En su lugar, y al pie de algunas colinas, se encuentran sencillas filtraciones de régimen muy intermitente. Las aguas de lluvia recogidas en los depósitos pedregosos de la parte superior de las mesetas se filtran hasta hallar una capa arcillosa que las alumbra al menor repliegue del terreno. Así se forman caudalosos manantiales, con frecuencia turbios después de varios días de lluvia, pero que desaparecen en cuanto vuelve el buen tiempo. Por el mismo motivo los pozos de esta comarca son en casi todas partes poco profundos; pero su abundancia varía con la estación y en general se blanquea el agua en cuanto llueve.

Se ha aprovechado la impermeabilidad del fondo para establecer en la llanura de Forez una serie de estanques donde se alternan, según la estación, la cría de peces y el cultivo. Pero estos estanques producen fiebres en sus alrededores y se han suprimido ya en gran parte para sustituirlos por praderas.

En todas estas tierras de subsuelo arcilloso el drenaje es conveniente, no sólo desde el punto de vista agrícola, sino también desde el de la salubridad.

La comarca entre el Loira y el Allier. — Este país es una vasta meseta quebrada por anchos valles poco profundos y de pendiente suave, en donde ha bastado poner obstáculos de cuando en cuando para formar estanques. Suele llamársela *Sologne borbonesa*, y merece este nombre, o por lo menos lo merecía antiguamente bajo ciertos aspectos. Siguiendo el ejemplo que desde 1840 dió Víctor de Tracy, muchos cultivadores, y entre ellos Charbonnier, en Saligny, suprimieron la mayor parte de los estanques inferiores transformándolos en praderas regadas con las aguas de los estanques superiores.

El departamento del Norte. — En el departamento del Norte, las arcillas terciarias de Orchies formaban tierras frías e impermeables, antiguamente clasificadas de tercera y cuarta clase. Eran tan húmedas que raramente se podía trabajar en ellas antes del mes de mayo. Para facilitar el curso de las aguas se habían trazado zanjas que parcelaban totalmente las tierras, y para que los bordes de estas zanjas tuviesen consistencia se habían plantado saúcos, etc. El trigo daba como máximo 20 hectolitros por hectárea. Pero con el drenaje todo esto ha cambiado.

En Cappelle, Florimond Desprez rellenó las zanjas, y después de sustituirlas por tubos de drenaje, arrancó los árboles que limitaban los campos, formando así vastas y fértiles extensiones de cultivo. Ahora las faenas agrícolas se pueden empezar en primavera, y gracias a las roturaciones y a los abonos químicos que han completado estas mejoras, obtiene cosechas medias de 30 a 40 quintales de trigo, de 60 a 80 de avena, de 45.000 a 60.000 kilogramos de remolachas y de 30.000 a 35.000 kilogramos de patatas.

6. — Terrenos terciarios y cuaternarios del sudoeste de Francia

Moladas y terrenos arcilloarenosos. — En las moladas, interrumpidas por margas más o menos arenosas, que constitu-

yen la masa principal de las mesetas que rodean a Tolosa, no hay una capa continua de agua. Sólo se encuentran manantiales de escaso caudal irregularmente diseminados.

La mayor parte de las granjas se alimentan de pozos que deben abrirse hasta cierta profundidad para que suministren agua mezclada con la resudación de las paredes.

No obstante, los depósitos de aluvión, cuyos restos se encuentran en las cúspides de algunas colinas de molasas, están compuestos de arcilla y grava que pueden dar lugar a la formación de manantiales en su punto de contacto con las margas terciarias, sobre todo si tienen bosque como debería suceder siempre.

En Tolosa cae un promedio anual de 644 milímetros de agua. Pero rara vez llueve en julio y agosto. Entonces se detiene la vegetación de los forrajes y se secan los riachuelos formados en el fondo de los vallejos por la afluencia de los manantiales. Las praderas que ocupan estos valles rara vez retoñan.

Los terrenos cuaternarios que los agricultores de la región llaman *bulbenas*, o sean arcillares, forman como terrazas en diferentes pisos, establecidas en general en la margen izquierda de los valles que descienden de los Pirineos. Estas *bulbenas* están compuestas de arenas y limos rojizos mezclados en proporción variable y siempre con gran cantidad de guijarros. Frecuentemente se encuentra a cierta profundidad un conglomerado sólido (*grepp*), formado por guijarros aglutinados con una substancia ferruginosa. Las aguas de lluvia se filtran fácilmente en el suelo permeable de las *bulbenas*, pero se ven detenidas, unas veces por dichos conglomerados y otras por margas terciarias sobre las que éstos descansan, y entonces forman una capa subterránea que alimenta las fuentes y los pozos. En estas condiciones están los copiosos manantiales que brotan al borde de la meseta de Lardenne y de Saint-Simon, y que se trataron de captar para conducir el agua a Tolosa, donde hubieran alimentado cierto número de fuentes. Los pozos de esta región dan casi siempre agua abundante a una profundidad de 3 a 5 metros. Las mismas consideraciones se aplican al valle propiamente dicho. Estas aguas, en general, son claras y

sanas; su volumen es muy variable, según las estaciones, pero nunca se agotan (Leymerie).

Pocas regiones — dice M. Jacquot (1) — presentan tantas facilidades para el riego como la vasta llanura situada al pie de los Pirineos. Las aguas que descienden de las montañas recorren esta llanura en toda su extensión. Gers posee una magnífica red de corrientes de agua que la surcan de sur a norte en forma de abanico. Algunas sencillas disposiciones permitirían aprovechar estas aguas para el riego de los valles y de la parte inferior de las colinas.

Estas riquezas naturales de la llanura situada junto a los Pirineos se utilizan cuidadosamente en el Rosellón por medio de obras cuya mayor parte pertenecen a época lejana. El riego se ha impuesto en esta región como un correctivo del clima. Por el contrario, en el resto de la llanura, el riego está muy descuidado.

Gers sólo posee de 13 a 14 kilómetros de canales de riego. Esto es muy poco en relación a los recursos que brindan los ríos del departamento y las ventajas que se podrían obtener de una mayor amplitud del sistema. Así es que en este respecto pueden realizarse todavía grandes progresos.

En espera de que se cumplan, con frecuencia llevan poca agua los numerosos ríos que atraviesan el departamento de Gers. En vez de tomar su caudal de las montañas de los Pirineos, como el Adour y el Garona, y de nutrirse en verano por la fusión de los heleros, los arroyos proceden en su mayor parte de los riachuelos y torrentes que surcan la meseta de Lannemezan, cubierta de llanuras (*Lannemezan* quiere decir *llanura del medio*), completamente desprovista de bosque y de altura demasiado escasa (600 a 650 metros) para que abunden la lluvia y la nieve.

Mientras que en el Alto-Armagnac, parte oriental del departamento de Gers, las colinas están enteramente compuestas de margas y molasas más o menos cubiertas de bulbenas, estas margas y molasas sólo aparecen, en el Bajo-Armagnac, en el fondo y en las laderas de los valles, hasta cierta altura, y

(1) JACQUOT, *Description géologique du département du Gers*, 1871.

después vienen a media altura arenas cuarzonas coloradas de sombra claro por el óxido de hierro y en la superficie de las mesetas de las *gredas abigarradas*.

Estas gredas abigarradas son impermeables y difíciles de labrar. Después de desaguadas y enmendadas con las margas lacustres que hay debajo de ellas, se pueden cultivar excelentes viñedos. Pero en agricultura, las mejoras que tienen éxito desde el punto de vista técnico, no siempre son económicamente aconsejables. Lo más práctico con estas gredas abigarradas es lo que desde hace tiempo acostumbran hacer las gentes del país: no mejorarlas en absoluto, y utilizarlas como medio de mejoramiento para otras tierras. Se dejan incultas; son llanuras boscosas que suministran madera y pastos.

Departamento de las Landas. — En la parte oriental de este departamento, los terrenos se parecen a los del Bajo-Armagnac y en la parte meridional recuerdan a los de Bearn. La *Chalosse* es país de colinas compuestas de un aluvión arcilloso mezclado con guijarros que descansa sobre un subsuelo de gredas abigarradas de rojo. Para sanear estos campos se rodean de unas zanjias descubiertas y junto a ellas se deja un paseo de un metro a 1,50 metros de ancho, donde se plantan viñas sostenidas por cerezos silvestres o por estacas.

Se encuentra agua en todas partes; los pozos no exceden de una profundidad de 7 metros y con frecuencia sólo alcanzan 4 ó 5; esta abundancia de agua permite que las viviendas estén dispersas por el territorio en medio de los campos de cultivo.

En el resto del departamento de las Landas y en parte del de la Gironda la impermeabilidad de las arenas se debe a una capa de greda oscura cementada con materia orgánica y hierro, que se ha formado a una profundidad de un metro.

Cuando en verano se practica hasta el *alios* un agujero un poco ancho en el suelo, se va llenando progresivamente su fondo por filtración lateral de una agua algo amarilla y no muy abundante. Pero si se profundiza más, se encuentra en seguida agua bastante abundante y perfectamente limpiada. Se ha conseguido conservar la primitiva transparencia de esta agua cubriendo de cemento las paredes de los pozos hasta la capa

ferruginosa de alios de que hemos hablado, y de este modo se impiden las filtraciones de la capa superior de arena.

Chambrelent, ingeniero de puentes y calzadas de Burdeos, demostró prácticamente, en la propiedad de Saint-Alban, que compró en 1849 en Pierroton, que los pinos marítimos se desarrollaban bien si se conseguía rebajar el nivel de las aguas. Gracias a la situación de Pierroton, fácilmente pudo dar salida a las aguas por medio de zanjas, y en 1855 exhibió en la Exposición Universal de París pinos de 3 metros de altura obtenidos en Saint-Alban.

Pero ¿cómo aplicar este método a las vastas Landas? ¿Cómo dar salida a las aguas estancadas en esta inmensa superficie? La construcción de ferrocarriles se convirtió en un gran auxiliar para la desecación y repoblación de las Landas.

Los terraplenes de la carretera de Burdeos a Teste se construyeron por medio de dos zanjas laterales abiertas con pendientes y secciones regulares bien calculadas, que se convirtieron en las primeras vías de desagüe de las aguas de la comarca hacia los estanques del litoral del océano.

Después vino la apertura del ferrocarril de Burdeos a Bayona. La Compañía del Mediodía construyó caminos transversales, y a lo largo de ellos y de la vía férrea abrió cunetas con pendiente bastante para la conducción del agua.

Dunas de Gascuña. — En Gascuña el agua de lluvia que cae sobre la superficie de las dunas penetra inmediatamente en el suelo sin formar corriente sobre la superficie.

Estas aguas se filtran en la arena y forman una capa cuya cara superior se presenta ondulada como la de la arena, pero con ondulaciones mucho menos señaladas y cuya forma varía según las lluvias y sequías. En conjunto, esta superficie no es horizontal, pues como su nivel es el de la plenamar en la parte cercana al océano, en el interior de la cadena de dunas se eleva hasta 15 y 20 metros.

Esta capa se alimenta exclusivamente de las aguas de lluvia, o en parte de la de los estanques.

A causa de la alimentación constante por las lluvias, estanques y marismas escalonadas a lo largo de las costas, son dulces las aguas de dichas dunas.

Los pozos situados en la punta de Grave y hacia el límite de la cordillera a la altura de Forge, sólo dan agua dulce, aun cuando su profundidad descienda hasta el nivel medio del mar y su nivel siga las fluctuaciones de las mareas del cercano Atlántico. Con los de Arcachón sucede lo mismo.

7. — Terrenos terciarios y cuaternarios de Suiza y del Este

El flysch (1).—Los más antiguos terrenos terciarios de los Alpes Suizos, de Saboya y el Delfinado son *calizas numulíticas*, en general secas y áridas, y el *flysch*, compuesto alternativamente de esquistos impermeables y greda permeable.

A causa de esta alternancia son numerosos los manantiales en el *flysch*. Desgraciadamente a veces hay desprendimientos de efectos desastrosos, que pudieran evitarse por medio de drenes de piedra que no dejaran llegar las aguas al lecho impermeable que forma el plano de deslizamiento o también recojiéndolas en un plano de deslizamiento de modo que no saturaran la masa de materiales inestables.

En el departamento de los Altos Alpes hay mucho *flysch*, con frecuencia debajo del liásico, y, como éste, forma tierras fértiles que, cuando no están protegidas por bosques, se disgregan y las arrastran los torrentes.

Moladas.—Las areniscas y pudingas de la molada son bastante permeables; pero sus bancos alternan de cuando en cuando con capas de margas más o menos gruesas que reúnen las aguas y forman manantiales en los puntos donde afloran.

Las aguas de estos manantiales contienen en disolución la mayor parte de las substancias que constituyen el cemento de las moladas, carbonatos de cal, magnesia y hierro, etc.

En general son muy sanas y excelentes para el riego. En Suiza se puede decir que toda granja tiene su fuente que mana siempre y que no sólo sirve para el abastecimiento de sus habitantes y del ganado, sino para lavar el suelo de los establos y

(1) *Flysch*, término suizo para la serie de esquistos y piedras arenosas suprayacente a la formación numulítica de los Alpes, comprendida en el eoceno terciario. (*N. del T.*)



preparar el famoso *lizier* o abono líquido que contribuye mucho a aumentar la natural fertilidad de las tierras.

Los bosques, que en la mayor parte de los términos municipales se conservan en las cumbres circundantes, regularizan el caudal de las fuentes que brotan a sus pies. A pesar del gran número de estas fuentes, rara vez las tierras son bastante húmedas para exigir drenajes, que sólo convienen donde el subsuelo es margoso.

8.—Terrenos cuaternarios de Suiza y Saboya

Debajo de la molasa se encuentran *aluviones antiguos*, capas de grava estratificada, que descansan sobre marga impermeable, lo que da un nivel para el agua útil con mucha frecuencia.

Después vienen los *heleros*, casi siempre de gran espesor, que tan pronto descansan sobre aluviones antiguos, como directamente sobre la molasa o sobre las calizas jurásicas. Su composición mineralógica varía con la de las rocas que rodean la cuenca, cuyos materiales han extraído, pulverizado y arrastrado los hielos.

Por todas partes se acumulan despojos de toda clase: bloques de piedra, guijarros, arenas más o menos finas enterradas en una arcilla compacta, que en Saboya llaman *diot*, cuyo labrantío es principalmente una cuestión de mecánica, pues en su estado natural es enteramente improductivo, como se ve aún hoy en los eriales de algunas partes de Saboya, donde crecen raquíticamente algunas matas de enebros o algunos jirones de menudo césped.

Pero éstos eriales van desapareciendo de Saboya y ya casi no se ven en Suiza. Poco a poco el erial se transforma en tierras productivas, aunque ello no exige mucho trabajo. Es preciso desgarrar con la azada o con los arados las entrañas de esta tierra compacta para que en ella penetren las raíces de las plantas que se quieren cultivar. Para que duren los efectos bienhechores de estas labores y que circulen aire y agua por el subsuelo, es preciso drenar, y para el cultivo intensivo se necesitan abundantísimas cantidades de estiércol.

Con frecuencia la arcilla continúa a grandes profundidades mezclada con bloques angulosos y con las estrías características de los terrenos glaciales; suelen tener vetas de arena o guijarros, cimentados con agua tobácea, y entonces forman una capa de pudingas todavía más impermeable para las raíces que el *diot*.

A veces, abriendo un pozo a través de esta capa cementada, se alcanzan bancos de grava suelta, con lo que pueden drenarse de una sola vez muchas hectáreas por medio de tubos si no se dispone de otro desagüe más favorable. El alumbramiento de manantiales es muy fortuito en estos terrenos glaciales, porque al abrir zanjas donde hay indicios de su existencia se encuentra a veces un abundante hilo de agua; pero al cabo de algunos días va disminuyendo hasta agotarse, pues sólo era una bolsa de grava o de arena llena de agua, aislada en las masas de arcilla, sin comunicación con otras capas de agua que pudiesen alimentarla.

En general, las mesetas arcillosas absorben poca agua de lluvia y, por consiguiente, no pueden almacenarla en gran cantidad ni originar caudalosos manantiales en las masas de arcillas glaciales. Los más importantes desembocan en los flancos de los valles abiertos por las corrientes de agua venidas del Jura y de los Alpes que se forman en las antiguas morenas, y son simples filtraciones de estas corrientes de agua. Es agua de río mejor o peor filtrada por las capas que atravesó.

A veces el helero que reviste a trozos las pendientes de una colina de molasa o de caliza jurásica, se limita a servir de barrera a las aguas filtradas y acumuladas en estas formaciones permeables y basta perforar esta barrera para que brote un manantial.

En Mont-sur-Lausanne se ha formado un manantial bastante caudaloso para abastecer a la ciudad, abriendo a través de la molasa y de la arcilla cuaternaria una galería que va a parar en medio de los bloques de una morena muy acuífera.

Análogamente ocurre en los alrededores de Villars-sur-Ollon (cantón de Vaud).

En el valle de Champ-du-Moulin (cantón de Neuchâtel) hay arcillas plásticas, absolutamente impermeables, situadas debajo

de un helero, donde nacen numerosas fuentes en las márgenes del Areuse (1).

La Bresse y Dombes.—El mapa geológico demuestra que la llanura de Bresse está atravesada por infinidad de montículos cuyo núcleo central es de margas azules, recubiertas de arenas ferruginosas y limo amarillo. En medio de estas numerosas colinas serpentea una red de vallejos, y como las aguas no encuentran mucha pendiente, se estacan o fluyen lentamente hacia los más dilatados valles de Veyle, Reyssouse y Seille que desembocan en el del Saona.

En Bresse llueve mucho. En los alrededores de Bourg se registra un promedio de 1,20 metros por año, doble que en París. Las tierras tienen difícil desagüe, porque reciben mucha agua, tienen poca pendiente y descansan sobre un subsuelo impermeable, que exige el sistema de labrantío especial de Bresse. Se trazan *surcos* más o menos estrechos según al cultivo que se destinan, y sus extremos no se labran perpendicularmente, como de costumbre, pues se paralizaría el desagüe. Por el contrario, se quita la tierra de estos extremos con carretillas o vagonetas para llevarla al centro del campo, produciendo así un bombeo artificial. Además, paralelamente a los surcos y en los puntos en que pueden ser útiles, se abren anchas zanjás de desagüe y de cuando en cuando se transporta al campo labrado la tierra fina arrastrada por las aguas. Así se forman una serie de rectángulos o cuadrados bombados que dan al conjunto del campo una pendiente artificial que facilita el desagüe y permite devolverle las materias fértiles que las aguas arrastrarían.

Indudablemente este sistema de cultivo es muy fatigoso, pero los cultivadores de Bresse lo efectúan cuando no tienen otra cosa que hacer. Es evidente que un drenaje por tubos subterráneos evitaría el acarreo de tierras y permitiría cultivar el terreno desaprovechado en los bordes, así como aumentar la profundidad de las labores, que generalmente no exceden de 0,08 a 0,10 metros, y que sería peligroso rebasar mientras el subsuelo no esté aireado.

(1) DAUBRÉE, *Les eaux souterraines*, 1887.

Sin embargo, los drenajes son muy caros y difíciles de ejecutar bien en terrenos de poca pendiente.

Se han ensayado, pero se cree que los tubos están más expuestos a cegarse en las tierras de Bresse que en cualquiera otra parte. Este reproche nos parecería bien fundado si se trazasen los planos de drenaje según las reglas que antiguamente se indicaban en casi todos los tratados, es decir, colocando los tubos según las pendientes mayores y de través los colectores, que así tienen forzosamente menor pendiente que los drenes, y las aguas que llegan a ellos cargadas de las arenas finas que abundan en las tierras de Bresse, las depositan en parte al entrar en los colectores, lo que las fuerza a disminuir su velocidad de salida. De ahí las obstrucciones, que pueden evitarse fácilmente trazando, por el contrario, los colectores según las pendientes mayores del terreno y diagonalmente los tubos de succión.

Toda granja tiene balsa y pozo, y cuando éste alcanza una profundidad de 3 a 4 metros es una especie de cisterna alimentada por las aguas superficiales y por pequeñas fuentes que forman las venas de arena intercaladas en las arcillas. Estos pozos son de agua muy dulce, a veces cargada de materia orgánica y están expuestos a agotarse después de una gran sequía. Para tener agua siempre es preciso abrir los pozos a 12 o 15 metros de profundidad y tener la suerte de hallar un banco de grava intercalado en las capas de marga; entonces son inagotables y dan aguas más duras y calizas que las precedentes.

Dombes.— Al sur de Bourg, el sistema de cultivo propio de Bresse que hemos descrito, empieza a desaparecer y lo hace totalmente en Chalomon, donde basta labrar por tablas, siguiendo la pendiente natural, para que escurran las aguas.

Efectivamente, Dombes es una vasta morena compuesta de materiales aportados por los heleros de los Alpes, en los que domina una arcilla tan compacta e impermeable como el *díot* de Saboya. Antiguamente se habían aprovechado esta impermeabilidad y las ondulaciones del terreno para establecer estanques en las depresiones, poniendo diques de cuando en cuando, pero estos estanques habían hecho muy malsano el país.

Muchos hombres generosos, y en primer término Nivière, el fundador de la Escuela de Agricultura de Saulsaie, se enamoraron de la empresa de mejorar la comarca de Dombes.

Nivière era magistrado de Lyon y tenía ante sí una brillante carrera, cuando se entusiasmó en la cuestión de Dombes y resolvió consagrarle su vida y su fortuna. Desgraciadamente esta fortuna no correspondía a la magnitud del empeño de comprar 467 hectáreas en Saulsaie, desecar los estanques y establecer el cultivo intensivo. No se daba cuenta de los enormes gastos que requería su objeto. Creía que el drenaje bastaría para transformar el suelo; pero el drenaje sin la roturación ni la roturación sin el drenaje eran suficientes, aparte del aumento de abonos orgánicos y minerales en proporción de la nueva capa arable que se había creado.

Cualquiera de estas mejoras, no acompañada de las otras dos, era trabajo perdido; pero las tres juntas costaban de 1.200 a 1.300 francos por hectárea, que sólo hubieran podido resacirse con cultivos especiales como la vid, el lúpulo, la remolacha azucarera, etc.; pero en Dombes el clima y la escasez de operarios no permiten estos cultivos. Es mejor, como hizo M. de Monicault en Versailles, poblar de bosques las tierras malas, principalmente las alturas guijarrosas, conservando tan sólo los estanques más profundos, y fomentar los pastos en las mejores parcelas para el ganado bovino.

Hay pocos manantiales en la meseta de Dombes, pues no los favorecen ni la disposición ni la naturaleza del terreno. La mayor parte de las aguas pluviales corren por la superficie, se acumulan en los estanques, circulan luego por arroyuelos o se evaporan lentamente (Risler, *Geología agrícola*).

Limo de las mesetas.—Sobre las mesetas de la cuenca del Sena hay unos 5.000.000 de hectáreas de limo que Arturo Young consideraba como uno de los más hermosos terrenos del mundo. Se compone generalmente de arena muy fina y de arcilla con una cantidad generalmente muy pequeña de caliza. Su espesor alcanza a veces 12 y hasta 15 metros. Cuando tiene más de 2 a 3 metros se pueden distinguir dos partes: la superior, de color más amarillo, más arcillosa, más pobre en caliza que la inferior, y el limo propiamente dicho, lo que en el país

de Caux y en Picardía se llama *tierra para ladrillos*; la parte inferior, separada de la precedente por una línea horizontal o paralela a las ondulaciones de la superficie, es gris y más basta, más arenosa y menos pobre en caliza que la primera; los cultivadores de Flandes la llaman *ergeron*. Cuando el espesor del limo no excede de 3 a 4 metros, su masa entera suele estar desprovista de cal por habérsela arrebatado las aguas pluviales transformándola en *tierra para ladrillos*.

Cuando el limo descansa sobre un terreno muy permeable, por ejemplo, creta, sufre un drenaje natural y puede cultivarse en cualquier tiempo, y con frecuencia bastan dos caballos para el arado; es una tierra franca en la que el agua y el aire circulan fácilmente y que por la finura de la arena que la forma en su mayor parte y la arcilla que contiene, casi siempre conserva bastante humedad para las necesidades de la vegetación.

Son tierras excelentes para la remolacha, la alfalfa y el trigo. En el país de Caux y en una parte de Picardía, el limo está separado de la creta por una capa más o menos gruesa de arcilla silícea mezclada con *guijarros* y *silíce*, que los habitantes del país denominan *bief*. Las aguas pluviales la atraviesan con menor facilidad y en las temporadas húmedas se reúnen en los parajes más bajos y forman balsas que se utilizan para abreviar el ganado o establecer en su alrededor pastos o huertos. Los árboles plantados alrededor de estos huertos impiden la evaporación demasiado rápida. No hay balsas en medio de los cultivos que cubren las mesetas. Es probable que los innumerables *pozos* abiertos desde tiempo inmemorial para extraer creta, hayan contribuido a desecar estas fértiles llanuras. Cuando no sirven para el enmargado funcionan como *pozos perdidos* y actúan como grandes desagües verticales que a través de la arcilla silícea ponen en comunicación los limos con los bancos agrietados de creta que forman la masa de las mesetas. Las aguas se filtran lentamente en la creta y no reaparecen hasta llegar al fondo de los valles que de trecho en trecho quiebran el terreno.

Del mismo modo es inútil drenar el limo cuando descansa sobre caliza basta, como en Grignon, en una gran parte del

Vexin francés y el Soissonnais, sobre la caliza lacustre, como en Multien, sobre la caliza de Beauce o la arena de Fontainebleau, como se ve en el sur de París.

Pero ocurre todo lo contrario cuando el limo está sobre capas impermeables, como en Brie o en una parte del departamento del Norte. Entonces forma tierras frías y húmedas que es útil drenar.

CAPÍTULO IV

SUBSTANCIAS FERTILIZANTES CONTENIDAS EN EL AGUA

El agua no existe en la naturaleza en estado de pureza. Contiene materias en *suspensión* y en *disolución*. Se carga de unas y otras, ya sea al atravesar la atmósfera, ya al circular por la superficie de la tierra o en las grietas profundas del suelo, de donde sale formando los manantiales.

La naturaleza y cantidad de materias que contiene el agua dependen, naturalmente, de su origen y de los terrenos que atraviesa o riega. El análisis descubre en ella gases: *oxígeno*, *nitrógeno*, *ácido carbónico*; materias minerales: *cal*, *magnesia*, *potasa*, *hierro*, *silice*, *amoniaco*, *ácido nítrico*, y a veces también *ácido fosfórico*. Entre estas materias, algunas de ellas tienen un gran valor desde el punto de vista de la fertilidad. Y a pesar de que el agua sólo contiene pequeñísimas cantidades de aquellas valiosas materias, cuando se renueva constantemente y en grandes masas, como en la práctica de los riegos de ciertos países, desempeña importante acción en la fertilidad de las tierras.

Los limos que algunas corrientes de agua acarrear representan una riqueza tanto mayor cuanto más principios útiles a las plantas contienen y más tenues son sus partículas.

1. — Substancias que llevan las aguas en suspensión.—Limos

Las aguas torrenciales, así como los arroyos y los ríos que alimentan, son las que contienen más substancias sólidas en suspensión. No obstante, las aguas originariamente más puras, después de circular por la superficie del suelo, las contienen en

mayor o menor cantidad. La misma agua de lluvia, después de lavar la atmósfera, está llena de polvo y de gérmenes que en los países brumosos y en las grandes ciudades la hacen menos pura que el agua de los manantiales.

En las corrientes que reciben aguas torrenciales, la cantidad de materia sólida arrastrada puede ser considerable. Dichas corrientes van demorronando sus riberas con tanta más energía cuanto más rápida es su pendiente y más desmenuzables las tierras de su lecho. Aun las corrientes tranquilas desgastan sus orillas. Y cuando las lluvias caen en terrenos escarpados, los arrasan y con frecuencia se llevan las mejores porciones de tierra vegetal.

Las cantidades de limo arrastradas varían entre amplios límites. En una misma corriente de agua, cuando las crecidas de invierno y primavera, la proporción arrastrada llega al máximo.

Véanse algunas cifras suministradas por diferentes observaciones que darán idea de las enormes masas que pueden ser arrastradas. Indican las cantidades medias de limo que anualmente acarrearán diversos ríos y arroyos:

| Ríos | Metros cúbicos acarreados anualmente | Número de kilos arrastrados por m. ³ durante las crecidas |
|---------------------------|--|---|
| Mississipi | 600.000.000 | » |
| Nilo | 95 000.000 | » |
| Ganges | 42.000.000 | 2,3 |
| Po. | 49.000.000 | » |
| Ródano (en Lyon). | 21.000.000 | 1,25 |
| Durance | 12.000.000 | 3,63 |
| Var | 12.000.000 | 36,61 |
| Loira | 6 000.000 | » |
| Garona | 5.700.000 | » |
| Sena | 200.000 | 2,74 |
| Marne. | 105 000 | 0,51 |

Hervé-Mangon ha estudiado este asunto con mucho cuidado. He aquí los resultados obtenidos en el Durance.

El peso total de los limos acarreados por este río en Merindol, desde el 1.º de noviembre de 1859 al 31 de octubre de 1861, fué de 17.923.321 toneladas.

Admitiendo que estos limos depositados en el suelo pesen

por término medio 1.600 kilogramos por metro cúbico, su volumen hubiera sido de 11.077.071 metros cúbicos.

Si este limo se depositase íntegramente en el suelo, cubriría en un año con una capa de 0,01 metros de espesor la enorme superficie de 110.770 hectáreas.

Añade Hervé-Mangon que en el departamento de Vaucluse se consideran muy fértiles las tierras arables que poseen 0,30 metros de espesor de este precioso aluvión, o sea 3.000 metros cúbicos por hectárea. El volumen de limo arrastrado en un año por el Durance en Mérindol representa la tierra arable de $\frac{11.077.071 \text{ m.}^3}{3.000} = 3.692$ hectáreas de suelo de primera ca-

lidad, muy superior al promedio de las mejores tierras, o cerca de 2 centésimas de la superficie arable de un departamento de mediana extensión. En 50 años — sigue diciendo Hervé-Mangon — las aguas del Durance arrastran una cantidad de tierra arable igual a la de un departamento francés.

Ronna dice que en Toscana las primeras operaciones de aprovechamiento de tierras de aluvión se practicaron con aguas fangosas que depositaban hasta 40 milésimas de su volumen. Cuando la velocidad de las aguas disminuye, estos limos se depositan poco a poco, haciéndolo primero las partes más pesadas. Por esta razón los sedimentos están compuestos de partículas cada vez más finas a medida que nos acercamos a la desembocadura. Así se forman los inmensos aluviones de las desembocaduras del Ródano, Po y Nilo, que todavía continúan formándose. Cerca del mar, la precipitación de los elementos impalpables en suspensión en el agua está favorecida por la sal marina que coagula la arcilla.

Algunas aguas pueden depositar 10 y hasta 20 centímetros de espesor de limo por año. Estos limos ejercen dos acciones distintas: van elevando el suelo sobre el que se van depositando y a veces lo enriquecen.

Vamos a ver que con frecuencia contienen en proporción conveniente los elementos útiles a las plantas. Los limos ofrecen a los agricultores ribereños volúmenes de tierras a veces considerables. Se favorece la sedimentación canalizando los ríos y haciéndolos pasar sobre las parcelas de tierra inunda-

das, marismas y hondonadas. Al depositarse las partículas terrosas, van elevando el suelo, que acaba por emerger; esta operación es el *colmataje*. En otras circunstancias, los ribeños se limitan a proteger contra las aguas, por medio de diques, los aluviones formados por el río. Después los cultivan. Las tierras artificiales así formadas suelen ser muy fértiles. Finalmente, a veces el agricultor deja que se deposite en el suelo que cultiva el limo que arrastra el río próximo, y así puede mejorar notablemente los rendimientos. A propósito escribimos *puede*, pues no todos los limos son igualmente fértiles. Los hay verdaderamente estériles, y otros que, a pesar de contener materias útiles, no pueden mejorar las tierras donde se depositan por ser menos fértiles que ellas.

Finalmente, los limos influyen a menudo considerablemente en la constitución física de las tierras, como veremos más adelante, y con frecuencia éste es su principal efecto. Hasta los últimos años no poseíamos datos precisos sobre las cantidades de limo acarreadas por los ríos y arroyos ni sobre su composición física y química. Los trabajos de que vamos a dar cuenta han esclarecido la cuestión en lo referente a ciertas corrientes de agua de Francia. Es de desear que sirviesen de modelo a los que se emprendieran en el extranjero y en los demás ríos de Francia en las comarcas de regadío.

Investigaciones de Müntz y Lainé (1910-1913). — Müntz y Lainé han practicado, en las caudalosas corrientes de riego de Francia, investigaciones que han suministrado resultados muy interesantes con relación al transporte de limo y a su contenido en principios fertilizantes. Las consecuencias que claramente se desprenden de las numerosas observaciones de estos sabios son: en primer lugar, que no sólo la cantidad, sino la calidad, de las materias sólidas acarreadas por las corrientes de agua, y también su propia riqueza en elementos útiles a las plantas, dependen de la constitución geológica y mineralógica de la cuenca de alimentación. Los trabajos de Müntz y Lainé han confirmado además que los limos transportados por las aguas pueden alcanzar masas considerables. Sus investigaciones se efectuaron en las corrientes de agua que descienden de los Alpes y de los Pirineos.

Los Pirineos están constituidos casi exclusivamente por rocas primitivas, cristalinas o esquistosas poco sujetas a la erosión. Así es que las aguas que fluyen son casi claras y relativamente pobres en limos y substancias disueltas. En los Alpes hay también rocas antiguas que entran en la constitución de los grandes macizos del Monte Blanco, de Vannoise y de Oisans. Grandes heleros que alimentan el Durance y el Arve de agua con poco limo, las cubren en parte. Pero a este núcleo de reducida superficie están adosados vastos contrafuertes de rocas más recientes, secundarias o terciarias, especialmente calizas y a veces friables, que originan enormes masas de limo que cargan las aguas del Isère medio, del Durance medio y del Var.

Los heleros comunican un régimen particular a los ríos que alimentan. En invierno, las aguas son pocas y claras. En primavera, la fusión de las nieves produce rápidos arroyuelos o torrentes que corroen sus lechos o riberas, lo que produce crecidas de mayor o menor intensidad y grandes arrastres de limo. En verano, el aumento de caudal se produce por la más lenta fusión de los heleros y la cantidad de limo es menor. Como los heleros de los Pirineos son mucho menos importantes que los de los Alpes, casi no influyen en la abundancia de materias sólidas de los ríos de la zona pirenaica.

Por lo demás, cualquiera crecida rápida, no debida a la fusión de nieves o a la caída de lluvias, arrastra limos, y éstos son tanto más importantes cuanto más friables son los materiales que forman la cuenca.

Las mismas comprobaciones que acabamos de hacer en cuanto a la cantidad de limos acarreados por los ríos que nacen de los Alpes y por los que proceden de los Pirineos, se pueden efectuar al examinar la abundancia de estos limos en materias minerales y la de las mismas aguas de por sí. Las aguas y los limos procedentes de los Alpes son más ricos que sus congéneres de los Pirineos.

Véanse algunas cifras entresacadas de las Memorias de Müntz y Lainé. Revisemos primero algunas corrientes de agua procedentes de los Alpes y las cantidades de limo que transportan.

1.º El *Isère*, cuyas aguas brotan del macizo de Vannoise

y de los Alpes Grées. Véanse las características que nos interesan, en Montmélian (cifras medias):

| | Julio 1911 a julio 1912 | Julio 1912 a julio 1913 |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Caudal por segundo | 160,8 m. c. | 180,8 m. c. |
| Limo por metro cúbico. . . . | 7,630 kg. | 6,987 kg. |
| Limo acarreado anualmente . | 39 millones de toneladas. | 40 millones de toneladas. |

En Grenoble, un poco más abajo de la confluencia con el Drac:

| | Marzo 1912 a marzo 1913 |
|-------------------------------|---------------------------|
| Caudal por segundo | 199,1 m. c. |
| Limo por metro cúbico | 3,176 kg. |
| Limo acarreado anualmente . . | 20 millones de toneladas. |

La cantidad máxima de limo acarreada en un momento dado fué de 22 kilogramos por metro cúbico, correspondiente a 380.000 toneladas en veinticuatro horas.

Se ve cuánto varía la cantidad de materias que transporta el mismo río según el lugar, época y año en que se efectúen las mediciones, por cierto muy delicadas, y al repetirlas no se pueden obtener los mismos resultados.

2.º El *Drôme*, que también nace en los Alpes, tiene crecidas muy copiosas en que la cantidad del limo transportado puede llegar a 25 kilogramos por metro cúbico.

Véanse las cifras promedias tomadas en Luc-en-Diois:

| | Julio 1911 a julio 1912 | Julio 1912 a julio 1913 |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Caudal por segundo | 5,58 m. c | 3,94 m. c. |
| Limo por metro cúbico | 2,801 kg. | 1,194 kg. |
| Limo acarreado anualmente. . | 500.000 toneladas. | 148.000 toneladas. |

3.º El *Durance*, importante corriente de agua de riego y que, como el *Isère*, está alimentado principalmente por los heleros.

En Embrun, la proporción de limo pasa raramente de 0,500 kilogramos por metro cúbico.

Como promedio se ha encontrado:

| | Julio 1911 a julio 1912 |
|-------------------------------|-------------------------|
| Caudal por segundo | 80,3 m. c. |
| Limo por metro cúbico | 0,347 kg. |
| Limo acarreado anualmente. . | 881.000 toneladas. |

En Sisteron, el Durance, después de recibir al Ubaye, procedente de los Alpes Cotianos, y al Buech, que procede de las montañas de Diois y Devoluy, tiene aguas mucho más limosas:

| | Julio 1911 a julio 1912 | Julio 1912 a julio 1913 |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Caudal por segundo | 154.3 m. c. | 129,6 m. c. |
| Limo por metro cúbico | 1,493 kg. | 1,351 kg. |
| Limo acarreado anualmente. . . | 7 millones de toneladas. | 5.550.000 toneladas. |

En Mirabeau, el Durance aumenta su caudal con sus principales afluentes, entre otros el Verdon, que desciende del macizo calizo del monte Palat. Entonces es casi constantemente limoso. La proporción de substancias en suspensión llega a 10 kilogramos por metro cúbico en el instante de las crecidas. Müntz y Lainé han hallado los siguientes promedios:

| | Julio 1911 a julio 1912 | Julio 1912 a julio 1913 |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Caudal por segundo | 244,6 m. c. | 262,4 m. c. |
| Limo por metro cúbico | 0,983 kg. | 2,296 kg. |
| Limo acarreado anualmente. . . | 7 600 000 toneladas. | 19.000.000 toneladas. |

Estas cifras denotan también cómo puede variar de un año a otro la cantidad de limo. Las de 1912 a 1913 confirman la obtenida por Hervé-Mangon (18.000.000 de toneladas).

4.º El *Var* desciende de las mismas montañas calizas que el Verdon. Como este último, en el momento de las crecidas, que son muy violentas, es muy limoso. En Entrevaux, la cantidad de limo depositado llega a 53 kilogramos por metro cúbico. Se han hallado como promedios:

| | Julio 1911 a julio 1912 | Julio 1912 a julio 1913 |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Caudal por segundo | 19,4 m. c. | 13,6 m. c. |
| Limo por metro cúbico | 4,438 kg. | 3,591 kg. |
| Limo acarreado anualmente. . . | 2.700.000 toneladas. | 1 536.000 toneladas. |

Las corrientes de agua que descienden de los Pirineos dieron cifras mucho menores. Son:

El *Tet* está casi siempre limpiado. La proporción de mate-

rias en suspensión muy rara vez llega a 10 gramos por metro cúbico. En Thues se han obtenido:

| Agosto 1911 a agosto 1912 | |
|------------------------------------|------------------|
| Caudal por segundo | 2,85 m. c. |
| Limo por metro cúbico | 0,022 kg. |
| Limo acarreado anualmente. | 2.000 toneladas. |

El *Aude*, en Puyvalador, sólo arrastra 10 gramos de limo por metro cúbico.

El *Garona*, en Saint-Béat, poco después de su entrada en Francia, ha dado los promedios:

| Agosto 1911 a agosto 1912 | |
|------------------------------------|-------------------|
| Caudal por segundo | 22,8 m. c. |
| Limo por metro cúbico | 0,045 kg. |
| Limo acarreado anualmente. | 32.000 toneladas. |

En la región de las llanuras, el *Garona* recibe afluentes que drenan terrenos más fácilmente transportables. En el momento de las crecidas dan limos en cantidad bastante notable, hasta 7 kilogramos por metro cúbico. Entonces el *Garona* se enriquece en materias fertilizantes.

| | Agosto 1911 a agosto 1912 | Agosto 1912 a agosto 1913 |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Caudal por segundo | 147,8 m. c. | 188,3 m. c. |
| Limo por metro cúbico | 0,074 kg. | 1,203 kg. |
| Limo acarreado anualmente. | 345.000 toneladas. | 7 millones de toneladas. |

El *Aduar*, en la estación de Maubourguet, ha suministrado las siguientes cifras medias:

| Agosto 1911 a agosto 1912 | |
|-------------------------------------|----------------|
| Caudal por segundo | 3,1 m. c. |
| Limo por metro cúbico | 0,020 kg. |
| Limo acarreado anualmente | 193 toneladas. |

Las cifras relativamente pequeñas que suministran el *Tet*, el *Aude*, el *Aduar* y el mismo *Garona* comprueban que las corrientes de agua que descienden de los terrenos cristalinos contienen sensiblemente menos substancias sólidas en suspensión que las de terrenos más recientes y más fácilmente derruibles, como las de las regiones alpinas del este de Francia.

A continuación insertamos un cuadro que resume las ob-

servaciones de Müntz y Lainé efectuadas en el Isère y en el Durance, que nacen en los Alpes, y en el Garona, que procede de los Pirineos. También contiene las cantidades de materias minerales en disolución. Comprueban la misma regla.

| | Caudal medio por segundo | MATERIAS EN "SUSPENSIÓN" | | MATERIAS EN DISOLUCIÓN | | |
|--|-----------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|---|---------|
| | | Promedio por m ³ | Toneladas acarreas- das anual- mente | Promedio por m ³ | Toneladas acarreas- das anual- mente | |
| <i>I. Corrientes de agua de los Alpes.</i> | | | | | | |
| Isère en Moutiers. . . | 1911-12 | 32,4 | 0,180 | 184.000 | 0,504 | 515 |
| » » . . . | 1912-13 | 32,8 | 0,064 | 66.000 | | |
| Isère en Montmélian . . . | 1911-12 | 160,8 | 7,630 | 38.800.000 | 0,497 | 2.52 |
| » » . . . | 1912-13 | 180,8 | 6,987 | 39.800.000 | | |
| Isère en Grenoble. . . | 1912-13 | 199,1 | 3,173 | 19.900.000 | 0,345 | 2.17 |
| Durance en Embrun. . . | 1911-12 | 80,3 | 0,347 | 881.000 | 0,348 | 88 |
| » en Sisteron . . . | 1911-12 | 154,3 | 1,493 | 7.300.000 | 0,325 | 1.58 |
| » en Mirabeau . . . | 1911-12 | 244,6 | 0,983 | 7.600.000 | 0,338 | 2.61 |
| » » . . . | 1912-13 | 262,4 | 2,296 | 18.000.000 | | |
| <i>II. Corrientes de agua de los Pirineos.</i> | | | | | | |
| Garona en Saint-Béat. . . | 1911-12 | 22,8 | 0,045 | 32.000 | 0,137 | 98.500 |
| » en Tolosa . . . | 1911-12 | 147,8 | 0,074 | 345.000 | 0,155 | 720.000 |
| » » . . . | 1912-13 | 188,3 | 1,203 | 7.150.000 | | |

Naturalmente, los canales alimentados con estas corrientes de agua llevan masas terrosas que pueden ser considerables. Así ocurre en los canales derivados del Durance. En el de Carpentras, según M. Prost, el agua de riego aporta 0,967 gramos de limo por metro cúbico (resultado de las pesadas efectuadas diariamente durante cuatro años, 1903 a 1906). Si estas tierras reciben 31 riegos de 800 metros cúbicos, las aguas depositan cerca de 24 toneladas de limo por año y por hectárea, lo que corresponde a un espesor de 1,7 milímetros si la densidad aparente de este limo es de 1,4. Así el nivel medio del territorio regado por el Carpentras se alzaría 17 centímetros por siglo.

M. J. Barois, inspector general de puentes y calzadas, secretario general del Ministerio de Obras públicas de Egipto, en su hermoso libro *Riegos de Egipto*, ha calculado que las inundaciones del Nilo depositaban anualmente una capa de limo de un milímetro de espesor. Véanse, según los trabajos de los Dres. Letheby y Mackenzie, las cantidades de limo que las aguas de este río acarrearán por litro y por mes (estas cifras resultan del promedio de cuatro años de observación (1874-75 y 1876-78):

| | Gramos |
|---------------------|--------|
| Enero | 0,274 |
| Febrero. | 0,221 |
| Marzo | 0,109 |
| Abril | 0,135 |
| Mayo | 0,122 |
| Junio | 0,123 |
| Julio. | 0,148 |
| Agosto | 1,566 |
| Septiembre. | 1,304 |
| Octubre | 0,928 |
| Noviembre. | 0,617 |
| Diciembre | 0,424 |
| Promedio. | 0,498 |

Si se aplican estas cifras a los volúmenes de agua circulados mensualmente por el Assouan en un año medio, se halla que el Nilo transporta cada mes:

| | Millones de toneladas |
|---------------------|-----------------------|
| Enero | 1,22 |
| Febrero. | 0,65 |
| Marzo | 0,26 |
| Abril. | 0,21 |
| Mayo | 0,16 |
| Junio | 0,16 |
| Julio | 0,75 |
| Agosto | 30,11 |
| Septiembre. | 30,99 |
| Octubre. | 15,68 |
| Noviembre. | 5,45 |
| Diciembre | 2,55 |
| Total. | 88,13 |

En los meses de agosto y septiembre están las aguas del Nilo más cargadas y en los de febrero y julio lo están menos.

El ingeniero debe tener siempre en cuenta la abundancia de las materias sólidas arrastradas por las aguas cuando construya presas o embalses, pues el atarquinamiento en esta clase de obras origina grandes decepciones. Esta observación debe recordarse principalmente cuando se trata de corrientes de agua que descienden de los Alpes.

Composición y propiedades de los limos.—Los limos de la mayor parte de las corrientes de agua contienen elementos útiles para la alimentación de las plantas, y estos elementos son más o menos abundantes según el origen de los limos. Una ley semejante a la que regula la cantidad de limo arrastrada por las aguas preside su calidad. Efectivamente, la composición de los limos varía según la naturaleza mineralógica y geológica de las tierras que constituyen la cuenca de alimentación y el lecho de las corrientes. Así, cuando las aguas tienen mucho curso y atraviesan comarcas de diversa composición mineralógica, pueden allegar a ciertos lugares de su perímetro elementos nutritivos, tanto más valiosos cuanto más faltan en los terrenos ribereños. Entonces desempeñan una acción particularmente interesante. La composición de los limos varía según la corriente de agua, las regiones de donde proceden, los valles que riegan y aun del momento del año en que se examinan. Los limos son más fertilizantes en las crecidas de los ríos.

Hervé-Mangon ha estudiado mucho este asunto. Pero como en la época de sus observaciones no se concedía a la presencia en las tierras arables del ácido fosfórico y de la potasa la importancia que hoy se le atribuye, no se cuidó en sus interesantes estudios de dosificar estos dos valiosos elementos de fertilidad.

Véanse a continuación algunos de los resultados obtenidos en sus trabajos.

Limo del Durance.—Cantidad media anual de limo contenida en un metro cúbico de agua: 1,454 gramos. Composición media por 100 y por año:

| | Promedios | |
|---|---------------|----------------|
| | mensuales | extremos |
| Residuo arcillosilicífico insoluble | 45,02 | 46,650 |
| Alúmina y peróxido de hierro | 3,72 | 4,650 |
| Nitrógeno | 0,06 | 0,098 |
| Carbonato de cal | 41,27 | 41,470 |
| Carbono | 0,41 | 0,686 |
| Agua y productos no dosificados | 9,52 | 6,446 |
| | <u>100,00</u> | <u>100,000</u> |

Limo del Var (marzo 1865).—Composición centesimal:

| | |
|---|-------|
| Residuo insoluble | 44,28 |
| Alúmina y peróxido de hierro | 5,03 |
| Carbonato de cal | 38,53 |
| Nitrógeno | 0,12 |
| Carbono | » |
| Agua y productos no dosificados | 15,04 |

Veamos ahora algunos análisis practicados recientemente por M. Müntz y que indican la cantidad de limo en varias corrientes de agua y en los cuatro principales elementos fertilizantes:

| | Nitrógeno por 1.000 | Acido fosfórico por 1.000 | Potasa por 1.000 | Carbonato de cal por 1.000 |
|---|------------------------|---------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| Isère (en Grenoble). | 1,24 | 1,66 | 1,32 | 255 |
| Durance (en Mira- beau) | 0,50-1,06 | 0,92-1,10 | 1,34-2,2 | 356,4-484,4 |
| Verdon (en Gréax). | 0,65 | 0,82 | 2,41 | 452 |
| Garona (en Tolosa). | 1,99 | 1,59 | 3,02 | 124 |
| Canal de Carpen- tras (en Carpen- tras) | 1,15-1,51 | 1,01-1,12 | 2,9-4,0 | 389,7-432,5 |

M. Müntz añade que los limos contienen como promedio, por 1.000, de 0,71 a 1,2 de nitrógeno, de 0,80 a 1,5 de ácido fosfórico y de 1,5 a 2 de potasa. La cantidad de potasa puede llegar a 3 y 4 por 1.000 si se trata de limos tenues y arcillosos.

Creemos interesante exponer la composición del famoso limo del Nilo. Los análisis del Dr. Letheby indican las siguientes cifras para cien partes:

| | Crecida | Estiaje |
|--------------------------------------|---------|---------|
| Materias orgánicas | 15,02 | 10,37 |
| Acido fosfórico. | 1,78 | 0,57 |
| Cal | 2,06 | 3,18 |
| Magnesia | 1,12 | 0,99 |
| Potasa | 1,82 | 1,06 |
| Sosa | 0,91 | 0,62 |
| Alúmina y óxido de hierro | 20,92 | 23,55 |
| Sílice. | 55,09 | 58,22 |
| Acido carbónico y pérdidas | 1,28 | 1,44 |
| | <hr/> | <hr/> |
| | 100,00 | 100,00 |

Las cifras dadas de ácido fosfórico y potasa para la muestra tomada en las crecidas parecen anormales y excesivamente altas.

Desgraciadamente estos análisis no determinan el nitrógeno, que tanta importancia tiene en la fertilidad. Pero M. Barois, en su ya citada obra, dice que, según los análisis de Payen, Champion y Gastinel Bey, efectuados en 1872, el limo del Nilo contendría de 0,9 a 1,30 por 1.000. Estos análisis se refieren a muestras extraídas de muchos lugares del alto Egipto. Además del nitrógeno, sólo indican vestigios de ácido fosfórico.

M. Normandin, ingeniero de puentes y calzadas, en la Memoria que redactó sobre su misión en Java, da la composición de un limo extraído del canal principal que se alimenta del río Branta:

| | |
|--------------------------|--------------------|
| Acido fosfórico. | 3,5 a 6,5 p. 1.000 |
| Potasa | 4,3 a 6 > |
| Nitrógeno | 2,5 a 2,7 > |

Es un limo muy rico y, por consiguiente, muy fertilizante. Para apreciar la abundancia y acción fertilizante de los limos recordaremos ahora la composición media por 1.000 de una buena tierra vegetal, del estiércol de granja, del limo de una corriente de agua de Francia y del limo del Nilo (1).

(1) Según un documento comunicado por M. Barois, inspector de puentes y calzadas, secretario general del Ministerio de Obras públicas en Egipto.



| | Limos | | | Estiércol de granja |
|---------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| | Tierra vegetal | Corriente fran- cesa de agua | Nilo, promedio agosto-septiembre | |
| Nitrógeno. | 1 | 0,7-1,2 | 1,4 | 3-5 |
| Acido fosfórico | 1 | 0,8-1,5 | 2,5 | 2-6 |
| Potasa | 2 | 1,5-2 | 5,3 | 2-4 |
| Cal. | 50 | | 30,7 | 3 |

Este cuadro comparativo evidencia que, en general, un limo es menos rico que una tierra arable de riqueza media. No obstante, el limo del Nilo relativamente es más rico que los otros. Además, hallamos en el libro de M. Barois los siguientes razonamientos sobre el suelo egipcio.

En toda la extensión del valle del Nilo, la capa de tierra vegetal tiene espesor considerable. Es una arcilla limosa de composición química bastante constante, tanto en el alto como en el bajo Egipto.

Según los numerosos análisis efectuados en 1872 en París por MM. Payen, Champion y Gastinel Bey, contiene aproximadamente:

| | | |
|---------------------------|-------------|----------|
| Silice | 450 | p. 1.000 |
| Arcilla. | 530 | » |
| Magnesia. | 2 a 1,60 | » |
| Cal. | 13,0 a 4,90 | » |
| Nitrógeno | 0,3 a 1,00 | » |
| Acido fosfórico | 0,3 a 3,2 | » |

A medida que se va aproximando al Mediterráneo, el suelo contiene cada vez mayor cantidad de cloruro sódico; al norte del delta llega a ser del 4 por 100. Dice M. Barois: en general, la tierra de Egipto contiene mucha silice, alúmina y óxido de hierro, poca cal, escasas cantidades de nitrógeno y ácido fosfórico. Si se compara esta composición con la del limo del Nilo, inmediatamente se comprende por qué éste puede ejercer una acción beneficiosa desde el punto de vista de la nutrición de las plantas, pues es mucho más rico que la tierra en ácido fosfórico y potasa e indudablemente también más rico en nitrógeno, aunque no hayamos podido hallar una documentación precisa sobre este último elemento.

Por consiguiente, aparte de los casos excepcionales, como

el de los depósitos del Nilo, que si no son los más ricos se cuentan por lo menos entre ellos, no cabe decir que los limos sean capaces de enriquecer las tierras, pues en general no son más ricos que ellas. No obstante, desempeñan acción importante en las tierras pobres. *Lo que da un gran valor fertilizante a los limos es el estado de extrema división en que ellos presentan a las plantas los elementos nutritivos, que en esa forma son muy fácilmente asimilables.*

En resumen, en la generalidad de los casos se puede admitir que restituyen al suelo por lo menos parte de los elementos útiles que las cosechas extrajeron, lo que equivaldría a considerarlos como abonos pobres, pero de acción rápida gracias a su estado físico. Pero dicho estado y la influencia que en las propiedades físicas de las tierras ejercen pueden contrariar sus felices efectos, y en una tierra fértil pueden incluso ejercer una acción contraproducente, sobre todo en terrenos de regadío.

MM. Müntz y Lainé han llegado a esta conclusión después de someter los limos a los procedimientos de análisis mecánico y físico ya descritos al hablar de las tierras. A continuación insertamos un cuadro que da el resultado de sus investigaciones para cierto número de limos de corrientes de agua en Francia.

Propiedades físicas de algunos limos

| | Porosidad | Capacidad para el agua en volumen | Capacidad para el agua en peso | Capacidad para el aire | Permeabilidad |
|-----------------------------------|-----------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------|
| Isère en Montmélian | 50,4 | 25,0 | 18,4 | 25,4 | 3,3 |
| Isère en Grenoble | 55,7 | 41,8 | 27,8 | 13,9 | 0,3 |
| Durance en Sisteron | 47,3 | 35,2 | 24,4 | 12,1 | 0,0004 |
| Durance en Mirabeau: | | | | | |
| Crecida de 2 de junio 1912 | 46,6 | 29,6 | 21,1 | 17,0 | 0,5 |
| Crecida de 22 oct. 1912 | 50,5 | 45,7 | 35,2 | 4,9 | 0,0 |

Estas propiedades, como ya sabemos, están en relación inmediata con la composición física indicada a continuación:

| | GRAVA | ARENA | | | LIMO | | | ARCILLA |
|-----------------------------|-------|--------|---------|------|---------|------|----------|---------|
| | | Gruesa | Mediana | Fina | Arenoso | Fino | May fino | |
| Isère en Montmélian . . . | 0 | 0,8 | 23,2 | 23,0 | 31,4 | 7,1 | 2,1 | 2 4 |
| Isère en Grenoble . . . | 0 | 0,3 | 4,2 | 3,9 | 16,7 | 40,6 | 30,3 | 4,0 |
| Durance en Sisteron . . . | 0 | 0 0 | 0,1 | 0,0 | 0,7 | 13,6 | 64,8 | 20,8 |
| Durance en Mirabeau: | | | | | | | | |
| Crecida de 2 junio 1912 . . | 0 | 0,0 | 3,5 | 7,0 | 40,5 | 30 5 | 14 0 | 4,5 |
| Crecida de 22 oct. 1912 . . | 0 | 0,1 | 0 2 | 0,1 | 0,8 | 0,7 | 76,9 | 21,2 |

Estas cifras demuestran que los limos sólo forman suelos poco permeables, lo que ya era de prever, puesto que están constituidos por partículas terrosas muy finas, que son tanto menos permeables cuantas más partículas finas descubre el análisis físico (depósitos del Durance, Sisteron), que el valor de la capacidad para el aire sigue la misma tendencia y que su proporción de arcilla es más bien escasa, que es lo contrario de las ideas generalmente admitidas.

La capacidad de las tierras para el agua aumenta con la finura de los limos; pero depende principalmente de su contenido de arcilla coloidal, y se ve que los limos no contienen mucha.

Los limos son tanto más tenues cuanto más cerca está la corriente de agua de su desembocadura, pues los elementos más pesados son los que primero se depositan. En los canales siempre son muy finos. Y su capacidad para el aire puede disminuir hasta convertirlos en tierras asfixiantes, compactas e impermeables. Todos estos defectos es natural que los transmitan a las tierras de regadío en que se depositan. Y el espesor de los depósitos puede aumentar poco a poco cuando los canales se alimentan de ríos limosos. Según M. Prost, el agua de riego del canal de Carpentras aporta a las tierras 0,967 gramos de limo por metro cúbico. Este es el resultado de las pesadas efectuadas diariamente durante cuatro años (1903 a 1906). Si las tierras ribereñas reciben anualmente 31 riegos de 800 metros cúbicos y la densidad media del depósito es de 1,4, las aguas depositan, por año y por hectárea, 24 toneladas

de limo, o sea un espesor de 1,7. milímetros. Así el nivel medio de las tierras regadas por el canal de Carpentras se elevará 17 centímetros por siglo. Y ya hemos dicho que M. Barois estimaba en un milímetro el espesor de la capa de limo depositado anualmente por el Nilo.

Las aportaciones de limo pueden ser considerables y modificar profundamente, poco a poco, la constitución física de las tierras regadas.

Se puede juzgar por las siguientes cifras. Las primeras se deben a M. Prost, que ha sometido al análisis físico muestras obtenidas algunas de ellas en tierras de España regadas desde la dominación de los árabes y las otras en tierras de la misma naturaleza, pero no regadas. MM. Müntz y Lainé han proporcionado las segundas. Sometieron a los mismos ensayos tierras regadas desde el siglo xv, en los alrededores de Cavaillon, por el canal de Saint-Julien, que nace en el Durance, y tierras del mismo origen, pero nunca regadas.

| LOCALIDADES | OBSERVACIONES | INDICACIONES RELATIVAS AL RIEGO DE LAS TIERRAS | PROPIEDADES FÍSICAS | | | |
|-------------|----------------|--|---------------------------|---------|---------------------------|---------------|
| | | | CAPACIDAD para el agua | | CAPACIDAD PARA EL AIRE | PERMEABILIDAD |
| | | | en volumen | en peso | | |
| Bemmamet | MM. Prost. | Regadas por la acequia Real del Monador. | 35,1 | 24,4 | 9,5 | 0,06 |
| » | » | No regadas | 24,2 | 15,6 | 17,3 | 0,46 |
| Benifayó. | » | Regadas por la acequia Real del Inconador . | 34,5 | 24,3 | 11,5 | 0,10 |
| » | » | No regadas | 27,5 | 19,0 | 16,7 | 0,42 |
| Cavaillon. | MM. y Lainé | Regadas por el canal de San Julián . . . | » | » | » | 0 3 |
| » | » | No regadas | » | » | » | 20,4 |

La permeabilidad de las tierras nunca regadas es mucho mayor, hasta sesenta veces más, que las que se riegan desde hace mucho tiempo.

Pero en los países calurosos, como Egipto, España y el Mediodía de Francia, generalmente regados, bajo la acción de los rayos solares las tierras arcillosas se agrietan y dejan penetrar el agua.

La prolongada aplicación del riego con aguas limosas aumenta la proporción de elementos finos. Resulta de ello que las tierras se vuelven más compactas, menos aireadas y sobre todo menos permeables. Estas tierras exigen mucha menos agua y, por lo tanto, cabe economizarla cuando se trata de regar terrenos sometidos desde hace tiempo al riego con aguas turbias. La experiencia lo confirma.

Además hay que considerar que a la modificación de la constitución física de las tierras no siempre sigue aumento de su fertilidad. En las tierras fértiles de buena constitución física el limo más bien influye desfavorablemente.

Pero, por el contrario, puede dar muy satisfactorios resultados cuando se trata de convertir en tierras fértiles, tierras guijarrosas y estériles. Así se han transformado los áridos terrenos cretáceos de las Bocas del Ródano. Entonces se justifican los versos de Virgilio:

. *summis liquuntur rupibus amnes,*
Felicemque trahunt limum.

No obstante, de las considerables cantidades de materias sólidas que arrastran los ríos en sus crecidas y de la riqueza de estos limos en materias fertilizantes, no se ha de inferir, como han hecho algunos agrónomos, que las corrientes de agua viertan cada día al mar el equivalente de muchas cabezas de ganado. La cantidad de materias sólidas que las aguas conservan en suspensión y su riqueza varía entre límites muy extensos y en intervalos muy próximos para inducir de ello conclusiones ciertas. Sin embargo, Hervé-Mangon dice que las 17.723.321 toneladas de materias sólidas arrastradas por el Durance en Méridol están formadas por 9.529.368 toneladas de arcilla, 7.033.714 de carbonato cálcico, 14.166 de nitrógeno, 98,21 de carbono y 1.047.871 de agua combinada con substancias diversas, «reunido el conjunto en las más favorables condiciones para formar las más fértiles tierras arables».

Pero estas cifras parecen más propias para dar idea de la potencia fertilizante de los limos que para medirla.

2. — Substancias fertilizantes disueltas en las aguas

No siempre lleva el agua materias sólidas en suspensión, pero en disolución las contiene de un modo permanente. Como ya hemos dicho, la cuantía y naturaleza de estas substancias dependen del origen de las aguas y de las capas de terreno que han regado o atravesado. El naturalista Plinio dijo hace siglos: *tales sunt aquæ, quales terræ per quas fluunt*. Las aguas son más eficaces cuando contienen elementos que sólo existen en pequeña cantidad en los terrenos que deben regar. Así pueden aportar cal, potasa o ácido fosfórico donde faltan estas substancias. El riego obtiene grandes ventajas de este fenómeno. Examinaremos rápidamente las diversas aguas que nos ofrece la naturaleza.

A. Aguas de lluvia y de nieve. — Boussingault, Bineau, Lawes y Gilbert y Müntz han demostrado que las aguas meteorológicas contenían nitrógeno combinado, carbonato y nitrato amónico, materias orgánicas procedentes de la atmósfera, substancias minerales, cloruro sódico, sulfato sódico, óxido de hierro, oxígeno, nitrógeno y ácido carbónico. La composición de estas aguas varía según la atmósfera que han atravesado. Están más cargadas de ácido carbónico, de materias orgánicas y minerales en las grandes ciudades que en el campo. Las tempestades provocan la formación de ácido nítrico. Müntz ha demostrado que a gran altura, en la región de las nieves, en el Pico del Mediodía, el agua de lluvia no contiene vestigios apreciables de ácido nítrico. Los vientos violentos influyen en la composición de las lluvias trayendo el polvo de lejos.

Cien litros de agua de lluvia después de hervida han dado:

| | |
|---------------------------|--------------|
| Nitrógeno | 1,308 litros |
| Oxígeno | 0,637 » |
| Acido carbónico | 0,128 » |
| | <hr/> |
| | 2,073 litros |

Como resultado de los análisis proseguidos durante seis meses, en 1852 halló Boussingault que las aguas meteorológicas

obtenidas a gran distancia de lugares habitados, tenían un promedio de 0,79 miligramos de amoníaco por litro. Way, Lawes y Gilbert comprobaron que, desde 1853 a 1856, las lluvias, escarcha, nieve, rocío, etc., aportaron en Rothamsted, lugar de sus experimentos, un promedio anual de 8,08 kilogramos de nitrógeno combinado (amoníaco y ácido nítrico) por hectárea y año.

B. Aguas de arroyos y ríos. — Se han hecho numerosos análisis de aguas de arroyos y ríos. Pero la composición de estas aguas varía entre límites tan amplios, según la época del año en que se opere y el procedimiento que se siga para obtener la muestra, que es imposible comparar los resultados obtenidos por los diferentes experimentadores. No obstante, estas investigaciones han evidenciado que las aguas corrientes contienen con frecuencia cantidades notables de materias fertilizantes disueltas, que algunas pueden aportar al suelo una dosis de nitrógeno o de potasa superior a la que extrae una buena cosecha y, finalmente, que la naturaleza de estas aportaciones depende esencialmente de las formaciones geológicas que las aguas atraviesan.

a. Gases disueltos en las aguas de los arroyos y ríos. — Se sabe que el aire atmosférico es una mezcla de dos gases principales: el oxígeno y el nitrógeno, en la aproximada proporción de 79 volúmenes de nitrógeno por 21 volúmenes de oxígeno. Además contiene de 4 a 6 diezmilésimas de ácido carbónico. El agua corriente en contacto con el aire disuelve cada uno de estos gases como si estuviera sólo, de modo que el agua absorbe relativamente más oxígeno que nitrógeno. Las cantidades de gases disueltos varían mucho según las temperaturas y, en lo que se refiere al ácido carbónico, según también la composición de las aguas.

En opinión de Poggiale y Hervé-Mangon, el agua del Sena, extraída más arriba de París los días 11 de marzo y 4 de agosto de 1853, contenía a 0° y 0,760 milímetros de presión:

| | Poggiale | Hervé-Mangon |
|-------------------|---------------|---------------|
| Oxígeno | 0,0095 litros | 0,0072 litros |
| Nitrógeno | 0,0021 » | 0,0136 » |
| Acido carbónico . | 0,02325 » | 0,0254 » |

Y según Hervé-Mangon, las aguas del canal de Carpentras contenían por litro:

| | |
|--------------------------|----------------------|
| Oxígeno | 0,0045 litros |
| Nitrógeno. | 0,0125 litros |
| Acido carbónico. | 0,002 a 0,007 litros |

La acción del nitrógeno introducido en el suelo por el agua es discutible; pero evidentemente es muy activa la del oxígeno. Este gas es indispensable en las múltiples combustiones que se efectúan en el suelo y que tienden a hacer solubles, paulatinamente, las substancias orgánicas que en el mismo se encuentran. En cuanto al ácido carbónico, ataca las rocas, las arenas, etc., y gracias a él las plantas pueden asimilarse las substancias minerales del suelo y de los abonos.

b. Nitrógeno y materias minerales contenidos en las aguas de los ríos y arroyos. — Hervé-Mangon parece haber sido el primero que a propósito de los riegos se ocupó de la composición química de las aguas. Pero en la época en que efectuó sus investigaciones se ignoraba todavía la misión tan importante que el ácido fosfórico y la potasa tienen en la fertilidad. Sólo se preocupó de dosificar el nitrógeno y los álcalis (potasa y sosa), cal, magnesia, cloro, ácido sulfúrico, alúmina y peróxido de hierro. Nos circunscribiremos al nitrógeno.

Entre otros resultados, halló que las aguas que en el Mediodía regaban las praderas de Taillades (Vaucluse) contenían por término medio 1,583 miligramos de nitrógeno por litro; que las que servían para el riego de una pradera de Saint-Dié, en los Vosgos, contenían 1,380 miligramos. En Taillades, el riego representaba un volumen total de 16.383 metros cúbicos de agua vertida por hectárea y año. En Saint-Dié, el riego vertía sobre el suelo unos 154.866 metros cúbicos de agua. Hervé-Mangon halló que el suelo de la pradera de Taillades había asimilado 23,442 kilogramos de nitrógeno por hectárea y año y el de Saint Dié 207,880 kilogramos de nitrógeno. Estas cifras representan respectivamente un abono de estiércol de 6.000 kilogramos y 52.000 kilogramos por hectárea. Un ex alumno del Instituto Agronómico, M. Le Couppey de la Forest, ingeniero de las mejoras agrícolas, ha estudiado en estos últimos años la composición de las aguas de riego de una pradera

llamada la Joncherie, situada en los alrededores de Remiremont, hallando que estas aguas contenían por litro:

| | |
|---------------------------|-----------|
| Nitrógeno | 1,282 mg. |
| Potasa | 2,920 » |
| Cal. | 7,560 » |
| Acido fosfórico | vestigios |

Véanse los resultados de los análisis de las aguas del Bourne y del Isère, por M. Müntz:

Substancias en disolución por metro cúbico

| | Agua del Bourne Grs. | Agua del Isère Grs. | |
|--|-------------------------|------------------------|---------|
| Peso total de las sustancias disueltas | 100,000 | 175,000 | |
| Conteniendo: | | | |
| Nitrógeno nítrico | 0,038 | 0,223 | } 1,473 |
| » amoniacal. | 0,100 | 0,110 | |
| » orgánico. | 0,130 | 0,140 | |
| Acido fosfórico. | 0,078 | 0,044 | |
| Potasa | 2,180 | 3,390 | |
| Cal | 80,000 | 65,000 | |
| Magnesia | 4,000 | 10,000 | |
| Acido sulfúrico. | 4,100 | 48,000 | |

En el clima seco y caluroso de Provenza, los riegos son muchas veces necesarios y siempre útiles para satisfacer las necesidades de la vegetación. ¿En qué límites pueden también ser beneficiosos gracias a las sustancias que el agua contiene en disolución o en suspensión? Los excelentes análisis que M. Müntz hizo de las aguas del Ródano, del Sorgues y del Durance, pueden aclararnos este concepto. Ya expusimos la composición de estos limos. Véase ahora la de las aguas:

| | Ródano Grs. | Sorgues Grs. | Durance Grs. | |
|-----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------|
| Peso total de materias disueltas. | 185,000 | 160,000 | 240,000 | |
| Conteniendo: | | | | |
| Nitrógeno nítrico. | 0,828 | 0,104 | 0,285 | } 0,435 |
| » amoniacal. | 0,130 | 0,036 | 0,010 | |
| » orgánico | 0,230 | 0,130 | 0,140 | |
| Acido fosfórico | 0,332 | 0,026 | 0,034 | |
| Potasa | 2,980 | 3,740 | 3,120 | |
| Cal | 84,000 | 90,600 | 82,000 | |
| Magnesia. | 9,300 | 8,700 | 19,000 | |
| Acido sulfúrico | 22,300 | vestigios | 66,500 | |

Las aguas del Ródano, cerca de Tarascón, contienen muchas más substancias minerales que en la parte alta del río. El sulfato magnésico, que se halla en cantidad notable, procede de las aportaciones del Durance. El cloruro sódico también es bastante abundante y lo traen las fuentes bajas del valle, que en su mayor parte son ricas en sal, porque han pasado por terrenos salinos que también contienen yeso y, por lo tanto, abundan en sulfato cálcico. Estas aguas, empleadas en el riego, pueden también suministrar a las plantas la potasa necesaria. Solamente falta el ácido fosfórico.

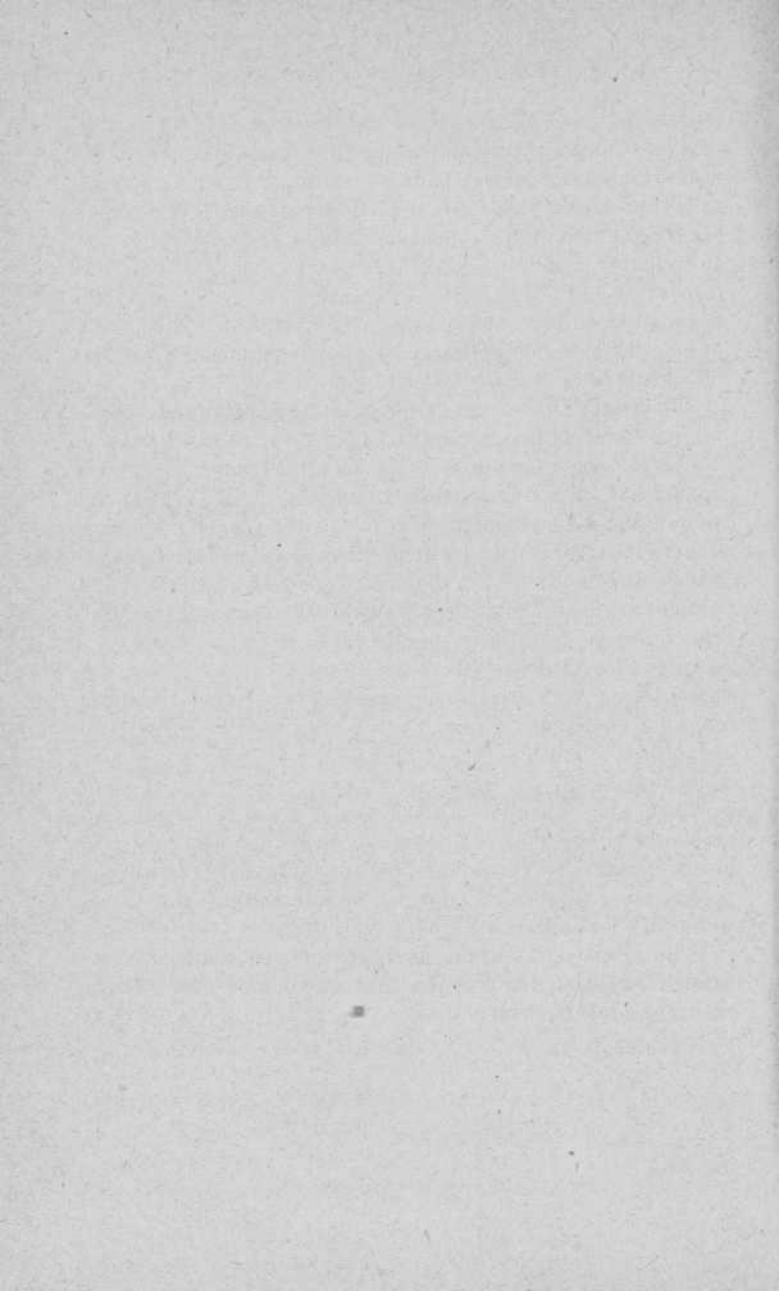
En cuanto a las aguas del Sorgues, las substancias minerales que lleva son insignificantes.

La cal generalmente se halla en proporción muy elevada en muchas de las aguas de manantiales y ríos, gracias a la solubilidad del carbonato cálcico en presencia del exceso de anhídrido carbónico. En los diversos análisis que hemos examinado—dice M. Joulie—la vemos variar de 2,40 gramos a 163,70 gramos por metro cúbico. En general, las aguas de fuentes y ríos contienen de 20 a 70 gramos de cal por metro cúbico.

En el Sauldre, que atraviesa los terrenos de Sologne, desprovisto casi por completo de cal, M. Joulie halló 10,60 gramos por metro cúbico, y en el Erioux, que discurre por terrenos graníticos también pobres de cal, halló 9,04 gramos por metro cúbico.

Esta abundancia en carbonato cálcico, que representa aportaciones de 100 a 1.000 kilogramos de cal por hectárea, tiene evidentemente un valor tanto mayor cuanto menos calizos sean los terrenos regados. A veces por sí sola explica esta riqueza la gran eficacia de los riegos.

En resumen, las aguas de riego influyen tanto más en la fertilidad de las tierras cuanto más abundan en principios fertilizantes con relación a ellas. ■



SEGUNDA PARTE

EMPLEO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA RIEGOS

DEFINICIÓN

La energía solar eleva el agua de los mares hasta las cumbres de las montañas, donde se almacena en forma de nieve y heleros. En primavera, los rayos del sol ponen en circulación estas masas de agua solidificada que descienden de las montañas a las llanuras y ponen a la disposición del hombre su fuerza viva y sus propiedades fertilizantes. La filosofía natural de las cosas enseña que conviene utilizarlas de una manera y de otra a medida que descienden. Y los países montañosos se nos aparecen como el área geográfica natural de las centrales hidráulicas, productoras de fuerza, y de las praderas regadas, productoras de forraje y, por consiguiente, de ganado y de leche.

Hemos puesto de manifiesto que, en la mayor parte de los casos, la lluvia sólo lleva a las plantas parte del agua necesaria para su vegetación. El riego interviene para suministrar la que falta. Cualquiera que sea el medio empleado para procurarse el agua de riego, y cualquiera que sea su origen (fuentes, pozos, ríos o canales) siempre procede de terrenos situados a mayor altura que los terrenos que se riegan. *En definitiva, el riego reúne sobre una superficie determinada las aguas caídas sobre ella y las caídas más altas y en superficie más extensa.*

Regar un terreno, en la generalidad de los casos, es verter en él una cantidad limitada de agua, de modo que circule uniformemente por su superficie sin detenerse en parte alguna. Humedeciendo el suelo y poniendo a disposición de las plantas los elementos nutritivos que contiene el agua, el riego imita la acción de la lluvia y remedia su irregularidad gracias a las corrientes de agua o reservas formadas durante la estación húmeda y que devuelve a la tierra en el momento de la sequía. Pero, además, puede aportar al suelo sustancias fertilizantes y ejercer un conjunto de acciones beneficiosas, entre las cuales la aireación es una de las principales.

Veremos que con este concepto del riego que hemos descrito se confunde el que consiente en cubrir el suelo de una capa de agua más o menos considerable que se deja sobre él más o menos tiempo. Pero ya se trate del riego con agua corriente o con agua estancada, a todo riego debe seguir una desecación del terreno. *No hay riego provechoso sin la subsiguiente desecación del suelo.*

Las *acequias de riego* conducen y distribuyen el agua por la superficie del suelo; las *de desagüe* la recogen para desembarazar de ella al terreno después del riego.

Cuando el terreno es suficientemente permeable y tiene una pendiente apropiada, es inútil establecer las acequias de desagüe. Una vez vacías, las acequias de riego sirven de desagüe.

El riego a mano es el primitivo, el más caro e impracticable en superficies de regular extensión.

Gracias a un sistema apropiado de acequias, que por medio de una *toma de agua* se alimentan de la reserva que de ella tenemos, se economizan jornales y se utilizan las naturales pendientes del suelo o se crean artificialmente, de modo que el agua por su propio peso descienda hasta el terreno que hay que regar y se reparta uniformemente.

CAPITULO PRIMERO

EFECTOS DEL RIEGO

1. — El riego durante el periodo activo de la vegetación compensa la insuficiencia de la lluvia

Hemos demostrado que las plantas, para formar la materia seca, ponían en circulación enormes masas de agua. Se ha podido decir que, en un mismo suelo, el peso de las cosechas hasta cierto limite era proporcional a la cantidad de agua puesta a disposición de las plantas. Por otra parte, también hemos evidenciado cuán raro era que el régimen de lluvias estuviese en armonía con las necesidades de la vegetación. Remediar este desequilibrio es el fin primordial del riego.

Además de esta acción principal, la ejerce también considerable en múltiples aspectos, como agente de fertilización.

2. — El riego como agente fertilizante

Ha sido estudiado desde este punto de vista por Hervé-Mangon (1859-1860), Vincent, Keelhoff (1870), Adolfo Mayer (1870), Badersleben (1871), Koenig (1877-1893).

No hablaremos de las aguas *residuales*, pues los limites de esta obra nos lo impiden.

1.º **El riego orea el suelo.** — El riego, como el drenaje, con la condición de que esté bien hecho, orea enérgicamente el suelo, es decir, que el agua *pase* y no quede *estancada*. Al descender, el agua expulsa el aire cargado de ácido carbónico y aporta oxígeno disuelto que en cierto modo la tierra respira. Gracias a esta acción comburente, se quemán las

materias orgánicas insolubles, que, a favor del fermento nítrico, se convierten en un importante almacén de nitrógeno soluble. Hervé-Mangon halló que las aguas de los colectores contenían menos oxígeno y más ácido carbónico que las aguas vírgenes. Este fenómeno se manifiesta especialmente cuando la temperatura es bastante elevada y se nota más en verano que en invierno y más en los países del sur que en los del norte.

No obstante, es más complicado de lo que creyera Hervé-Mangon, según demostró el Dr. Kœnig, director de la Estación agronómica de Münster; este sabio, desde 1875, prosiguió una serie de importantes investigaciones sobre las aguas de riego. M. Faure, ingeniero agrónomo e inspector de ingeniería rural del ministerio de Agricultura, ha dado un análisis excelente, al cual recurriremos muchas veces (1). Puede presentarse el caso de que los colectores contengan más oxígeno y menos ácido carbónico que el agua primitiva, porque se efectúan diversos procesos simultáneos que estorban la exactitud del resultado definitivo. La riqueza inicial del agua y de la tierra en oxígeno, en materias orgánicas y en caliza, la hora en que se riega, etc., son otros tantos factores. El agua extendida en delgada capa por la superficie del suelo absorbe ávidamente los gases; además del oxígeno que contiene el aire atmosférico, disuelve el que contiene el aire confinado en las cavidades superficiales del suelo y el que las partes bajas de las plantas emiten al respirar. Esta agua llega a contener más oxígeno que cuando se comenzó el riego; y no lo pierde si sólo penetra a escasa profundidad del suelo en tierras pobres en substancias orgánicas, es decir, poco oxidables, y no es muy alta la temperatura. Además, podrá dar ácido carbónico a las partes bajas de las plantas que baña y no lo recuperará si riega un suelo pobre en materias orgánicas y en caliza.

Los fenómenos que indican la oxidación de las tierras por influencia del riego se manifiestan siempre de un modo más constante en las aguas profundas del drenaje que en las de desagüe superficial. Por ello la materia orgánica está siempre

(1) *Anales del Instituto nacional agronómico*, 1.^a serie, n.º 15. Saneamientos, drenajes y otras mejoras en Alemania y en algunos países de la Europa central, 2.^a parte.

en menor cantidad en las aguas de drenaje que en las de desagüe superficial, y el agua de drenaje casi siempre contiene menos oxígeno y más ácido carbónico y sulfúrico que el agua primitiva.

Véanse, según M. Faure, algunas cifras del Dr. Kœnig:

| AGUA DE ENTRADA | AGUA DE DRENAJE | | | | |
|------------------|-------------------|------------------|--------------------------|-------------------|-----|
| | Terrenos turbosos | Terrenos calizos | Terrenos arcillosilíceos | Terrenos arenosos | |
| Oxígeno. | 5,9 | 2,7 | 3,9 | 4,0 | 3,3 |

Este empobrecimiento es tanto mayor cuanto más honda esté el agua de drenaje.

El agua de drenaje o de infiltración es también más rica en ácidos que el agua de riego. El Dr. Kœnig halló:

| | Ácido carbónico Mg. | Ácido sulfúrico Mg. |
|--------------------------|------------------------|------------------------|
| Agua de riego. | 121,0 | 58,5 |
| Agua de desagüe. | 272,9 | 127,7 |

Esta riqueza procede de la oxidación de las substancias orgánicas del suelo y no de la disolución de carbonatos o de sulfatos; pues, en este caso, disminuiría la cantidad de estas sales disueltas en agua y, sin embargo, la composición de las aguas de los drenes es constante. A consecuencia del paso de las aguas por el suelo se produce una oxidación de substancias orgánicas que, según la expresión de M. Faure, *depura* las tierras.

De todos modos, el riego orea las tierras. Aporta oxígeno que quema las materias orgánicas, cuya cantidad tiende constantemente a aumentar en las praderas. Así moviliza en provecho de las plantas y en forma de ácido nítrico el nitrógeno insoluble del suelo. Esta acción es tanto más enérgica cuanto mayor es el volumen de agua empleada y más elevada la temperatura. Además, se sabe que requiere la presencia de cierta cantidad de caliza en el suelo. En la explotación de prados

desempeña una acción semejante a la que en el cultivo de las tierras arables ejerce la azada y el arado, y esto explica el interés de los riegos practicados con aguas pobres en substancias nutritivas, aun en países en que las lluvias son bastante abundantes

2.º El riego solubiliza las materias fertilizantes contenidas en el suelo Moviliza la fertilidad.—Acabamos de decir que el riego hace solubles las reservas de nitrógeno orgánico que contiene el suelo. Gracias a la cantidad de ácido carbónico que las aguas de riego contienen y a la que adquieren generalmente al atravesar el suelo, disuelven las materias minerales, facilitan su asimilación y favorecen la formación del ácido húmico, cuya influencia es análoga. Este poder disolvente puede ser bastante grande para que el suelo se empobrezca, principalmente en caliza. Un suelo regado por grandes masas de agua estéril puede perder parcialmente su fertilidad; *se riega para matarlo*. Y puede perderla en virtud de que esta fertilidad se *moviliza* en provecho de las primeras cosechas. *Los riegos practicados con aguas pobres deben ir, por lo tanto, acompañados de aportación de los abonos necesarios para reemplazar los elementos fertilizantes que extraen del suelo para darlos a las plantas.*

3.º El riego puede aportar materias fertilizantes.—Recordamos al lector lo dicho sobre las aportaciones de las aguas corrientes. Insistiremos aquí tan sólo en que su riqueza depende esencialmente de su origen y de los terrenos atravesados. Las substancias que contienen se hallan en suspensión o en disolución.

No cabe duda sobre la acción más o menos fertilizante que en las tierras ejercen los materiales sólidos acarreados por las aguas. Depende de la composición química de los limos. Volveremos a citar un ejemplo famoso, recordando que la fertilidad que el Nilo produce en Egipto no se debe tanto a sus aguas como al limo que arrastran. El agua del río no contiene ni más nitrógeno ni más substancias fertilizantes disueltas que la mayor parte de los ríos de Europa. Ni siquiera contiene más limo que el Durance, pero este limo es en extremo fertilizante.

En efecto, el agua del Nilo contiene 0,169 gramos de substancias disueltas por litro; el agua del Ródano, 0,184 gramos; la del Rhin, 0,171 gramos; la del Loira, 0,135 gramos, y la del Sena, más arriba de su confluencia con el Marne, 0,210 gramos. M. Müntz halló que las aguas del Nilo contenían de 0,510 a 1,067 miligramos de nitrógeno por litro. Es poco. Hervé-Mangon encontró de 1,583 a 1,773 miligramos de nitrógeno en las aguas del Durance, que sirvieron para sus experimentos sobre los riegos, y de 1,194 a 1,380 miligramos en las aguas del Meurthe.

Pero, según el Dr. Letheby, este limo puede contener hasta 1,78 por 100 de ácido fosfórico, 1,82 por 100 de potasa y 15,02 por 100 de substancias orgánicas.

Según Payen, Champión y Gastinel-Bey, el limo del Nilo contendría de 0,090 a 0,13 por 100 de nitrógeno.

Sobre todo en la época de las crecidas, los aluviones que deposita el Nilo son notablemente ricos en materias orgánicas, ácido fosfórico y potasa, y a estos cuerpos se debe la proverbial fertilidad del país de los Faraones.

Los análisis que hemos dado de los limos acarreados por diversos ríos de Francia demuestran que constituyen un verdadero abono para la tierra.

Según Hervé-Mangon, el Durance y el Var verterían anualmente al mar 14.000 y de 22 a 23.000 toneladas de nitrógeno, respectivamente.

Sobre todo en otoño son más útiles los depósitos de limo, pues en esta época los arroyos y ríos reciben las aguas de lluvia que se han ido enriqueciendo al correr sobre las tierras cultivadas, los corrales de las granjas y los caminos. El depósito del limo se efectúa más o menos rápidamente, según la riqueza del agua y la pendiente del suelo. Para que su acción sea beneficiosa es preciso que no se deposite en una capa de gran espesor, pues impediría la penetración del aire atmosférico.

El agua también contiene substancias fertilizantes en *disolución*. Hemos visto que Hervé-Mangon dosificó en el Durance hasta 1,773 miligramos de nitrógeno por litro de agua; 7,6 miligramos de cal; 2,8 miligramos de álcali; en el Meurthe, hasta 1,380 miligramos de nitrógeno, 4 miligramos de cal y

5 miligramos de álcali. La tabla que hemos dado demuestra además que el Isère contiene un promedio de 0,473 gramos de nitrógeno, 3,390 gramos de potasa por metro cúbico, 0,044 de ácido fosfórico y 65 gramos de cal. El Ródano contiene respectivamente, 1,88, 2,980, 0,332 y 84 gramos de los mismos elementos, y fácilmente se podrían hallar aguas más ricas. Según M. Müntz y Girard, los 57.000 metros cúbicos de aguas negras que, como promedio anual, se echan por hectárea en la llanura de Gennevilliers, cerca de París, corresponden a 500.000 kilogramos de estiércol, o sea 2.565 kilogramos de nitrógeno, 1.026 kilogramos de ácido fosfórico y 2.109 kilogramos de potasa.

¿Pueden las tierras regadas beneficiarse con ellas?

Hervé-Mangon en 1859 estudió comparativamente los riegos del mediodía de Francia, con poco volumen de agua aproximadamente un litro por hectárea y segundo, y los riegos del norte de los Vosgos, a razón de 68 litros y hasta 217 litros por hectárea y segundo. Se dedicó especialmente al estudio de la fijación del nitrógeno.

En el mediodía, como en el norte, halló que el suelo se aprovechaba del nitrógeno contenido en las aguas de riego.

Pero en los riegos poco voluminosos del mediodía, la cantidad de nitrógeno suministrada por las aguas (23 kilogramos por hectárea y año en la pradera de Taillades) es inferior a la extraída por las cosechas y la acción de estas aguas como abono es completamente secundaria.

En los riegos con grandes volúmenes de los países fríos, las aguas son verdaderos abonos nitrogenados, pues no solamente suministran el nitrógeno necesario para la cosecha, sino que también la fracción de este elemento que, por aumento de la fertilidad del suelo, se fija en éste.

Así, la cantidad de nitrógeno cedido por hectárea y año en la pradera de Saint-Dié, en los Vosgos, es de 250 kilogramos en vez de 23 kilogramos ganados en el mismo tiempo por la misma superficie en la pradera de Vaucluse. El caudal continuo de agua de riego por segundo y hectárea era de unos 68 litros.

Hervé-Mangon halló que la temperatura influía notablemente en la fijación de nitrógeno. Se realiza especialmente en

enero y nunca a menos de 7°. En una de las praderas de experimentación, la de Saint-Dié, el agua de riego del 23 de diciembre de 1859 al 3 de abril de 1860 sólo perdió al pasar por el prado menos del 3 por 100 de nitrógeno, mientras que del 8 de mayo de 1859 al 11 de agosto de 1860 perdió más del 32 por 100. En otra pradera de experimentación, la de Habeaurupt, las respectivas pérdidas de nitrógeno fueron de 1,5 por 100 y del 30 por 100 del que llevaba el agua.

Finalmente, las aguas en verano sólo ceden un 30 por 100 de su nitrógeno, tanto en el norte como en el mediodía. Por debajo de determinada riqueza, resultan inertes como abono. Por esto se dice de ciertas aguas, que ya han servido para el riego, que están *desengrasadas*. No obstante, este fenómeno no es general. En ciertos países se pagan a mayor precio las aguas que ya han servido para el riego, cuando han pasado por tierras fértiles y se han enriquecido. El poder fertilizante de las aguas no solamente depende de su riqueza absoluta en principios fertilizantes, sino de su riqueza *relativa*, comparada con la de las tierras que riegan.

Las investigaciones de Hervé-Mangon demostraron las enormes diferencias entre las cantidades de agua empleadas para el riego en el norte y en el mediodía, así como la razón de estas diferencias. Mientras en Vaucluse los consumos medios durante la estación entera en las parcelas consideradas varían entre 0,988 y 4,393 litros, en los dos prados de los Vosgos llegan a 68,675 y 217,133 litros, y en estas dos últimas cifras se sobreentienden consumos de 101,285 y 321,835 litros en invierno. El riego de la pradera de l'Isle (Vaucluse), por ejemplo, sólo emplea una capa de agua de 0,54 metros de espesor, mientras que el agua vertida en la pradera de Habeaurupt (Vosgos) cubriría el suelo con una capa de 400 metros de espesor, si se reuniera toda en un momento dado. Advirtamos que en estos riegos intensivos el suelo no absorbe toda el agua ni mucho menos; la mayor parte va inmediatamente a los desagües. En la pradera de Habeaurupt, estudiada de 1859 a 1860 por Herve-Mangon, el consumo medio del riego por hectárea fué de 511,1 litros y el caudal de los desagües de 453,6 litros. El volumen de agua filtrada, evaporada, etc., sólo representó

57,6 litros por segundo y por hectárea durante el riego. La duración media de los riegos de las parcelas varió de 27 minutos 30 segundos a 6 horas 12 minutos en las praderas de Vaucluse, mientras que en los prados de los Vosgos varió de 147 horas 15 minutos a 406 horas 5 minutos. ¿Y qué resultados, desde el punto de vista de la fertilidad, obtuvieron unas y otras?

Las praderas del mediodía, con riegos débiles, se aprovecharon de 8,093 a 23,442 kilogramos de nitrógeno por hectárea y año; las praderas de los Vosgos, de riegos intensivos, captaron de 207,880 a 261,116 kilogramos. En los primeros, las cosechas consumieron de 7,209 a 271,280 kilogramos más del que dieron las aguas y el estiércol, mientras que en los segundos el agua y el estiércol dejaron excedentes de 135,684 a 155,994 kilogramos (cifras máximas).

En el valle del Mosela, las aguas depositan sobre la gravilla que forma el fondo de las praderas regadas, un limo que aumenta de año en año. En este limo se halla el nitrógeno cuya presencia comprobó Hervé-Mangon y la vegetación lo fija en tanta mayor cantidad cuanto más activa es. Pero la mayor parte de las gramíneas sólo medran cuando la temperatura excede de 6°.

Estas cifras denotan la razón y la utilidad de las grandes masas de agua que se emplean en los países del norte.

Estos ejemplos de riego con grandes volúmenes no son los únicos que se pueden citar. Véanse algunas cifras dadas por algunos observadores:

| | | Por segundo y hectárea |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| Sur de Alemania, | según Häsener | 10 litros |
| Norte » | » Patzig | 12 » |
| Normandía | » Debauve | 16 » |
| Bélgica | » Keelhof | 50 » |
| Vosgos | » Debauve | 35 » |
| » | » Périn | 50 » |
| Valle del Mosela | » Foltz | 65 » |
| » » | » | 79 » |
| Norte de Alemania | » Vincent | 90 » |
| Valle del Mosela | » » | 96 » |
| » » | » » | 120 » |
| » Avre (Eure) | » M. Belgrand. | 137 » |
| » Yonne | » » | 152 » |

Hervé-Mangon estudió especialmente las aportaciones de nitrógeno. En la época de sus experimentos (1859 a 1860) aun no se concedía toda la importancia que merecían, como agentes de fertilización, al ácido fosfórico y a la potasa. No se preocupó de investigar las cantidades de diversas sustancias minerales que el agua podía dejar, y sólo dosificó separadamente la cal, alúmina, peróxido de hierro, magnesia y álcalis, en los que comprendía la sosa y la potasa. Pero no dejó de evaluar la cantidad de sustancias minerales dejadas en bloque por las aguas.

De este modo halló en la pradera de Taillades (Vaucluse), regada por un caudal continuo durante 100 días a razón de 1,89 litros aproximadamente por hora y segundo, que el riego había aportado aproximadamente 3.619,439 kilogramos de sustancias solubles por hectárea. Como, por otra parte, las aguas habían proporcionado 16.502,851 kilogramos de materias sólidas, aportaron en total 20.122,290 kilogramos de sustancias minerales. Y según los análisis, el peso de las cenizas del heno extraído sólo fué de 1.197,817 kilogramos.

En la parcela de pradera de Saint-Dié sometida a un riego intensivo, Hervé-Mangon calculó que las cenizas del heno recolectado pesaban 438,667 kilogramos, cifra poco importante comparada con la de las sustancias minerales dejadas por el agua, que muy probablemente, afirma este investigador, suministra en exceso las sustancias minerales necesarias a las plantas.

Hervé-Mangon había hallado que, principalmente en verano, es cuando las tierras se enriquecen de nitrógeno (1). Sus experiencias, limitadas a las aportaciones de este elemento, desde el punto de vista químico no bastan a demostrar la razón de que en los Vosgos se empleen grandes masas de agua para los riegos de invierno.

M. Risler (*Geología agrícola*) dijo tiempo ha que los riachuelos de los Vosgos debían llevar potasa a los prados regados, pero que no les podían dar ácido fosfórico. Demostró que

(1) Sin duda porque en esta estación las plantas viven activamente y absorben el máximo de elementos nutritivos.

estos riegos son verdaderos aprovechamientos del limo depositado en la gravilla; pero que este limo es pobre en ácido fosfórico.

En un interesante trabajo publicado en 1898, M. Le Couppey de la Forest, ingeniero agrónomo, procuró determinar qué contribución aportaban las materias minerales contenidas en el agua del Mosela a una pradera de los alrededores de Remiremont. El análisis de estas aguas sólo señala débiles vestigios de ácido fosfórico, 1,282 miligramos de nitrógeno, 2,92 miligramos de potasa y 7,560 miligramos de cal por litro. M. Le Couppey halló que las aguas del Mosela vertidas durante todo el invierno en la pradera de la Joncherie, a razón de 350 litros por segundo, dejan 208 kilogramos de cal y 280 kilogramos de potasa por hectárea. Los riegos invernales, que los agricultores de los Vosgos indican como necesarios, equivalen a verdaderos abonos. Pero el riego intensivo de los Vosgos, practicado con aguas pobres, ha producido con frecuencia el empobrecimiento del suelo y la aparición de hierbas nocivas, como los juncos, que caracterizan las regiones demasiado húmedas.

Vincent fué sin duda alguna el primer agrónomo que se ocupó en la aportación de los elementos fertilizantes disueltos en las aguas de riego. Desde 1845 comparó la composición química del agua antes y después de haber servido para uno, dos, tres, cuatro y cinco riegos. El análisis demostró que la riqueza de esta agua en substancias minerales disminuía a cada riego.

Cuando el agua pasa sobre el suelo, hay dos fuerzas distintas, manifestadas por fenómenos también distintos, que se disputan las substancias fertilizantes que puede contener. Una de ellas es la especial facultad de la tierra arable de retener ciertos elementos; la otra es el poder absorbente de las plantas. La primera es tanto más enérgica cuanto más abunda el suelo en arcilla y mantillo y más pobre es en elementos disueltos en el agua. La magnitud de la otra fuerza está en relación directa con la actividad de la vegetación. Pero ambas contribuyen a retener los elementos fertilizantes.

Así lo han evidenciado los trabajos de Koenig, quien dice que *no se debe atribuir tanto al poder absorbente del suelo, como*

a la actividad de la vegetación, el aprovechamiento de las sustancias fertilizantes que contienen las aguas en estado de disolución.

Por lo tanto, los efectos del riego son mayores en primavera y a principios de verano. Y los terrenos pobres y arenosos son los que mayor provecho obtienen.

Cada uno de los elementos nutritivos disueltos en el agua de riego es absorbido en proporciones variables, y como el poder absorbente del terreno es el mismo, es la planta la que regula su absorción según sus necesidades. No obstante, hay que exceptuar la potasa, que en invierno como en verano queda absorbida en igual cantidad. En este caso regula el fenómeno el poder absorbente del suelo.

En cuanto a la cal, puede disminuir si la combustión de la materia orgánica contenida en el suelo produce más ácido carbónico o más ácido nítrico del que necesitan las plantas.

A parecida conclusión que la de Koenig llegaba P. P. Dehérain, al decir que las pérdidas de nitrógeno nítrico por el drenaje están en razón inversa de la abundancia de las cosechas.

Y el examen de los resultados obtenidos del riego con aguas fecales demuestra, asimismo, que el suelo no absorbe las sustancias fertilizantes más allá de cierto límite.

Vœlcker (1) analizó las tierras de los prados situados cerca de Edimburgo, que durante cerca de 80 años consecutivos recibieron de 30 a 40.000 metros cúbicos de agua de cloaca por hectárea y año. Esta tierra contenía por kilogramo:

| | |
|--------------------------|------------|
| Nitrógeno | 0,4 gramos |
| Acido fosfórico. | 0,6 » |
| Potasa | 0,8 » |

Este suelo, a pesar de las enormes cantidades de materias fertilizantes recibidas, permaneció pobre.

Por lo demás hace ya mucho tiempo que ha demostrado la práctica que los riegos producen excelente efecto en las tierras ligeras. Pero, sin embargo, en general, los suelos arcillosos son más ricos y mayor su poder absorbente.

(1) MÜNTZ Y GIRARD, *Abonos*, t. I.

Muchos observadores han comprobado que el agua de riego parece ejercer en los prados una acción fertilizante, tanto más activa, hasta cierto límite, cuanto más de prisa corre. Esto se expresa diciendo que: *cuanta menos pendiente tiene un predio, más agua se necesita para regarlo* (Villeroy y Muller). Un prado llano no aprovecharía tanto los elementos fertilizantes del agua, como un prado con pendiente. No obstante, al exceder de cierto límite, las aguas discurren con demasiada velocidad y dejan menos principios fertilizantes. Midiendo las proporciones de nitrógeno retenido por litro en las aguas de riego de una rápida pendiente, halló Hervé-Mangon en sus experimentos cifras que comprueban este aserto.

4.º Acción calorífica del agua de riego.—En primavera, el agua se calienta más de prisa que el suelo; en otoño se enfría mas despacio. De ahí resulta que en primavera eleva la temperatura del suelo regado más rápidamente de lo que lo haría la atmósfera y los rayos directos del sol. Al principio de invierno lo protege contra el enfriamiento. Es fácil comprobar la ventajosa consecuencia de este fenómeno. Los prados regados están verdes antes que los demás, y así permanecen durante largo tiempo. Los riegos invernales protegen la vegetación contra las heladas. Aun en el caso de que el frío haya sorprendido a las plantas, se pueden prevenir los malos efectos de este accidente regándolas antes de que se deshielen (Muller y Villeroy). Así es que mientras el agua circula por un prado mantiene una temperatura constante. A cierta profundidad (7 a 10 metros), la tierra conserva la misma temperatura próxima a 10 o 12º. Las aguas que proceden de capas profundas conservan este grado de calor aun en el rigor del invierno. Por esta causa en los países de invierno benigno y cortos riegos pueden mantener la vegetación durante todo el año. Esta es la razón de los riegos de invierno en el Milanesado, que mantienen los famosos prados que allí llaman *marcitas*.

Por esta influencia del agua en la temperatura del suelo es muy delicado el riego en primavera, pues en esta época del año es necesario abstenerse de dar aguas a las tierras que podrían disminuir su temperatura.

Los recientes experimentos de Müntz y Gaudechon demuestran que el agua recibida por tierras soleadas en verano, eleva notablemente la temperatura del suelo y tanto más cuanto mayor es la cantidad de materias orgánicas que contienen. Estos interesantísimos experimentos explican el por qué los jardineros nunca riegan en pleno sol. Además, es evidente que el calor solar evapora de prisa el agua y que, económicamente hablando, es mejor regar a la sombra.

Las aguas de las *fontanelas* con que se riegan los prados milaneses proceden de manantiales cuya temperatura en invierno se mantiene constante entre 10 y 11°, mientras que las de los canales no exceden de 3 a 4°. Durante el verano serían nocivas para los cultivos si no se calentaran durante largo rato en contacto con el aire. Pero en invierno fluyen a razón de 42 litros por segundo y cubren durante dos o tres meses toda la pradera de un velo continuo de agua, relativamente caliente, que interponiéndose entre el agua fría y el suelo, lo calienta y mantiene admirablemente la vegetación. En abril, cuando basta la temperatura ambiente, se suprime el agua continua. El prado se somete desde entonces a riegos sencillos, como las praderas ordinarias, aunque más frecuentes y abundantes. Estos prados milaneses ocupan cerca de 5.000 hectáreas. Se arriendan a razón de 250 a 500 francos por hectárea. Con seis u ocho riegos anuales, de febrero a octubre, producen hasta 14.000 kilogramos de heno seco. Mientras las praderas ordinarias del Milanesado nutren una vaca y tres cuartos por hectárea, las *marcitas* pueden nutrir cuatro y a veces cinco (1).

3. — El riego bien efectuado libra a las tierras de insectos, animales y plantas nocivos

Los riegos contribuyen a la destrucción de grillos, topos, ratones, etc.; y bien efectuados destruyen los musgos, juncos y brezos. Por el contrario, mal efectuados, mantendrían y aun

(1) A. HÉRISSE, Informe sobre los riegos del valle del Po (*Anales del Instituto agronómico*, 1883).

favorecerían el nacimiento de estas plantas nocivas. Además se ha observado que el riego practicado en tal o cual época del año favorece la vegetación de tal o cual planta.

4.—Los riegos practicados con aguas estériles agotan las tierras si no se aportan abonos complementarios

Lo dicho sobre la acción de las aguas denota que en cierto modo movilizan las materias fertilizantes contenidas en la tierra para ponerlas a disposición de las plantas, que poco a poco agotarían las reservas del suelo si no se tuviese la precaución de restituir anualmente las que ellas consumen. Esta restitución puede ser inútil en lo que se refiere a los elementos que las aguas entrañan; pero es necesaria cuando se trata de elementos que no aportan las mismas. Además, el agua, al oxidar las substancias orgánicas, se carga de ácido carbónico y de ácido nítrico, de modo que puede arrastrar la cal y los principios útiles solubles. Esta es una causa de empobrecimiento, aparte del motivado por la extracción de las cosechas. Así es que los rendimientos de una pradera regada con aguas estériles o pobres y que no recibiese ningún abono, podrían ir descendiendo paulatinamente después de haber sido pingües en un principio.

El Dr. Gerlach hizo investigaciones sobre este asunto en las tierras ligeras del Instituto de Bromberg. El estiércol añadido a las tierras regadas produjo cosechas superiores y ocasionó notable reducción en las cantidades de agua necesarias para producir un kilogramo de materia vegetal seca. Las cosechas de las parcelas no abonadas fueron disminuyendo. Fué preciso dar a las tierras de Bromberg nitrógeno y potasa. En tales casos, para proporcionar el nitrógeno, lo mejor es emplear abonos verdes, que dan *cuerpo* a la tierra y modifican su estado físico de modo que el agua puede circular por ella horizontalmente.

CAPITULO II

CUALIDADES DE LAS AGUAS EMPLEADAS EN EL RIEGO

La primera cualidad del agua destinada al riego ha de ser que no contenga substancias nocivas a las plantas.

Las aguas utilizadas por la industria, y en especial las que han servido para lavar minerales, suelen ser nocivas. Las aguas procedentes de turberas y bosques de encinas no son siempre buenas y por lo menos es preciso dejarlas posar y airearlas antes del riego.

Lo mismo ocurre con las aguas que, después de atravesar turberas, se filtran por bancos calizos.

El origen del agua da indicios de su composición. Las aguas filtradas por gruesas capas de arena son malas. Los ríos que han atravesado terrenos fértiles y recibido muchos arroyuelos, casi siempre conviene utilizarlos. *En principio, la acción del agua es tanto más beneficiosa cuanto más distintos son los terrenos de que procede de aquellos en que se emplea.*

El color del agua y su aspecto proporcionan un indicio de sus propiedades. El agua turbia, limosa y amarillenta contiene generalmente más elementos fertilizantes que el agua clara. El color negruzco del agua que ha atravesado ciertos páramos y turberas es inconfundible, y en la generalidad de los casos no sirve para el riego, aunque se puede emplear en tierras calizas o muy abonadas. Finalmente, la flora de las márgenes y las plantas acuáticas indican hasta cierto punto la calidad de las aguas. Es buen signo la presencia de algas verdes conferváceas (*Confervæ*), de los berros (*Nasturtium officinale*), del berro de caballo (*Vernica becca bunga*), del junco florido (*Butomus umbellatus*), de la gliceria acuática (*Glyce-*

ra aquatica). Por el contrario, las ciperáceas (*Cyperaceæ*), los juncales (*Juncæ*), la caña (*Arundo donax*), la cicuta acuática (*Cicuta virosa*), indican agua de mala calidad.

Las aguas se pueden corregir y mejorar. Cuando contienen en suspensión sustancias perjudiciales a las plantas, se dejan posar en pequeños recipientes. Cuando son muy frías y pobres en oxígeno, como las procedentes de la fusión de los heleros, se dejan correr al aire y a la luz por largos canales descubiertos.

Véase cómo, según Vidalin, se mejoran en el Limousin.

Las aguas se reúnen en recipientes llamados *serbes* (del latín *servare*, conservar), donde se airean mientras van recibiendo las aguas que discurren por la superficie del suelo y que han arrastrado los abonos de los terrenos superiores, con lo cual recogen numerosas hojas secas arrastradas por el viento. Las *algas* que vegetan en abundancia en las paredes del recipiente suministran materia orgánica bastante nitrogenada. Así es que el regante, al vaciar el recipiente, lo debe raspar con mucho cuidado porque las aguas se airean mejor y se mezclan con detritus vegetales que las enriquecen.

Sin corregirla, no se debe emplear el agua que por falta de pendiente o por una permanencia excesiva en estos fosos se corrompa y toma un tinte amarillento y deja un poso esponjoso de color de hollín. Se mejoran estas aguas haciéndolas circular por zanjas de rápida pendiente y cuyo fondo está revestido de guijarros. Si a causa de la disposición del terreno no es posible obtener bastante pendiente, se establecen pequeños saltos que, al agitar el agua, dan el mismo resultado.

Las aguas cargadas de sales, y particularmente de sal marina, son nocivas para las plantas. Según Girard y Carrier, profesores del Instituto agronómico, el límite de concentración admisible para las aguas de riego puede fijarse en 0,03 por 100 de cloruro o carbonato sódico y 0,17 a 0,30 por 100 para las demás sales.

CAPITULO III

MEDIOS DE OBTENER AGUA PARA EL RIEGO

Las aguas que se emplean para regar provienen:

- 1.º De los manantiales.
- 2.º De los estanques o depósitos que acumulan las aguas pluviales que caen en una cuenca.
- 3.º De las corrientes de agua.
- 4.º De los canales de riego.
- 5.º Del producto de los drenajes.

1.—Aguas de manantiales



Ya hemos dicho que las aguas de manantiales poseen con frecuencia la propiedad de ser en invierno de temperatura notablemente superior a la de la atmósfera, lo que les da mucho valor en la estación fría. También dijimos cuán admirable ventaja habían obtenido los italianos de las aguas del Milanesado para cultivar las *marcitas*. El procedimiento milanés podría adoptarse en muchas comarcas situadas al pie de altas montañas o de mesetas que almacenan y luego dejan filtrar las lluvias y la nieve. No obstante, es preciso que la capa subterránea sea abundante y que su profundidad no exceda de 4 metros. Las *fontanelas* brotan excavando el suelo hasta la capa líquida y conduciendo por medio de una zanja las aguas alumbradas hasta el nivel de la llanura inferior. Para el riego es preciso que la llanura esté a conveniente altura y tenga bastante pendiente. El lugar de la fuente se reconoce por las filtraciones y la presencia de ciertas plantas. En cada uno de estos parajes se excava el suelo hasta que se descubra bien el nacimiento. Después se cubre con un tonel sin fondo cuidado-

samente reforzado con aros y se hunde el tonel hasta sobresalir el borde superior 7 u 8 centímetros del nivel del agua, que sale por una abertura expresamente practicada. Las paredes del tonel impiden que la tierra ciegue la fuente. Efectuando lo mismo en cada sitio de nacimiento, se reúnen las aguas en el fondo de la gran cavidad donde nacen los manantiales. Esta cavidad, que forma la *cabeza de la fontanela*, es de configuración irregular, parecida a la de una pera, cuyo rabo representa el canal de evacuación de las aguas.

La longitud de la cabeza de la fontanela oscila entre 80 y 100 metros; su anchura, entre 10 y 40 metros.

El rendimiento de las *fontanelas* es variable y depende de las condiciones mineralógicas. La vecindad de grandes canales, situados a superior nivel, lo aumenta. Se citan algunas que rinden hasta 18 y 24.000 litros de agua por minuto.

El procedimiento de las *fontanelas* podría aplicarse a algunas regiones francesas del centro, donde las fuentes, aunque menos frecuentes que en el Milanesado, son bastante numerosas.

Cuando están distantes, en vez de reunir las en una *cabeza de fuente*, por medio de conductos, se podrían llevar las aguas a un depósito. Desde luego que el tonel se puede substituir por un cilindro de hierro o de hormigón.

En general, la captación de manantiales consiste en desprender las venas de agua de los materiales que las obstruyen (arena y piedras), en tapar las grietas por medio de cemento o arcilla y, finalmente, en reunir las aguas y conducir las a un depósito apropiado.

El agua se conduce de una a otra parte por medio de zanjas descubiertas o por conductos subterráneos de mampostería. Hay que cuidar mucho de que en la canalización subterránea no se produzca solución de continuidad, por pequeña que sea, y especialmente cerca de los árboles, pues las raíces penetrarían en seguida en el conducto y lo obstruirían. También se evitarán los recodos bruscos y violentos, que ocasionan pérdida de carga.

Los valles de los países montañosos abundan más o menos en fuentes, según estén dominados por una extensión mayor o

menor de vertientes y especialmente si éstas están cubiertas de bosque.

En los valles del Limousin hay numerosas fuentes y marjales que descuidados formarían pantanos nocivos, mientras que, bien acondicionados, pueden aprovecharse para el riego de terrenos inferiores. Vidalin (1) sobre esto da consejos prácticos que nos parece oportuno indicar por ser de interés general.

Dice: si *los manantiales no están aparentes*, la extrema humedad de los terrenos y la mala calidad de las cosechas son característicos indicios de la existencia de venas de agua en el subsuelo. Entonces se efectúan las siguientes obras:

En la época de la sequía, por medio de estacas se marcan los puntos más húmedos y luego se espera a que las lluvias de otoño devuelvan la circulación normal a las aguas subterráneas.

Entonces se traza sobre el suelo el emplazamiento de las zanjas de desecación que deben arrancar de los parajes donde se manifestó exceso de humedad para terminar en un colector general situado en la vaguada del terreno. En seguida se abren zanjas principiando por el colector y atacando los puntos más bajos para ir ascendiendo sucesivamente hasta cada uno de los puntos de alumbramiento. Hay que seguir en lo posible los hilillos de agua que se pueden descubrir excavando hasta dar con la *vena madre*. Hay que abrir las zanjas bastante profundas para alcanzar el fondo impermeable, la roca. En un subsuelo arcilloso y quebradizo conviene llegar a 2 y 3 metros de profundidad, con tal de que las aguas puedan subir hasta el nivel donde deban desembocar. Cuando una zanja corta un filón de terreno muy impermeable, se cubre el fondo con tierra arcillosa. La pendiente de la zanja debe ser regular y es preciso que vaya aumentando regularmente para que en ningún caso disminuya la velocidad de las aguas. Estas zanjas se enguijarran según los métodos que después se describirán para los drenes de piedra. Las mismas obras proporcionan abundantemente los materiales necesarios.

(1) VIDALIN, *Pratique des irrigations*, París, 1874.

El colector principal desemboca; ya en la superficie del suelo, ya en una reguera horizontal o en un depósito.

Cuando los *manantiales están aparentes*, se excava en cada uno de los puntos donde afloran un pequeño depósito *s* (figura 18), cuyas paredes se forman con las tierras procedentes de las excavaciones. Un tronco de árbol hueco sirve de caño para dar paso, a través de dichas paredes, al agua de cada uno

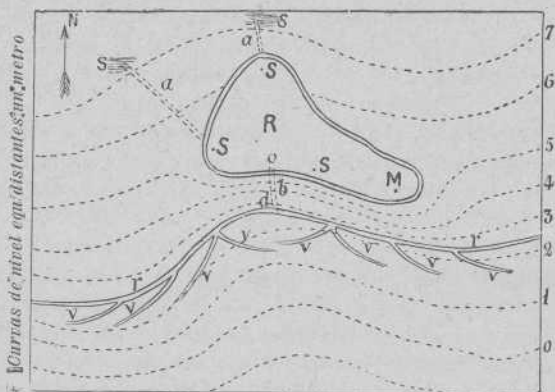


Fig. 18. — Establecimiento de un pequeño depósito en país montañoso, según Vidalin

de estos depósitos. Este caño termina en una reguera, *a*, que conduce el agua al depósito *R*, de mayores dimensiones y situado a un nivel inferior, donde se reúnen las fuentes *S, S, S* de los pequeños depósitos y la de un marjal, *M*. Este depósito mayor recibe así, además de las aguas subterráneas, todas las que fluyen de los terrenos superiores. Los labriegos pueden disponer gracias a ellos de bastante cantidad de agua. Las letras *r, r* representan acequias de riego y las *v, v*, de desagüe.

Vidalin da instrucciones muy útiles sobre el establecimiento de pequeños depósitos alimentados por fuentes, tales como los que se pueden establecer en los países montañosos.

Se empieza por fijar con estacas el emplazamiento del depósito. Las paredes deben tener forma ligeramente convexa hacia

el interior del foso, a fin de poder resistir mejor la presión del agua. Hecho el replanteo de la obra, se quita el césped del terreno, formando tepes tan grandes como sea posible $\left(\frac{0,20 \text{ m.}}{0,40 \text{ m.}}\right)$ que se ponen aparte para utilizarlos en el revestimiento. Después se da principio a las excavaciones para formar las paredes que se prosiguen hasta un metro por debajo del fondo del depósito, y para evitar las filtraciones se acondicionan cuidadosamente. Este trabajo se encarga al obrero más hábil de la brigada. Con una maza en la mano y zuecos en los pies, recorre las excavaciones de cimentación apisonando fuertemente la tierra que le dan sus ayudantes. Esta tierra se escoge entre la más grasa de las excavaciones.

Cuando la cimentación haya alcanzado el nivel del fondo del depósito, se dispone el caño que ha de servir para la salida del agua, y que es un tronco de árbol de 6 a 8 metros de longitud, de 1,50 metros de diámetro, con un agujero de un decímetro cuadrado o más que sirve de compuerta. A fin de que las aguas no socaven la tierra debajo del orificio de salida, se protege con tablas de poco valor y resistentes al agua, tales como las de olmo.

Se continúa disponiendo el amasijo hasta la parte superior de las paredes o coronación del depósito y luego se procede al revestimiento. Para el paramento en contacto con el agua se emplean las piedras extraídas de las excavaciones y, cuando se han acabado, tepes. Por la parte exterior se emplean materiales de menos coste. Por la parte del agua, la pendiente es aproximadamente de 0,5 de base por uno de altura; por la parte exterior, 1,5 de base por uno de altura. Conviene cuidar de la parte de la obra en contacto con el agua.

La profundidad del depósito debe ser a lo sumo de 1,80 a 2 metros, pues la presión del agua podría rechazar la de los manantiales y, por consiguiente, aminorar su rendimiento.

Es difícil determinar de antemano la capacidad de uno de estos recipientes-depósitos. Vidalin da la siguiente regla práctica: un depósito es demasiado pequeño cuando desborda en menos de dos días; es demasiado grande si en invierno y primavera, cuando los manantiales dan su máximo caudal, no se

llena en cuatro días. El mejor depósito es el que se llena en tres días.

Siempre es preferible un depósito demasiado pequeño a uno demasiado grande, pues el pequeño se puede agrandar y el grande no se puede achicar.

Para conservar un depósito en buen estado, debe cuidarse atentamente, limpiándolo cada vez que se vacie, quitando el barro, las hojas muertas, las algas de los bordes, etc. Además, cada cuatro o cinco años se debe reparar el fondo, porque sin esta precaución se podrían cegar las fuentes que lo alimentan.

En verano se evitará de todos modos que se seque. Los rayos del sol agrietarían las paredes y los roedores la agujerearían. Finalmente, se desprenderían miasmas perjudiciales para la salud.

2.—Estanques y grandes depósitos

Las aguas de lluvia, cuando corren por terrenos bastante impermeables y provistos de cierta pendiente, ofrecen considerables recursos para el riego. Se reúnen en estanques o en grandes depósitos que proporcionan agua rica en substancias fertilizantes, que se enriquece todavía más por su permanencia en el depósito. Su propietario goza de gran ventaja sobre los ribereños de los ríos o arroyos, pues dispone a su antojo de su provisión de agua y puede emplearla como le plazca.

Se comprende que hay que esforzarse en recoger la mayor cantidad posible de aguas pluviales y, por lo tanto, conviene ejecutar obras en este sentido.

Para ello precisa dotar de una red de zanjas las tierras que proporcionan las aguas pluviales. A los *colectores*, trazados según la mayor pendiente que se pueda, afluyen las zanjas menores que surcan el suelo y están tanto más próximas cuanto mayor es la cantidad de agua que hay que recoger. Los colectores terminan en el depósito, que ha de estar situado en una cuenca capaz de llenarlo y bastante alto para que pueda distribuir las aguas a los terrenos regables. Además, el suelo ha de ser lo más impermeable posible con objeto de que el depósito ten-

ga el menor contorno perimetral con el máximo de superficie y que en las inmediaciones haya bastante tierra y materiales para construir las paredes.

La elección de paraje es siempre muy delicada y exige gran sagacidad.

Se puede computar en la mitad del agua que anualmente cae en la comarca, la altura de la capa de agua que se podrá recoger en el depósito, pues la otra mitad se perderá por filtraciones y evaporación, aunque este cálculo es muy incierto y, por tanto, se determinará la capacidad del recipiente efectuando el producto de la mitad del agua caída en la cuenca de alimentación por la superficie de la cuenca medida con el planímetro. En cuanto a la extensión de los prados que podrá regar el depósito, se considerará, según Pareto, que se necesitan 250 metros cúbicos por hectárea y riego, utilizando el agua de los desagües. Esto supone para los cinco o seis riegos anuales 2.000 metros cúbicos por hectárea de prado; pero nos parece poco. La cantidad de agua necesaria para el riego varía según el clima, suelo y sistema de riego.

La profundidad del depósito no debe exceder de 5 metros. Si fuese necesario almacenar más agua, es mejor establecer otros depósitos.

Pareto construyó muchos de estos grandes depósitos y da excelentes indicaciones sobre este asunto en su obra *Riego y saneamiento de las tierras*. Nos inspiraremos en ella para los pormenores que siguen.

Lo que más cuidados exige es la construcción del dique o muro de contención de que debe rodearse al depósito para retener las aguas. Conviene reducir su perímetro al mínimo escogiendo una situación tal que los terrenos circundantes formen ya parte de las paredes del depósito.

En los países montañosos, las colinas próximas permiten establecer diques de poca longitud, pero el depósito ha de ser muy profundo para contener una cantidad de agua algo considerable. En los países llanos ocurre lo contrario. Los diques son largos y la profundidad escasa. Entre estos dos extremos están los países quebrados, los más a propósito para formar depósitos en sus valles.

En todo caso se procurará reducir cuanto se pueda las dimensiones del dique. Se traza a nivel y puede ser de mampostería o de tierra. Estos son los más recomendables por lo económico y sencillo de su instalación. Bien contruidos, son muy sólidos y pueden contener masas de agua relativamente grandes.

Resuelta la ejecución de la obra, se colocan cuatro estacas en cada perfil transversal: dos de ellas dan las aristas de la coronación; las otras dos, los pies de los taludes.

Los cimientos del dique deben llegar, en cuanto sea posible, al subsuelo impermeable. Los del centro de la obra han de ser un metro más profundos. Nunca se establecen sobre una superficie plana, sino sobre una superficie quebrada, obtenida a golpes de azada, en dirección transversal a la del dique.

La tierra, para formar el dique, se ha de limpiar y apisonar de antemano muy cuidadosamente, quitando las hierbas y piedras que sólo sirven para el revestimiento. No conviene extraer la tierra del interior de los depósitos, sino de las inmediaciones.

El dique en su coronación tiene de 1,50 a 2 metros de anchura y debe exceder unos 0,70 metros del nivel del agua en depósitos que no pasen de 3 a 7 hectáreas. Es prudente darle mayor altura en el medio que en los extremos, pues al desbordar el agua produciría mayores perjuicios en el centro que en los extremos, donde la altura de caída es pequeña. En general, hay que prever un asiento de 1/20.

Los taludes exteriores se representan por una línea recta con una pendiente de 1 a $1\frac{3}{4}$ de base por 1 de altura, según la naturaleza de las tierras.

La pendiente del talud interior es independiente de la naturaleza de las tierras o poco menos. Pareto lo empieza a una distancia de la proyección horizontal de la coronación, igual a la altura h del dique multiplicada por 2,80

En teoría, el talud debe tener forma algo cóncava. Es una parábola cuyo parámetro resulta igual a la altura del dique por encima de la base dividida por 2,80.

En la práctica se traza en línea recta, pues la misma agua le va dando poco a poco su forma apropiada. Terminado el

dique, se reviste con el césped extraído del paraje de su emplazamiento y de las cercanías y, si es preciso, se siembra. Es perjudicial plantar árboles en el talud exterior, pues las raíces producen filtraciones. En la coronación se pueden plantar una hilera de espinos blancos o de juncos corpulentos para evitar que los rebaños lo deterioren. Conviene plantar álamos fuera del talud exterior para obtener una cortina de árboles que en

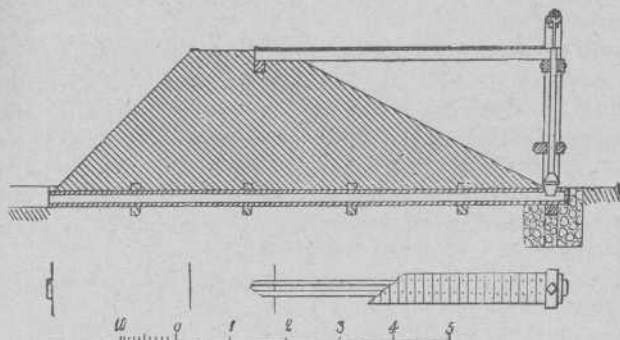


Fig. 19. — Corte del dique de un estanque del desagüe de fondo y de la compuerta (sistema Pareto)

verano protegen contra las emanaciones del depósito, cuyo servicio no debe empezar hasta por lo menos seis meses después de construído.

Estos recipientes se completan con *vertederos* y *compuertas*.

Los primeros dan fácil salida al agua cuando llega a una altura perjudicial a la solidez de la obra.

Por medio de una canalización que conduce a una compuerta se da salida al agua para regar las tierras.

Los vertederos se construyen de piedra, ladrillos, madera o césped, siendo éste el material más económico y conveniente. Los vertederos se sitúan en los extremos de los diques, hacia sus puntos de unión con el terreno natural, donde la altura de caída es menor. Se disponen a unos 70 centímetros por debajo de la coronación del dique, con 3 ó 4 metros de anchura. El agua que se escapa se reúne en una zanja que hay a lo largo

del talud exterior. Después va a parar a la zanja de desagüe establecida en la vaguada del valle. Cuando las aguas procedentes del aliviadero han de servir para el riego, se llevan al de conducción que arranca de la compuerta, y otra, especial para este objeto, permite abrir o cerrar la comunicación.

Las compuertas de limpia y de toma, así como los caños o canalizaciones que abren y cierran alternativamente, son obras de bastante importancia y difíciles de ejecutar perfectamente.

El conducto que atraviesa el dique puede ser de madera o de mampostería. En los depósitos de pocas dimensiones se utiliza un tronco de árbol hueco. Cuando el depósito es de alguna importancia, se ha de construir este conducto con tablones, piedras o ladrillos. En todo caso convendrá disponer en su superficie exterior tacos de madera que interrumpan la continuidad de las filtraciones y eviten así el perjuicio de graves deterioros.

Se han imaginado diversos sistemas de apertura y cierre del desagüe de fondo. Nos parece uno de los más recomendables el que indica Pareto, representado en la fig. 19. Se compone de un tapón de madera de carpe, forrado de piel y provisto de un largo mango de madera que en su parte inferior va guiado y sostenido por una fuerte armadura fijada a los muros de sostenimiento que contornean el desagüe. El mango termina en un tornillo provisto de dos tuercas, colocadas una encima de otra y que se pueden maniobrar por medio de una llave; con la primera se abre el desagüe y con la segunda se cierra. Se regula el gasto según las necesidades del riego. Una pasarela fija facilita el paso desde la coronación del dique al lugar donde se acciona la compuerta.

Este sistema de cierre, así como las diversas disposiciones descritas en los tratados especiales, son ya antiguos. Los procedimientos modernos de construcción, el empleo de tubo de hierro fundido y de compuertas metálicas con deslizaderas aseguran hoy el vaciado de los depósitos de un modo tan sencillo y más acorde con las necesidades del riego.

Cualquiera que sea el sistema empleado, conviene disponer a la salida del desagüe un pequeño depósito que recibe el pri-

mer choque del agua, disminuye la velocidad adquirida y evita desgastes.

Ventajosamente se puede substituir la compuerta por un sifón de hierro colado o de acero asfaltado. La rama horizontal del sifón atraviesa el dique y está dispuesta al nivel exacto que se debe alcanzar en el depósito. La rama menor se sumerge en el estanque y la mayor está rodeada en su extremo por un vaso de 5 a 6 centímetros de profundidad. El sifón así dispuesto se alimenta de por sí y continúa manando hasta que el nivel del agua en el recipiente desciende incluso más abajo del extremo de la rama menor. El agua llena el vaso en que está sumergida la rama mayor y de allí sale al canal dispuesto a este objeto. El pequeño depósito lleno de agua intercepta la comunicación del sifón con el exterior para que no penetre el aire que impediría la alimentación.

Para conservar en buen estado, los estanques y depósitos deben cuidarse con gran esmero. La limpieza del fondo es uno de los principales cuidados. Se practica esta operación a intervalos más o menos largos, según el sedimento de las aguas; pues solamente así se mantiene la profundidad. El barro que se extrae es un buen abono. Hay que vigilar los menores agrietamientos que puedan producirse en el dique, sobre todo en los primeros meses siguientes a su construcción, y deben repararse inmediatamente. Estas grietas rara vez se producen cuando el césped se ha desarrollado bien en el talud exterior y en la coronación del dique.

Conviene tapizar la parte alta del talud interior con fajinas sostenidas con estacas para amortiguar el choque de las olas, que podría destruir la coronación.

3. — Aguas de ríos y arroyos

Con las aguas de los canales constituyen el principal recurso para el riego. Pero generalmente los ribereños no pueden disponer de ella a voluntad y han de respetar las leyes y reglamentos que condicionan el aprovechamiento de las aguas.

Salvo raras excepciones, los arroyos ocupan la parte inferior de los valles, y no sirven inmediatamente para el riego de

sus márgenes, a menos que se eleve el agua por medio de máquinas, según suele hacerse, aunque resulta muy costoso el procedimiento. Generalmente se riega con el agua del río, derivada aguas arriba del terreno que se trata de regar.

Estas aguas, por medio de un canal de pendiente suave, se conducen hasta la linde de los terrenos que se quieren regar, desde donde, por efecto de su propio peso, descienden a los prados. El canal, cuya dirección es casi horizontal, bordea los obstáculos y los atraviesa. El río continúa descendiendo hacia

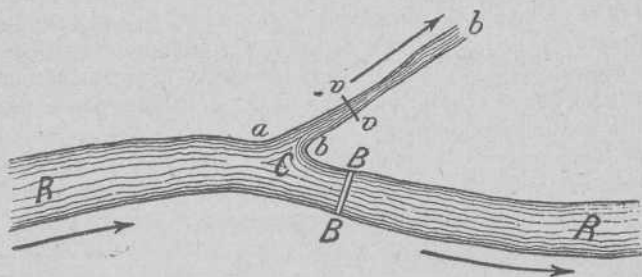


Fig. 20. — Desviación de una corriente de agua por medio de una presa

el valle y así puede regarse la zona colocada entre el canal situado arriba y el río que serpentea abajo. Naturalmente que el río o arroyo que limita interiormente la zona se encuentra en situación de poder recibir las aguas sobrantes.

Por medio de una *toma de agua* se deriva, total o parcialmente, una corriente de agua para alimentar un canal de riego.

Hay dos clases de tomas de agua: las *tomas de agua sin presa* y las *tomas de agua con presa*. Las primeras son las más sencillas y más económicas; toman directamente el agua del río; pero casi no se emplean, pues cuando viene el estiaje baja el nivel del río y la alimentación del canal sufre inmediatamente las consecuencias.

Cuando se trata de canales importantes, la construcción de las presas y tomas de agua constituyen obras muy delicadas y que no pueden ser bien proyectadas más que por los ingenieros. No es posible hablar de ellas en este volumen. La presa

eleva el nivel de las aguas y las obliga a penetrar en el canal de derivación.

En principio, en los ríos y arroyos de pequeño caudal, la obra consiste en construir una presa en BB (fig. 20) y abrir un canal de derivación CC aguas arriba, en *ab*; este canal está provisto de una compuerta V que permite dejar entrar más o menos agua en el canal y hasta interrumpir por completo su admisión.

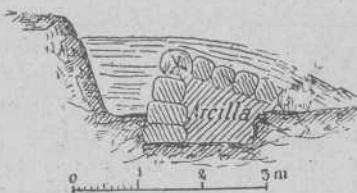


Fig. 21. — Presa rústica en un arroyo. Corte según AB de la figura 22.

Damos reducido a su más simple expresión la obra que hay que realizar. La importancia de las obras de primer estableci-

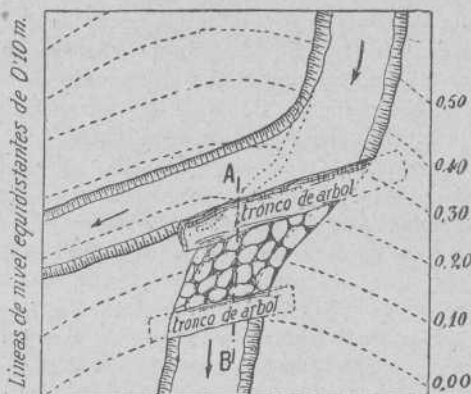


Fig. 22. — Presa rústica en un arroyo. Planta

miento y de las obras secundarias varia con la de la corriente de agua que se trata de utilizar.

Las tomas deben colocarse siempre en la orilla cóncava de la corriente de agua, pues hacia este lado tiende a empujar los filetes líquidos la fuerza centrífuga.

Si alguna roca sobresale del lecho del río, será ventajoso disponer la toma al pie de este obstáculo natural que favorecerá sensiblemente la alimentación del canal.

La presa se establece a través de la corriente de agua, aguas abajo de la toma, en un sitio que exista un estrechamiento.

La derivación de una corriente de agua abarca esencialmente tres obras: una *presa*, un sistema de *compuertas* y un *canal de derivación*.

En un sencillo arroyo la operación es sencillísima. Algunas piedras grandes y troncos de árboles bastan para establecer presas muy resistentes, a poca costa y sin obreros especialistas. Las figuras 21 y 22, reproducidas del Vidalin, representan la disposición de una de estas presas rústicas. Siempre conviene proteger por un zampeado de madera, piedra o peñascales la parte aguas abajo de la presa para evitar las socavaciones en las crecidas.

He aquí cómo describe Crevat las obras de una toma de agua en el río Ain (1). Uno de los problemas más difíciles en un proyecto de derivación es el establecimiento de la toma de agua, sobre todo cuando el río es ancho y torrencial y hay que prevenir la invasión del cascajo y arena gruesa.

Cuando sea posible, conviene aprovechar un recodo del río donde disminuye la velocidad y, por consiguiente, aumenta la altura del agua. En la orilla (fig. 23) se construye con grandes sillares un muro de 30 metros de longitud, cuya base, al nivel de las aguas bajas, está protegida por un zampeado de hormigón de 3 metros de ancho para facilitar el deslizamiento del cascajo, que puede ser considerable durante las grandes crecidas.

Este muro A, por tener que servir de vertedero, es vertical por la parte del río con 0,30 metros de altura sobre el nivel de la orilla y está sostenido exteriormente por un talud de cemento de muy alargada pendiente, que forma el fondo de un pequeño depósito de sedimentación B, que puede desaguarse fácilmente, después de las grandes crecidas, levantando una gran compuerta de limpia D.

(1) CREVAT, *Journal d'agriculture pratique*, 1903.

En la parte inferior del depósito de sedimentación B hay que establecer un gran macizo de mampostería que forma la entrada del canal F, en el que se habrán abierto dos túneles C de 2 metros de ancho y un metro de altura, en los cuales se regula la entrada del agua mediante el accionamiento de dos compuertas de hierro reforzadas. El agua al pasar por estos dos túneles desemboca en el canal de derivación F, que allí

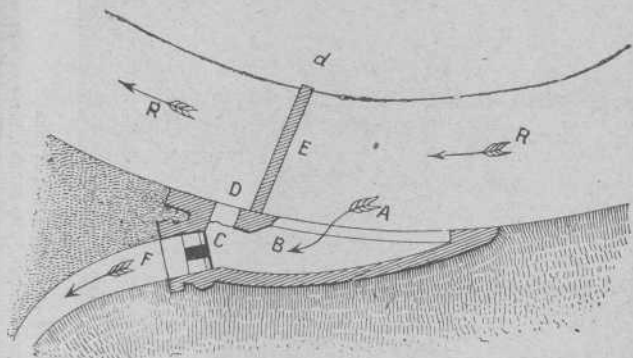


Fig. 23.— Planta de una presa y toma de agua, según M. J. Crevat.

debe ser poco profundo, pero ancho (5 metros), estrechándose después progresivamente hasta que alcance la altura del plano de agua y anchura normales.

En el muro de defensa A del depósito B se coloca una compuerta de limpia inmediatamente delante de las aberturas de toma de agua y aguas abajo de la presa.

Transversalmente al río y en el extremo inferior del vertedero se construye un sólido zampeado de fondo E rectilíneo, algo más alto que el fondo del río, y que se vaya elevando un poco hacia la derecha *d* hasta llegar a 0,50 sobre el nivel de la corriente que se echa nuevamente contra el vertedero A, al propio tiempo que se ensancha un poco el cauce.

Charpentier de Cossigny describe una *presa de caballetes* que con bastante frecuencia se ve en el sur de Francia.

Para establecerla a través del cauce del río se fijan una serie de caballetes, tal como los representados de perfil en la

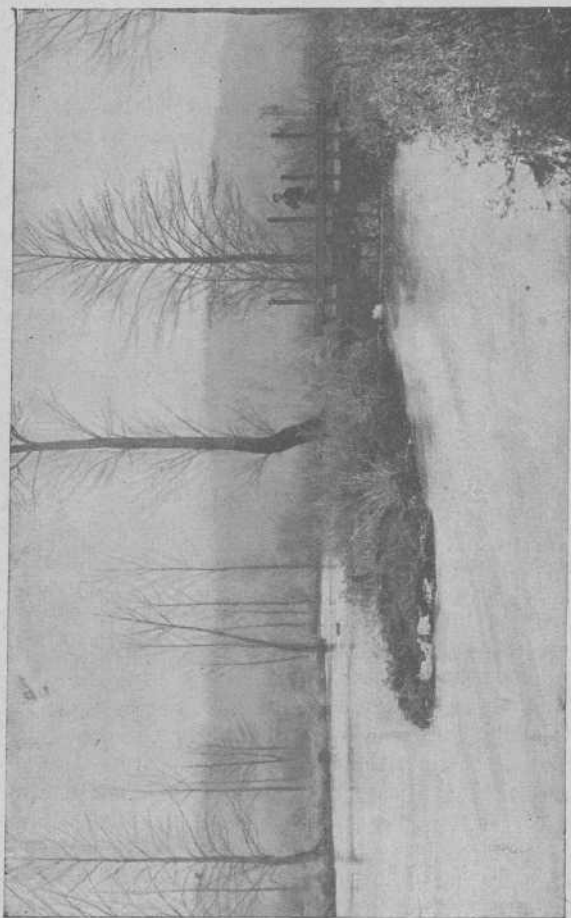


Fig. 24. — Presa de derivación o cabeza de canal
Hacienda de M. F. de Mallard, en Saint-Loup-sur-Semouse (Alto Saona). Sirve esta presa para tomar el
agua del río Lanterne, afluente del Saona, y aislar el canal de riego

figura 25 y de frente en la figura 26; en ellas A es una pieza de gran escuadría, inclinada, y C, C', los tornapuntas o jabalcones.

Sobre estos caballetes se clavan una serie de tablas y contra ellas se echan, aguas arriba, grava y fagiñas. Aguas abajo, se

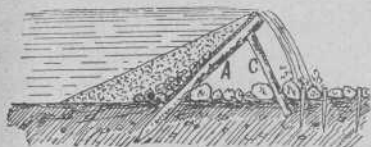


Fig. 25. — Perfil de una presa de caballetes

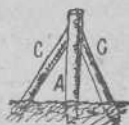


Fig. 26. — Frente de una presa de caballetes

defiende el pie de la obra contra las socavaciones por medio de una escollera sostenida por estacas.

Las presas importantes se construyen de piedra o de hormigón, empezando por erigir el armazón de la presa. Aprovechando la época del año en que el río lleva poca agua, se clavan a través una serie de pies derechos cuyos extremos superiores delinean el perfil transversal de la presa. Estos pies derechos se unen entre sí y en ambos sentidos por medio de cruceros.

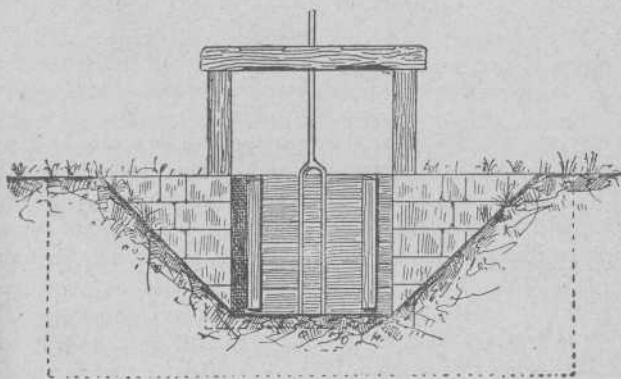


Fig. 27. — Alzado de una compuerta

Entre ellos se hincan tablones. Terminado el armazón, se llenan los huecos con guijarros y piedras y luego se tapanan los intersticios con grava y tierra. La parte superior de la presa se

recubre con un entramado horizontal de madera o bien con mampuestos de mucha entrega que forman una especie de embaldosado entre los cruceros (1).

Esta construcción requiere bastante cantidad de madera de calidad y no resiste la acción del tiempo. Con cal hidráulica se fabrica un buen hormigón para construir excelentes presas.

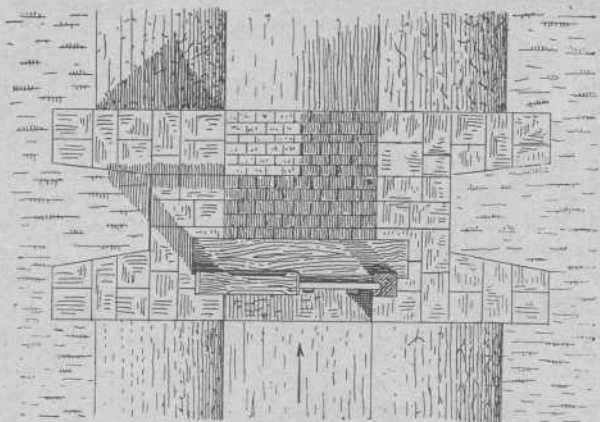


Fig. 28. — Planta de una compuerta

Se empieza por establecer el armazón como se acaba de decir, pero con madera más ligera y de peor calidad; luego, apoyados contra los tablonos, se colocan como si fueran botellas apiladas una hilera de sacos de desecho rellenos de hormigón que no tarda en fraguar. Los sacos se sueldan y forman un resistente muro. Se acaba de construir la presa relleno con hormigón el intervalo limitado por este muro. La cara superior de la presa se preserva de la acción del agua con un revestimiento colocado a baño de mortero hidráulico, para el cual se pueden emplear losas, mampuestos o ladrillos colocados de canto.

Las compuertas colocadas a la entrada del canal completan el conjunto de las obras de derivación y sirven para llevar el

(1) CHARPENTIER DE COSSIGNY. *Notions sur les irrigations appliquées aux terres en cultures, aux jardins et aux prairies* (1874).

agua de un canal a otro. Son las puertas que abren o cierran los canales.

Hay considerable número de modelos de compuertas, desde las mayores, que se aplican para cerrar los canales, hasta las menores, para abrir y cerrar las acequias. En principio, una compuerta se compone de un *umbral* horizontal que ocupa el fondo del agua y dos *montantes* verticales sobre los que se desliza la mampara enlazados por un *dintel* en la parte superior.

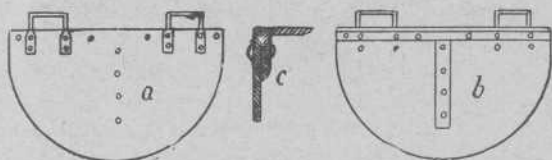


Fig. 29. — Pequeña compuerta para acequias de riego

a, cara en que están remachadas las asas.—*b*, cara en que están remachadas las piezas de refuerzo.—*c*, corte ampliado de la parte superior y de la cantonera de refuerzo.

El umbral y los montantes pueden ser de madera o de piedra. La mampara es la parte movable de la compuerta y se acciona ya directamente a mano, ya por medio de un mecanismo, palanca o cremallera, con rueda dentada y manubrio cuando es muy pesada. Las compuertas deben protegerse contra las socavaciones aguas arriba y aguas abajo, cuando dan paso a grandes cantidades de agua, por medio de gruesos tablonos o de un rastrillo de mampostería.

En los terrenos poco resistentes y cuando se quieren hacer bien las obras, se excava hasta encontrar roca o terreno firme y luego se clava a través una hilera de pies derechos, sobre los cuales se apoya la compuerta, y a cada lado de este primer armazón se echan grandes masas de hormigón.

Las figuras 27 y 28 representan un modelo de compuerta ordinaria. Las figuras 29 y 30 representan la compuerta pequeña de hierro, muy práctica, que se emplea para abrir y cerrar las acequias de riego. La figura 30 indica claramente cómo se mantiene fija esta compuerta por medio de dos grandes

pedras colocadas aguas abajo que pueden substituirse por dos puntales de madera.

En cuanto al *canal de derivación*, también llamado de *conducción* o de *alimentación*, toma su dotación de la corriente de agua, un poco por encima de la presa. Abierto o cerrado por una compuerta, debe seguir en su trazado la parte superior del

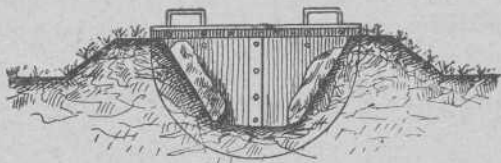


Fig. 30. — La misma compuerta colocada en la acequia

terreno y sobresalir del suelo lo más que se pueda. Más adelante expondremos las reglas para su construcción.

Evaluación del caudal de una corriente de agua.—Conviene saber medir el caudal de un arroyo, de un canal o de una acequia.

El caudal de una corriente de agua es igual al producto del área de la sección bañada por la velocidad media del agua que atraviesa dicha sección. Para determinar el área de la sección bañada se escoge un punto donde la pendiente sea uniforme, la profundidad se aproxime todo lo posible a la anchura y donde no haya brozas ni obstáculos que estorben la libre circulación del agua. En cierta longitud se arreglan las orillas y el fondo de modo que resulten llanos y de pendiente uniforme. Se procura dar a la sección forma trapecial.

La altura del agua multiplicada por la semisuma de las anchuras en el fondo y en la superficie, da el área de la sección bañada.

Cuando no es posible proceder de esta suerte, se ha de obtener el perfil de la corriente de agua en varios puntos y calcular luego el promedio de los resultados. Para obtener el perfil se tiende una cuerda de una a otra orilla, perpendicularmente a la dirección de la corriente y lo más cerca posible de su superficie. En cada orilla se sujeta este bramante o cuerda

con una estaca. A distancias iguales, señaladas en la cuerda, se practican sondeos que dan la profundidad del agua en cada uno de estos puntos de división.

Así se obtienen suficientes datos para dibujar el perfil del río o del canal, y la suma de las superficies de los trapecios obtenidos será el área de la sección bañada.

La velocidad media del agua se deduce de la velocidad media en la superficie. Es igual al producto de ésta por el coeficiente 0,80 metros en los canales y ríos de medianas dimensiones y por 0,687 metros (Greibenau) en arroyos y regueras. Se puede determinar fácilmente la velocidad del agua en su superficie por medio de *flotadores*, aprovechando un rato en que no sople viento. A unos 30 ó 40 metros más arriba del paraje cuyo perfil se ha trazado, se echan al agua unos cilindritos de madera pesada y de pequeña sección, susceptibles de emerger casi en su totalidad, y con un cronómetro se cuenta el tiempo que tardan en recorrer la distancia entre el lugar en que se han echado y otro punto previamente fijado, 30 ó 40 metros más abajo del lugar del perfil. Conviene echar los flotadores a una cierta distancia aguas arriba del punto donde comienza la observación, para que tengan tiempo de adquirir la velocidad que lleva realmente el agua. La velocidad es igual al cociente del espacio recorrido, 30 ó 40 metros, por el número de segundos contados. La operación se repite varias veces y se obtiene el promedio.

Cuando el cauce es sinuoso y la acción irregular, es preferible emplear un *vertedero* para medir el caudal.

En los arroyuelos se utiliza una simple tabla A, B, C, D (fig. 31), en la cual se practica una abertura rectangular *a, b, c, d*, cuya arista horizontal *b, c*, se corta en bisel del lado de aguas arriba, con el fin de obtener un orificio en pared delgada. Este aparato se coloca a través de la corriente en sentido perpendicular a su dirección. Debe elegirse una época de régimen permanente y un sitio de velocidad casi uniforme. Con piedras, arcilla o césped se tapan cuidadosamente los intersticios para que toda el agua pase por la abertura *a, b, c, d* cuyas dimensiones están en relación con el caudal. Es preciso asegurarse principalmente de que no pasa agua por debajo del umbral y de que éste es perfectamente horizontal.

El caudal Q en litros por segundo se calcula aproximadamente por la fórmula:

$$Q = 1.000 \times l \times 1,77 h \sqrt{h}.$$

Como quiera que $l = bc$, ancho del vertedero, basta determinar h , que representa la altura del agua sobre el nivel del

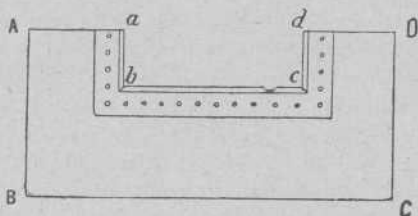


Fig. 31. — Vertedero para aforo

umbral, en un sitio donde sean poco sensibles las variaciones de nivel del agua, es decir, un poco atrás.

Se puede medir h observando hasta qué altura sobre el umbral asciende el agua en un tubo de vidrio graduado de 5 a 6 milímetros de diámetro. Este tubo se aplica contra la pared aguas arriba del vertedero.

También se puede disponer una regla de tal manera que quede horizontal, apoyándose por un extremo en el centro del vertedero y por el otro en una estaca clavada en el fondo verticalmente aguas arriba. La carga h sobre el umbral es igual a la altura vertical comprendida entre el borde inferior de la regla y el nivel superior del agua. Es preciso que la regla sea bastante larga para alcanzar el sitio en que no son aparentes las variaciones de nivel del agua.

Por último, se puede medir la altura del agua inmediatamente encima del umbral y multiplicarla por 1,178.

En vez de valerse del flotador para determinar la velocidad de la corriente, suelen emplearse aparatos fundados en la medida de la presión del agua en movimiento sobre una superficie dada, o bien en la medición de la velocidad que el agua imprime a órganos móviles.

Al primer tipo pertenece el *tubo de Pitot*, perfeccionado por Darcy, y al segundo el *molinete de Woltmann*, perfeccionado por Harlacher. El limitado espacio de que disponemos no nos permite describir el empleo de estos aparatos. Los constructores acostumbran venderlos con las instrucciones para su empleo; además, en la mayor parte de los casos bastarán los dos procedimientos que hemos descrito.

4.— Canales de riego

Los grandes canales de riego sólo puede construirlos el Estado o la provincia. Estas obras acaban por dar buenos rendimientos, pero a tan largo plazo, que los particulares, aun constituidos en sociedades, no pueden esperar los resultados de la operación. Es más fácil que el Estado emprenda obras de tal magnitud y su interés en ellas es tanto mayor cuanto que poco a poco aumenta la productividad del suelo y, por consiguiente, la cuantía de los impuestos. Es natural que deba soportar las pérdidas que produce en sus primeros años un canal de riego, y una de sus misiones principales es la de dotar al país de una red de canales que basten ampliamente para las necesidades de los agricultores.

Italia lo ha comprendido siempre así. Las familias aristocráticas en cuyas manos estuvo el gobierno, dieron el ejemplo y posteriormente se ha desarrollado vastamente la obra.

En las ocho provincias del Piamonte y de Lombardía, cuya superficie total es menor que la de seis departamentos franceses, los canales y su derivación dan un caudal de 800 metros cúbicos por segundo y riegan más de 1.100.000 hectáreas (1). En Francia no llegan, con mucho, a estas cifras.

Los principales canales franceses de riego son: el de *Bri-laune* (Bajos Alpes); el de *Gap* y de *Pont-du-Fossé* (Altos Alpes); el del *Vesubio* y el de *Siagne* (Alpes Marítimos); el de *Cucac-Lespigan* y el de *Raonel* (Aude); los de *Peyrolle*, *Marsella*, *Craponne*, *Alpines* y *Verdon* (Bocas del Ródano); el de *Bourne* (Drôme); el de *Beaucaire* (Gard); el de *Saint-Martory*

(1) HÉRISON, Rapport sur les irrigations de la vallée du Pô (*Annales de l'Institut national agronomique*, Paris, 1883).

(Alto Garona); el de *Forez* (Loira); el de *Lagoin* (Bajos Pirineos); el de *Las-Canals* (Pirineos Orientales), y los de *Pierrelatte*, *Carpentras*, *Saint-Julien* y *Crillon* (Vaucluse).

Sería de grandísimo provecho la posesión de mayor número de canales de riego; pero las poblaciones interesadas no ponen gran empeño en aprovechar la riqueza que está a su alcance. Hacia 1893-1894, de las 245.641 hectáreas que en globo representaban las superficies regables por los 22 canales anteriores, solamente se regaban unas 51.122 hectáreas, o sea un 20 por 100. Si bien los canales de *Gap*, de *Carpentras* y de *Saint-Julien* regaban efectivamente 2.454, 2.646 y 3.628 hectáreas, pudiendo regar 4.000, 5.450 y 4.703 hectáreas, los de *Craponne*, de *Verdon*, de *Saint-Martory* y de *Lagoin* sólo regaban 9.500, 2.180, 2.224 y 76 hectáreas, cuando hubieran podido fertilizar respectivamente 40.000, 34.790, 32 344 y 5.000 hectáreas.

Por lo tanto, falta mucho para obtener todo el provecho posible de esta red de canales que han costado más de 150 millones de francos. ¿Por qué razones? Con frecuencia el precio de venta del agua es excesivo. Además, los cultivadores, poco enterados de los beneficios del riego, dudan antes de hacer los considerables adelantos que se necesitan para preparar el suelo para el riego o son incapaces de ello. La ayuda pecuniaria proporcionada por el Crédito agrícola y el auxilio técnico prestado por el Estado, desde hace algunos años, remediarán esta situación.

La construcción de los canales de riego incumbe al Estado, a las provincias interesadas o a los grandes sindicatos.

Distribución del agua. Partidores. Módulos. — La distribución del agua a los regantes se practica por medio de múltiples aparatos que varían según las comarcas y a los que únicamente podremos dedicar algunas líneas. Se denominan **PARTIDORES** y **MÓDULOS**. Unos son fijos y efectúan repartos proporcionales según reglas invariables; otros son móviles y permiten variar el reparto a voluntad.

Los más sencillos partidores fijos consisten en macizos de mampostería que se disponen verticalmente en una parte regular del canal y en sitio cuya sección esté revestida de mam-

postería. Estos macizos terminan del lado de aguas arriba en unos salientes triangulares o redondeados. Un macizo situado en medio del lecho divide el caudal en dos partes iguales. Dos de estos macizos lo fraccionarían en tres, dispuestos de tal modo que en su separación se tuviesen en cuenta los remolinos y contracciones producidos por la corriente.

Los VERTEDEROS suministran una cantidad de agua proporcional a la anchura de su umbral. El cálculo permite dividirlos en tal forma que repartan el caudal en proporciones independientes de las variaciones del espesor de la lámina de agua.

Las PRESAS DE AGUJAS, empleadas en España desde el tiempo de los árabes, pueden dividir el agua en una proporción cualquiera fija o variable. Lo mismo ocurre con el *partidor de Elche* (España), que tiene como elemento principal una especie de saliente móvil que gira alrededor de un eje vertical fijo, situado en el extremo aguas arriba de un macizo de mampostería parecido al que antes hemos descrito.

En Italia, desde el siglo XVI, para obtener caudales constantes se utilizan aparatos llamados *módulos*. Su objeto es conducir el agua del canal a un recipiente donde se mantiene a un nivel constante por encima de un orificio de salida de dimensiones determinadas.

El agua sale por este orificio con la misma velocidad y el rendimiento del orificio no varía.

El recipiente comunica con el canal por una abertura cerrada por una compuerta, que maniobra de cuando en cuando un empleado, de modo que el nivel del agua en el depósito sea constante, cualesquiera que sean las variaciones de nivel en el canal.

Las dimensiones del aparato, las del orificio de salida y, por consiguiente, el gasto de este orificio, varían según las provincias de la península italiana.

En el Milanesado, la *onza de agua*, que sirve de unidad en los riegos, corresponde a la cantidad que sale libremente por un orificio rectangular de 0,20 milímetros de altura uniforme y 0,15 milímetros de anchura, a una presión constante de 0,10 milímetros sobre el borde superior del orificio.

Para obtener un gasto de varias onzas se aumenta la anchura del orificio de salida, conservando la altura, pero en realidad así se obtiene un gasto superior, puesto que se suprime el rozamiento en los lados del rectángulo que forma el orificio de salida. Este es el defecto del módulo italiano.

En Francia hay gran número de tipos diversos de aparatos para repartir el agua suministrada por los canales a prorrata de las respectivas dotaciones.

En los canales de Bourne y Pierrelatte, la parte principal de los aparatos de aforo y de derivación está constituida por una compuerta que permite obtener un caudal constante, cualquiera que sean las variaciones de nivel del agua, aguas arriba o aguas abajo del canal. Un cierre de seguridad previene todo fraude.

El módulo adoptado en el canal de Forez se compone de una compuerta de fundición inclinada según el talud del canal. Se manobra por medio de un tornillo que, a su vez, se acciona con unas ruedas dentadas colocadas en una caja cerrada con llave.

Esta compuerta abre o cierra una tobera que lleva el agua a la *cuba de aforo*, donde el agua pierde la velocidad, y sale hacia la acequia por un *vertedero de aforo*, de pared delgada, formado por una plancha de palastro provista de una abertura de sección constante. Variando la abertura de la compuerta hasta que el agua llegue a cierta altura por encima del vertedero, se obtiene un caudal determinado. Experimentos previos han permitido establecer tablas numéricas que fijan la correspondencia de esta altura con el caudal. El guarda del canal sólo ha de maniobrar la compuerta con la llave, hasta que el espesor de la lámina que se vierte, leído en una tablilla situada en el interior de la cuba de aforo, corresponda perfectamente con el caudal de la acequia.

5.— Aguas de drenaje

Las aguas de drenaje son tanto más valiosas para el riego, cuanto que, como hemos visto, contienen notables cantidades de ácido nítrico y cal. Siempre que la disposición del terreno

lo permita, deben utilizarse para el riego, haciendo lo posible para reunir las en un depósito con el fin de emplearlas en tiempo de sequía.

MÁQUINAS ELEVADORAS

Cuando el agua está a un nivel inferior del terreno que se trata de regar, se emplean máquinas elevadoras que el lector podrá conocer por la obra de M. Coupan, que forma parte de esta *Enciclopedia* (1).

(1) COUPAN, *Máquinas de labranza*.

CAPITULO IV

CANALES Y ACEQUIAS DE RIEGO

Cualquiera que sea el método de riego que se haya escogido, su práctica requiere el trazado de cierto número de canales y acequias. Cuando se trata del método del chorro continuo, unos y otras forman en el campo regado un sistema

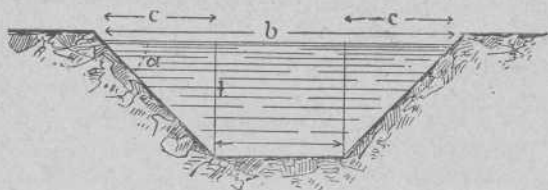


Fig. 32. — Sección de un canal

circulatorio comparable al del hombre y de los animales. Los canales y las acequias representan las arterias y sus derivaciones. Llevan el agua cargada de oxígeno. Las acequias secundarias equivalen a las venas; por ellas circula el agua desoxigenada y cargada con los productos de la combustión orgánica. Vamos a definir estos canales y estas acequias y a indicar las principales consideraciones que deben presidir su construcción.

Todo riego supone una toma de agua en un canal, río, arroyo o en un depósito. El agua se lleva, por medio de un *canal de conducción* o de *derivación*, a los campos de regadío. Según sea la distancia que hay que salvar y según las parcelas del territorio regado, este canal se subdivide en ramas secundaria, terciaria, etc. De cualquier forma que sea, en él o

en sus ramificaciones nacen y se alimentan unas zanjas de menores dimensiones llamadas *acequias de distribución*, las cuales llevan el agua a las *acequias de riego*, que directamente la vierten en el suelo.

Todo riego debe acompañarse de una perfecta desecación del terreno. Las aguas, después de circular por el suelo, van a las *acequias de desagüe* y de ellas a otras zanjas más importantes, llamadas *canales de evacuación*. Todos estos canales



Fig. 33. — Sección de una acequia de riego

evacuatorios terminan en un *emisario* que lleva las aguas a gran distancia. Cuando la pendiente del terreno lo permite, las mismas acequias de riego, una vez vacías, sirven para el desagüe.

1.— Sección de los canales y de las acequias

Los canales de alimentación, de distribución y de evacuación afectan, en una sección perpendicular a su eje, la figura de un trapecio isósceles, BDFH (fig. 34). Las acequias de riego y de desagüe, de menores dimensiones, son rectangulares (figura 33). Sólo miden de 5 a 15 centímetros de profundidad.

Un canal de riego o de saneamiento se compone de muchas partes, que se denominan y definen como diremos a continuación, y están indicadas en el perfil transversal representado por la figura 34.

La *carena* es el fondo perfectamente plano DF, sobre el que discurre el agua.

El *plano de agua* es el plano superior CG formado por la superficie libre del agua.

El *tirante de agua* (1) es la altura $OE = h$ del agua desde el fondo.

(1) Es un galicismo admitido entre técnicos. — (N. del T.)

Las *banquetas* AB, HI, son los bordes, generalmente bajos, planos y bien contruidos que sostienen el agua por cada lado.

El *resguardo de las banquetas* quiere decir la elevación que éstas tienen sobre el plano de agua.

Los *taludes* están formados por las caras laterales BD, FH, de las banquetas.

Se llama *perímetro bañado*, P, la longitud del perímetro CD + DF + FG, según el que el agua baña las líneas de intersección del canal con un plano perpendicular a su eje.

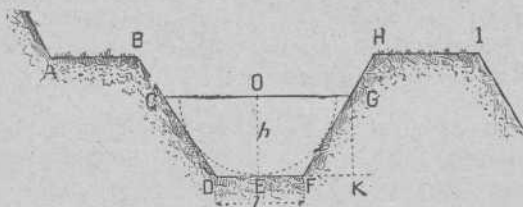


Fig. 34. — Sección de un canal de riego o de saneamiento

La *sección útil* S del canal es la superficie cuyas bases son CG, DF y cuya altura $OE = h$. En otros términos, la superficie del perfil transversal limitada por el perímetro bañado.

El *radio medio* R es igual al cociente $\frac{S}{P}$.

La *pendiente de los taludes*, m, se determina por la relación $\frac{GK}{FK}$ entre la altura GK del talud y la proyección horizontal FK del perfil vertical FG del talud sobre la horizontal DF prolongada.

2.—Pendientes de los taludes de los canales y de las acequias principales

Ya se trate de desecación o de riego, las pendientes de los taludes de los canales y de las acequias dependen de la naturaleza del terreno. Se expresan por la relación de la altura GK

del talud a su base FK (fig. 34). Si esta relación, que designamos por m , es igual a $\frac{1}{2}$, se dice que el talud está inclinado a 1 de altura por 2 de base. Hasta 0,15 metros de profundidad los bordes son verticales. Pasando de esta profundidad y para acequias abiertas *en desmante*, según la naturaleza del terreno, se le dan las siguientes pendientes:

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| Roca | $m = \frac{1}{0,00} = \infty$ |
| Arcilla pura. | $m = \frac{1}{0,33} = 3,03$ |
| Tierra arcillosa | $m = \frac{1}{0,50} = 2,00$ |
| Tierra franca | $m = \frac{1}{1,00} = 1,00$ |
| Tierra arenosa | $m = \frac{1}{1,50} = 0,66$ |

Y para los taludes de acequias construídas *en terraplén*:

| | |
|---------------------------|------------------------------|
| Arcilla pura. | $m' = \frac{1}{0,50} = 2,00$ |
| Tierra arcillosa. | $m' = \frac{1}{0,75} = 1,33$ |
| Tierra franca | $m' = \frac{1}{1,50} = 0,66$ |
| Tierra arenosa | $m' = \frac{1}{2,25} = 0,44$ |



La relación $\frac{GK}{FK}$ representa el valor de la tangente trigonométrica del ángulo GFK, que forma el talud con la horizontal. Para el mismo terreno, si m es la inclinación del talud en desmante, la inclinación m' del talud en terraplén es igual a:

$$\frac{1}{\frac{1}{m} + \frac{1}{2m}} = \frac{2}{3} m.$$

3. — Pendiente de los canales

Para la determinación de la pendiente hay que sujetarse a ciertos principios generales. Cuanto más acentuada sea, más se

puede reducir la sección del canal. Por lo tanto, conviene construir con la mayor pendiente posible, puesto que así se disminuye la sección y, por consiguiente, los trabajos de explanación. Pero, además, una pendiente rápida disminuye la filtración, porque se reduce la sección y, por consiguiente, la superficie que favorece las fugas. Por otra parte, en cada clase de terreno, la velocidad del agua no puede exceder de cierto límite que depende de su consistencia. Más allá produce excavaciones o erosiones que van degradando las paredes del canal.

El siguiente cuadro indica la velocidad de la que no conviene exceder en los diferentes terrenos:

| | Velocidad límite por segundo (en el fondo) | Pendiente por kilómetro |
|--------------------------------|--|-------------------------------|
| Arcillas blandas. | 0,152 m. | 0,045 m. |
| Arenas | 0,305 » | 0,136 » |
| Gravas | 0,609 » | 0,433 » |
| Guijarros | 0,914 » | 0,570 » |
| Piedras en grandes fragmentos. | 1,220 » | 1,509 » |
| Guijarros aglomerados | 1,520 » | 2,115 » |
| Rocas blandas | 1,830 » | 2,786 » |
| » duras | 3,050 » | 7,342 » |

Cuando la pendiente de los canales excede de este límite, se intercalan, de vez en cuando, pequeños saltos. El fondo de la acequia se protege con piedras o con un zampeado de mampostería para que no se socave el terreno.

También existe un límite inferior para la velocidad, más allá del cual no se debe descender, pues se forman depósitos que obstruyen los cauces.

Los depósitos empiezan a formarse con una velocidad media inferior a:

| | |
|---------|--|
| 0,25 m. | por segundo en corrientes de agua fangosa. |
| 0,30 | » » cargada de arena fina. |
| 0,50 | » » de arena gruesa. |

Por consiguiente, la velocidad no bajará de 0,50 a 0,80 metros en el canal principal y sus ramas secundarias, para que la arena gruesa no se deposite y forme obstrucciones. Estos

depósitos serían tanto más persistentes, pues se desplazarían difícilmente a causa de la permanencia del gasto.

No deberá ser inferior a 0,25 ó 0,40 metros en los canales de distribución.

Arrastrará hacia las acequias de riego los limos fértiles y dejará que se deposite en los canales de distribución la arena gruesa, que si llegara a las acequias de riego podría ser nociva.

Además, como que el gasto de los canales de distribución es discontinuo, será fácil quitar estos depósitos de cuando en cuando y utilizarlos para rectificar las paredes de las acequias.

Finalmente, en las acequias de riego la velocidad media del agua deberá mantenerse entre 0,10 y 0,20 metros a fin de que únicamente se deposite la arena y arrastre el limo fertilizante hasta la superficie de los prados.

En el cálculo de la pendiente de los canales y en la construcción de las acequias de riego, hay que tener en cuenta estas consideraciones, que tienen su importancia.

4. — Canal de conducción o de derivación

La pendiente del canal de conducción o de derivación depende del nivel de la toma de agua en el canal principal, el río o el arroyo y de la altura que ocupa la parte más alta del campo que hay que regar. Conviene, pues, no dar al canal de conducción una pendiente excesiva, para regar la mayor superficie posible. Cuando la pendiente del terreno que se quiere regar es muy suave, se eleva el fondo del canal de conducción de 0,20 a 0,50 metros. Entonces se construye en terraplén, con el riesgo de perder mucha agua por filtración.

Generalmente su pendiente varía de 0,0007 a 0,0014 metros por metro. La velocidad del agua no excede de 0,80 metros por segundo. La sección es trapezoidal; va disminuyendo a medida que el canal avanza en su recorrido y tiene, por lo tanto, que servir a menor extensión de terreno. Si tiene más de 2 metros de anchura, su profundidad alcanzará por lo menos un metro.

Las figuras 35 y 36 representan en planta un riego efectuado por acequias horizontales: $a-b$ es el canal de conducción.

Este canal debe estar dispuesto de tal forma, que en su punto de unión con el canal o con el río quede su nivel por debajo del umbral de la obra de toma de agua, a fin de que, en caso necesario, se pueda establecer un aparato de aforo. Pero su fondo debe quedar por encima del del canal de alimentación, para evitar el arrastre de depósitos. Siempre debe estar provisto de una compuerta, de modo que se pueda impedir o regular el acceso de agua, ya sea para dejar en seco el canal y efectuar reparaciones, ya para prevenir una crecida de la corriente que lo alimenta.

A fin de evitar las socavaciones, se tapizan con tepes las paredes laterales y el fondo del canal.

Del canal de conducción se alimentan otros canales secundarios que llevan el agua a los diversos puntos del terreno. Ni los canales de conducción ni sus derivados deben servir directamente para el riego.

Hay que evitar que el canal de conducción o sus ramas secundarias atraviesen o sigan los caminos, pues impedirían el acceso a los campos y obligarían a la construcción de pontones.

5.—Acequias de distribución

Derívanse del canal de conducción y llevan el agua a las acequias de riego. Su fondo debe quedar sensiblemente por debajo del nivel del agua en el canal de derivación. Son casi horizontales, con pendientes de 0,001 a 0,015 metros por metro, o siguen las pendientes del terreno. Es la dirección que toman en el riego por acequias horizontales. La figura 35 indica su disposición en e, f . La velocidad del agua en ellas no debe ser inferior a 0,25 ó 0,40 metros

Cuando se construyen siguiendo la pendiente natural del terreno, conviene hacerlas anchas y de poca profundidad, con sección trapezoidal, cuya importancia depende de la cantidad de agua que la acequia deba conducir y de la pendiente, y

cuando ésta sea muy rápida, es indispensable tapizar con tepes a fin de evitar las erosiones producidas por la velocidad del agua.

Se ponen en comunicación con las acequias de distribución por medio de un tubo de barro cocido o de una caja de forma rectangular de madera. La abertura de esta comunicación se puede cerrar con una compuerta o con un tepe.

Al describir los diferentes sistemas de riego indicaremos su emplazamiento, longitud y separación.

6. — Acequias de riego

Las acequias de riego indicadas en la figura 35 con las letras r , r' , r'' , reciben el agua de las de distribución y la derraman sobre la superficie del suelo.

Unas veces, como en el ejemplo precedente (fig. 35), vierten el agua por uno solo de sus bordes y otras lo efectúan por los dos como pasa con el riego por caballetes.

En el método de riego por acequias horizontales o con una pendiente muy débil, de medio a 3 milímetros por metro de corriente, las regueras tienen perfil rectangular y miden de 5 a 10 centímetros de profundidad. En general deben ser tan poco profundas como sea posible. Con frecuencia se les da un perfil rectangular, que es más ventajoso porque deja crecer la hierba en toda su extensión. En el punto de unión con las acequias de distribución pueden tener de 30 a 35 centímetros de ancho, que progresivamente va disminuyendo a medida que se alejan de aquel punto.

En el método de riego por caballetes o doble arriate, las acequias son rectangulares y su profundidad debe limitarse de 0,05 a 0,08 metros como máximo, salvo raras excepciones.

El fondo de las acequias es generalmente horizontal, y sus bordes están ligeramente inclinados según la corriente y se van aproximando a medida que se alejan de las acequias de distribución.

7. — Acequias de desagüe

Las acequias de desagüe recogen las aguas después de regar las tierras y las llevan a los canales de evacuación. Son

doblamente útiles. Primero, porque producen la indispensable desecación del suelo; luego, porque permiten volver a emplear el agua para el riego de nuevas superficies.

Los bordes están cortados verticalmente en el suelo y en el subsuelo. Son más estrechos y más profundos en su principio que al desembocar en el canal de evacuación. Su anchura es ordinariamente de 0,15 a 0,30 metros. Están representados por e , e' , e'' en la figura 36.

Las acequias de desagüe nunca faltan en el sistema de riego por caballetes; se colocan a ambos lados en v , v (fig. 48); pero no siempre son precisas en el sistema de riegos por regueras horizontales. Las acequias de distribución, abiertas en las vaguadas, bastan casi siempre para desecar el suelo cuando está suficientemente inclinado. Se provoca el vaciado de las acequias horizontales reuniéndolas a la de distribución por la rama menor c en el sentido de la pendiente (fig. 39).

8. — Canales de evacuación o de descarga

El canal de evacuación recibe el agua de los desagües y la devuelve al río o la lleva para regar nuevas superficies. Debe ocupar la parte baja del terreno y el nivel del agua debe ser de 0,05 a 0,10 metros más bajo que el del fondo de las acequias de desagüe que desembocan en él. Su sección debe ser tal que baste para la fácil circulación del agua que reciba. Tiene forma trapezoidal. Sus paredes están protegidas del desgaste por medio de césped; si no basta, se ponen en el fondo traviesas de piedra o de madera o bien se enlosan los lugares más expuestos.

Pérdida de agua por evaporación y filtración. — En la determinación de las secciones de canales y acequias hay que tener en cuenta estas pérdidas, y sobre todo en el canal de derivación. Se pueden evaluar en 15 ó 17 por 100 en los climas septentrionales y en tierras de consistencia media.

9. — Cálculo de las dimensiones de los canales y de las acequias principales

Hemos dicho que los canales y las acequias importantes tienen sección trapezoidal. La sección de las acequias de riego

y de desagüe es triangular o rectangular; su profundidad varía entre 5 y 15 centímetros, y su anchura entre 25 y 40. No se calculan. Pero es preciso determinar lo más exactamente posible las dimensiones de los canales más importantes y las de las acequias de distribución y evacuación del agua. Los procedimientos de cálculo que se emplean dan resultados aproximados que la experiencia ha de *corregir* en la mayoría de los casos.

Esta delicadísima cuestión ha sido objeto en Francia de muchos estudios por parte de Prony, Dupuit, du Buat, de Saint-Venant, de Darcy y de MM. Bazin y Flamant. Está muy bien expuesta en el *Tratado de hidráulica* de M. Flamant, inspector general de puentes y caminos, que nos ha guiado para redactar este capítulo. La sección de un canal, su caudal, pendiente y velocidad de circulación del agua, son cantidades relacionadas entre sí por ecuaciones relativamente sencillas. Daremos las fórmulas de Darcy perfeccionadas por M. Bazin. En el extranjero, en América, Alemania y Austria, se emplea mucho la fórmula de Ganguillet y Kutter.

Sea CDFG (fig. 34) la sección transversal de una acequia. Designemos por $l = DF$, el *fondo*; por $h = OE$, el *tirante de agua*; por S , el *área* de la sección; por U , la *velocidad media* del agua (es igual a la velocidad media en la superficie multiplicada por 0,80); por Q , el *gasto* de la acequia, y por I , su *pendiente*. Sabemos que el radio medio R es igual al cociente de la superficie S de la sección por el perímetro bañado, $CD + DF + FG$:

$$R = \frac{S}{P}.$$

Estas diferentes cantidades están ligadas entre sí por las siguientes relaciones:

$$(1) \quad RI = bU^2 \quad \text{o} \quad U = C\sqrt{RI} \quad (2)$$

$$(3) \quad Q = SU \quad \text{o} \quad Q = SC\sqrt{RI} \quad (4)$$

$C = \frac{1}{\sqrt{b}}$ es un coeficiente que varía con la naturaleza de

las paredes y caracteriza la *rugosidad* de éstas; se determina por experiencias. M. Bazin le ha atribuido el siguiente valor:

$$C = \frac{1}{\sqrt{b}} = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}},$$

en que γ varía del siguiente modo:

| | |
|---|-----------------|
| <i>Paredes muy lisas</i> (cemento, madera cepillada, etc.) | $\gamma = 0,6$ |
| <i>Paredes lisas</i> (tablas, ladrillos, piedra de sillería, etc.) | $\gamma = 0,16$ |
| <i>Paredes poco lisas de mampostería</i> | $\gamma = 0,46$ |
| <i>Paredes de naturaleza mixta</i> (secciones de tierra muy regulares o empedradas) | $\gamma = 0,85$ |
| <i>Canales de tierra</i> en condiciones ordinarias. | $\gamma = 1,30$ |
| <i>Canales de tierra</i> con resistencia excepcional | $\gamma = 1,75$ |

Más adelante damos los diversos valores del coeficiente C en función del radio medio R , comprendidos entre 0,05 y 6 metros, y los valores del coeficiente b de la fórmula (1) correspondientes a los valores del coeficiente $C = \frac{1}{\sqrt{b}}$. Como veremos más adelante en un ejemplo numérico, conviene conocer los valores de b .

Ganguillet y Kutter han adoptado también la fórmula $U = C \sqrt{R}$, pero entonces C toma la forma siguiente:

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{I} + \frac{I}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{I}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

El número n varía según la naturaleza de las paredes y tiene los valores siguientes:

| | <i>n</i> . | $\frac{1}{n}$ |
|--|------------|---------------|
| Paredes muy uniformes (cemento, madera cepillada). | 0,010 | 100 |
| Paredes finas (piedra tallada, ladrillos) | 0,013 | 77 |
| Paredes poco uniformes (mampostería de murrillos). | 0,017 | 58 |
| Paredes rugosas (piedras en bruto) | 0,020 | 50 |
| Paredes de tierra | 0,025 | 40 |
| Paredes de grava y plantas acuáticas. | 0,030 | 33 |
| Paredes irregulares de grava y mal cuidadas | 0,035 | 29 |
| Paredes muy irregulares | 0,040 | 35 |

Por falta de espacio no podemos reproducir íntegramente estas tablas, pero más adelante damos los valores del coeficiente *C* para las paredes que más nos interesan, las paredes de tierra, de radios medios comprendidos entre 0,05 y 5 metros y pendientes que varían de 0,000025 a 0,01. Bastan la fórmula de Bazin y las tablas que facilitan su empleo. Para mayor precisión se pueden calcular a la vez con estas fórmulas y con la de Ganguillet y Kutter las dimensiones del canal y luego obtener el promedio de los resultados.

Pero las dimensiones de la sección de los canales todavía han de satisfacer otras condiciones que determinan estas fórmulas. En primer lugar, como hemos visto, la inclinación de los taludes, la tangente trigonométrica *m* del ángulo GFK (fig. 34) que el talud GF forma con la horizontal FK, queda determinada por la naturaleza de las tierras.

Luego, si circunstancias particulares (permeabilidad del suelo que limita la profundidad a causa de las posibles pérdidas de agua, facilidad de circulación, etc.) no imponen la elección de la profundidad, conviene, dada la pendiente *I* del canal y la inclinación *m* del talud, dar a la sección la fórmula que corresponde al *máximo gasto por unidad de área de esta sección*. Es evidentemente la sección más ventajosa y que menos explicaciones requiere. La fórmula (3) $Q = SU$ denota que, para una superficie *S* dada, el rendimiento *Q* es máximo con *U*, y por consiguiente, para una pendiente dada, con *R*, o también, puesto que $R = \frac{S}{P}$, cuando *P* es mínimo.

Pero la inspección de la figura 34 demuestra que:

$$(5) \quad S = h \left(l + \frac{h}{m} \right).$$

$$(6) \quad P = l + \frac{2h}{m} \sqrt{1 + m^2},$$

$$(7) \quad R = \frac{S}{P} = \frac{h \left(l + \frac{h}{m} \right)}{l + \frac{2h}{m} \sqrt{1 + m^2}}$$

y el cálculo prueba que P es mínimo cuando

$$(8) \quad \frac{h}{l} = \frac{1 + \sqrt{1 + m^2}}{2m}$$

Los lados BD, HF, DF, son entonces tangentes a una circunferencia descrita desde el centro O de la línea de agua CG, con el tirante de agua h como radio.

Substituyendo en (7) l por su valor (8), tendremos:

$$(9) \quad R = \frac{h}{2} = \frac{1 + \sqrt{1 + m^2}}{m} \cdot \frac{l}{4}.$$

El radio medio es igual a la mitad de la profundidad del agua.

La relación $\frac{h}{l}$, que determina la sección óptima, sólo depende, en un canal de sección S y pendiente I dados, del valor de m . He aquí los valores de $\frac{h}{l}$ calculados según los valores de m correspondientes a los diversos terrenos:

| | | | | | | | |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|------------------|------------------|
| $m =$ | $\frac{1}{0,00}$ | $\frac{1}{0,33}$ | $\frac{1}{0,50}$ | $\frac{1}{0,75}$ | $\frac{1}{1}$ | $\frac{1}{1,50}$ | $\frac{1}{2,25}$ |
| $\frac{h}{l} =$ | 0,50 | 0,69 | 0,81 | 1 | 1,21 | 1,65 | 2,37 |

El valor (8) de $\frac{h}{l}$ permite calcular fácilmente h y l , conocida la sección S y m .

En efecto, tenemos:

$$(5) \quad S = h \left(l + \frac{h}{m} \right) = h^2 \frac{2\sqrt{1+m^2}-1}{m};$$

$$(10) \quad h = \sqrt{\frac{mS}{2\sqrt{1+m^2}-1}}.$$

Según esto, se ve que cuanto más se acercan los taludes del canal a la vertical, mayor es h y, por consiguiente, $R = \frac{h}{2}$. Conviene adoptar para R el mayor valor posible, pues así no disminuye la anchura del canal de pendiente dada l y se aumenta la velocidad media del agua (proporcional a R).

Cuando las circunstancias exigen que se adopte un valor dado para h , la ecuación

$$S = h \left(l + \frac{h}{m} \right)$$

sólo contiene la incógnita l .

Empleo de las fórmulas, uso de las tablas de Bazin y de Ganguillet y Kutter; ejemplos numéricos. — He aquí los dos problemas que se presentan más a menudo en la práctica:

I. CONOCIDA LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN CANAL Y SU PENDIENTE, CALCULAR SU GASTO;

II. CONOCIDO EL GASTO DE UN CANAL Y SU PENDIENTE, CALCULAR LAS DIMENSIONES QUE DEBE TENER SU SECCIÓN TRANSVERSAL Y LA VELOCIDAD MEDIA DEL AGUA.

I. Se aplicarán las fórmulas (5) y (7), en las que se conocen m , l y h :

$$(5) \quad S = h \left(l + \frac{h}{m} \right), \quad R = \frac{h \left(l + \frac{h}{m} \right)}{l + \frac{2h}{m} \sqrt{1+m^2}}, \quad (7)$$

luego (2) y (4):

$$(2) \quad R = C \sqrt{RI}, \quad Q = SC \sqrt{RI}. \quad (4)$$

Valores del coeficiente C de la fórmula $U = C\sqrt{RI}$,
según M. Bazin

Calculados por la fórmula $U = \frac{87\sqrt{RI}}{1 + \frac{\gamma}{R}}$.

| R RADIOS MEDIOS | VALORES DE $C = \frac{U}{\sqrt{RI}}$ | | R RADIOS MEDIOS | VALORES DE $C = \frac{U}{\sqrt{RI}}$ | |
|--------------------|---|--|--------------------|---|--|
| | Canales de tierra en condiciones ordinarias $\gamma = 1,30$ | Canales de tierra con una resistencia excepcional (fondos de guijarros, paredes con hierbas, etc.) $\gamma = 1,75$ | | Canales de tierra en condiciones ordinarias $\gamma = 1,30$ | Canales de tierra con una resistencia excepcional (fondos de guijarros, paredes con hierbas, etc.) $\gamma = 1,75$ |
| m. | | | m. | | |
| 0,05 | 12,8 | 9,9 | 0,45 | 29,6 | 24,1 |
| 0,06 | 13,8 | 10,7 | 0,46 | 29,8 | 24,3 |
| 0,07 | 14,7 | 11,4 | 0,47 | 30,0 | 24,5 |
| 0,08 | 15,5 | 12,1 | 0,48 | 30,2 | 24,7 |
| 0,09 | 16,3 | 12,7 | 0,49 | 30,4 | 24,8 |
| 0,10 | 17,0 | 13,3 | 0,50 | 30,6 | 25,0 |
| 0,11 | 17,7 | 13,9 | 0,55 | 31,6 | 25,9 |
| 0,12 | 18,3 | 14,4 | 0,60 | 32,5 | 26,7 |
| 0,13 | 18,9 | 14,9 | 0,65 | 33,3 | 27,4 |
| 0,14 | 19,4 | 15,3 | 0,70 | 34,1 | 28,1 |
| 0,15 | 19,9 | 15,8 | 0,75 | 34,8 | 28,8 |
| 0,16 | 20,4 | 16,2 | 0,80 | 35,5 | 29,4 |
| 0,17 | 20,9 | 16,6 | 0,85 | 36,1 | 30,0 |
| 0,18 | 21,4 | 17,0 | 0,90 | 36,7 | 30,6 |
| 0,19 | 21,8 | 17,3 | 0,95 | 37,3 | 31,1 |
| 0,20 | 22,3 | 17,7 | 1,00 | 37,8 | 31,6 |
| 0,21 | 22,7 | 18,1 | 1,10 | 38,8 | 32,6 |
| 0,22 | 23,1 | 18,4 | 1,20 | 39,7 | 33,5 |
| 0,23 | 23,4 | 18,7 | 1,30 | 40,6 | 34,3 |
| 0,24 | 23,8 | 19,0 | 1,40 | 41,4 | 35,1 |
| 0,25 | 24,2 | 19,3 | 1,50 | 42,2 | 35,8 |
| 0,26 | 24,5 | 19,6 | 1,60 | 42,9 | 36,5 |
| 0,27 | 24,8 | 19,9 | 1,70 | 43,6 | 37,1 |
| 0,28 | 25,2 | 20,2 | 1,80 | 44,2 | 37,7 |
| 0,29 | 25,5 | 20,5 | 1,90 | 44,8 | 38,3 |
| 0,30 | 25,8 | 20,7 | 2,00 | 45,3 | 38,9 |
| 0,31 | 26,1 | 21,0 | 2,20 | 46,4 | 39,9 |
| 0,32 | 26,4 | 21,2 | 2,40 | 47,3 | 40,8 |
| 0,33 | 26,7 | 21,5 | 2,60 | 48,1 | 41,7 |
| 0,34 | 26,9 | 21,7 | 2,80 | 48,9 | 42,5 |
| 0,35 | 27,2 | 22,0 | 3,00 | 49,7 | 43,3 |
| 0,36 | 27,5 | 22,2 | 3,20 | 50,4 | 44,0 |
| 0,37 | 27,7 | 22,4 | 3,40 | 51,0 | 44,6 |
| 0,38 | 28,0 | 22,7 | 3,60 | 51,6 | 45,2 |
| 0,39 | 28,2 | 22,9 | 3,80 | 52,2 | 45,8 |
| 0,40 | 28,5 | 23,1 | 4,00 | 52,7 | 46,4 |
| 0,41 | 28,7 | 23,3 | 4,50 | 53,9 | 47,6 |
| 0,42 | 28,9 | 23,5 | 5,00 | 55,0 | 48,8 |
| 0,43 | 29,2 | 23,7 | 5,50 | 56,0 | 49,8 |
| 0,44 | 29,4 | 23,9 | 6,00 | 56,8 | 50,7 |

La fórmula (7) nos da R y la tabla de Bazin el valor de C que corresponde al de R y a la naturaleza de las paredes del canal. Las fórmulas (2) y (4), en que se conocen todos los elementos de los segundos miembros, permitirán calcular inmediatamente U y Q.

Ejemplo: *Calcular el gasto de un canal de tierra, sabiendo que la anchura en el fondo es de un metro, la altura del agua, 1,21 metros; la inclinación de los taludes, 45°, y la pendiente, 0,0002.*

Las precedentes fórmulas (5) y (7) dan:

$$S = 2,867 \text{ m.}$$

$$R = 0,60 \text{ m.}$$

El valor aproximado de C para $R = 0,60$ metros y para paredes de tierra es, según la tabla de Bazin, 32,5, y, según la de Ganguillet y Kutter, 35. Adoptaremos el promedio de estos dos números, o sea 33,75.

Y tendremos:

$$Q = 2,67 \times 33,75 \times \sqrt{0,60 \times 0,0002.}$$

$$Q = 0,98 \text{ m}^3.$$

La velocidad media U será:

$$U = C \sqrt{RI} = 33,75 \times \sqrt{0,60 \times 0,0002.}$$

$$U = 0,37 \text{ m.}$$

II. Si no existen circunstancias particulares que impongan una profundidad determinada, se aplicarán las fórmulas que dan a la sección el perfil óptimo; es decir, en este caso:

$$(10) \quad h = 2R = \sqrt{\frac{mS}{2\sqrt{1+m^2}-1}}.$$

$$(1) \quad RI = bU^2 = b \frac{Q^2}{S^2}, \quad \text{o} \quad b = \frac{1}{C^2}.$$

Se empezará por adoptar para b un valor provisional, y para escogerlo, según el rendimiento, se evaluará el valor posible de R y, por consiguiente, el de C, según la tabla de Ba-

zin. La tabla que sigue dará un valor correspondiente para b que se adoptará provisionalmente. Una vez hallado el va-

Valores del coeficiente b correspondientes a los valores

$$\text{del coeficiente } C = \frac{1}{\sqrt{b}}.$$

| C | b | C | b |
|----|---------|-----|----------|
| 15 | 0,0044 | 54 | 0,00034 |
| 16 | 0,0039 | 55 | 0,00033 |
| 17 | 0,0035 | 56 | 0,00032 |
| 18 | 0,0031 | 57 | 0,00031 |
| 19 | 0,0028 | 58 | 0,00030 |
| 20 | 0,0025 | 59 | 0,00029 |
| 21 | 0,0023 | 60 | 0,00028 |
| 22 | 0,0021 | 61 | 0,00027 |
| 23 | 0,0019 | 62 | 0,00026 |
| 24 | 0,0017 | 63 | 0,00025 |
| 25 | 0,00160 | 64 | 0,00024 |
| 26 | 0,00148 | 65 | 0,000240 |
| 27 | 0,00137 | 66 | 0,000230 |
| 28 | 0,00128 | 67 | 0,000223 |
| 29 | 0,00119 | 68 | 0,000216 |
| 30 | 0,00111 | 70 | 0,000204 |
| 31 | 0,00104 | 72 | 0,000193 |
| 32 | 0,00098 | 74 | 0,000182 |
| 33 | 0,00092 | 76 | 0,000172 |
| 34 | 0,00086 | 78 | 0,000163 |
| 35 | 0,00081 | 80 | 0,000156 |
| 36 | 0,00077 | 82 | 0,000149 |
| 37 | 0,00073 | 84 | 0,000142 |
| 38 | 0,00069 | 86 | 0,000135 |
| 39 | 0,00066 | 88 | 0,000129 |
| 40 | 0,00062 | 90 | 0,000123 |
| 41 | 0,00059 | 92 | 0,000118 |
| 42 | 0,00057 | 94 | 0,000113 |
| 43 | 0,00054 | 96 | 0,000108 |
| 44 | 0,00051 | 98 | 0,000104 |
| 45 | 0,00049 | 100 | 0,000100 |
| 46 | 0,00047 | 105 | 0,000091 |
| 47 | 0,00045 | 110 | 0,000083 |
| 48 | 0,00043 | 115 | 0,000075 |
| 49 | 0,00042 | 120 | 0,000069 |
| 50 | 0,00040 | 125 | 0,000064 |
| 51 | 0,00039 | 130 | 0,000059 |
| 52 | 0,00037 | 140 | 0,000051 |
| 53 | 0,00036 | 150 | 0,000044 |

lor de R , se rectificará el de b . Se volverá a calcular R , y se continuarán estas aproximaciones hasta que se encuentren para C y b valores que no difieran sensiblemente de los ante-

riores. La ecuación (1) contendrá R elevada a la quinta potencia, y se resuelve por logaritmos.

Ejemplo: *Un canal debe tener un gasto de 2 metros cúbicos de agua por segundo, con una pendiente de 0,0002 por metro. ¿Cuál debe ser su perfil transversal en tierra, con taludes inclinados a 45° ?*

Supongamos $R = 1$ metro; entonces, según las tablas de Bazin, el valor de $C = 37,8$ y, según la de Ganguillet y Kutter, es $C = 40$; tenemos la cifra media: $38,9$; resulta que $b = 0,00066$, valor que adoptaremos provisionalmente.

La fórmula (10), puesto que $R = \frac{h}{l}$, da:

$$4 R^2 = \frac{mS}{2\sqrt{1+m^2}-1} = \frac{m}{2\sqrt{1+m^2}-1}$$

Pero $m = 1$, luego $\frac{m}{2\sqrt{1+m^2}-1} = 0,547$; y se obtiene:

$$4 R^2 = 0,547 \cdot S, \text{ de donde } S = \frac{4 R^2}{0,547}$$

Por otra parte, la ecuación (1) da, adoptando para b el valor $0,00066$:

$$R \times 0,0002 = 0,00066 \times \frac{4}{S^2},$$

de donde

$$RS^2 = \frac{0,00066 \times 4}{0,0002} = 13,2,$$

y substituyendo S por su valor anteriormente establecido:

$$\frac{16 R^5}{0,547^2} = 13,2,$$

de donde

$$R = 0,75 \text{ m.}$$

Según las tablas de Bazin y de Ganguillet y Kutter, los valores respectivos de C , que corresponden a este radio medio,

Valores del coeficiente C de la fórmula $U = \sqrt{RI}$ para paredes de tierra de radios medios comprendidos entre 0,05 y 3 m. y pendientes que varían de 0,000.025 a 0,01 según GAN-GUILLET y KUTTER.

| | RADIO MEDIO | PENDIENTES $I =$ | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 0,000025 | 0,00005 | 0,0001 | 0,0002 | 0,0004 | 0,0010 | 0,0100 |
| Paredes de tierra $n = 0,025.$ | 0,05 m. | 12 | 13 | 15 | 16 | 17 | 18 | 18 |
| | 0,10 » | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 22 |
| | 0,20 » | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 27 |
| | 0,30 » | 26 | 28 | 29 | 30 | 30 | 31 | 31 |
| | 0,50 » | 31 | 32 | 33 | 34 | 34 | 35 | 35 |
| | 1,00 » | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| | 2,00 » | 50 | 48 | 47 | 46 | 45 | 45 | 45 |
| | 3,00 » | 56 | 53 | 51 | 49 | 48 | 48 | 47 |
| | Paredes de arena $n = 0,030.$ | 0,05 » | 10 | 11 | 12 | 13 | 13 | 14 |
| 0,10 » | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 18 |
| 0,20 » | | 18 | 19 | 19 | 20 | 21 | 22 | 22 |
| 0,30 » | | 21 | 22 | 23 | 24 | 24 | 25 | 25 |
| 0,50 » | | 25 | 26 | 27 | 27 | 28 | 29 | 29 |
| 1,00 » | | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| 2,00 » | | 42 | 40 | 40 | 40 | 39 | 38 | 38 |
| 3,00 » | | 48 | 45 | 43 | 42 | 42 | 41 | 41 |
| 5,00 » | | 56 | 51 | 47 | 45 | 44 | 43 | 43 |
| 15 00 » | 72 | 62 | 55 | 52 | 51 | 49 | 48 | |

son de 34,8 y de 37, ó sea 35,9. El valor correspondiente de b es 0,00077. Substituyamos b por esta nueva cifra y tendremos:

$$4 R^2 = 0,547 S, \quad R \cdot 0,0002 = 0,00077 \times \frac{4}{S^2},$$

de donde

$$R = 0,767.$$

Los valores de C y de b no difieren sensiblemente de los que acabamos de adoptar. Tomaremos, pues, para R el valor 0,76 m.; entonces $b = 2R = 1,52$ m.

$$S = \frac{4 \times 0,76 \text{ m.}^2}{0,547} = 4,22 \text{ m.}^2$$

$$U = \frac{Q}{S} = \frac{2}{4,22} = 0,47 \text{ m.}$$

La fórmula (8) $h = \frac{1 + \sqrt{1 + m^2}}{2m}$ permite determinar la

anchura l en el fondo. En efecto:

$$l = \frac{2mh}{1 + \sqrt{1 + m^2}} = \frac{2 \times 1,52}{1 \times 1,414} = 2,15 \text{ m.},$$

y el problema queda enteramente resuelto.

Pero puede ocurrir que, a causa de circunstancias particulares, no se pueda adoptar el perfil más económico. Entonces se conoce la profundidad h o la anchura l en el fondo; por lo tanto:

$$S = h \left(l + \frac{h}{m} \right),$$

$$RI = b \frac{Q^2}{S^2},$$

en que R estará expresado en función de h y de l y permitirá hallar por tanteos h o l y S . Supongamos que, por causa de la existencia de un subsuelo rocoso, *la profundidad del canal no debe exceder de un metro y que el gasto sea de dos metros cúbicos por segundo y la pendiente de 0,0002*. Procederemos como sigue:

Puesto que h es a lo sumo igual a un metro, el radio medio puede evaluarse aproximadamente en 0,50 metros. Las tablas de Bazin y de Ganguillet dan respectivamente para C : 30,6 y 34. Tomaremos la medida de estos dos números, o sea 32, y entonces $b = 0,0098$ (pág. 218).

De la ecuación $RI = b \frac{Q^2}{S^2}$ deducimos:

$$S^2 = \frac{0,00098 \times 4}{0,50 \times 0,0002} = 39,2 \text{ m}^2$$

de donde $S = 6,2 \text{ m}^2$.

La fórmula $S = h \left(l + \frac{h}{m} \right)$ da $l = 5,25 \text{ m}$.

El perímetro mojado $P = 5,25 \text{ m.} + 2\sqrt{2} = 8,07 \text{ m.}$

$$R = \frac{S}{P} = \frac{6,25 \text{ m.}}{8,07 \text{ m.}} = 0,77 \text{ m.}$$

Se partirá de este nuevo valor de R para calcular una tercera aproximación.

La tabla de Bazin da para $R = 0,77 \text{ m.}$, $C = 35$; la de Ganguillet, $C = 37$; tomemos la media $C = 36$; entonces $b = 0,00077$. Y tenemos:

$$S^2 = \frac{0,00077 \times 4}{0,77 \times 0,0002} = 40 \text{ m}^2$$

$$S = 6,32 \text{ m.}^3$$

$$\text{y } l = 5,32 \quad P = 5,32 + 2\sqrt{2} = 8,14 \quad R = \frac{6,32}{8,14} = 0,77.$$

Este valor de R es igual al precedente y lo admitiremos. Si no, hubiésemos buscado los nuevos valores de C y de b para llegar a una cuarta aproximación.

Definitivamente adoptaremos para el perfil de este canal de 2 metros cúbicos de gasto por segundo:

$$l = 5,32 \quad h = 1 \text{ m.}, \quad R = 0,77.$$

La velocidad media del agua será, por consiguiente:

$$U = \frac{Q}{S} = \frac{2}{6,32} = 0,31 \text{ m.}$$

CAPÍTULO V

TÉCNICA DEL RIEGO

I.— SISTEMAS Y MÉTODOS DE RIEGO

Hay muchos procedimientos de riego, según la naturaleza del terreno, su pendiente, los cultivos o la cantidad de agua de que se dispone.

Pueden agruparse en cinco grandes divisiones, cada una de las cuales constituye un *sistema*; algunos de estos sistemas integran subdivisiones que corresponden a *métodos distintos*.

I. **Riego circulatorio o por desborde.**— El agua, en lámina delgada, corre más o menos de prisa por la superficie del suelo.

II. **Riego por sumersión.**— El agua se mantiene sobre la superficie con un espesor mayor o menor. Está en reposo o tiene un movimiento muy lento.

III. **Riego por infiltración.**— El agua llena un número mayor o menor de canales, regularmente espaciados, que dividen el campo en largas fajas o tablas paralelas. Penetra en el suelo *por infiltración* a través de las paredes de estos canales.

IV. **Riego acompañado de drenaje.**

V. **Riego por aspersion.**— El agua se reparte sobre la superficie en forma de lluvia, con regaderas, mangas o cubas. Es el *riego* propiamente dicho, sistema que gasta menos agua, pero que requiere el máximo de mano de obra. Nos limitaremos a citarlo.

I. El primer sistema o **riego circulatorio** se subdivide en los métodos siguientes:

1.º RIEGO POR ACEQUIAS HORIZONTALES:

a. *Natural*; b, *artificial* o *por planos inclinados*, ya en *pisos artificiales* o en *pisos naturales*;

2.º RIEGO POR ACEQUIAS OBLICUAS A LAS CURVAS DE NIVEL DEL TERRENO o método provenzal;

3.º RIEGO POR ESPIGAS O MAREJADAS;

4.º RIEGO POR CABALLETES } a. *naturales*;
 } b. *artificiales* u *ordinarios*;
 } c. *en pisos* o *graderías*.

II. El sistema de **riego por sumersión** comprende:

1.º La SUMERSIÓN NATURAL;

2.º La SUMERSIÓN ARTIFICIAL } a, *sencilla*;
 } b, *con renovación de agua*.

III. El sistema de **riego por infiltración** se subdivide en dos métodos:

1.º INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUBSUELO POR REGUERAS PROFUNDAS Y DESCUBIERTAS;

2.º INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO POR REGUERAS SUPERFICIALES Y DESCUBIERTAS.

IV. Finalmente, el quinto sistema, rara vez empleado, que **asocia el riego con el drenaje**, se designa también frecuentemente con el nombre de su inventor **Petersen**.

Independientemente de los procedimientos especiales que emplean, la *circulación* y la *sumersión* ofrecen dos formas particulares:

1.^a EL RIEGO NATURAL.—Es la forma más sencilla y económica. Debe procurarse emplearla siempre que sea posible. Se aplica a los terrenos cuya superficie y pendiente permiten un riego regular, ya sea inmediatamente después de establecidas las acequias, ya después de ligeros trabajos de explanación. El sedimento de las aguas y el producto de la limpia de las regueras van dando al terreno la forma regular más conveniente para el riego. En este caso, la naturaleza colabora con el ingeniero y le ahorra mucho trabajo.

2.^a EL RIEGO ARTIFICIAL.— Se aplica a las praderas de superficie irregular y cuya pendiente es insuficiente para el

riego regular. Requiere obras de explanación bastante importantes, cuyo objeto es aplanar el suelo y formar pendientes artificiales. A veces el terreno se dispone en sencillos planos inclinados y otras en forma de techos de escasa anchura llamados arriates o caballetes. Así se formaron las *marcitas* de Lombardía, las del país de Siegen y de Luneburg, en Alemania, y las de Campine, en Bélgica. Este método de riego ha dado buenos resultados en la generalidad de los casos; pero exige con mucha frecuencia cuantiosos gastos. A veces la hectárea de pradera regada ha resultado a más de 1.200 francos, tan sólo en obras de explanación. Únicamente es ventajoso en los siguientes casos: 1.º, cuando se dispone de bastante agua para hacer riegos intensivos; 2.º, cuando está asegurada la desecación del suelo después del riego; 3.º, cuando hay la certeza de obtener una ganancia suficiente.

Finalmente, llamamos RIEGO RACIONAL al recomendado por Vincent desde 1833, es decir, el que sin prejuicios se ajusta a las condiciones naturales del terreno. La pendiente y la forma del suelo, su grado de permeabilidad, la cantidad de agua disponible, la naturaleza de los cultivos, son los principales factores que intervienen en la siempre delicadísima elección de un sistema y un método de riego.

La *pendiente natural del suelo* es muy importante a este respecto, pero no le va en zaga la *permeabilidad*. También desempeña importante acción la *dosis de riego*. Estos factores pueden modificar notablemente los límites indicados por la sola consideración de la pendiente. Procuraremos señalar estos límites, advirtiendo al lector que nuestras cifras no son absolutas y que en esta cuestión *no se debe generalizar*.

El riego por sumersión sólo conviene a los terrenos de menos del 2 por 1.000 de pendiente y que sean suficientemente permeables, cuando se trata de las grandes cantidades de agua de riego empleadas en los países del Norte y distribuidas sobre grandes superficies.

En el Mediodía hay poca agua, que se distribuye a los regantes en menor cantidad, y *reduciendo las superficies sumergidas se puede aplicar la sumersión a los terrenos de pendiente de 1 a 2 por 100.*

El riego circulatorio, gracias a sus diversos métodos, puede emplearse desde los terrenos llanos a los de 20 a 30 por 100 de pendiente.

Así los CALANTES se emplean desde la pendiente de 1 por 1.000 hasta la de 2 por 100, suponiendo en las pendientes débiles una dosis de riego suficientemente grande y un terreno suficientemente impermeable, sin exceder de cierto límite. Las ESPIGAS, entre 2 por 1.000 y 6 por 100, con las mismas restricciones.

Las ACEQUIAS O REGUERAS HORIZONTALES se aplican a los terrenos que tienen de 3 a 10 por 100 de pendiente y más, pero entonces con precauciones particulares.

A menos del 3 por 100, sobre todo si el suelo es impermeable, o bien que siendo permeable se quiera regar enérgicamente, se recurre a los PLANOS INCLINADOS o a los ARRIATES, con la condición de disponer de un volumen de agua bastante grande.

El riego racional no sólo supone la acomodación perfecta del sistema de riego a la forma del terreno, sino que requiere los necesarios abonos. Si el agua abunda y contiene sobradas materias fertilizantes, es de por sí el abono necesario. Entonces se distribuye teniendo en cuenta el contenido en abonos y la extensión de la superficie regada. Si por sí sola no puede suministrar a las cosechas los elementos necesarios, se completa su acción fertilizante gracias al empleo de los abonos químicos.

II.— RIEGO DE LAS TIERRAS LABORABLES Y DE LOS CULTIVOS HORTELANOS

Por falta de espacio no podemos ocuparnos al detalle de los cultivos de regadío del Mediodía de Francia, de Italia, de España, de África y de América. No podemos tampoco tratar del riego de jardines y de cultivos hortelanos (1). Creemos un deber destinar al riego de las praderas el limitado espacio de que disponemos.

(1) Véase el volumen que M. LEÓN BUSSARD ha dedicado al asunto en esta ENCICLOPEDIA: *Cultivo horticola*.

Los métodos de riego aplicables a las tierras laborables comprenden:

Riego por circulación con acequias horizontales;

Riego con acequias transversales o método de calantes;

Riego por sumersión;

Riego por infiltración.

Trataremos de los tres primeros métodos al hablar del riego de praderas, y lo que entonces digamos será aplicable a los diversos cultivos.

El **riego por infiltración** conviene particularmente a los terrenos labrados y las huertas, a las que también se puede aplicar el método de riego por acequias horizontales.

En el Mediodía de Francia, para regar plantas de gran cultivo, se emplea especialmente el método llamado de **calantes**.

III. — RIEGO DE PRADERAS

Los métodos para regar praderas, según dijimos ya, son la *sumersión* y la *circulación*. Pero hay otro método parecido al primero, que consiste en llevar a los canales de desecación las aguas escurridas de las praderas de suelo bastante permeable. Diremos algo acerca de la inundación de las praderas ribereñas de ríos que experimentan crecidas. Nos extenderemos con los necesarios pormenores en la circulación o riego propiamente dicho, el más empleado en las dos distintas formas ya indicadas o sean:

La forma *natural*, cuando la naturaleza ayuda lo bastante a la instalación del riego. La configuración y la pendiente del terreno son tales, que para regar bastan algunas obras de preparación y abrir las acequias de conducción del agua.

El *riego artificial*, por el contrario, modifica el suelo. Borra los *salientes*, rellena los *huecos*, regulariza las pendientes o las establece y da a los terrenos la forma más a propósito mediante costosas obras.

Finalmente, el *riego racional*, como lo denomina Vincent, tiene por objetivo el producto neto y se esfuerza en regar los prados por métodos lo más sencillos y económicos posible.

Como base fundamental del arte del riego afirma que conviene emplear el método que mejor se adapte a las circunstancias: pendiente del suelo, cantidad y calidad de las aguas, y evitar, en lo que sea posible, el transporte de tierras, adaptando el método de riego al relieve natural del terreno. Por lo tanto, adopta primero el método que más exactamente corresponde a la naturaleza de las cosas y tiende a modificar poco a poco el terreno, empleando en terraplenes las tierras que suministran las limpiezas de los canales y acequias y sabiendo utilizar las transformaciones parciales que ocurren cada año.

El riego racional establece en principio de que no hay sistema de riego aplicable *a priori*, sino que a cada circunstancia debe corresponder una preparación particular del terreno y de las aguas que se acerque más o menos a los diferentes métodos de riego que vamos a describir.

IV. — DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE RIEGO

1.—Riego circulatorio o por desborde

Este sistema de riego no sólo conviene a las regiones altas, y en particular a las del centro y norte de Europa, sino que también se aplica casi exclusivamente a los forrajes, es decir a un producto agrícola que el actual movimiento económico coloca en primera línea. Además, gracias a sus diversos métodos, permite una mayor clasificación con relación a la pendiente del suelo. Se puede aplicar a las superficies desde el 1 por 1.000 hasta las de un 10 por 100 y más de pendiente (regueras horizontales). La elección de uno u otro de estos métodos dependerá:

1.º De las pendientes y de la naturaleza del terreno (grado de permeabilidad).

2.º De la cantidad y de la calidad del agua disponible.

1.º **Método de riego por regueras horizontales.** — Está caracterizado por el empleo de acequias de riego horizontales, paralelas a las curvas de nivel, que sólo

dejan salir el agua por uno de sus bordes. Se aplica exclusivamente a los terrenos de 3 por 100 de pendiente por lo menos. Desde este límite puede aplicarse a terrenos inclinados hasta el 10 por 100 y más. Se usa en países montañosos y en escarpes que tengan hasta el 50 por 100; pero hay que advertir que se

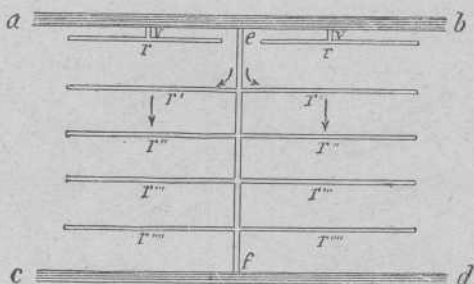


Fig. 35. — Riego por acequias horizontales

trata de tierras cubiertas de vegetación compacta y sostenidas artificialmente.

Es preciso que el terreno presente una superficie casi regular y que fácilmente se puedan enrasar las mayores irregularidades.

A. Riego natural.—Se aplica a los terrenos cuya pendiente y superficie sean bastante regulares para que no haya necesidad de efectuar otra preparación del suelo que nivelar algunos salientes y huecos. Este método reúne todas las ventajas: economía de establecimiento y de conservación, economía y reparto igual del agua, resultados seguros, facilidades para proceder a la recolección. Esencialmente consiste en establecer en un terreno de por lo menos 2,5 por 100 de pendiente regueras sensiblemente horizontales, trazadas, por consiguiente, según las líneas de nivel. Estas regueras dejan desbordar una capa uniforme de agua por su borde inferior y en toda su longitud.

La primera reguera recibe el agua directamente del *canal de conducción*; la segunda recoge el agua que ha caído en la

parte del prado situada encima de ella y la vierte hacia abajo; la tercera hace el mismo oficio, y así sucesivamente hasta que el agua no absorbida vaya a parar a la última reguera que sirve de canal de evacuación.

La figura 35 denota la disposición de los diversos canales en un terreno perfectamente llano, con una sola pendiente

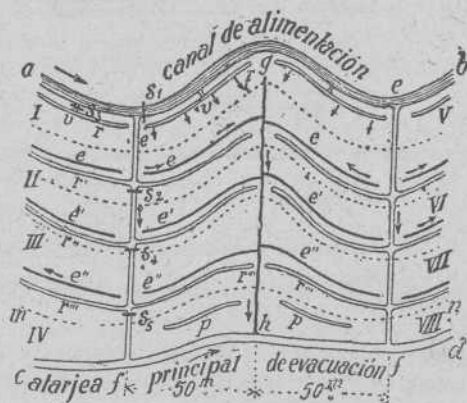


Fig. 36. — Riego por acequias horizontales con acequias de desagüe en un terreno quebrado

indicada por las flechas. Entonces las regueras horizontales están trazadas, sensiblemente, en línea recta.

La figura 36 representa la aplicación del método a un terreno ligeramente quebrado. Entonces las regueras horizontales siguen las curvas que indica la figura y que corresponden a las del nivel del terreno. Cuando la pendiente del suelo es bastante rápida, es decir, por lo menos del 4 por 100, las acequias de distribución se deben trazar de modo que cumplan la doble función de poder dar agua directamente a la acequia secundaria que se juzgue conveniente y desecar rápidamente el prado; pero cuando la pendiente no sea bastante rápida (menos del 3 por 100) para que las acequias de riego, por sí solas, des sequen el terreno, se anteponen a las acequias unas zanjas de

desagüe representadas por e , e' , e'' en la figura 36, que se reúnen en otra de sección mayor, h , para desagüar en el canal principal de evacuación.

La figura 37 representa el perfil de un terreno regado por acequias horizontales; los caballones h , h' , separan las acequias de riego de las de desagüe.

El canal de alimentación a , b (figs. 35 y 36) nunca riega directamente la primera faja del prado, sino que alimenta las acequias de riego r , r , por medio de los ramales v , v . Cuando las acequias de riego, por causa de la débil pendiente del sue-



Fig. 37. — Perfil de un terreno regado por acequias horizontales

lo se colocan a gran distancia unas de otras, en sus intervalos se disponen regueras auxiliares v , v' , v'' (fig. 40), que contribuyen al desbordamiento regular del agua.

Canal de conducción del agua. — Remitimos al lector a lo ya dicho anteriormente (pág. 207).

Acequias de distribución o de alimentación. — *Enlace con el canal de conducción.*—En vez de enlazar en ángulo recto, conviene unir las acequias de distribución con el canal de alimentación por medio de una ligera curva. El agua penetra así más fácilmente. Es una regla general que también se debe seguir en las acequias de orden inferior.

Se impide que el agua penetre en las acequias de distribución, cuando no deben funcionar, por medio de una *compuerta de mano* o *pala de riego* como la ya descrita (figs. 29 y 30). Para el perfil de estas regueras véase el capítulo precedente. Los taludes deben ser tanto más inclinados cuanto mayor sea la pendiente del suelo, para que el agua no los desmorone. Miden de 30 a 50 centímetros de anchura y de 15 a 20 de profundidad.

Situación de las acequias de distribución. — Las acequias secundarias no pueden llevar el agua a más de 25 a 40 me-

tros, a partir de su punto de alimentación en las acequias de distribución, por tanto, éstas sólo pueden estar separadas a lo más de 50 a 80 metros.

En la figura 36, las acequias de distribución ocupan las líneas divisorias y las de desagüe las vaguadas; pero hemos supuesto que el terreno no tenía el 3 por 100 de pendiente y que eran precisas las dos clases de acequias. En la mayor parte de los casos, la pendiente del prado bastará para que las *acequias de distribución sirvan de acequias de desagüe* y se dispondrán en las *vaguadas*. Una vez terminado el riego, fácilmente recogerán las aguas que se escurran a derecha e izquierda de su trazado. Primero deberán trazarse en las vaguadas del prado, además de trazar otras en los intervalos. Se procurará siempre alejar unas y otras de las prominencias del terreno.

Primero se trazan las acequias horizontales que exija la configuración del terreno y después se dirige el trazado de las regueras de distribución de modo que corten en ángulo recto las acequias.

Acequias horizontales o de riego.—*Perfil transversal.*—Es rectangular. Estas acequias se excavan a pico en el césped, como indica la figura 33. La sección triangular es más ventajosa porque no se pierde tanto espacio y la hierba puede ocupar las dos caras de la V. El ancho puede ser de 30 a 35 centímetros en el punto de confluencia con la acequia de alimentación. En cuanto a su profundidad, debe ser tan poca como sea posible, 5 a 8 centímetros, 10 lo máximo, y esto por muchas razones.

Las acequias profundas absorben demasiada agua y la dejan perder por filtración. En cambio, el agua con poco espesor se calienta más pronto al contacto con el sol.

El ancho de las acequias de riego va disminuyendo poco a poco desde su confluencia con la de distribución. Deben contener cada vez menos agua a medida que se alejan.

Para que el desbordamiento sea regular, conviene que la sección vaya disminuyendo. Durante el riego se echará de ver cómo se opera el desbordamiento y se comprenderá si las acequias se deben ensanchar o estrechar en algún punto.

Las acequias auxiliares v , v' (fig. 40) no tienen otro objeto que facilitar la circulación del agua entre dos acequias de rie-



Fig. 38. — Presas de derivación. Hacienda de M. P. de Malliard. Un operario ha bajado una de las *compuertas* grandes. Cuando baje las otras tres, levantará las dos compuertas de la izquierda para verter el agua en una pradera provista de grandes caballetes

go y conservan la misma sección en toda su longitud. Están cerradas por sus extremos.

Unión de las acequias de riego con las de distribución.—

Las acequias de riego se alimentan de las de distribución por medio de una ligera curva (fig. 39) que, por decirlo así, arranca de la prolongación del canal de alimentación. De este modo, las matas de césped, *g*, o las pequeñas compuertas que se colocan en las acequias de distribución, debajo de la con-

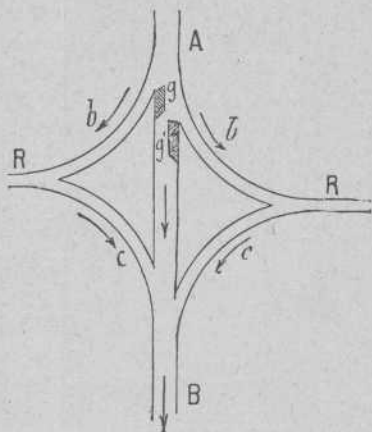


Fig. 39.—Empalme de las acequias de riego con las de distribución

fluencia, hacen bien su oficio. Sin cerrar la acequia de distribución obligan al agua a refluir en la de riego.

Cuando basta dar a las acequias de riego dirección horizontal, es disposición ingeniosa enlazarlas también con las de distribución por medio de un ramal *c* (fig. 39) dirigido en sentido inverso al de la precedente, es decir *b*, de arriba a abajo. Este ramal permanece cerrado durante el riego y una vez terminado se abre y el agua contenida todavía en las acequias de riego halla fácil salida hacia la de distribución, transformada entonces en desagüe.

Longitud y pendiente de las acequias de riego.— Es raro que las acequias rigurosamente horizontales conduzcan el agua de un modo uniforme hasta su extremo. Generalmente suministran mucha más agua en su origen. Esto se remedia trazándolas oblicuamente a la mayor pendiente del suelo. Se les da una ligera pendiente de 0,5 a 3 milímetros por metro. Durante el riego se regula mejor esta pendiente. Además se asegurará el buen reparto del agua estrechando bastante las acequias de distribución para que las de riego no pasen por cada lado de 25 a 40 metros de longitud a lo sumo.

SEPARACIÓN DE LAS ACEQUIAS DE RIEGO ENTRE SÍ.—Varía según la pendiente y la naturaleza del suelo. Cuando la pendiente es irregular, hay que acercar las acequias de riego, a veces hasta 4 ó 5 metros. Pero cuando la superficie del terreno sólo tiene pequeños desniveles, se pueden separar hasta 20 a 25 metros. En este caso se disponen en sus intervalos algunas acequias auxiliares que aseguren el reparto uniforme del agua. Se multiplican en los terrenos quebrados.

Ocurre a veces que, a causa de las disposiciones del terreno, las acequias de distribución cortan oblicuamente (fig. 40) las

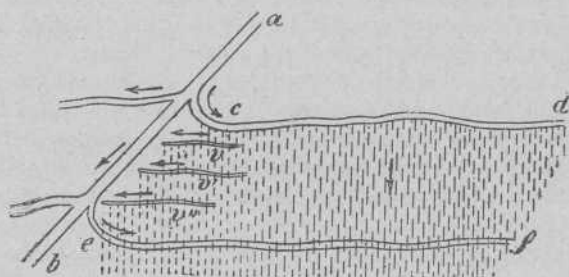


Fig. 40. — Acequias complementarias de riego

de riego, y entonces toda la zona próxima a la acequia *a, b*, puede quedar sin riego y para asegurarlo se intercalan algunas acequias auxiliares *v, v', v''*, terminadas en callejones sin salida.

La separación de las acequias de riego varía también con la naturaleza del suelo, que cuanto es más permeable, más próximas deben estar aquéllas. Puede suceder que una faja demasiado ancha absorba en su parte superior toda el agua que proporciona la acequia y que la parte baja quede sin regar.

Por lo tanto, es imposible dar reglas fijas para determinar la distancia entre las acequias de riego.

Acequias de desagüe.—Las acequias de desagüe, tales como las *e, e* (fig. 36), bordean las de riego a la distancia de medio a un metro. Mide de 15 a 25 centímetros de ancho por 20 a 35 centímetros de profundidad. Su perfil es rectangular y su pen-

diente dirigida en sentido inverso a la de la acequia de riego próxima. Puede llegar al 11 por 100.

Canales de evacuación del agua. — Su perfil es trapezoidal, como el del canal de conducción y los de alimentación. Sus dimensiones dependen de la masa de agua a que deben dar paso.

Manera de dar el agua. — Si se quiere regar primero la faja designada con la cifra I en la figura 36, se cierra la compuerta S_1 , situada en el canal de alimentación, aguas abajo de la primera acequia de distribución e, f ; el agua penetra en las acequias de riego r, r , se derrama sobre el suelo y llega a las r', r'' , desde donde todavía puede correr sobre el prado, y así sucesivamente hasta llegar a la acequia principal de desagüe c, d . Para mayor sencillez suponemos que no existen los desagües e, e, g, h . Si el agua puede regar así todo el prado, bastará que el regante vigile su reparto uniforme. No tendrá más que observar los bordes de las acequias.

Si el agua no puede regar todo el terreno por ser muy extenso o demasiado permeable, se distribuirá primero a una faja de tres o cuatro acequias o más si cabe. Una vez regado este sector de terreno, se mandará el agua directamente a una faja inferior, y así sucesivamente hasta que se haya regado toda la pradera.

Por ejemplo, para regar la faja II y las siguientes, después de regada la faja I, se mantiene abierta la compuerta S_1 , se cierran las acequias v, v , y se coloca una pequeña compuerta de mano o un poco de césped en S_2 , más abajo de la acequia $r' r'$.

Si las acequias principales son demasiado largas para poderlas utilizar en toda su extensión, se seccionan por la mitad o el tercio, poniendo terrones de césped. Se sigue el mismo procedimiento para el riego de verano, cuando hay menos agua que en invierno. El prado se divide en fajas verticales que se riegan sucesivamente.

Ventajas e inconvenientes del riego por acequias horizontales. — Es aplicable a todos los terrenos desde la pendiente de 3 por 100 hasta las inclinaciones más rápidas de los prados de montaña, cualesquiera que sean su perímetro y sus accidentes.

Este sistema de riego es ventajosísimo en los países quebrados, donde permite transformar tierras improductivas en valiosos prados.

Este método, con el de submersión, permite utilizar la cantidad de agua mínima, las aguas pluviales y las que manan de los drenajes.

Su instalación es poco costosa y fácil su conservación y funcionamiento.

Divide el suelo en fajas bastante anchas que no impidan el paso de vehículos ni el de las máquinas agrícolas.

Sólo tiene dos inconvenientes. Es inaplicable a los terrenos de menos de 2,5 por 100 de pendiente, y la circulación del agua no es posible a menos que se emplee en grandes cantidades y el suelo sea poco permeable. Cuando el agua llega en masas más abundantes, tiene mejor salida y va más lejos.

Por análogo motivo no se efectúa la evacuación regular por los desagües y se dificulta el desecamiento que siempre debe seguir el riego. Cuando el suelo tiene menos de 2,5 por 100 de pendiente, hay que establecer una pendiente artificial, como indicaremos más adelante.

Finalmente, se le reprocha al método de acequias horizontales que requiere ciertos conocimientos técnicos por parte del regante, pues las acequias se han de trazar aplicando conocimientos que no son del dominio de los agricultores. Exigen el empleo del nivel de anteojo o, por lo menos, del de agua.

B. Riego artificial por acequias horizontales o por planos inclinados. — En el riego natural por acequias horizontales, la superficie del suelo apenas se modifica, pues sólo se eliminan los mayores desniveles del terreno. En el riego artificial la superficie de la pradera se prepara de modo que, después de quitar el césped, presente la forma de un plano inclinado, sensiblemente regular, de pendiente mínima de 4 por 100. Este método permite un riego más regular e intensivo que el precedente; pero es más caro porque requiere una remoción de tierras a veces considerables. Sólo se emplea en circunstancias excepcionales, cuando la pendiente del terreno excede de 2,5 por 100 y no llega a 3 por 100 y para suplir los arriates, como se practica, por ejemplo, en los Vosgos, o

para completar su establecimiento en la misma pradera. También se llama *riego por planos inclinados*.

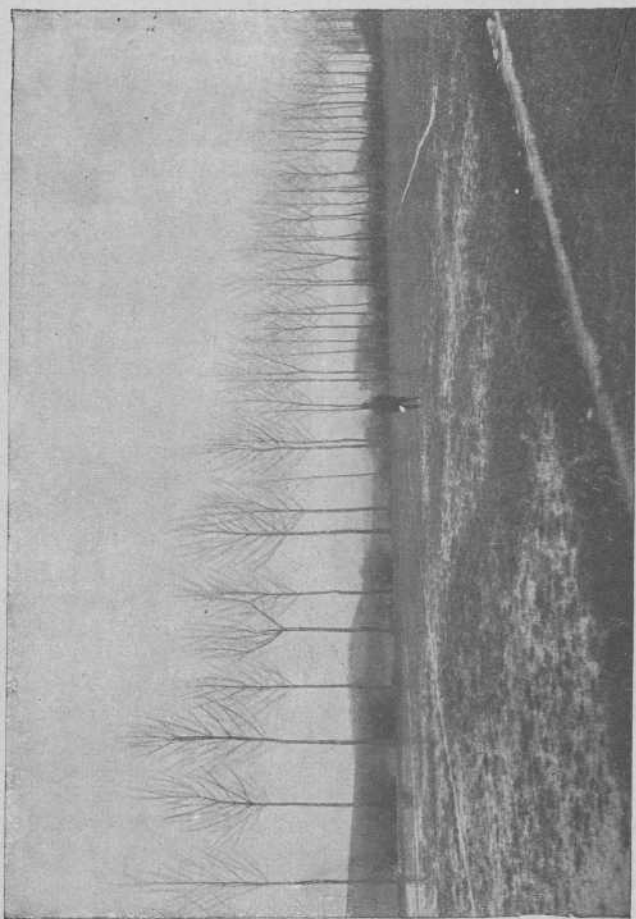


Fig. 41. — Riego por arriates

Riego de las praderas de la hacienda de M. P. de Maillard, en Saint-Loup del Semouse (Alto Saona). El agua llega a la cresta de la tabla o faja de terreno y se vierte en sábana hasta la reguera de desagüe

El terreno se dispone en tableros rigurosamente planos con una pendiente de 4 por 100. Si ésta fuese menor y las tierras

estuviesen recién removidas, correríamos el riesgo de que el agua penetrase en el subsuelo y de un exceso de humedad. Se distingue el *riego por planos inclinados ordinarios* y el *riego por planos inclinados sucesivos*; este último puede ser *natural* o *artificial*.

Planos inclinados ordinarios. — En el riego por planos inclinados ordinarios (fig. 35), el terreno tiene una sola superficie plana, cortada de trecho en trecho por las acequias de riego

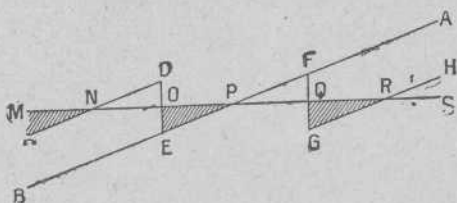


Fig. 42. — Escalonamiento de una tabla de terreno

sin las de desagüe. Las de riego están distanciadas a 15 metros y miden 0,25 metros de ancho y profundidad tan pequeña como sea posible.

Planos inclinados sucesivos. — 1.º GRADAS ARTIFICIALES. — La superficie del terreno, en vez de dar un plano único AB, largo e inclinado al 4 por 100, ofrece una serie de planos inclinados pequeños y paralelos (fig. 41). En el procedimiento de los *planos inclinados artificiales* (HG, FE, DC, fig. 42), el suelo se ve completamente modificado hasta alcanzar la configuración definitiva. Cada uno de estos planos tiene en su parte más alta una acequia de riego y en la más baja una de desagüe. El método de las gradas tiene la ventaja sobre el de los planos inclinados ordinarios, de disminuir notablemente la importancia de las obras de explanación.

En efecto, sea M-S (fig. 42) la traza del terreno natural sobre el plano de la figura: AB, la del terreno modificado. El terraplén ANP equivale al desmonte BMP. El método consiste en substituir el plano único AB por los tres planos HG, FE, DC. Los volúmenes de tierra que hay que remover, V en el primer

caso, v en el segundo, son evidentemente proporcionales a las superficies BPM y $CNM \times 3$, o a MP^2 y $3 \left(\frac{MP}{3}\right)^2$.

Luego

$$\frac{V}{v} = \frac{9}{3} \text{ y } v = \frac{V}{3}.$$

Por otra parte, el trabajo necesario para desplazar las masas de tierra es proporcional a los productos de V y v por las distancias de los centros de gravedad. Si l designa esta distancia,

estos productos son respectivamente Vl y $\frac{3V}{9} \times \frac{l}{3} = \frac{Vl}{3^2}$. Del

mismo modo, si se substituye el plano inclinado mayor por otros cuatro planos menores, las obras de explanación y trans-

porte de tierras se reducirán de Vl a $\frac{Vl}{4^2}$. En general, si n desig-

na el número de planos inclinados que substituyen el plano único AB , los trabajos de remoción de tierra se reducen de Vl

a $\frac{Vl}{n^2}$. Debemos esta demostración a M. Faure, profesor del Ins-

tituto agronómico.

La figura 43 demuestra la aplicación de los planos inclinados a un terreno ligeramente quebrado sin volver a emplear las aguas después de evacuadas. El nuevo empleo de estas aguas se efectúa rápidamente. La figura 45 representa una disposición conveniente.

2.º GRADAS NATURALES. — En vez de establecer los planos inclinados simultáneamente, se pueden construir poco a poco cada año. El primer año se traza la primera acequia de desagüe y con la tierra extraída se hace la acequia superior de riego. Se procede del mismo modo con las otras acequias, aprovechando para el emplazamiento las disposiciones naturales del terreno. Al año siguiente, las tierras procedentes de la limpieza de las acequias se aprovecharán para recrecer el suelo. Se va echando el fango hacia la parte más alta de cada uno de los planos, de modo que, poco a poco, se formen las gradas. Es un procedimiento económico, aunque lento.

Ventajas e inconvenientes del riego por planos inclinados sucesivos. — Tiene ventajas análogas a las del riego por arriates o caballetes, exige menos agua y favorece el saneamiento producido por la multiplicidad de las acequias; pero cubre el suelo de pequeñas superficies inclinadas que entorpecen la

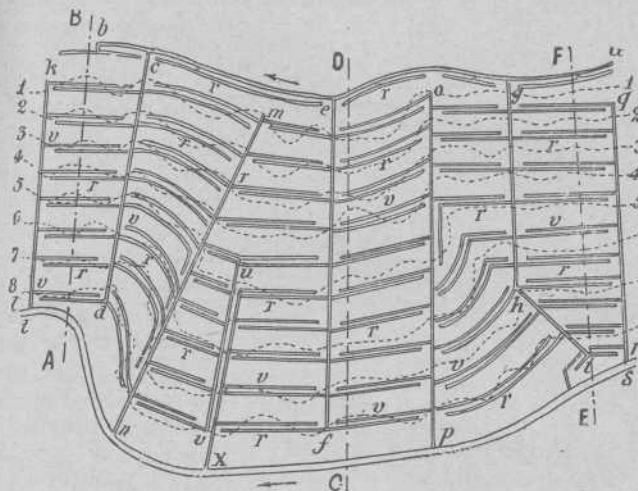


Fig. 43. — Riego por medios tablares en terreno quebrado sin volver a emplear el agua de desagüe

a, b, canal de conducción. — *c, d, e, f, g, h*, acequias de distribución. — *r, r, r*, acequias de riego. — *v, v, v*, acequias de desagüe. — *k, l, m, n, o, p, q, r*, canales de desagüe. — ACE, canal de evacuación. — 1, 2, 3... 8, curvas de nivel.

marcha de las máquinas agrícolas. Puede emplearse junto con el método de caballetes, para terminar el riego de una superficie cuyas partes no se acomoden todas al establecimiento de los dobles planos. Desde este punto de vista, completa los recursos que debe tener el ingeniero a su disposición para salvar las dificultades del terreno y desempeña, con relación al riego por arriates, algo así como las *espigas* o *marejadas* respecto al método de riego por acequias horizontales.

La figura 43 representa la aplicación de este método a un

terreno ligeramente quebrado y sin ulterior empleo de las aguas evacuadas.

El empleo de estas aguas se efectúa fácilmente. La figura 44 es ejemplo de una disposición conveniente. La inventiva del ingeniero agrónomo, siempre viva por la necesidad de acomodarse lo más posible a la configuración del terreno, puede hallar

numerosas combinaciones.

2.º Riego por acequias oblicuas o provenzal. — Este método está muy generalizado en el valle del Ródano y conviene a los terrenos laborables y a los prados artificiales. Es el más ventajoso para regar las grandes llanuras de aluvión de pendiente casi regular que oscilan entre el 1 por 1.000 y 2 por 100.

Consiste en disponer oblicuamente a las curvas de nivel

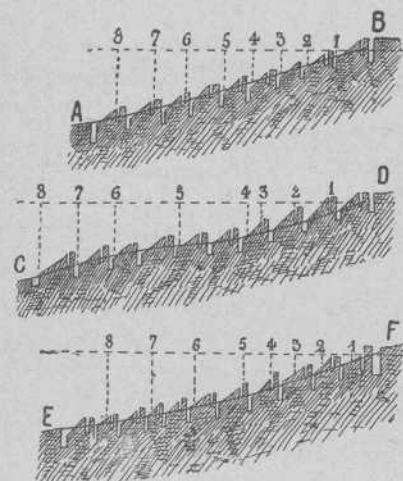


Fig. 44. — Cortes según AB, CD, EF de los medios tablares de la figura 43

n, n', n'' , acequias CD, EP, GH, que toman el agua del canal AB (fig. 46) de alimentación.

Estas acequias tienen una sección tal, que pueden llevar el módulo que se emplea en la región meridional (50 litros). Según la mayor o menor permeabilidad del suelo, están separadas por 10, 20 y hasta 60 metros. El espacio que encierran se dividen en tablares de 10 a 15 metros de anchura, por medio de caballones de tierra b_1-b_1, b_2-b_2 , de 0,40 a un metro y medio de anchura y 10 centímetros de altura. Estos pequeños salientes no dificultan el paso de las máquinas agrícolas; facilitan el riego, no permitiendo regar cada vez más que la superficie

conveniente y retienen el agua lo mismo que los diques en el método de submersión. El paso del agua de la acequia de riego al tablar se practica por medio de tubos de alfarería dispuestos en o, o', p, p', r, r' . Se colocan a una distancia de unos 3 metros. A veces también se emplea una pequeña com-

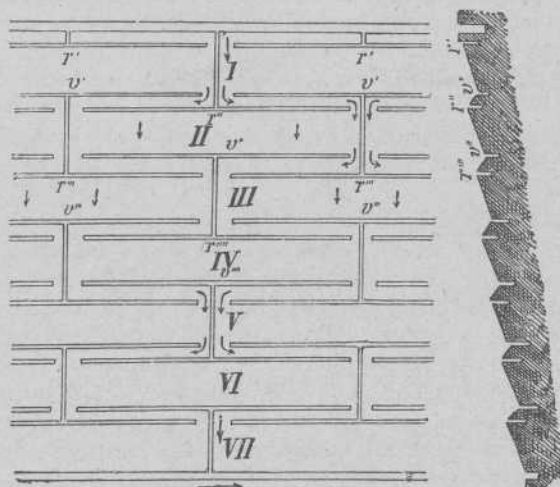


Fig. 45. — Riego por medias tablas con empleo doble del agua
 r, r', r'', r''' , acequias de riego. — v, v', v'', v''' , acequias de desagüe

puerta que se coloca en la escotadura practicada en la acequia. El paso del agua de las acequias de distribución GD, GF, GH, a los tablares regados, se efectúa colocando una compuerta en las acequias más o menos distantes según que se quieran regar a la vez mayor o menor número de tablares.

El suelo de los tablares se habrá enrasado algún tanto con la azada, para eliminar los mayores resaltos. Este procedimiento tiene las ventajas de su fácil instalación, de consumir poca agua y de permitir los pastos y el empleo de segadoras mecánicas. Está indicado en los países cálidos, de poca agua y grandes llanuras casi uniformes, pero requiere operarios hábiles.

3.º Riego por acequias inclinadas, **marejadas o espigas de trigo**. — Este sistema acomoda al movimiento natural del agua en el terreno la dirección de los canales. Es aplicable a los terrenos por lo menos desde 2 por 1.000 de pendiente, si son bastante impermeables y hay suficiente agua, hasta los de un máximo de 6 por 100 de pendiente. Con mayores, es muy incompleto el riego. Supone un terreno

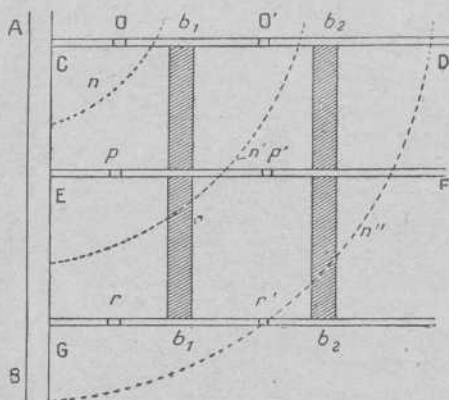


Fig. 46. — Riego por acequias oblicuas o *calantes*

regularmente quebrado en que se suceden los relieves y las cañadas. Por lo menos éstas son las condiciones en que mejor funciona. No puede adaptarse a las depresiones o prominencias del terreno, como el riego por acequias horizontales. Es preciso eliminar los accidentes del terreno por medio de desmontes y terraplenes.

El método consiste en disponer las acequias de distribución (fig. 47) sobre las divisorias del terreno en sentido de su pendiente, para alimentar por uno y otro lado las acequias de riego.

Su configuración es parecida a una espiga de trigo. Cuando el terreno carece de pendiente, se excavan acequias de desagüe en las vaguadas y entre las acequias de distribución.

Las aguas se reúnen en un canal mayor que alimenta otra serie de acequias, las cuales riegan los sectores inferiores del prado, o bien conduce el agua al exterior.

Acequias principales de alimentación y desagüe. — Se trazan como se ha dicho en el capítulo de las obras previas del riego.

Acequias de distribución. — Las acequias a , b , a' , b' , c' , a'' , b'' , c'' , se alimentan de la principal ABC de alimentación y de sus derivaciones BD, EG (fig. 47). Ocupan siempre las crestas del terreno y se dirigen según su máxima pendiente. Van disminuyendo de anchura a medida que alimentan las acequias de riego. La distancia que las separa oscila entre 30 y 50 metros.

Conservan la misma anchura entre el primero y el segundo par y disminuyen bruscamente desde éste y conservan la misma dimensión transversal hasta el tercer par, y así sucesivamente. Es imposible fijar de antemano los diferentes anchos, que varían según la naturaleza del terreno, la pendiente, la longitud de las acequias, etc. Su profundidad se mantiene constante en toda la longitud y varía entre 0,20 y 0,25 m.

Acequias de riego. — Se alimentan por pares a uno y otro lado de los canales de distribución. Tienen en su origen de 0,20 a 0,25 m. de profundidad y tan sólo 0,10 m. en su extremo. El ancho, que es al principio de 0,25 m., disminuye también progresivamente en el mismo sentido. De este modo el agua se desborda lo más regularmente posible. Su pendiente, uniforme en toda su longitud, nunca debe exceder de 0,005 metros por metro, pues de lo contrario el riego se efectuaría mal, porque el agua se agolparía en seguida en los extremos, ni tan poco debe ser inferior a 0,001 metros. Esta pendiente debe ser rigurosamente uniforme en toda su longitud.

La distancia entre dos pares de acequias depende también del suelo y de la pendiente. Debe estar comprendida entre 3 y 15 metros a lo sumo.

En cuanto a la longitud de las acequias de riego nunca ha de exceder de 25 metros.

Acequias de desagüe. — Estas acequias, tales como r , s (figura 46), se sitúan en las vaguadas. En su origen tienen unos

0,25 metros de anchura y de profundidad, que aumentan a medida que reciben mayor volumen de agua. Reúnen sus aguas

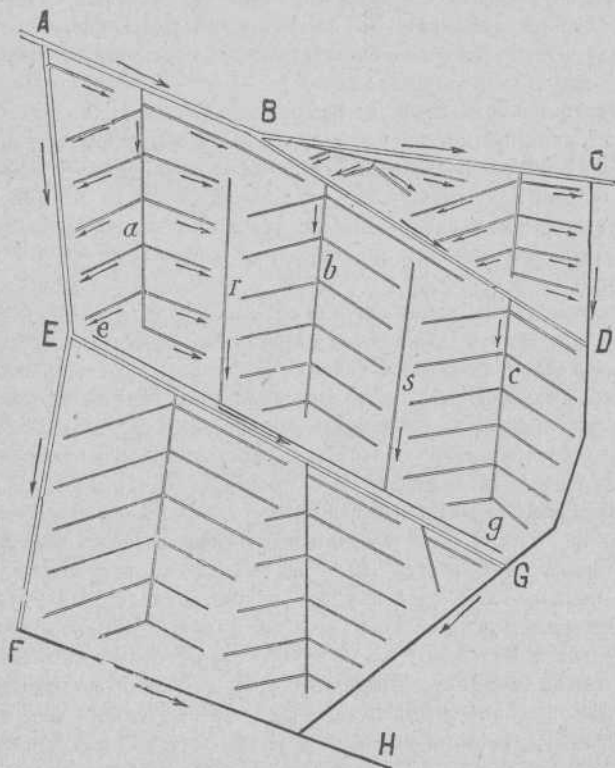


Fig. 47. — Plano de un método de riego por acequias, dispuestas en « espiga de trigo »

en los colectores *e*, *g*, que terminan en el canal de evacuación CDG.

A veces conviene trazar a uno y otro lado de las acequias, que entonces se convierten en colectores principales, unos pequeños canales en espiga, situados entre las acequias de riego,

que facilitan la salida del agua. Esta precaución sólo se toma en los terrenos de muy poca pendiente.

Ventajas e inconvenientes del riego por espigas. — Su mayor ventaja es la facilidad, economía y sencillez del trazado, que no requiere obreros especializados. Conviene a los terrenos de menor pendiente de la que requiere el riego por acequias horizontales. Sin embargo, en las condiciones indicadas anteriormente, no puede convenir a praderas de menos del 2 por 1.000 de pendiente por metro, ni a las que tengan más del 6 por 100. Requiere cierta configuración del suelo, con pequeñas eminencias y cañadas. No se adapta tan bien como el riego por acequias horizontales a los terrenos muy ondulados. Entonces es preciso que las espigas bordeen las quebraduras del terreno y se riega mal por acequias de nivel.

Las espigas distribuyen el agua mucho menos uniformemente que las acequias horizontales. Las partes colindantes de las acequias quedan siempre mejor regadas que el resto del prado y también dan más hierba. Cuantas más acequias hay, más heno se produce. La práctica del riego requiere también mucha atención y el concurso de un obrero activo y experimentado. Frecuentemente se debe modificar la posición de los cuadros de césped o de las pequeñas compuertas que sirven para estrechar más o menos las acequias.

En las pendientes débiles (2 por 1.000) será preciso que el suelo no sea demasiado permeable y que se disponga de bastante agua para poder forzar la dotación de riego.

Frecuentemente se limitará este método de riego a complementar el de acequias horizontales, en las partes del prado en que éste no pueda emplearse. Las espigas se avienen bastante bien a los volúmenes de agua grandes y pequeños.

4.º Método de riego por caballetes o doble arriate.—Cuando la pendiente del terreno es poco menor del 3 por 100, son inaplicables los métodos de riego por circulación, a no ser que se disponga de considerable cantidad de agua y el *terreno sea permeable*, con gran poder de absorción. Por debajo de esta pendiente límite del 3 por 100 es preciso, por tanto, crear una pendiente artificial, construyendo nbacales o *tablas en arriate*. Este método es el único que per-

mite regar por circulación tierras cuya pendiente sea insensible y el único que asegura su perfecto saneamiento.

Consiste, esencialmente, en disponer la superficie del campo en fajas rectangulares unidas dos a dos de modo que formen como un techo muy aplanado o *arriate* (fig. 48). Cada una de estas fajas, llamadas *semitablar*, *flancos* o *alas*, forma un plano inclinado que representa una de las vertientes del techo.

Uno de los extremos del *tablar* formado por la reunión de los dos flancos o alas termina en un tercer plano inclinado, triangular, equivalente al caballete de los techos. El otro extremo se apoya contra el talud de un terraplén que soporta el canal EF (fig. 48) de distribución del agua a los arriates. A este efecto, el canal de distribución comunica con una acequia de riego, *r*, abierta en la cresta del arriate.

Esta acequia, casi horizontal, deja verter el agua por sus dos bordes en cada uno de los flancos del arriate. Después del riego, el agua pasa a unas acequias de desagüe, *v*, que separan cada tablar, y de ellas a un canal de evacuación colectivo, GH, que pasa por la parte inferior de los arriates, paralelamente al canal de distribución, y está en el extremo opuesto del arriate.

Estas disposiciones indican que se construirá el arriate practicando un desmonte y un terraplén. El procedimiento requiere cierto movimiento de las tierras y es un método *artificial*, mientras que el de las acequias horizontales es un método *natural*.

La figura 48 representa en planta una serie de arriates con los diferentes canales y acequias; EF representa el canal de alimentación; *r*, *r*, las acequias de desbordamiento; *v*, *v*, las de desagüe, que terminan en el canal GH de evacuación.

En la parte baja de la figura están representados el corte transversal de tres arriates y el longitudinal de uno de ellos según CD.

En el origen, es decir, contra el terraplén que soporta el canal de distribución, la pendiente de las alas es casi nula; pero va aumentando hasta el extremo de la acequia de riego.

Las acequias, *r*, de riego tienen pequeña pendiente, mientras que las de desagüe, *v*, tienen una pendiente próxima a

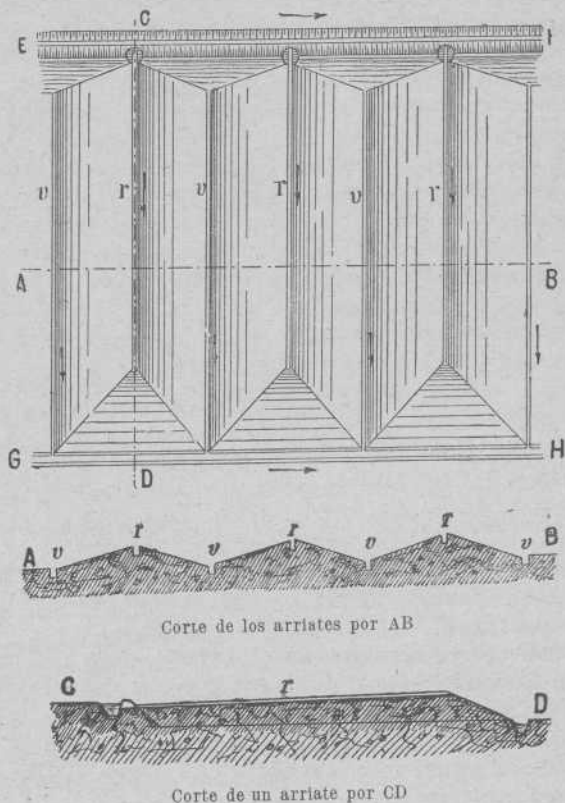


Fig. 48.— Riego por tablares en arriate. Planta de una serie de tres arriates EF, canal de distribución.— *r*, *r*, *r*, acequias de riego.— *v*, *v*, *v*, acequias de desagüe.— GH, canal de desagüe

1 ó 2 centímetros por metro. Resulta de ello que el arriate tiene más desnivel en el extremo donde termina en cresta que en el lado adyacente al canal de distribución. Cada uno de sus

flancos no representa un plano, sino lo que en geometría se llama una superficie alabeada, cuya generatriz es una línea recta móvil que se apoya constantemente en la arista superior y en la línea inferior. La inclinación de esta superficie aumenta ligeramente desde la cabeza del arriate hasta el extremo opuesto. El agua no discurre por los flancos en dirección perpendicular a la cumbre del arriate, sino sigue un camino más o menos oblicuo.

Es fácil inferir la ventaja del *arriate* desde el punto de vista de la pendiente necesaria para el riego.

Supongamos que el terreno sólo tiene una pendiente del 1 por 100, insuficiente para regar con acequias horizontales. Estableciendo un arriate de 30 metros de longitud, su cumbre o cresta tendrá al principio una altura de $30 \times 0,10 = 0,30$ metros sobre el suelo natural. Si este arriate es de 9 metros de ancho, sus flancos presentarán en el mismo sitio una pendiente de $\frac{0,30 \times 100}{4,5} = 6,66$ por 100. Por lo tanto, cada una de las alas tendrá suficiente pendiente para que la riegue la acequia *r*, que ocupa la cresta. En el centro del arriate la pendiente sería de $\frac{0,15 \times 100}{4,5} = 3,33$

Los arriates se pueden orientar siguiendo la máxima pendiente del suelo (fig. 56) o bien paralelamente a dicha pendiente (fig. 57).

Pendiente y dimensiones de los arriates.—Sea ABC (figura 49) el corte transversal de un arriate por el plano transversal que pasa por el caballete A; AE = *h* la altura del caballete por encima del plano de la base del arriate; CB la anchura *2l* del arriate y AB la anchura *a* del flanco; α el ángulo ABC. La *pendiente* o *tg* α del ala del arriate es igual a $\frac{h}{l}$.

$$tg \alpha = \frac{h}{l}.$$

La *longitud* del arriate está en función de la pendiente natural del terreno cuando el arriate sigue la dirección de esta pendiente.

Cuanto más acentuada, más corto será el arriate, es decir, que las obras de preparación serían demasiado importantes. Ordinariamente tiene de 25 a 30 metros. Cuando los arriates se construyen en dirección perpendicular a la pendiente del suelo, su longitud puede ser mucho mayor, con la condición de dar las convenientes dimensiones a la acequia que se utilizará para el riego.

Sea (fig. 50) OAF el corte longitudinal de un arriate por su arista OA. El arriate de longitud OA y altura AF se puede substituir por tres *arriates escalonados* cuya longitud sea para cada uno $\frac{OA}{3}$ y cuya altura sea $\frac{AF}{3}$.

El ancho de cada uno de estos arriates menores será el mismo que el del primitivo. Resulta que la pendiente de los flancos también será un tercio de la que tenían los flancos del arriate mayor. Si se substituye el arriate primitivo por otros cuatro menores, la longitud, la altura y la pendiente de estos cuatro arriates serían respectivamente iguales a la cuarta parte de la longitud, altura y pendiente del primero, y así sucesivamente. Substituyendo un arriate de longitud determinada por arriates de la misma anchura, pero de longitud submúltiple de la primitiva, se economiza el movimiento de tierras, pues el cálculo demostraría fácilmente que la suma de los volúmenes de estos arriates menores es muy inferior al volumen del arriate primitivo.

El principio de esta demostración y la figura que acompaña los hemos obtenido de M. Faure, profesor del Instituto agronómico.

Dispuestos los arriates en el sentido de la pendiente del suelo, su altura, longitud, anchura y pendiente lateral y la misma pendiente del terreno son cantidades relacionadas entre sí.

Supongamos que la pendiente del terreno sea del 2 por 100 y que se limite a 30 metros de longitud de los arriates. La

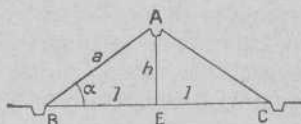


Fig. 49. — Corte de un arriate

altura, h , sobre el suelo de la cresta del arriate en el caballete, estará dada por la siguiente proporción:

$$\frac{2}{100} = \frac{30}{h}; \quad h = 0,60 \text{ metros.}$$

El arriate en su punto medio tendrá 0,30 metros de altura. Esta es la que llamaremos *altura media*.

La anchura $2l$ del arriate en tal punto, si ha de presentar una pendiente de 5 por 100, será de 12 metros.

Efectivamente, se tendrá:

$$\frac{0,30}{l} = \frac{5}{100}; \quad 2l = 12 \text{ metros.}$$

De la anchura del arriate y de la pendiente de las *alas* depende el ancho de éstas.

Tales son las relaciones geométricas entre estas cantidades dependientes unas de otras. Pero todavía dependen de otros factores. Deben responder a múltiples condiciones, algunas divergentes. Y esta complicación hace muy difícil el empleo de los arriates.

La pendiente media de los flancos del arriate depende de la naturaleza del suelo. En tierras ligeras, será del 4 por 100; en tierras fuertes, impermeables, del 6 por 100; en las de consistencia media, del 5 por 100.

Así, determinada esta pendiente, la longitud del arriate en función de la altura h y de la pendiente natural del suelo quedará determinada al propio tiempo, y lo mismo ocurrirá con la anchura del arriate.

Los arriates largos sólo convienen en tierras impermeables, con agua abundante. En los terrenos permeables se perdería mucha agua por filtración, ya fluyendo por largas tablas, ya por una larga acequia de riego.

Cuando los arriates están dirigidos en el sentido de la máxima pendiente del suelo, su longitud ordinariamente oscila entre los 25 y 30 metros. Si están dirigidos paralelamente a esta pendiente, pueden ser mucho más largos y alcanzar hasta 80 y 100 metros.

El ancho de las alas también varía según la permeabilidad del suelo. Deben ser tanto más estrechas cuanto más impermeable sea el suelo, y por ser estrechos los arriates ha de haber muchas acequias de desagüe y, por consiguiente, favorecen la desecación del suelo. No se pueden emplear otras en las praderas de terrenos pantanosos. Si el subsuelo es de mala calidad, hay que construir arriates estrechos y de pendiente pequeña, pues sería peligroso excavar el terreno muy profun-

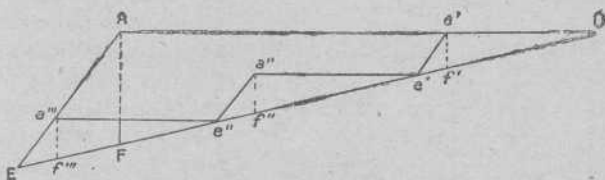


Fig. 50. — Escalonamiento de un arriate

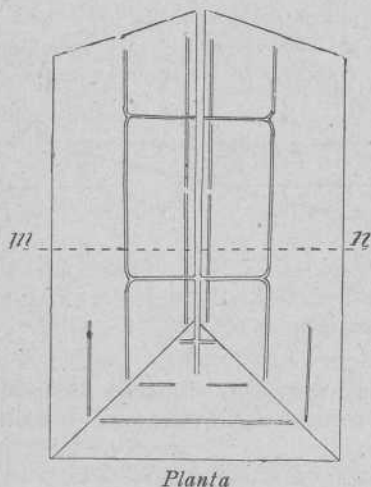
damente y elevar a la superficie grandes cantidades de tierra estéril. Por otra parte, los arriates anchos tienen la ventaja de exigir menos agua.

Finalmente, es preciso que las alas de los arriates sean bastante anchas para que los segadores corten la hierba. Su anchura debe ser múltiple de la de una faja de prado que se puede segar con un solo golpe de guadaña y que varía entre 1,80 y 2 metros. Debe tener como mínimo 4 metros y puede llegar a 36 metros y a veces más.

La anchura total de los arriates de flancos estrechos oscila entre 4,50 y 8,50 metros. Estos arriates tienen la ventaja de no requerir más que una razonable altura de la cresta sobre el terreno natural y, por consiguiente, exigen escaso movimiento de tierras. Además, la gran cantidad de acequias de desagüe que requieren, próximas entre sí, favorece la desecación del suelo.

Están muy indicados para praderas de suelo arcilloso, pero dificultan la circulación de las máquinas agrícolas y de los vehículos. Así es que cuando la naturaleza del suelo lo permite, convienen más anchos. Ya hemos dicho que se cons-

truyen desde 15 a 30 metros de anchura total; pero a fin de que el riego sea regular, hay que trazar entonces acequias horizontales sobre los flancos de los arriates y en la cresta. Las figuras 51 y 52 explican suficientemente esta disposición y



Corte por m n

Fig. 51. — Disposición especial para el riego de tablares de grandes dimensiones

a la acequia media ni a las de desagüe. Se trazan directamente con el nivel.

Los flancos deben tener una pendiente a propósito, según lo dicho anteriormente.

Estos arriates mayores exigen una remoción de tierra mucho más considerable que los menores. Su conservación es más difícil que la de los arriates estrechos. Los terraplenes se deforman y deprimen, sobre todo en los terrenos ligeros, y esto origina gastos. Pero el consumo de agua es menor en

no es preciso entrar en prolijos pormenores. Estas acequias auxiliares comunican con la de desbordamiento, que así se convierte en una acequia de distribución, por medio de pequeños canales transversales. De este modo, cada uno de los flancos del arriate representa un riego por acequias horizontales. También la acequia que sigue la cresta del arriate debe tener una pendiente y una sección mayor que cuando los arriates son estrechos.

Los flancos afectan la forma de una superficie alabeada que no permite trazar acequias de nivel paralelamente

igualdad de superficie con arriates anchos que con estrechos. Efectivamente, cuanto más grande es el ancho menos acequias de desbordamiento se necesitan para regar una misma superficie. Y ocurre que las acequias de desbordamiento, sobre todo

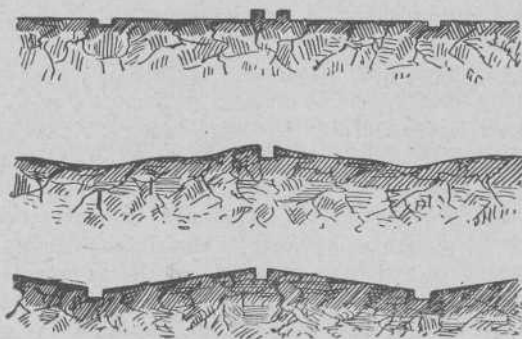


Fig. 52. — Construcción de arriates naturales. Los tres períodos

en suelos ligeros, producen considerables pérdidas de agua a causa de las filtraciones.

Las hileras de arriates pueden estar orientadas en el sentido de la mayor pendiente del suelo (fig. 56), o bien paralelas a esta mayor pendiente (fig. 57).

Ya veremos más adelante cómo están dispuestos estos compartimentos.

Arriates naturales, artificiales y escalonados.— El riego por circulación practicado según el método de los arriates comprende tres subdivisiones: 1.^a, los *arriates naturales*; 2.^a, los *arriates artificiales*; 3.^a, los *arriates escalonados*.

Cuando la forma del terreno lo permite, se debe recurrir a los arriates naturales, cuya construcción sólo exige el mínimo de obras.

Los arriates artificiales necesitan desmontes y terraplenes con frecuencia importantes. Pero es raro que el terreno se preste inmediatamente por su forma a la construcción de arriates. Y así como cuando se trata del riego por acequias

horizontales el método artificial es excepción, aquí es casi siempre el que se ha de practicar. No obstante, siempre que sea posible, habrá que preferir los arriates naturales.

Los arriates pueden estar dirigidos según la pendiente del terreno o perpendicularmente a ella. Por lo general, se adopta la primera orientación. En las siguientes consideraciones supondremos que es la escogida.

Los arriates, sean naturales o artificiales, pueden estar dispuestos unos encima de otros en *escalones* o *gradas*.

A. Arriates naturales.—Se empieza por abrir las acequias de desagüe; el césped y la tierra extraída se transportan al centro de los espacios que los separan. Con estos materiales se forman pequeños diques con taludes exteriores inclinados que han de limitar las acequias de distribución. Después, disponiendo poco a poco en cada lado las tierras procedentes de la limpieza de las zanjas, se llegará insensiblemente, a veces al cabo de muchos años, a formar los arriates. Si las aguas de riego son limosas, sus sedimentos auxiliarán notablemente la terminación de las obras. La figura 52 muestra las diferentes fases de la formación de los arriates.

Las acequias de desagüe indicadas en la figura 52 no suministran bastante césped ni tierra y la anchura de los flancos está tanto más limitada cuanto más fuerte es la pendiente. No puede exceder de 3 a 3,50 metros y las acequias de desagüe están muy próximas entre sí. Esto es ventajoso cuando se trata de prados muy húmedos. Pero estos arriates estrechos dificultan la cosecha.

Dunkelberg ha perfeccionado la construcción de los arriates naturales del modo siguiente: abre hasta una profundidad de 0,50 a 1 metro y en una anchura de 1,50 metros las acequias de desagüe. Así obtiene gran cantidad de césped y tierra que sirven para formar una banqueta de 4 metros de ancho y altura conveniente en medio del espacio reservado para el arriate (fig. 53). El resto del césped y de la tierra extraída de las acequias de desagüe y de la limpieza anual de los canales y surcos, permite enlazar poco a poco la cumbre del arriate con las acequias de desagüe, siguiendo la pendiente a propósito. La acequia de riego que ocupa la cresta del arriate no

riega directamente los flancos, sino que alimenta dos acequias de riego laterales que se ven en corte en la figura. Cada flanco se trata como un compartimento de un riego por acequias horizontales. Entonces se le puede dar una anchura hasta de 15 metros, lo cual corresponde para el arriate entero de unos 30 metros de anchura. La altura de cada arriate en el caballete depende de la pendiente de cada flanco, de la anchura del arriate y de la pendiente natural del terreno.

Supongamos que el arriate haya de tener 30 metros de anchura en el caballete y las alas 3 por 100 de pendiente; el

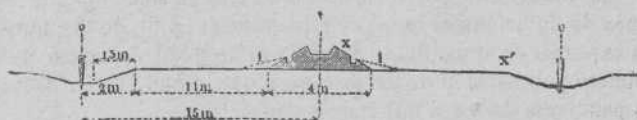


Fig. 53. — Arriates naturales de mucha anchura

caballete del arriate deberá estar en este punto a una altura de $0,03 \text{ m.} \times 15 = 0,45 \text{ m.}$ sobre el terreno natural.

La longitud del arriate depende a su vez de la pendiente del terreno natural, que suponemos igual a 2 por 100, y de la altura del arriate en el caballete. Aquí estará limitada a:

$$\frac{100 \times 0,45}{2} = 22,50 \text{ m.}$$

B. Arriates artificiales. — En la mayor parte de los casos será preciso construir artificialmente los arriates. Pero habrá que ingeniarse para construirlos, produciendo los mínimos desplazamientos de tierras, pues los desmontes y terraplenes consiguientes encarecen onerosamente este método.

DIMENSIONES Y PENDIENTES DE LOS TABLARES. — Las praderas que se transforman en arriates artificiales presentan a la acción del agua un suelo mucho menos compacto que si no hubiera sido removido más o menos profundamente. Así es que están mayormente expuestas a volverse húmedas. Por lo tanto, debe vigilarse la pendiente de los flancos con más cuidado que en las praderas regadas con arriates naturales. Su

pendiente no debe ser menor del 5 por 100 en el centro del arriate, sobre todo en terrenos arcillosos.

Lo que hemos dicho anteriormente de la longitud de los arriates y de su anchura nos dispensa de mayor explicación.

ACEQUIAS DE LLEGADA Y DE SALIDA DE LAS AGUAS.—Las acequias de distribución, tales como EF (fig. 48), toman el agua del canal de alimentación por medio de un registro de madera provisto de una compuerta. Según las disposiciones del arriate, tienen la orientación de la pendiente general del terreno o bien la perpendicular a ella.

Su fondo está por lo menos 0,30 metros más bajo que la línea de flotación del canal de alimentación, a fin de que nunca carezcan de agua. Su anchura y profundidad dependen del número y dimensión de los arriates a que deben servir. Basta la pendiente de 1 a 3 milímetros por metro.

A medida que se alejan del canal de alimentación, conducen un volumen menor de agua, puesto que disminuye el número de arriates que alimentan. Así es que se puede disminuir su anchura a medida que se aproximan al extremo opuesto a la toma del agua. Se les da de 0,25 a 0,50 metros de profundidad y 0,50 metros de anchura en el origen.

ACEQUIAS DE RIEGO.—Las secciones de las acequias de riego varían según las dimensiones de los arriates. En arriates de 25 a 30 metros de longitud y de 10 a 12 metros de anchura se puede dar a la acequia de riego 0,25 metros de ancho en su origen, con poca profundidad, sobre todo en terrenos permeables. En la generalidad de los casos no se les debe dar más de 0,05 metros, a fin de evitar las filtraciones y que siempre quede el fondo sobre el nivel del agua en los desagües. El agua se desborda de las acequias de riego a medida que avanza en su recorrido. Por lo tanto, es mayor la cantidad de agua que circula por la acequia en las partes cercanas al canal de distribución que en las más alejadas. La acequia de riego debe tener una sección regularmente decreciente a medida que se acerca al extremo del arriate. Las acequias, que en su origen tienen 20 centímetros de anchura y 10 centímetros de profundidad, sólo tienen en el otro extremo 10 centímetros de anchura sin profundidad.

Si las acequias de riego son demasiado mullidas, sobre todo en terrenos permeables, dejan que el agua se filtre en el suelo, lo cual se nota por la aparición de juncos.

Si el terreno fuese muy permeable, habrá que cubrir de arcilla el fondo de las acequias de riego.

Las crestas se establecen de 0,10 a 0,15 metros por debajo de las de la acequia de distribución. Los bordes deben tener una ligera pendiente, desde su origen próximo a la acequia de distribución hasta su extremidad, pues de lo contrario el agua se derramaría casi enteramente desde un principio. Si fuese demasiado grande, sólo se vertería al final. Se regula esta pendiente dando el agua y observando su marcha. Puede variar entre 1 y 4 ó 5 milímetros. El fondo de las acequias es ordinariamente horizontal. En las *marcitas*, las célebres praderas lombardas, tiene una ligera pendiente hacia la acequia de distribución (Hérisson), de modo que el agua retrocede en cuanto se acaba de regar. Estas acequias son más profundas que las que se emplean en las regiones del centro y del norte de Francia. Cuando la acequia de distribución sirve tan sólo a un corto número de tablares, se puede poner en comunicación con las de riego por medio de sencillas aberturas que, terminado el riego, se cierran con un puñado de césped.

Pero si la acequia de distribución debe regar una gran extensión de pradera, no es posible proceder tan sencillamente. Si en una acequia de esta importancia, con tan gran volumen de agua, se practicasen tantas aberturas como arriates hay, no sería fácil tapparlas con césped. Por otra parte, el empleo de registros y compuertas es muy caro.

Finalmente, un canal de cierta importancia debe tener una pendiente uniforme, mientras que la de una sencilla acequia de distribución puede ser menester modificarla si se baja la cresta de los arriates. La acequia de distribución, algo más alta que los tablares que se han de regar, comunica de trecho en trecho con acequias paralelas de menor sección, que sirven únicamente a tres o cuatro arriates. La comunicación se efectúa por medio de un registro de madera o de piedra, provisto de una compuerta sencilla, o bien por un tubo de alfarería que se tapa con césped, si es pequeña la toma de agua.

Estas comunicaciones no se colocan frente a las acequias de riego, sino un poco más atrás, a fin de que el agua, con la velocidad adquirida, no se precipite en la primera acequia que encuentre, sin llenar las demás.

ACEQUIAS DE DESAGÜE. — Se sabe que su objeto es evacuar inmediatamente toda el agua que reciben y secar el prado. Tanto más pronto alcanzan su objeto cuanto mayor es su pendiente. Van ensanchándose desde el origen del arriate hacia el final, porque reciben masas de agua cada vez mayores. Su pendiente mínima debe ser de 5 milímetros por metro para que el saneamiento del terreno se efectúe.

Su anchura es de 25 a 30 centímetros y su profundidad de 20 centímetros en la confluencia con el canal colector, cuyo nivel ha de ser siempre inferior al fondo de la acequia.

El agua llevada al suelo por las acequias no debe nunca quedar estancada. Para producir efectos benéficos es preciso que salga rápidamente en cuanto haya ejercido su acción.

ACEQUIAS COLECTORAS DE LAS DE DESAGÜE. — Las dimensiones de estas acequias, como GH (fig. 48) y AA' (fig. 55), están en relación con la cantidad de agua que reciben. Cuando las aguas no sirven más que una vez, las evacuan y las vierten a un canal que las lleva lejos. El canal BB' (fig. 55), que debe dar agua a los tablares del piso inferior, se enlaza entonces con el de distribución. Lo más frecuente es no desechar el agua hasta después de servir varias veces, y entonces el agua que sale de los pisos superiores riega los inferiores. Insistiremos en esto más adelante. En tal caso, AA' (fig. 55) es una acequia de poca profundidad que desborda el agua ya aprovechada por encima del camino C, desde donde llega a la acequia de distribución BB', que la reparte por las de distribución del piso inferior.

CAMINOS DE SERVICIO. — Entre dos series de arriates se trazan caminos de servicio, tales como C (fig. 55), de 1,50 a 3 metros de ancho, plantados de césped y regados por la acequia colectoras de los desagües, dispuesta inmediatamente encima de ellos. Sirven para el tránsito de los vehículos. Si no son necesarios, se reúnen en una sola las dos acequias AA' y BB' para

formar la acequia de desagüe del piso superior y de distribución para el inferior.

ORIENTACIÓN DE LOS ARRIATES.— La más conveniente es de sur a norte. No obstante, aquí también, como recomendamos siempre, hay que tener en cuenta la configuración del

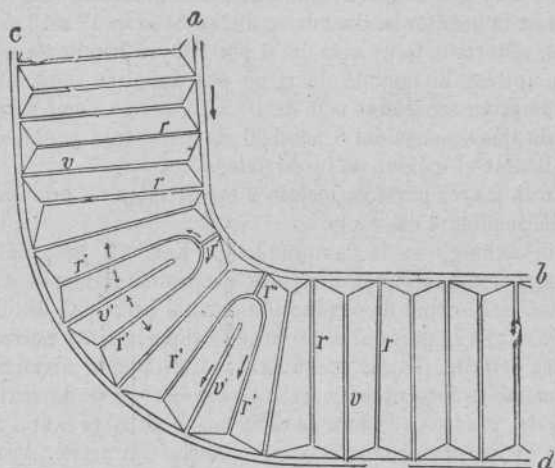


Fig. 54. — Disposición de los arriates en terreno quebrado

a, b, canal de distribución. — *r, r'*, acequias de riego. — *v, v'*, acequias de desagüe

terreno y no posponerla a una ventaja que en definitiva es muy leve.

Los arriates están siempre orientados de sur a norte en terreno horizontal, porque entonces la dirección del canal de distribución es indiferente.

Los canales de distribución siguen la dirección de las horizontales del terreno y a ellos se ha de subordinar la dirección de los arriates. Las horizontales pueden tener en el plano forma sinuosa, con partes netamente convexas y otras cóncavas.

La figura 54 representa el trazado de los arriates cuando la curva de su silueta se dibuja francamente. Las acequias de desbordamiento *r, r'* forman pequeñas horquillas en los para-

jes de mayor curvatura. Cuando las horizontales sólo son ligeramente onduladas, basta dirigir las crestas de los arriates según las perpendiculares comunes a las horizontales sucesivas del terreno.

Estas horizontales están espaciadas sobre el plano vertical de 25 a 30 centímetros, siendo tanto más próximas cuanto más fuerte es la pendiente. Cuando su distancia es de 10 a 13 metros o más, el terreno tiene más del 3 por 100 de pendiente y se le puede aplicar el método de riego por acequias horizontales. Cuando están separadas más de 10 a 13 metros, como máximo, el suelo tiene menos del 3 por 100 de pendiente y solamente es aplicable el método de los arriates.

En la mayor parte de los casos los arriates se orientan según la pendiente del suelo.

Sin embargo, en la Campine belga, Keelhoff ha empleado exclusivamente arriates dirigidos perpendicularmente a esta pendiente. El canal de conducción o canal principal de distribución ocupa la parte alta del prado y tiene la misma dirección que los arriates. Varias acequias de distribución arrancan de este canal y descienden paralelamente entre sí de arriba a abajo del prado. Cada una de estas acequias sirve a una doble hilera de arriates, hasta el borde inferior del prado. Abajo, y dirigido en el mismo sentido que el canal principal de distribución, se extiende el canal principal de evacuación de las aguas.

Las acequias de distribución se construyen en terraplén, así como el canal que las alimenta, a menos que naturalmente se halle situado a nivel superior de la pradera.

Las acequias de desagüe pueden ser comunes a dos series consecutivas de arriates e independientes entre sí. En este caso, el espacio libre que las separa forma un camino practicable para los vehículos. Algunas acequias de nivel alimentadas por el canal superior sirven para regar.

Los arriates perpendiculares a la pendiente del terreno necesitan menos remoción de tierras que los otros. El ala situada aguas arriba está un poco en desmonte y la que está aguas abajo forma un ligero terraplén. Resulta de ello que basta echar la tierra con la pala, siguiendo la anchura del arriate, y no hay que efectuar ningún transporte de uno a otro extremo del tablar.

Es una condición económica que da mucha ventaja a esta disposición de arriates; pero sólo se puede adoptar en terrenos de pequeña pendiente.

El estudio de esta pendiente permite fijar el sentido de la dirección de los arriates.

EMPLEO DEL AGUA DE LOS DESAGÜES. — Los tablares de un piso inferior pueden regarse con agua nueva tomada del

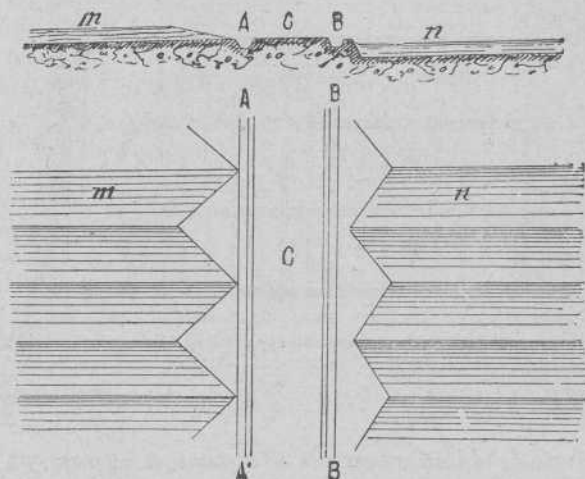


Fig. 55. — Corte y planta de la porción de terreno en donde terminan los tablares de un piso superior y donde empiezan los de un piso inferior

canal de riego colocado en la parte superior del terreno. En este caso basta poner el canal de distribución en comunicación directa con él; pero es ventajoso, desde el punto de vista de la economía del agua, emplear la del canal de desagüe. A este efecto, se puede establecer comunicación directa entre este canal y el de distribución del piso siguiente; o bien pueden confundirse los dos canales en uno solo. Entonces el canal único es de desagüe para los pisos superiores y de distribución para los tablares inferiores. Es el procedimiento más sencillo. Las figuras 56 y 57 representan esta disposición para las dos orientaciones de los tablares.

La figura 55 representa en corte y en planta, según Ch. de Cossigny, una porción del terreno donde acaban los arriates de un piso superior y principian los de otro inferior. Estos arriates están dirigidos en el sentido de la pendiente de la pradera, que se supone que desciende de izquierda a derecha. El canal de alimentación ocupa la izquierda de la figura y desciende de arriba abajo de la página. Alimenta las acequias de desbor-

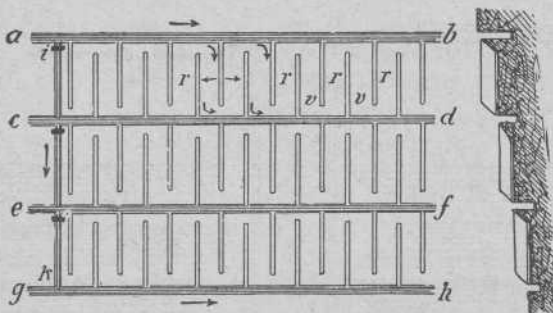


Fig. 56. — Reaprovechamiento del agua (arriates dirigidos según la pendiente del terreno)

a, b, c, d, e, f, g, h, canales de distribución y de desagüe.—*r, r, r*, acequias de riego.
v, v, v, acequias de desagüe.

damiento de la primera serie *m* de arriates. *A*, en corte, y *AA'*, en planta, representan el canal de desagüe donde se reúnen los desagües de cada arriate; *C* figura el camino acondicionado para el paso de los vehículos; *BB'*, el canal de distribución que alimenta las acequias de distribución de la segunda serie *n* del piso inferior.

Si el agua sólo ha de servir una vez, el canal de desagüe *AA'* envía las aguas que ha recogido a un canal de salida y el canal *BB'* comunica, más arriba de la figura, con el canal de conducción o con el órgano principal de distribución.

Si el agua recogida en la acequia *AA'* ha de regar el piso inferior, se desborda y riega primero el camino *C*, y se reparte en el canal *BB'* que la distribuye a las acequias de desbordamiento de los arriates *n*. Se puede suprimir el riego del camino *C* haciendo que los canales *AA'* y *BB'* comuniquen entre

sí por pequeñas regueras transversales. También, si no es necesario, se puede suprimir el camino C, confundiendo en una sola las dos acequias AA' y BB'.

La disposición anterior se reproduce sucesivamente en todos los pisos del prado. Así se pueden superponer un gran número de pisos, hasta veinte o treinta. El agua se vuelve a emplear

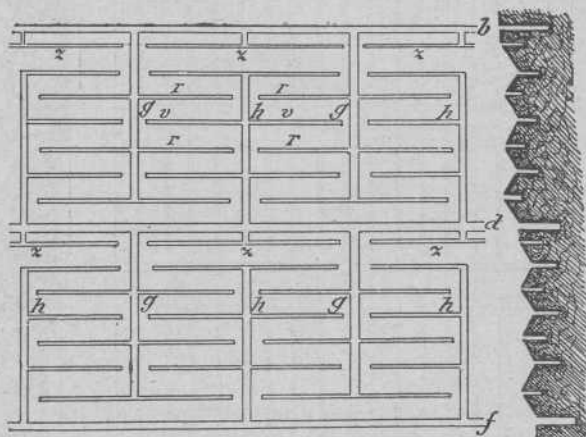


Fig. 57. — Reaprovechamiento del agua
(arriates dirigidos paralelamente a las curvas de nivel)

g, g, acequias de distribución. — *h, h*, canales de desagüe. — *r, r*, acequias de riego.
v, v, acequias de desagüe.

el mismo número de veces; pero conviene tener montada la disposición para suministrar directamente a cada piso agua nueva. Se satisface esta condición construyendo un canal *ik* (fig. 56) que desciende a lo largo del prado y por cuyo medio se puede mandar agua a cada uno de los canales *cd*, *ef*, *gh*.

Es mejor no volver a emplear las aguas procedentes de desagües hasta que hayan circulado al aire libre. A este objeto, con las aguas del primer piso se riega el tercero y con las del segundo el cuarto, después de regar los dos primeros con agua nueva. Los canales de desagüe siguen cada vez un circuito bastante largo, durante el cual se mejoran las aguas.

La figura 58 demuestra la disposición para arriates orientados según la pendiente del terreno.

La figura 56 corresponde a una disposición sencilla y, por consiguiente, práctica. La figura 56 reproduce una combina-

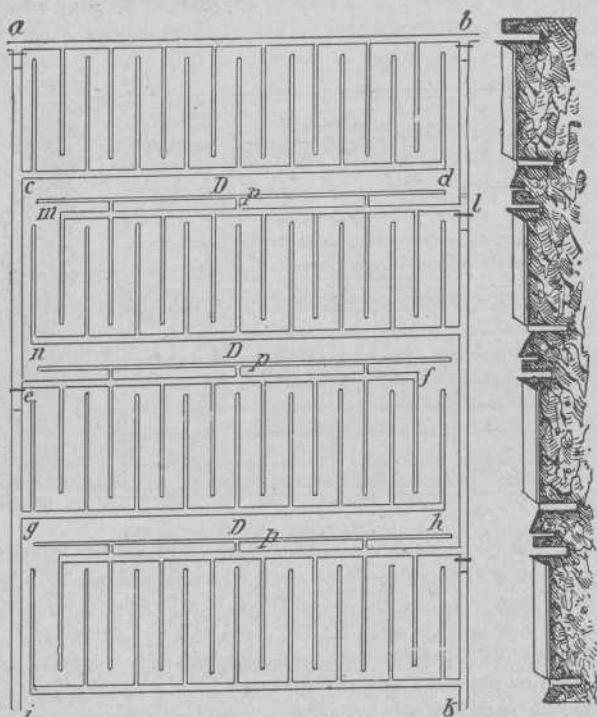


Fig. 58. — Riego por tablares en arriates dirigidos normalmente a las curvas de nivel con reaprovechamiento del agua

ab, ef, acequias de riego. — *cd, gh* acequias de desagüe

ción de acequias, cuya ejecución exige mucho movimiento de tierras y no pocos cuidados. Por esto, a nuestro entender, no es práctica y aconsejamos que, antes de adoptarla, se vea si es posible utilizar alguna otra más sencilla.

En las mejoras agrícolas hay que tener en cuenta el aspecto económico y evitar obras que no sean ampliamente reproductivas.

C. Arriates escalonados. — En terrenos casi llanos, alargados en un sentido y restringidos en otro, entre límites estrechos, puede convenir la disposición llamada de *arriates en gradería* o *escalonados*. Se suprimen las acequias principales

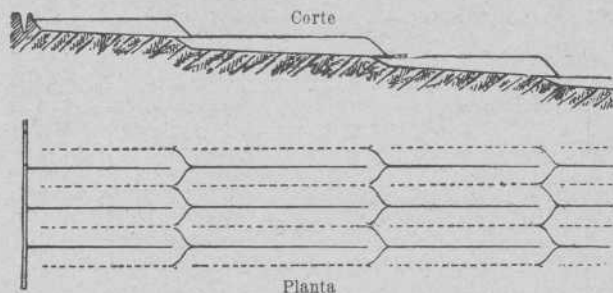


Fig. 59. — Arriates escalonados o en gradería (primera disposición)

de desagüe, las de distribución y los caminos. El conjunto de estos arriates forma largos rellanos o escalones separados cada cual del siguiente por un resalto de poca altura. Estos arriates son de fácil construcción, ya por el método natural, ya por el artificial. Pueden tener 100 metros de longitud y la de cada escalón depende de la pendiente del terreno. Se puede adoptar una u otra de las siguientes disposiciones:

En la primera (fig. 59), el conjunto de arriates forma una larga tabla y cada acequia de riego termina en un pequeño resalto o plano inclinado. Las acequias de desagüe se reúnen al final de cada piso para llevar el agua a la de riego del piso inmediatamente inferior.

En la segunda disposición (fig. 60), a cada acequia de desagüe de un arriate corresponde la de riego del arriate inmediatamente inferior. Estas dos disposiciones no permiten mandar agua nueva a los pisos situados debajo del primero. La figura 61 representa una instalación en que el agua nueva

puede llegar al último piso. La proyección horizontal de los arriates y el corte longitudinal según el eje de un piso dan idea bastante exacta de la marcha del riego. Las acequias de riego del primer piso se prolongan gracias a las suaves pendientes *b, b, b*, sobre el segundo piso, de modo que sigan la

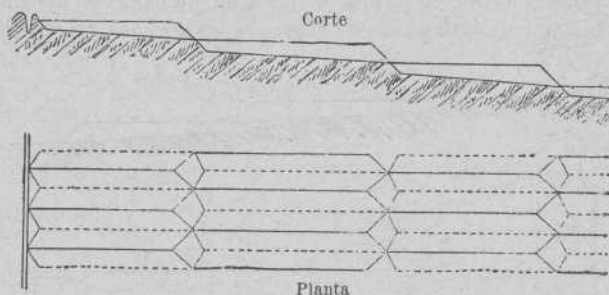


Fig. 60. — Arriates escalonados o en gradería (segunda disposición).

línea de cresta, y luego se prolongan sobre el tercero, por las pendientes *b, b, b*, etc., hasta el último piso.

La figura 62 representa el plano de una parte de los prados regados de la hermosa explotación agrícola de MM. Muret hermanos, en Noyon sur-Seine (Sena y Marne). Se emplea el método de tablares en arriates de poca altura. Las aguas de riego las proporciona el arroyo del Molino de Campo Alto. He aquí algunos informes sobre las condiciones en que se efectúa el riego.

El arroyo citado en el momento de los riegos tiene un caudal de 20 a 25 hectolitros. Generalmente los riegos se efectúan desde 1.º de abril a fines de septiembre. No obstante, cuando la primavera es fría no comienzan hasta después del 1.º de abril, a fin de evitar las heladas. Cada riego dura veinticuatro horas. La pendiente media de los canales de conducción, tales como A, A, es de 0,0036 metros (3,6 milímetros) por metro. Las acequias de riego I, I' tienen una pendiente de 0,0032 metros (3,2 milímetros) por metro y la misma es la de las acequias de desagüe C, C, C.

El gran canal de desagüe D, D, D (oeste) tiene una pendiente de 0,0041 metros, y el pequeño D, D, D (este), de 0,002. La anchura de los tablares entre dos acequias de desagüe varía entre 20 y 25 metros. La longitud máxima es de 220 metros.

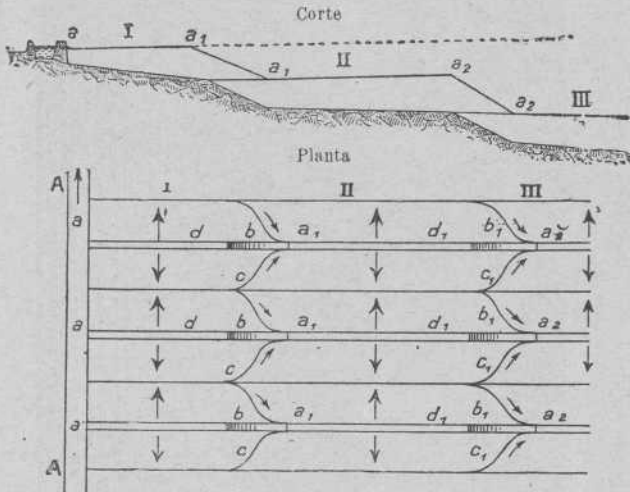


Fig. 61. — Arriates escalonados o en gradiería (tercera disposición)

La pendiente de los flancos de los arriates es de unos 2 centímetros por metro.

CANTIDAD DE AGUA NECESARIA PARA LOS ARRIATES. —

El riego por arriates exige mayor cantidad de agua que los otros métodos. Por esto sólo se emplea en los países que disponen de mucha agua, como en el norte de Francia generalmente, y no en el mediodía. Vincent estima que la cantidad de agua necesaria varía según la anchura de los arriates en las siguientes proporciones:

| Anchura de los tablares | Cantidad de agua en litros por segundo | Correspondiente altura de agua |
|----------------------------|---|-----------------------------------|
| 8 metros | 120 | 1,04 m. |
| 12 » | 90 | 0,78 m. |
| 16 » | 60 | 0,52 m. |

Pero se trata de riegos fertilizantes ejecutados en el norte de Alemania, y estas masas de agua son enormes.

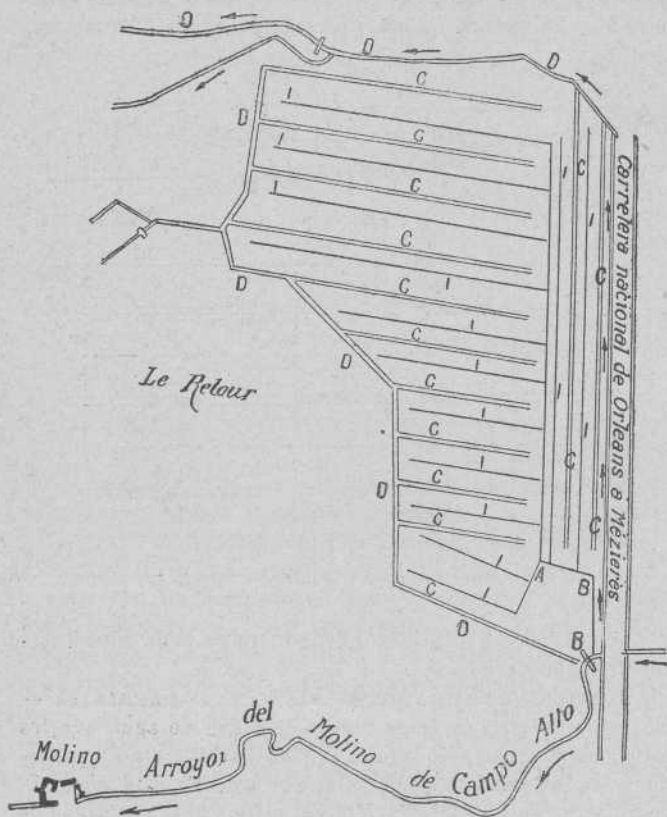


Fig. 62. — Riego de las praderas de los señores Muret hermanos, en Noyon-sur-Seine (Sena y Marne)

A, A, A, canal de conducción. — I, I, I, acequias de riego. — C, C, C, acequias de desagüe. — D, D, D, canales de desagüe grandes y pequeños.

Dünkelberg estima el riego perfecto en 42-53 litros de gasto continuo por segundo, muy bueno con 35 litros, bueno con

28 litros, suficiente con 17 litros. También aquí se trata de Alemania y de riegos fertilizantes.

Para determinar el número y extensión de los tablares que pueden alimentarse con una misma toma de agua, Charpentier

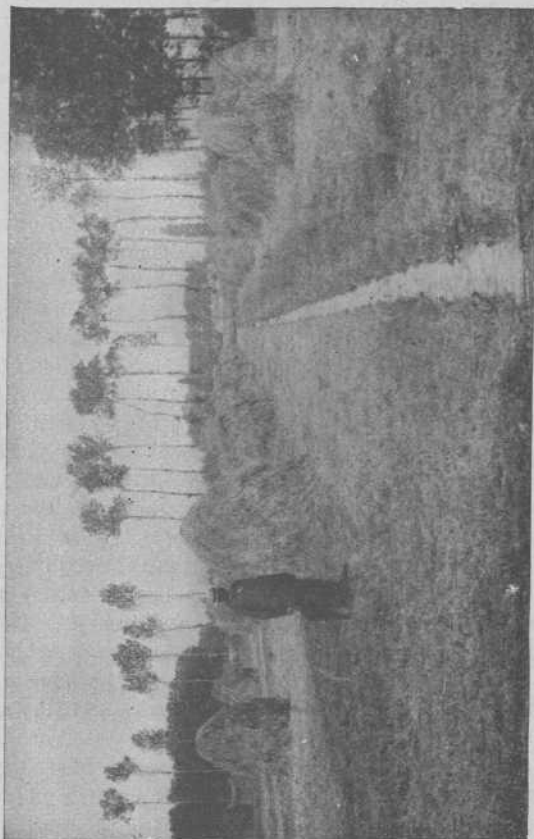


Fig. 63. — Riego de las praderas de la hacienda de los señores Muret hermanos, en Noyon-sur-Seine (Sena y Marne)

Vista de dos tablares de arriates separados por una acequia de desagüe

de Cossigny estima, de acuerdo con los regantes alemanes, que el gasto de un litro por segundo puede alimentar a lo sumo 20 ó 30 metros de acequia de riego que vierta el agua por

ambos lados. Añade que vale más fraccionar el espacio regable, cuando se dispone de poca agua, y regar las parcelas una tras otra, que diseminar el agua por vastos espacios sin otro resultado que humedecerlos solamente. Por otra parte, lo más frecuente es que las cantidades de agua disponibles varíen según las estaciones, y hasta el momento del riego no se podrá aumentar o disminuir la extensión del espacio regado.

Ventajas e inconvenientes del método de riego por arriates.

— Es el único medio que permite regar enérgicamente con agua corriente los terrenos de menos de 3 por 100 de pendiente. Y esta ventaja es tanto más notable cuanto más débil es la pendiente y el suelo menos permeable. En efecto, se podría regar por el método de acequias horizontales un terreno casi llano, con tal que fuese permeable y se dispusiese de mucha agua; pero sería imposible proceder de esta manera en un terreno impermeable o pantanoso.

Los arriates, gracias a sus pendientes y sus múltiples acequias de desagüe, dispuestas hasta a 4 ó 5 metros de distancia entre sí, establecen un enérgico drenaje y, en resumidas cuentas, permiten dar a la pradera su más alto grado de fertilidad. A los arriates hay que recurrir en los riegos de invierno y cada vez que se deseen emplear grandes volúmenes de agua para fertilizar el suelo. Gracias también a ellos se han podido establecer las praderas de invierno llamadas *marcitas* en Italia. El rápido movimiento que dan al agua permite que en invierno discorra largo tiempo por el suelo sin perjudicar a las plantas.

El más grave inconveniente de este procedimiento es lo bastante costoso y que su instalación necesita mucho cuidado y destreza. El riego se ha de vigilar atentamente, porque algunas piedras u hojas abandonadas en una acequia cualquiera pueden comprometer el riego regular de los arriates. Por otra parte, la transformación del suelo en tablares o parcelas bombeadas y separadas por fosos no es ventajosa para el empleo de las máquinas agrícolas. Y este inconveniente es hoy tanto más deplorable en vista de que la escasez de mano de obra obliga cada día a recurrir más a las máquinas. Y por fin, las mismas circunstancias dificultan la circulación de los vehículos que transportan la cosecha. Se emplea casi exclusivamente

en los países del norte, donde abunda el agua. Cuando hay poca se substituyen los arriates por pequeños diques de sumersión para el riego de praderas de pequeña pendiente.

2. — Riego por sumersión o a manta

El sistema de riego por sumersión, llamado también a *manta*, consiste en cubrir el suelo de una capa más o menos gruesa de agua que permanece en la superficie durante más o menos tiempo.

Requiere, por lo general, que el terreno presente una superficie plana, sensiblemente horizontal, de pendiente muy débil, 2 por 1.000 a lo sumo, y que no sea impermeable. La superficie que se quiere regar se rodea de pequeños diques. Si la pendiente fuese grande, estos diques habrían de ser altos y emplear más agua, con lo que se invalidaría la principal ventaja de este sistema, que consiste en su sencillez y economía. Además, el agua en grandes masas socavaría el terreno. Pero en el Mediodía, donde se emplea poca agua, *reduciendo mucho la superficie de las parcelas sumergidas*, se puede aplicar este método a los terrenos de hasta 1 a 2 por 100 de pendiente.

Este procedimiento es uno de los mejores para el riego de praderas cuya pendiente sea de 1 a 1,5 mm. por metro. Comprende tres métodos distintos:

1.º La *sumersión natural*, que resulta del desbordamiento espontáneo de una corriente de agua o de la inundación provocada artificialmente elevando el nivel de las aguas;

2.º La *sumersión artificial sencilla*, en la que las aguas mantenidas entre dos diques permanecen estancadas mientras dura el riego;

3.º La *sumersión artificial con circulación continua*. El agua circula suavemente por la superficie del terreno sumergido. Se renueva de un modo lento y continuo.

Cuando se riega con aguas que acarrean limo y arenas, estos materiales, con frecuencia muy ricos en elementos fertilizantes, se depositan en la superficie del suelo durante la permanencia del agua. Entonces el riego por sumersión va acompañado del atarquinamiento.

1.º Sumersión natural.—Muchos terrenos están expuestos a las crecidas de las corrientes de agua que los atraviesan. Esta sumersión natural es causa de gran riqueza. Tales son, por ejemplo, Egipto y las pampas de la América del Sur. En Francia, grandes extensiones de praderas deben su fertilidad a riegos periódicos de esta índole. Así las zonas comprendidas entre los diques y el estiaje del Ródano, de Aviñón al mar, se sumergen en todas las avenidas medias y ordinarias que ocurren durante el invierno. Las plantas (cereales, viñas, alfalfa, etc.) se desarrollan sin abonos y casi sin cultivo. Así es que, a pesar de estar expuestas a los perjuicios de las inundaciones estivales, las tierras valen de 2.500 a 3.000 francos la hectárea, mientras que los carrascales situados fuera de los diques y que en caso de inundación quedan anegados, valen a lo sumo 300 francos, lo mismo que los páramos improductivos. Citemos también las praderas ribereñas del Saona, desde Gray a Lyon, y las de gran número de ríos de Normandía, etc.

Las condiciones esenciales de estas sumersiones naturales son: pendientes longitudinales muy débiles (0,40 a 0,45 m. por kilómetro como promedio) y pendientes transversales bastante sensibles para que las aguas de inundación vuelvan a entrar por sí mismas en su lecho primitivo.

2.º Sumersión artificial sencilla.—Requiere un suelo llano de poca pendiente que no exceda de 2 por 1.000, *a menos de restringir mucho la extensión de las parcelas sumergidas.*

Si la pendiente fuese muy fuerte, no se depositarían los sedimentos y limos que dan ventaja a este método. Además, se correría riesgo de que las aguas descalzasen o arrastrasen la tierra vegetal. Finalmente, sería necesario que las cuencas de sumersión, a menos que, como en el sur de Francia, *fuesen muy reducidas*, estuviesen rodeadas de diques muy altos, con lo que el procedimiento perdería sus ventajas económicas.

Consiste en sumergir el suelo bajo una capa de agua de cierto espesor, durante un lapso variable según la estación.

El terreno se divide en compartimientos regulares (fig. 64), rodeados de pequeños diques que retienen el agua.

Lo más frecuente es que las aguas, después de regar un compartimiento superior, rieguen después el inferior.

Los compartimientos que dividen la superficie regada son de extensión variable. En general no exceden de 10 a 30 áreas.

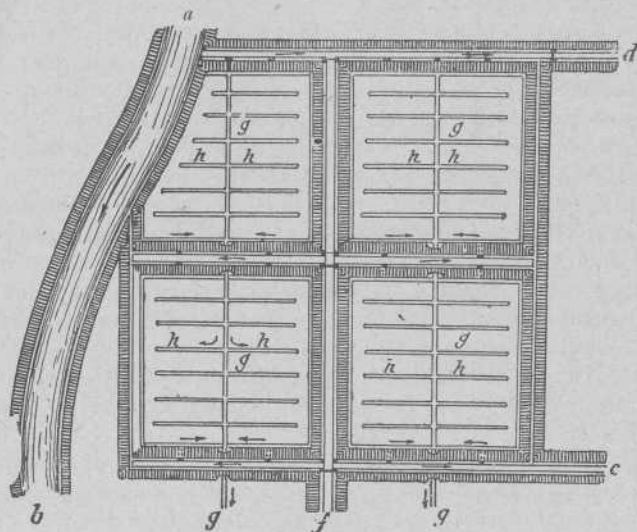


Fig. 64. — Riego por sumersión
Planta de una instalación de cuatro compartimientos

Se les puede dar unos 50 metros de anchura y la longitud depende de la pendiente del terreno

Los diques que los rodean exceden en todas partes 25 centímetros sobre el nivel del agua.

La altura media del agua sobre la superficie del suelo es de 0,15 metros. En el punto más alto el nivel del agua está a 0,05 metros sobre el suelo; en el punto más bajo, a 0,25 metros; el promedio es 0,15 metros.

En el centro de cada compartimiento y en sentido de su longitud, es decir, en el de la pendiente del suelo, se abre una reguera *g* (fig. 64) que sirve a la vez para conducción de las aguas y de zanja de saneamiento.

A este objeto puede ir acompañada de pequeñas regueras laterales *h*. En el origen y en la extremidad de cada compartimiento, la reguera *g* lleva una entrada de madera con compuerta, para retener las aguas en un compartimiento o dejarlas pasar al siguiente.

La reguera *g* debe tener una pendiente aproximada de 0,001 metros por metro. La anchura en el fondo y su profundidad dependen, naturalmente, de la superficie del compartimiento y de la cantidad de agua que se envíe.

El prado debe formar un plano horizontal en sentido de su longitud e inclinarse ligeramente con una pendiente de 0,005 metros hacia uno y otro lado de la reguera *g*. De este modo la pradera se deseca por completo después de la sumersión.

El nivel del agua en la acequia de alimentación *d* debe ser siempre algunos centímetros más alto que el del lado superior del plano inclinado que forma la pradera, a fin de que ésta quede enteramente sumergida.

La figura 64 representa la subdivisión de la pradera en cuatro recipientes que forman otros tantos saetines, cuya longitud depende de la pendiente del terreno.

Por ejemplo, es preciso que el nivel del agua en el segundo compartimiento sea inferior en 1 ó 2 centímetros al del fondo de la reguera *g* del primer saetín. Con este requisito el agua contenida en el primer saetín podrá pasar al segundo.

Suele rodearse el terreno de pequeños diques, después de rellenadas las depresiones y enrasados los montículos. Este método es económico, pero en la mayor parte de los casos las aguas de un saetín inferior refluyen al superior e impiden el desecamiento. Es mejor practicar algunas obras de explanación.

Ejecución de las obras.—Se empieza por dividir el terreno en compartimientos de conveniente anchura, por ejemplo, 50 metros.

En seguida cada compartimiento se subdivide por una línea central que indica la dirección de la reguera *g*, que se jalona y nivela, para averiguar en cuántos saetines debe dividirse la pradera. Después hay que preocuparse en dar horizontalidad al suelo de cada saetín en sentido de su longitud.

Para evitar grandes movimientos de tierra, es indispensable que los desmontes compensen los terraplenes, y al efecto se

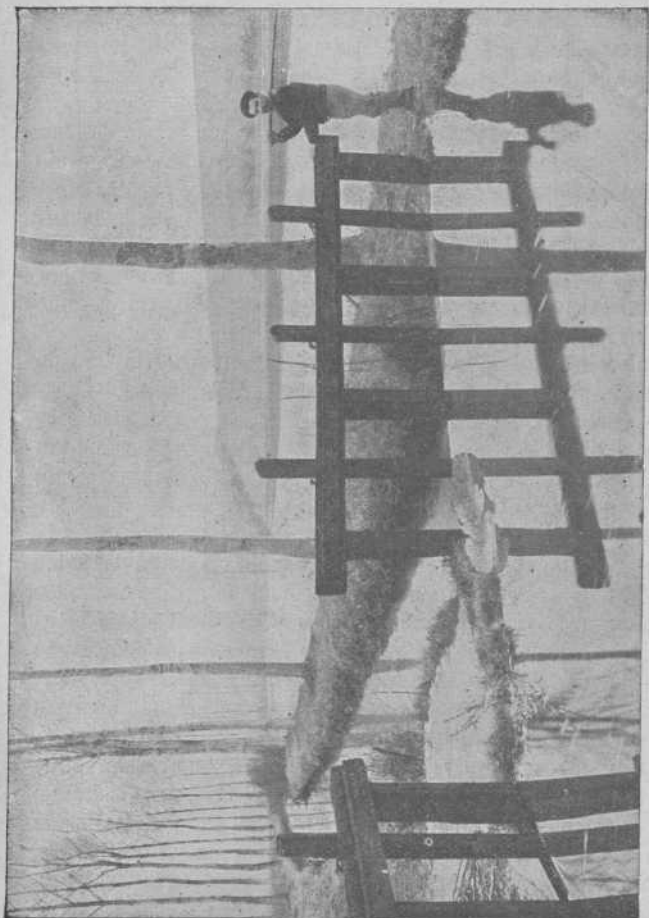


Fig. 65. — Pallizadas de desviación y riego por sumersión en la hacienda de M. P. de Malliard, en Saint-Loup-sur-Semouse (Alto Saona)

El agua empieza a *sumergir* la pradera situada a la derecha del grabado

coloca el operador en medio de cada saetín y con el nivel mide las cotas de todas las depresiones y elevaciones de terre-

no. El promedio de estas cotas es la del plano horizontal que se debe dar al terreno para compensar las excavaciones con los terraplenes. Bastará, pues, colocar el centro de cada saetín a la altura de esta cota para que las tierras suministradas por las excavaciones procedentes de la parte superior del compartimiento formen los terraplenes necesarios para la construcción del compartimiento inferior.

En seguida se abre la reguera *g* y se trazan los diques con auxilio del nivel y las niveletas (1). Las tierras procedentes de la excavación de la reguera bastan generalmente para la construcción de los diques. Se cubren las crestas del surco de saneamiento, la superior de los planos inclinados y las de los diques, con tepes de 0,10 metros de ancho. El perfil de la obra queda así claramente definido. En seguida se excava el suelo y al propio tiempo se le da el perfil deseado.

La construcción, tal como acabamos de describirla, ha sido indicada por Keelhoff para las praderas sumergidas de Campine (Bélgica), en suelo permeable. En los demás países se apartan más o menos de ella y con frecuencia se contentan con igualar el terreno sin cuidarse de ponerlo rigurosamente horizontal en sentido de su longitud.

A veces el canal medio *g* sólo sirve para la conducción de aguas, y entonces las crestas sobresalen ligeramente del suelo de la pradera, cuya pendiente transversal se dirige hacia los diques paralelos a este canal. En este caso se construyen al lado y en el interior del compartimiento canales de desagüe para desecar el prado. Los compartimientos conservan la pendiente natural del suelo en sentido de su longitud, mientras sea poca dicha pendiente.

Ventajas e inconvenientes del riego por sumersión artificial sencilla.—Permite regar superficies de poca pendiente, con cantidades de agua demasiado cortas para utilizarlas de otro modo. Transforma en tierras fértiles suelos mediocres, siempre que sean bastante permeables y el agua contenga limos ricos en principios nutritivos.

(1) Sobre este punto véanse las nociones de nivelación que exponemos más adelante a propósito del *Drenaje*.

Su instalación y conservación son muy sencillas y baratas. Utiliza las corrientes de agua con sus fertilizantes sedimentos que sólo pueden aprovecharse en las crecidas. Es el único método de riego a propósito para el pastoreo.

El agua protege a las plantas contra las heladas, destruye los animales nocivos y la maleza (musgos, etc.). Permite lo mismo los cultivos arables que los de pradera y es particularmente valiosa para, por medio del colmataje, convertir en tierras fértiles los terrenos pedregosos.

Por otra parte, suaviza los forrajes, cuya calidad es, no obstante, siempre inferior a la del heno cosechado en prados regados con agua corriente. El suelo impermeable da malos resultados. Rara vez se puede aplicar en el momento de la vegetación y mientras dura impide la aireación del suelo. Finalmente, no conviene a todas las plantas, y menos a las leguminosas que a las gramíneas.

El riego por sumersión se emplea sobre todo en el cultivo del arroz (1). En Francia se aplica a los prados y a las viñas, que quedan perfectamente protegidas contra la filoxera. Además, puede aportarles limos fertilizantes.

(1) **Riego de los arrozales.** — El arrozal ha de estar completamente cubierto por el agua, pero sin quedar estancada, sino que ha de circular con muy poca velocidad. Sin agua no germinaría la semilla, y, en cambio, si quedara estancada enfermaría la planta, además de producir el paludismo en la comarca.

El terreno destinado al cultivo del arroz ha de ser enteramente llano, es decir, sin ondulaciones ni quebraduras y con la pendiente indispensable para la lenta circulación del agua. Se divide el campo en tablas delimitadas por unos diques o atillos de tierra.

Unos, como B (fig. 65 bis), están trazados longitudinalmente en el sentido de las labores y del movimiento del agua, al paso que otros, como los señalados en la misma figura con la letra C, van en sentido transversal y en dirección perpendicular a los primeros. Así queda el arrozal dividido en un número de cuadrilongos o cuadrados, según el caso, que, vistos desde cierta distancia, producen el efecto de un tablero de ajedrez. La superficie de estos cuadriláteros será mayor en los puntos de mayor pendiente, con objeto de que sean horizontales. En cambio, si en la comarca dominan los vientos, habrá que restringir la superficie de los tableros para que no se forme oleaje, que desarraigaría los brotes. Las dimensiones de los diques son, por lo general, de 0,16 metros en la parte superior del tablero y 0,60 en la inferior. El grueso en la base es de 0,60 metros y de 0,16 en la cresta, con lo que también sirven de sendero.

Una vez construídos los diques, se da el agua a las parcelas o tablero, D y J, de modo que la capa líquida tenga unos 0,12 metros de espesor. Hecho esto se practican en el dique inmediatamente inferior una o varias aberturas E,

Modo de dar el agua.— Se cierra la compuerta de la extremidad de la acequia de desagüe y se abre la de arriba. En cuanto el agua alcanza la altura deseada, se restringe la abertura de introducción. Los riegos se practican en primavera y en otoño, y su duración y número dependen de la naturaleza del suelo y estado de la vegetación. El riego prolongado en vegetación activa no tardaría en destruirla. En otoño y en

de 0,20 a 0,30 metros de ancho, por donde fluye el agua a las parcelas siguientes, y una vez llenas, se van agujereando uno tras otro los diques transversales, de modo que el agua riega todo el arrozal hasta desembocar por la abertura del último dique en la acequia de desagüe F. Fácilmente se comprende que de esta

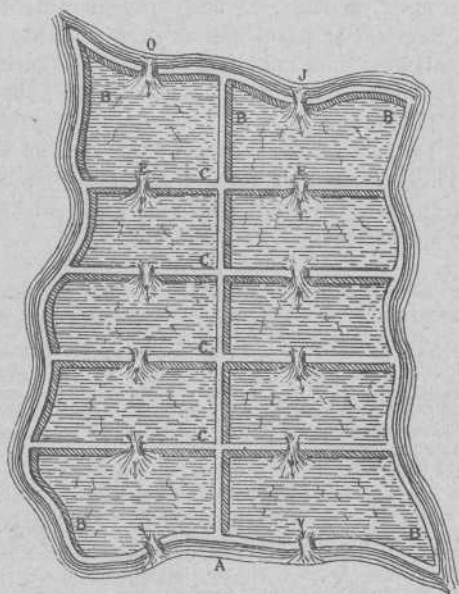


Fig. 65 bis. — Disposición de un arrozal dividido en tablas o cuadriláteros de riego

suerte queda el arrozal convertido en un conjunto de compartimientos estancados, por donde el agua fluye tan lentamente, que parece como si estuviese encharcada.

El consumo del agua se calcula en 2,40 litros por segundo y por hectárea. (*N. del T.*)

invierno se puede regar durante quince días y hasta un mes. Pero en cuanto se activa la vegetación, hay que dar el agua

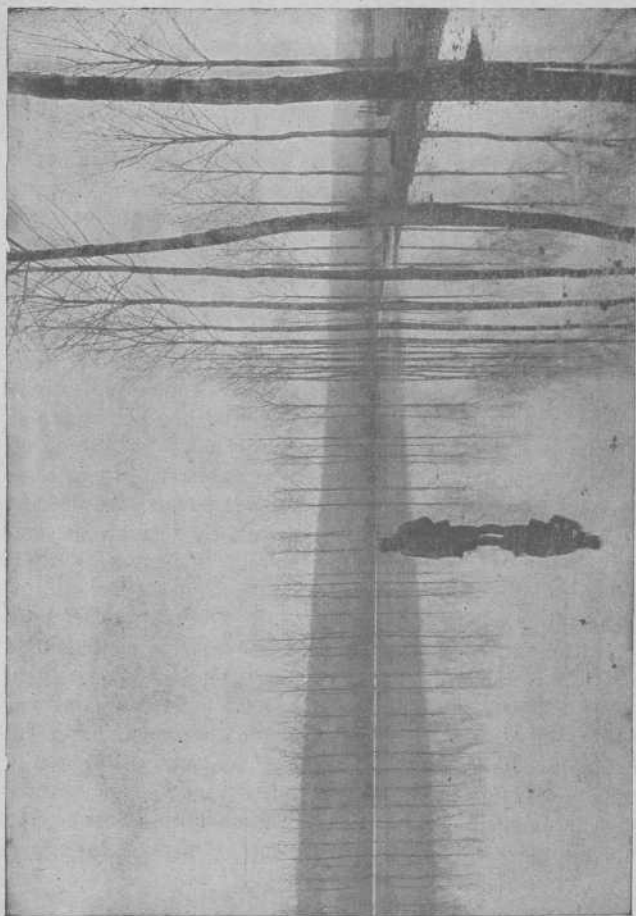


Fig. 66. — Riego por sumersión. Hacienda de M. P. de Malliard. Vista de la pradera sumergida

durante muy poco tiempo, a lo sumo veinticuatro horas. En verano basta llenar las acequias para conservar la humedad.

3.º Sumersión artificial con renovación de agua.— Cuando se dispone de mucha agua, la circulación puede ser continua, sin alterar las disposiciones precedentes.

El agua del riego, después de alcanzar el nivel normal en el compartimiento regado, pasa lentamente al saetín inferior y queda reemplazada por agua nueva con nivel constante. Este procedimiento priva menos del aire a las plantas que el estancamiento permanente.

El movimiento se regula de modo que el agua salida por la parte inferior quede substituída por igual cantidad de agua nueva. Es una práctica en todo análoga a la de que hablaremos a propósito del atarquinamiento. Desde luego que así se obtienen rápidamente excelentes resultados, cuando se puede disponer de gran cantidad de agua cargada de limo.

Conviene poder enviar agua nueva a cada uno de los compartimientos de la sumersión, disponiendo alrededor del campo regable un canal de circunvalación. La compuerta de abajo de cada compartimiento no debe permitir que el vaciado se efectúe por debajo de ella, sino por *arriba*, a fin de que no arrastre los sedimentos. Para desecar el terreno lo más completamente posible, el suelo está surcado por una red de zanjás que facilitan la total salida del agua. En general, los compartimientos son mayores que los de sumersión sencilla. Cubren de 50 a 100 hectáreas y a veces más. Su longitud depende de la pendiente del suelo y la profundidad del agua en los compartimientos también depende de la pendiente de los terrenos. Por término medio es de 0,15 a 0,35 metros y en parajes más profundos puede llegar a 0,50 metros. Si la pendiente es muy fuerte, conviene disponer oblicuamente diques interiores que disminuyan la velocidad del agua e impidan la erosión del suelo. Los diques que bordean los compartimientos tienen aproximadamente 1,50 metros de ancho en su coronación y una altura de 0,30 a 0,40 metros sobre el nivel de las aguas.

3.— Riego por infiltración

Este sistema comprende dos subdivisiones o métodos.

1.º Por infiltración del agua en el suelo por regueras profundas.— Es un procedimiento muy imper-

fecto desde el punto de vista de los resultados, pero muy sencillo y económico. Utiliza las zanjas abiertas en las praderas para sanearlas. Es ventajoso en terrenos turbosos de pendiente débil, húmedos en invierno, pero que desecados serían demasiado secos en verano. Esencialmente consiste en cerrar sucesivamente las compuertas que regulan los diferentes canales y zanjas de saneamiento. El agua de lluvia, de fuentes y la que escurren las

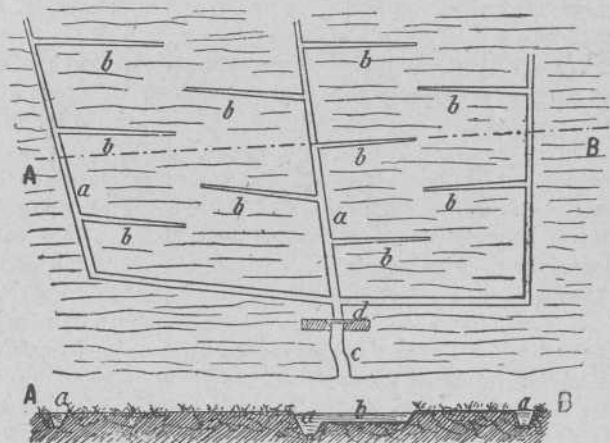


Fig. 67. — Disposición para humedecer un terreno drenado a cielo abierto

tierras fluye así poco a poco por estos canales y, si el suelo se presta, lo humedece al atravesar las paredes laterales de las zanjas, pudiendo llegar por capilaridad hasta las raíces.

Este procedimiento sólo es practicable cuando el terreno es bastante permeable y de poca pendiente, porque es preciso que el agua humedezca el suelo sin que sea necesario elevar mucho su nivel, y que, en caso de copiosas lluvias, en el momento de la cosecha, pueda desecarse rápidamente.

En suelo poco permeable, los resultados son muy medianos: el agua fluye bien por las zanjas, pero no logra infiltrarse lo suficiente en las tierras. Sería preciso que las zanjas es-

tuviesen muy próximas y entonces se perdería mucho terreno. En resumen, este sistema es sobre todo aplicable a prados de suelo permeable y poca pendiente, expuestos al sol y con subsuelo bañado por el agua.

La figura 67 muestra la disposición de los canales *a, a, b, b,* y la de la compuerta *d,* que cuando está cerrada determina el retroceso del agua, que se va elevando en las zanjas y penetra poco a poco en el suelo. Abriendo la compuerta, se determina, por el contrario, su salida y la desecación del prado.

2.º Infiltración del agua por regueras abiertas superficiales. — Este método se aplica sobre todo a las tierras labradas y, entre otros, a los cultivos hortícolas. Es el único recomendable cuando se trata de utilizar las aguas de cloaca y ciertas aguas residuales. Difiere esencialmente del anterior en que las regueras están mucho más próximas, en que son superficiales y el agua penetra en el suelo y en el subsuelo por las paredes y por el fondo. Así su acción es sumamente eficaz y suele llamársele *riego por surco.*

El agua circula por regueras paralelas que limitan las tablas o parcelas de los cultivos y por infiltración penetra hasta las raíces. Normalmente no debe tocar ni las hojas ni los tallos. Por esta razón se emplea este método para la utilización de las aguas de cloacas para los cultivos hortelanos. Las aguas residuales ceden al suelo los principios fertilizantes de que van cargadas. Como que no se ponen en contacto ni con las hojas ni con los tallos, no pueden contaminar esta parte comestible de los vegetales. Sin embargo, durante estos últimos años, con razón o sin ella, se ha dicho que las aguas de cloaca contaminan las partes aéreas de las hortalizas con gérmenes morbosos. Sea lo que fuere, el riego por infiltración es el más ventajoso para utilizar aguas cargadas de materias orgánicas y de microbios.

Se aplica con éxito a los cultivos de remolachas, patatas y legumbres. Es tanto más eficaz cuanto más próximas están las zanjas, que se trazan con el arado y están separadas entre sí de 0,66 a 0,80 metros, de modo que forman, después de la aporcadura, los surcos en que se cultivan las patatas, el maíz

y la remolacha. Las hortalizas ocupan pequeños rectángulos de 0,50 a 2 metros de anchura. Los surcos son poco profundos para que las aguas de riego lleguen fácilmente a la parte activa de las raíces.

Las figuras 68 y 69 indican la disposición del suelo. La línea *a, b* (fig. 68), representa el canal de conducción; *a, c*, el canal de riego del campo *a, c, k, b*; *d, d*, designan los surcos,

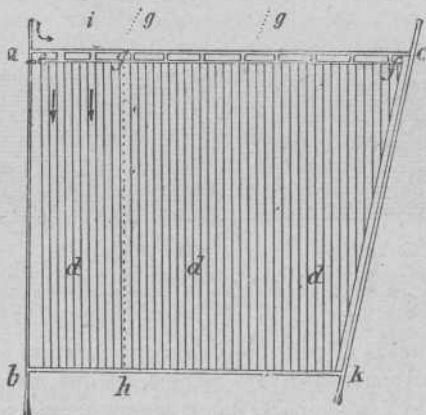


Fig. 68. — Riego por surcos. Disposición de las acequias

que no terminan en el canal *a, c*. La limpieza que necesita el funcionamiento del sistema deteriora pronto este canal, que es permanente, y se debe trazar con cuidado. Se alimenta de una reguera auxiliar *e, f*, alimentada a su vez por el canal *a, c*, por medio de pequeños cortes designados por *g*. Este canal auxiliar está abierto con el arado y cuidadosamente terminado con la pala. Es ancho y de unos 10 centímetros de profundidad. La duración se limita a la del cultivo.

Se riega el campo por partes más o menos considerables según la cantidad de agua de que se disponga. A este efecto en *i* se coloca una compuerta móvil y en *g* se cierra la reguera *e, f*, con auxilio de una pequeña presa de tierra o de una compuerta móvil. El agua llega a la reguera *e, f*, por los dos pri-

meros cortes. Desde allí penetra en los surcos y riega la parte *a, b, g, h*. Regada esta superficie, se repite la misma operación en la próxima, y así hasta regar todo el campo.

Para evitar desgastes, que son uno de los inconvenientes de este sistema de riego, si el terreno tiene gran pendiente, se disponen los surcos transversalmente a la máxima pendiente y paralelamente a la acequia *b, c* de riego (fig. 69), que se corta de trecho en trecho por regueras secundarias *d, e, d, e*,

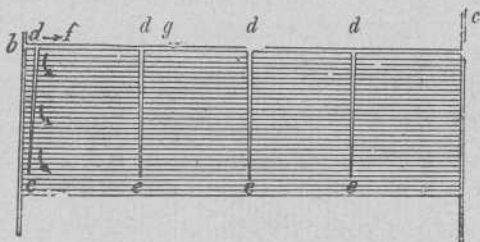


Fig. 69. — Riego por surcos. Otra disposición de las acequias

que, muy anchas al principio (0,50 metros), se van estrechando hacia su extremo. Mediante maniobras, que las precedentes explicaciones y la figura 69 dan a entender, cada reguera *d, e*, riega todo el terreno que se extiende a su derecha.

4. — Riego por aspersión o lluvia artificial

La *aspersión* es la forma primitiva de riego y es la que más se aproxima a la forma natural, pues procede exactamente como la lluvia. El agua cae suavemente del aparato de riego en pequeñas gotas más o menos finas que, después de haber humedecido el suelo llegan lentamente a las raíces.

La regadera es el instrumento más antiguo que se conoce haberse utilizado con este objeto. Se emplean en los jardines públicos tubos móviles que tienen un origen más reciente. Unos terminan en una lanza que el jardinero enfoca hacia las plantas, otros llevan pequeños agujeros dispuestos a lo largo de su recorrido que riegan un sitio determinado durante más

o menos tiempo, sin la ayuda permanente de un obrero. Por último, desde hace algunos años se observan en algunos cultivos hortícolas de los alrededores de París largos tubos de hierro rígidos, que bajo la influencia del chorro de agua, a la manera de un molinete hidráulico, giran alrededor de un pivote central. De estos dos últimos tipos de aparatos procede el sistema de riego que parece se propaga actualmente en Alemania.

Lo queremos describir brevemente, pero antes, debemos mencionar la cuba de riego, que sirve para refrescar el piso y la atmósfera de las poblaciones y para extender el *purin* sobre los campos.

Para distribuir el *purin* se construyen aparatos perfeccionados que permiten evitar las grandes pérdidas de amoníaco, es decir de nitrógeno, que se producen cuando el líquido fertilizante se echa sin precaución al aire libre.

Tubos flexibles lo conducen a rejas de arado huecas que abren el suelo en la misma forma que los hierros de una azada, y el chorro líquido penetra en la reguera. La tierra levantada vuelve a caer y lo cubre, y de este modo se evita cualquier pérdida sensible de materia fertilizante (fig. 70); se regula fácilmente el grado de profundidad de la distribución.

También se pueden utilizar cubas provistas de un tubo distribuidor colocado muy cerca del suelo. De este modo se reducen mucho las posibilidades de evaporación.

Lo mismo que se emplee uno u otro de estos aparatos, hay que pasar después el arado para asegurar la buena repartición y conservación del abono.

Según la riqueza del líquido, se da, teniendo en cuenta la clase de siembras, de 3.500 a 6.000 litros de *purin* por hectárea, que corresponde a una proporción de 8 a 15 kilogramos de nitrógeno. Durante la plenitud de la vegetación se pueden aumentar estas cantidades hasta 16.000 a 30.000 litros por hectárea, o sea de 40 a 60 kilogramos de nitrógeno.

Un aparato especial de distribución, colocado a la salida del *purin*, permite regular la cantidad del mismo según su riqueza en nitrógeno, la cantidad de materia fertilizante que se

le quiere dar, la separación de las plantas, la longitud del campo y la velocidad del aparato.

Por otra parte, a continuación damos un método que R. L. Lanninger (1) recomienda para regar cultivos de legum-

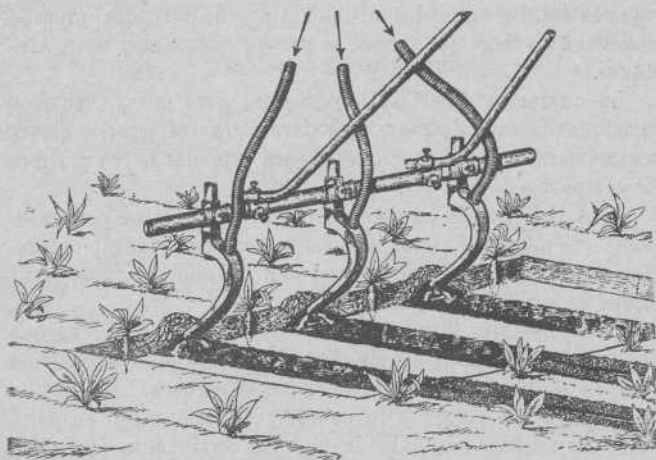


Fig. 70. - Distribuidor de abono líquido

bres. Se disponen las plantas en líneas sobre arriates encuadrados por zanjas de 10 a 50 metros de longitud según la consistencia del terreno, separados por pasillos estrechos. A lo largo del campo corre el tubo de alimentación. De trecho en trecho existen tomas que se ramifican con tubos flexibles de cuero que alimentan una conducción metálica que se apoya por cada una de sus extremidades sobre un juego de ruedas. Esta conducción puede así ser transportada de un extremo a otro del campo. Tiene ramales provistos de llaves y terminados por aberturas, dispuestos de tal modo que cada uno corresponde al eje de una de las zanjas. Estando abiertas totalmente las

(1) K-L. LANNINGER, *Kunftlicher Regen*, Francfort sobre el Main, Weisbrod, 1920.

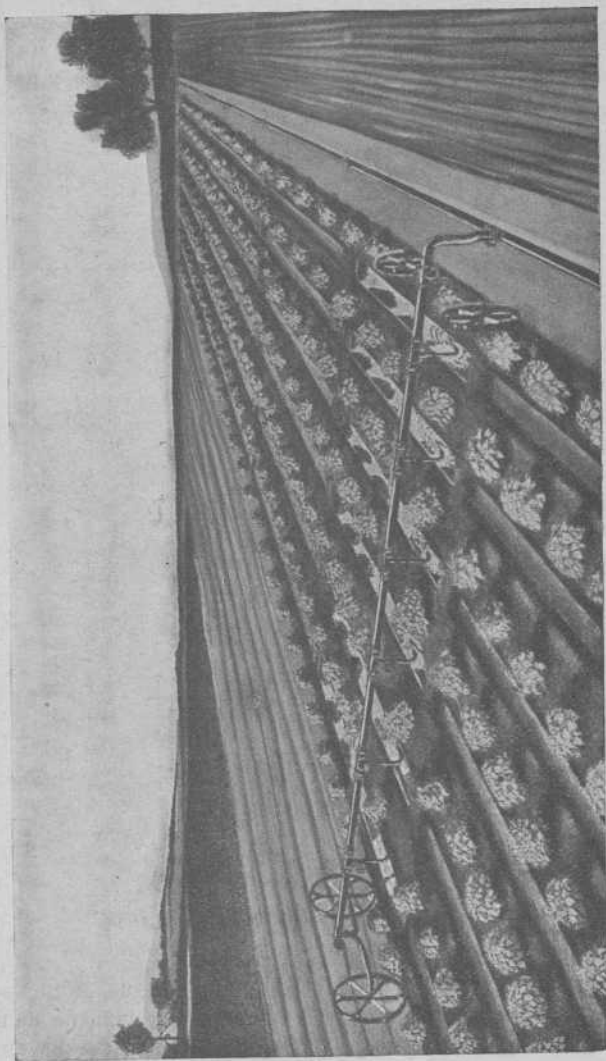
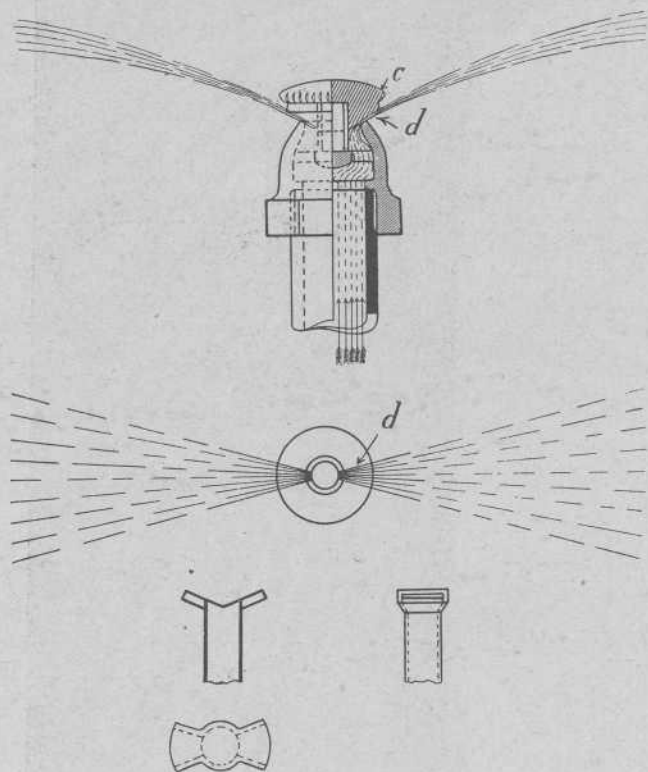


Fig. 71. — Riego de la buerta

llaves y simultáneamente, se llenan todas las zanjas situadas en la misma fila, después se cambia de sitio el aparato de manera que se pueda llenar una segunda fila de zanjas y así se



Figs. 72 y 73. — Boquillas para la aspersión

continúa. El tubo de alimentación recibe el agua de un depósito superior, de una tubería o también directamente de una pequeña bomba de fuerza centrífuga que la eleva de un río o de un depósito practicado en el suelo. Es un sistema que

parece recomendable para terrenos llanos y especialmente para los cultivos hortícolas.

Hemos dicho que el riego con la lanza había introducido un perfeccionamiento respecto a la antigua regadera. Pero tiene inconvenientes. El chorro puede ser demasiado fuerte y perjudicar los sembrados tiernos. Los tubos son caros y necesitan

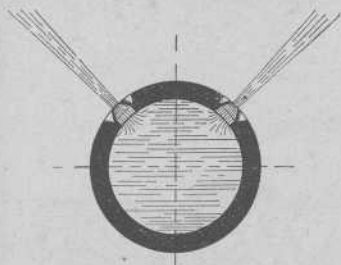


Fig. 74. — Boquilla para la aspersión del agua



Fig. 75. — Boquilla para la aspersión del agua

frecuentes reparaciones. La repartición del agua es irregular, el manejo del aparato es bastante penoso en cuanto tiene alguna dimensión. Es preciso fraccionar el chorro y entonces se disminuye su amplitud. En este caso llega a ser difícil regar grandes superficies. La abertura de escape del agua tiene gran importancia. Las figuras 73 a 75 representan modelos muy divulgados. De la repartición de los chorros en los tubos depende también la uniformidad del riego. Es preciso que la lluvia de las pequeñas gotas se dirija de tal modo que toda la superficie del terreno se riegue igualmente.

El sistema de riego por aspersión, que se ha propagado en Alemania durante los últimos años, no es, después de todo, más que una amplificación del procedimiento de riego de los jardines con la ayuda de tubos móviles sobre pequeñas ruedas. Pero lo que es nuevo, es su aplicación a los cultivos hortícolas y también a los grandes cultivos.

El procedimiento consiste, esencialmente, en introducir, a

una presión de 2 a 5 atmósferas, en un tubo de alimentación T, el agua extraída por una bomba centrífuga P de un canal, río, zanja o estanque R (fig. 76).

El tubo de alimentación T, de fundición o de hierro, se extiende a lo largo de uno de los lados de la parcela de terreno, bien subterráneamente, bien al aire libre.

De trecho en trecho se disponen tomas de agua de cierre hermético. En estas tomas se puede enchufar un tubo de cuero

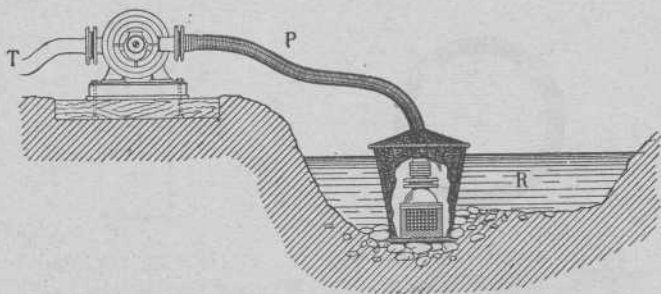


Fig. 76. — Alimentación de un sistema de riego por aspersión

o mejor de cañamo revestido interiormente de gutapercha. Este tubo está unido al aparato de distribución.

Este aparato afecta formas muy diversas según los constructores; pero en principio consiste en un tubo de hierro horizontal provisto de boquillas para la aspersión del agua. Este tubo se transporta por una vagoneta móvil y se puede trasladar así a lo largo del tubo de alimentación.

Por lo demás, hay también instalaciones fijas de coste más elevado. El aparato de aspersión propiamente dicho varía también mucho. Las figuras 77 a 82 que acompañan a estas páginas lo describen mejor de lo que nosotros podríamos hacerlo. Proceden de fotografías que nos envió en 1911 el Sr. Kruger, Director del Instituto de Investigaciones de Bromberg.

Los aparatos deben reunir las condiciones siguientes:

1.^a Producir una lluvia que caiga suavemente lo mismo que una lluvia natural de intensidad media.

2.^a Utilizar una presión relativamente elevada (2-5 atmósferas), para que los tubos de distribución sean más manejables, menos pesados, de más fácil transporte y tengan menor diámetro.

3.^a Evitar los mecanismos delicados.

4.^a Prestar el servicio del modo más sencillo posible.

La presión en los tubos juega un papel muy importante sobre la dispersión y la repartición del agua a la salida de los

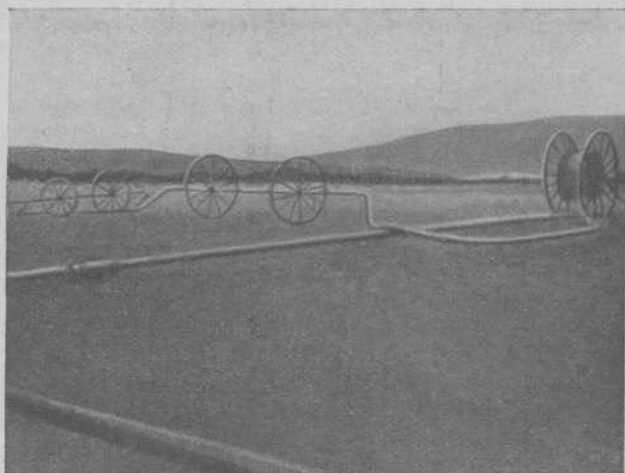


Fig. 77. — Riego por aspersión; tubo de distribución del agua y tubo de riego

orificios. Con 1,5 atmósferas ya se obtiene una lluvia que se aproxima a la normal. Con 2 a 3 atmósferas, el chorro forma un polvo fino. Con una presión superior, da una verdadera nube compuesta de gotas muy finas que caen suavemente sobre el suelo.

Cuanto mayor es el diámetro de los tubos de alimentación más elevado es el precio de coste. Cuanto más pequeños son los tubos, mayor debe ser la presión. En cada instalación se busca el modo de obtener el menor coste. En todos los casos se

debe procurar que la velocidad del agua en el tubo de alimentación sea inferior a un metro por segundo; pero puede ser mayor en los tubos de distribución.

La técnica debe tratar de reemplazar a la lluvia. Sin embargo, es preciso evitar que se formen en la superficie del te-

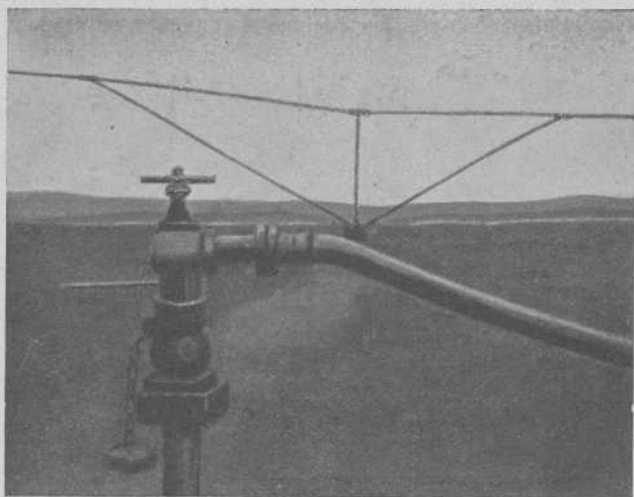


Fig. 78. — Riego por aspersión; aparato de distribución del agua

rreno esas especies de costras superficiales que producen las lluvias de los temporales que *apisonan* la tierra.

En la determinación de la cantidad de agua dada por segundo y para riego, es preciso tomar en consideración:

- 1.º Las propiedades físicas del suelo: ligero, medio, arcilloso.
- 2.º La naturaleza de la planta y su grado de vegetación.
- 3.º La estación y la hora del día.

Los suelos ligeros soportan una precipitación de 1,5 a 2 milímetros por minuto, o sea 1,5 a 2 litros por metro cuadrado.

En los terrenos de consistencia media, sólo es menester dar de 0,75 a 1,25 milímetros por minuto, y a los arcillosos de 0,25 a 0,75 milímetros.

De ordinario se da para riego de 5 a 20 milímetros.

Con aparatos móviles, con el fin de economizar los transportes, se puede dar de 15 a 25 milímetros.

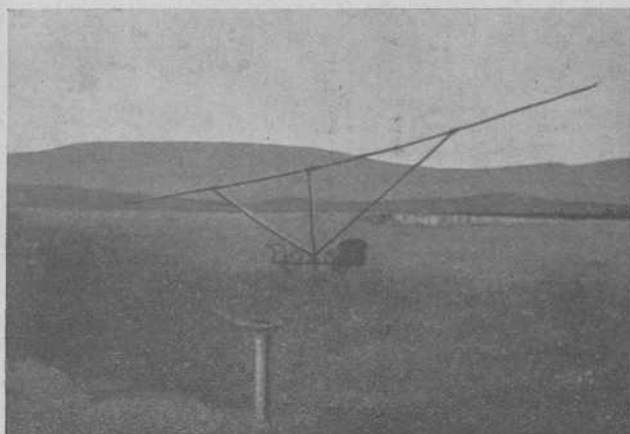


Fig. 79. — Riego por aspersión; tubo de riego sobre su vagoneta

El número de riegos depende de la cosecha y de la cantidad de lluvia que reciba durante los meses en que la vegetación es activa. Generalmente se dan 3 ó 4.

Las legumbres se pueden regar a cualquier hora del día o de la noche.

Es necesario no regar las plantas muy sensibles, como las flores, más que a muy buena hora de la mañana o por la tarde una vez puesto el sol.

Según experiencias hechas en 1912 por el Sr. Kruger, en el Instituto de Investigaciones agrícolas de Bromberg, para los cereales de verano, el riego dura desde el 20 de mayo al 10 de julio; para las remolachas, desde 1.º de junio a

1.º de septiembre; para el centeno de invierno, desde 1.º al 31 de mayo.

Los aumentos del rendimiento fueron muy elevados. Las lluvias habían dado:

| | |
|------------------|---------------|
| Agosto | 26 milímetros |
| Mayo | 14 » |
| Junio | 27 » |
| Julio | 16 » |
| | 83 milímetros |

He aquí los resultados obtenidos con la avena de Ligowo:
Parcela número 5 elegida como tipo.

Parcelas números 1 y 12, terreno arenoso ligero.

Parcela número 13, terreno arcilloso de muy buena calidad.

Cosechas anteriores:

Parcelas números 1 y 12, serradella.

Parcela número 13, remolachas.

Abonos por hectárea:

| | |
|--|---------------|
| Potasa | 75 kilogramos |
| Acido fosfórico (escorias) | 45 » |
| Nitrógeno (nitrato de potasa y nitrato de Chile) | 48 » |

| PARCELAS NÚMEROS | CANTIDADES DE AGUA DE RIEGO (en milímetros) | PRODUCTO POR HECTÁREA (d ₃) | | PESO DE | |
|------------------|--|--|------|---------|-----------------|
| | | Grano | Paja | 1 litro | 1.000 granos |
| 5 | — | 7,4 | 5,0 | 522 | 43,5 |
| 1 a 3 y 7-12 . | 140 | 17,2 | 24,3 | 527 | 46,5 |
| 13 | 140 | 31,3 | 44,4 | 552 | 49,1 |

Cantidad de simiente: 100 kilogramos por hectárea, sembrada en líneas espaciadas 20 centímetros el 25-26 de abril. Recolección el 1.º de agosto. Trilla, el 8 de agosto.

Kruger evaluaba el precio de coste del riego en 83 marcos,

104 francos por hectárea en 1912, lo que habría dado por hectárea regada un aumento de producción de 165 francos; una experiencia sobre el centeno de invierno ha producido una ganancia neta de 210 francos por hectárea.

Nada hay tan aleatorio como el beneficio que se puede obtener de semejantes instalaciones, pues depende ante todo de



Fig. 79 bis. — Riego por aspersión; transporte del aparato de riego

la cantidad de lluvia normal caída en el año de la experiencia. Es evidente que cuanto más escasa sea aquélla, mayor será, por otra parte, la cantidad de agua que el riego deberá proporcionar y más importante será el beneficio relativo.

Según Lanninger, que ya hemos citado, para una gran sequía, una lluvia artificial que suministre en totalidad 60 milímetros, daría ya un resultado notable.

En cuanto al precio de los aparatos, según el mismo autor, no son muy elevados.

En 1919 1920, el precio de una vagoneta de riego con todos los accesorios (tubos, enchufes, etc.) costaba de 9.000 a 15.000 marcos.

El mismo año, una bomba centrífuga y una tubería de alimentación que diera de 25 a 30 metros cúbicos por hora, a una presión de 60 a 70 metros, costaba de 2.500 a 9.000 marcos. Se recomienda la elección de aparatos concebidos de

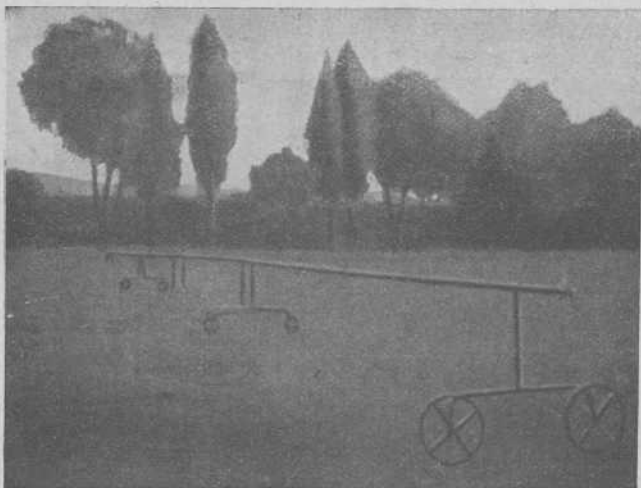


Fig. 80. — Riego por aspersión; tubo móvil de riego con sus boquillas

tal forma que puedan, en caso necesario, servir para combatir un incendio.

Este sistema de riego puede prestar grandes servicios a los productores de legumbres, de granos de simientes. Su aplicación a las praderas y a los grandes cultivos parece más difícil. Exige en todos los casos la existencia en la explotación de grandes depósitos de agua, de un río o de un canal.

5. — Drenaje y riego combinados

Método de Petersen.—Hacia 1860, el agrónomo alemán Petersen ideó una combinación especial del drenaje con el

riego que fué muy comentada, pues se vió en el nuevo procedimiento el medio de regar bien los prados y airearlos enér-

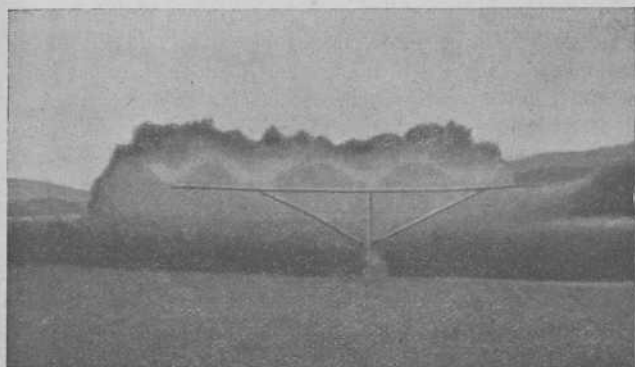


Fig. 81. — Riego por aspersión en actividad

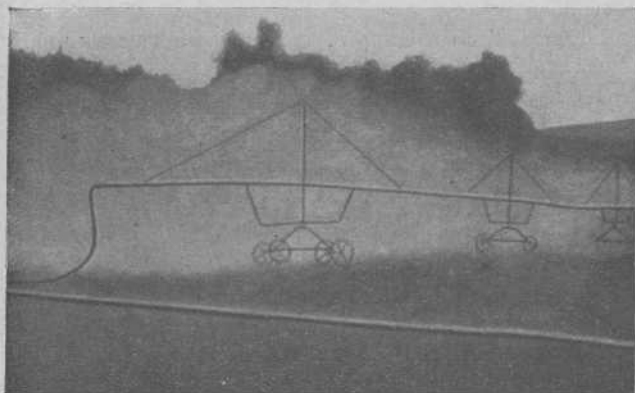


Fig. 82. — Riego por aspersión en actividad

gicamente en provecho de la fertilidad de estas tierras abundantes en materias orgánicas. Se supuso que el método Peter-

sen utilizaba en su máximo grado la acción fertilizante del agua, intensificando hasta el extremo la producción de los prados. La experiencia demostró que, en efecto, este método da muy notables resultados. Pero la intensiva producción que se persigue sólo se puede mantener restituyendo al suelo por medio de abonos los principios fertilizantes extraídos por la cosecha y que el agua por sí sola no le puede dar.

El principio del método consiste en establecer simultáneamente en la pradera el riego y el drenaje, de tal modo que sean independientes entre sí y a voluntad se pueda hacer funcionar uno u otro.

En realidad, su funcionamiento es alternativo.

Interrumpido el riego y efectuado el drenaje durante cierto tiempo, el terreno queda perfectamente saneado y se pone el drenaje en estado de no poder funcionar, se *cierra*, como veremos en seguida. Luego se riega, se *abre* el riego. En cuanto están llenos los drenes, como que no se pueden vaciar, el agua no penetra ya en la tierra y fluye en forma de capa por la superficie como lo haría en un prado de subsuelo casi impermeable.

Entonces el césped aprovecha el agua del modo ordinario. Además, el agua contenida en el suelo encima del colector tiene tendencia a subir hacia la superficie. Penetra íntimamente en la tierra, que se empapa. Luego, al cabo del tiempo conveniente, *cesa* el riego y se *abre* el drenaje. La capa de agua que corría por la superficie penetra entonces en el suelo, llevando a su profundidad la fresca y las materias fertilizantes que contiene. Además, a medida que baja por los intersticios del suelo para llegar al sistema de drenaje, produce en la superficie del prado una llamada de aire, una succión, que arrastra los gases atmosféricos hasta las capas profundas. A su favor se producen estas oxidaciones tan necesarias para realzar el valor de la fertilidad de los suelos ricos en nitrógeno, como son generalmente las tierras de los prados. En seguida se repite el riego, y así sucesivamente, y se producen los mismos efectos, de modo que no solamente el agua circula por la superficie del prado, como en los riegos ordinarios, sino que penetra en el interior del suelo arrastrando el aire exterior.

La figura 83 pone de manifiesto como se llega a la ejecución del sistema Petersen: *f* es el canal de distribución del agua; *g, g*, las acequias horizontales de riego; *b, b*, los drenes subterráneos que van a terminar al colector principal *a*, dirigido según la máxima pendiente del suelo. En el punto de contacto de las líneas de los drenes (separadas unos 50 metros) con el colector, hay un aparato de cierre *d*, que puede

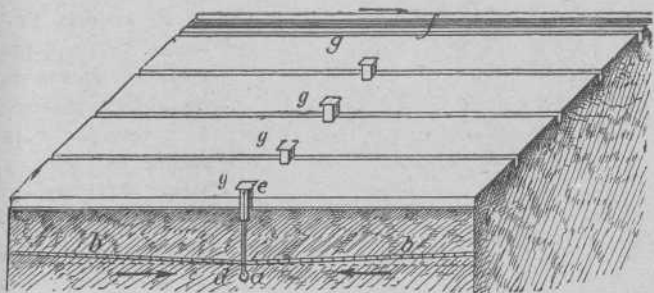


Fig. 83. — Riego según el sistema Petersen

f, canal de conducción. — *g*, acequia de riego. — *b, b*, línea de drenes; *a*, sección del colector. — *d*, aparato de cierre. — *e*, registro para maniobra

accionarse desde el exterior, con auxilio de un mecanismo contenido en el registro *e*. La figura 84 representa la disposición imaginada por el Dr. Schacht, que ha venido a substituir los antiguos sistemas.

La chimenea de este aparato desemboca por su parte superior en una acequia de riego o un poco más alta. Los drenes no deben estar separados por más de 12 metros; su profundidad se determina según los principios ordinarios; pero se colocan ordinariamente a 1,25 metros por debajo de la superficie del suelo. Cuando en el fondo hay poca o ninguna agua, su diámetro es de 4 centímetros en los primeros 30 metros y de 5 centímetros para lo restante del trayecto. Tienen una pendiente de 2 a 3 por 1.000. En cuanto a la sección de los colectores, se determina según los principios que enumeraremos en el volumen correspondiente, al hablar del drenaje. Las

juntas de los colectores se revisten de cemento en algunos metros antes y después del aparato de cierre.

La figura 85 representa el corte de una pradera por el colector. La distancia l que separa los aparatos de cierre es de 50 metros en los terrenos de poca pendiente. La diferenciade nivel entre dos válvulas consecutivas no debe exceder de 0,50 metros

en los terrenos de gran pendiente.

El sistema Petersen tiene otras ventajas, aparte de las de dar el máximo de intensidad a la acción del agua y airear enérgicamente el suelo, pues conviene en particular a los terrenos turbosos y pantanosos, en los que substituye a los arriates.

Estos terrenos necesitan unas veces riegos y otras drenajes. El drenaje continuo y ordinario que debiera acompañar al riego impediría que éste ejer-

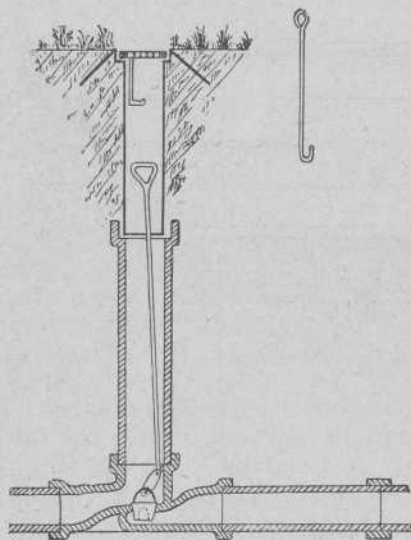


Fig. 84. — Aparato de cierre de los colectores (sistema Schacht)

ciera toda su acción en verano. Al suprimir y restablecer el drenaje en los momentos oportunos mediante la disposición Petersen, se le da al suelo la humedad conveniente, al paso que se le resguarda de las aguas estancadas. Con el cierre o supresión del drenaje se obtiene un resultado que todavía no hemos señalado, pues permite, por otra parte, aprovechar la capa subterránea y los manantiales que pueda haber en el suelo para que el nivel del agua vaya aumentando hasta alcanzar el de la superficie del prado.

La chimenea de los aparatos de cierre termina por la parte superior en un manguito, cuyo contorno está agujereado o provisto de una rejilla, tal como indica la figura 84. Una vez cerrado el drenaje, el agua del suelo sube por dicha chimenea y vierte en la reguera vecina, que la derrama por el prado. Hoy día no está en tanto predicamento este método y algunos autores no le conceden mucha importancia. Sin embargo, el inge-

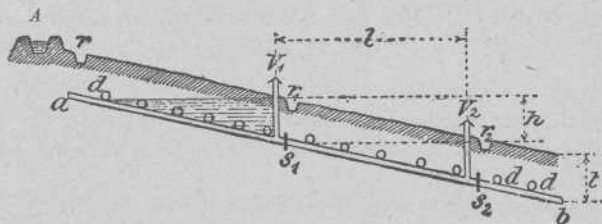


Fig. 85. — Corte del suelo según el colector *a, b*.

niero agrónomo Juan Bignon lo ha visto practicar en la propia finca de Petersen, en el Sleswig, y en las haciendas del príncipe Schaumbourg-Lippe, en Bohemia (1)

El precio de coste del sistema Petersen es bastante elevado, pero no tanto como el de arriates. Los aparatos de cierre cuestan de 15 a 20 francos. La conservación no es muy cara. Debe practicarse con regularidad y requiere poca agua para obtener intensos efectos, sobre todo notables en terrenos impermeables y turbosos. Su aplicación no impide el tránsito de vehículos ni el de las máquinas agrícolas. A pesar de sus ventajas, no está su empleo tan generalizado como en un principio pudo creerse. No obstante, debiera ensayarse en ciertos casos en los que parece daría provechosos resultados.

(1) Informe de comisión (*Annales de l'Institut agronomique*, 1.^a serie tomo XI).

CAPÍTULO VI

CANTIDADES DE AGUA NECESARIAS PARA EL RIEGO

Definición. — En primer lugar conviene puntualizar los diferentes modos de expresar las cantidades de agua que se emplean en los riegos.

Se puede suponer que el gasto de agua sea continuo y que corresponda a tantos litros por segundo y por hectárea, en determinado tiempo.

También se puede representar esta cantidad por la altura de la capa de agua que se extendería por hectárea durante el mismo tiempo, suponiendo las pérdidas nulas.

Finalmente, muchas veces conviene evaluarla en metros cúbicos vertidos durante la temporada de riegos.

Cada una de estas evaluaciones tiene sus ventajas.

La primera aprecia fácilmente la superficie que puede regar una corriente de agua de caudal conocido. En Francia e Italia sirve de base para establecer el precio del agua proporcionada por un canal de riego.

La segunda compara con la cantidad de aguas pluviales la que las plantas requieren durante el período vegetativo.

Y, por fin, la tercera evalúa fácilmente la superficie que se puede regar con un depósito de capacidad determinada.

Cuando se emplean estas fórmulas, hay que comprender bien los conceptos de *duración del riego continuo* y el *número y duración de los riegos alternados*. El riego sólo dura una parte del año. Cuando, por ejemplo, se habla de un *gasto anual de un litro por segundo y hectárea*, se comprende que se trata de un *gasto ficticio y continuo de un litro por segundo y hectárea durante toda la duración del riego*. Pero esto no

significa en molo alguno que en el momento del riego la tierra no reciba más que un litro por segundo y hectárea. La totalidad de los 15.552 metros cúbicos que corresponden a este caudal podrán emplearse en otras atenciones.

Este gasto *ficticio* sirve a la Administración francesa para hacer pagar el agua que suministra. De ningún modo se confunde con el gasto *efectivo* en el campo regado.

Para concretar las ideas, supongamos que la temporada de riegos abarca desde el 1.º de abril al 1.º de octubre, período adoptado en el Mediodía de Francia, que comprende 183 días. Supongamos también que durante la temporada los riegos se efectúen cada semana y que se disponga de un caudal anual y continuo de un litro por segundo y hectárea.

Según la definición que acabamos de dar, este caudal anual corresponderá, para la temporada de 183 días, a $60 \times 60 \times 24 \times 183 = 15.811.200$ litros de agua.

La cantidad que semanalmente se dispondrá para el riego será de $\frac{15.811\ 200}{25} = 632.448$ litros. Podrá gastarse de diversos modos. Por ejemplo, a cada hectárea se podrá dar semanalmente un riego de cuatro horas, y entonces corresponderá a un gasto de $\frac{632.448}{4 \times 60 \times 60} = 43,92$ litros por segundo y hectárea.

Si el riego, en lugar de durar cuatro horas, dura seis horas, el gasto será de $\frac{632.448}{6 \times 60 \times 60} = 29,28$ litros por segundo y hectárea.

Finalmente, supongamos que en vez de repetirse el riego cada siete días, se renueva cada diez y dura doce horas, ¿cuál será el gasto correspondiente por segundo y hectárea?

La cantidad de agua de que se dispone cada diez días será de $\frac{15.811.200 \times 10}{183} = 864.000$ litros, y el riego durante doce horas por cada período de diez días dará un gasto por segundo y hectárea de $\frac{864.000}{12 \times 60 \times 60} = 20$ litros.

En las dos primeras distribuciones se darán por hectárea 632 metros cúbicos de agua ($43,92 \text{ litros} \times 4 \times 3.600$ o $29,23 \text{ litros} \times 6 \times 3.600$) correspondientes a una altura de agua igual a $\frac{632}{10.000} = 0,06$ metros. En la tercera distribución se darán a la hectárea $20 \times 12 \times 3.600 = 864$ metros cúbicos, correspondientes a una altura de agua de 0,08 metros.

Hemos visto que se llamaba *módulo* al aparato que con un caudal fijo distribuye el agua a los regantes con arreglo a los usos de la comarca. Por extensión se llama también así el caudal mismo de un canal. Decir que un canal tiene un *módulo de 15 litros*, significa que su caudal es de 15 litros por segundo.

La consideración del caudal constante permite fijar aproximadamente la superficie que puede regar una corriente de agua de módulo determinado m .

Supongamos que una pradera exige 8.000 metros cúbicos de agua por hectárea, lo que corresponde a un gasto continuo de:

$$\frac{8.000.000}{183 \times 24 \times 3.600} = 0,56 \text{ litros}$$

por segundo.

La superficie que se puede regar con el arroyo o el canal de módulo m será en hectáreas

$$\frac{m}{0,56 \text{ litros.}}$$

Se supone, claro está, que se almacena el agua del arroyo durante los intervalos del riego.

Los experimentos de MM. Müntz, Faure y Lainé, con tanta frecuencia citados, mostraron que los módulos de los canales de riego y los de sus últimas ramificaciones que conducen el agua al campo de riego dependen *esencialmente de la permeabilidad del suelo*. Así, el módulo del canal de Saint-Martory, que riega tierras poco permeables, debería ser de 15 litros en lugar de 45. Por el contrario, el módulo del canal de la Bourne, que lleva el agua a tierras permeables, debería ser de 180

litros en vez de 28. El canal de Carpentras, de 45,5 litros, riega tierras de buena permeabilidad. Aproximadamente corresponde al ideal y ha dado muy buenos resultados.

En el Mediodía generalmente se estima necesario un caudal de 30 litros por hectárea y seis horas cada ocho días. Esto no quiere decir que se vierta este caudal sobre toda la hectárea a la vez durante seis horas, sino solamente sobre una parcela más o menos larga durante más o menos tiempo, según la permeabilidad del suelo.

Sería imposible distribuir regularmente y de un modo efectivo una cantidad tan pequeña como la de un litro por segundo y por hectárea. No se puede bajar de 3 litros.

El agricultor que se propone regar un prado debe tener en cuenta la cantidad de agua necesaria para el buen resultado del riego. Inversamente, teniendo a su disposición cierta cantidad de agua, debe computar la extensión de terreno que puede regar.

Ante todo hay que distinguir entre los *riegos propiamente dichos* y los *riegos de fertilización*, o, como dice M. Faure, profesor del Instituto Agronómico, entre los *riegos de los países del mediodía*, donde generalmente se dispone de poca agua, y los *riegos de los países del norte*, donde se puede emplear mucha.

El primero no tiene otro objeto que llevar a las plantas el agua que necesitan; los segundos, además, les deben aportar principios fertilizantes y, por lo tanto, son mucho más copiosos.

Las cantidades de agua que exigen los riegos dependen: 1.º, de la naturaleza de las plantas regadas; 2.º, de la constitución del suelo y subsuelo; 3.º, de la pendiente del suelo regado; 4.º, del sistema de riego.

A. Riego propiamente dicho. — 1.º **Influencia de la naturaleza de las plantas y del clima.**—Hemos visto que las plantas exigen para su desarrollo una cantidad de agua que varía entre 200 y 400 litros por kilogramo de materia seca contenida en la cosecha. Esto, para los cereales, corresponde a una cantidad de agua total necesaria de 1.500 a 2.000 metros cúbicos por hectárea, o sea, suponiendo que la

vegetación dure de 120 a 150 días, a una necesidad diaria de 10 a 15 metros cúbicos, representado por una altura de un milímetro a milímetro y medio.

Para las plantas que exigen más agua, como las de pradera y los tubérculos, se necesitan de 4.000 a 5.000 metros cúbicos por hectárea, repartidos entre 180 a 200 días de vegetación, lo que corresponde a una necesidad diaria de 20 a 25 metros cúbicos, representada por una altura de 2 a 2,5 milímetros de agua.

Si toda la lluvia que cae quedase en el suelo a disposición de las plantas, bastaría deducir de la altura de agua requerida para el completo desarrollo de los vegetales la cantidad de lluvia caída, para hallar la cantidad de agua que el riego debería proporcionar. Pero, por de pronto, casi la mitad del agua de lluvia caída se evapora directamente o se pierde en corriente. Además, las necesidades de agua de las plantas son mayores de abril a fin de julio, mientras que las lluvias copiosas caen en otoño y primavera. Es necesario que las plantas encuentren almacenada en el suelo una provisión de agua que la tierra acumula durante todo el año. Es preciso que sus raíces hallen donde nutrirse. Las lluvias no les proporcionan directamente el agua que necesitan a medida que la requieren. El suelo debe servir de intermediario entre la lluvia y la planta. De su constitución física y de la del subsuelo, de su porosidad, de su poder de imbibición y sobre todo de su permeabilidad dependerán las facilidades que las plantas hallen en obtener el agua necesaria y en aprovechar la de los riegos. Las condiciones del suelo y las del clima influirán preponderantemente y mucho más que las necesidades inmediatas de las plantas en las cantidades de agua que habrá que dar al suelo. Las necesidades de agua de las plantas sólo tienen significación relativa, a menos de que se trate de plantas de diferente origen cultivadas en el mismo suelo.

2.º **Influencia del suelo.**—La tierra es un recipiente que almacena las lluvias y los productos de los riegos artificiales. Según sus propiedades físicas (la principal es la *permeabilidad*), las plantas hallan diversas facilidades de aprovisionamiento y el ingeniero condiciones particulares a las cuales debe satisfacer, mediante el riego, o estableciendo un drenaje

de mayor o menor importancia. Bajo este aspecto los suelos menos distintos, del mismo origen geológico e incluso próximos, pueden presentar diferencias considerables. Es claro que las tierras arcillosas requerirán riegos menos copiosos que los suelos ligeros. Habría que tener siempre en cuenta estas diferencias para determinar la dotación de riego. Generalmente no se hace así. Se da la misma cantidad de agua a tierras que la necesitan muy distinta. Como que casi siempre se da demasiada agua, se hace un gasto inútil. Hemos expuesto las investigaciones motivadas por la permeabilidad del suelo en Francia y en el extranjero. El ideal fuera hallar una relación estable entre la permeabilidad de las tierras en el campo y su constitución física determinada en el laboratorio.

Esto han procurado MM. Müntz, Faure y Lainé en Francia y M. Kopetzky en Austria. MM. Müntz, Faure y Lainé no conceden hasta ahora respecto a los riegos plena confianza más que a las experiencias practicadas en el mismo terreno. M. Kopetzky y el Servicio de Mejoras agrícolas de Bohemia establecen los proyectos de drenaje basándose en los resultados que suministran los métodos descritos.

Cabe computar la cantidad de agua que puede absorber cierto volumen de tierra por el volumen de sus huecos o *poros*.

Los autores extranjeros admiten que la tierra no debe contener más agua que la que representa el 75 por 100 del volumen de sus poros, ni menos de la que representa el 25 por 100. Si, por ejemplo, los poros que contiene una tierra equivalen al 40 por 100 de su volumen, la cantidad de agua máxima que podrá contener será de 30 por 100 y la mínima de 10 por 100 de su volumen total. Remitimos al lector a la primera parte de esta obra para determinar el volumen representado por los poros de una tierra.

Sea una tierra de profundidad media igual a 0,30 metros.

Se deberá regar en cuanto esta tierra no contenga más del 10 por 100 de agua, es decir, que se le deberá dar entonces $30 - 10 = 20$ p. 100 de su volumen o

$$\frac{0,30 \times 10.000 \times 20}{100} = 600 \text{ metros cúbicos.}$$

Si se trata de una pradera que debe recibir 12.000 metros cúbicos de agua, se dará

$$\frac{12.000}{600} = 20 \text{ riegos.}$$

Y si la duración de la estación de riegos es de 183 días, cada uno de los riegos tendrá lugar cada $\frac{183}{20} = 9$ días aproximadamente.

La siguiente tabla indica las provisiones de agua disponibles en una capa de tierra de 0,10 metros de espesor para tierras de porosidades diferentes. (Friedrich.)

| | | | | | | | |
|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Volumen de los poros en por 100 del volumen de la tierra | 30,00 | 35,00 | 40,00 | 45,00 | 50,00 | | |
| Volumen de los poros en litros por metro cua- drado de superficie. . | 30,00 | 35,00 | 40,00 | 45,00 | 50,00 | | |
| Volumen de los poros en m. ³ por hectárea . . | 300,00 | 350,00 | 400,00 | 450,00 | 500,00 | | |
| Agua dispo- nible cuando su porcenta- je desciende de 75 a 25 por 100 del volumen de la tierra. | $\left\{ \begin{array}{l} \text{En litros} \\ \text{por m.}^2 \text{ de} \\ \text{superficie.} \end{array} \right\}$ | | 15,00 | 17,50 | 20,00 | 22,50 | 25,00 |
| | $\left\{ \begin{array}{l} \text{En m.}^3 \text{ por} \\ \text{hectárea.} \end{array} \right\}$ | | 150,00 | 175,00 | 200,00 | 225,00 | 250,00 |

Estas cantidades de agua almacenada proporcionan reservas para períodos variables (expresados a continuación en días), con los consumos diarios de agua.

| Necesidades diarias en altura de agua | Reservas en días | | | | |
|--|------------------|-------|------|------|------|
| 1,0 mm. = 10 m. ³ por hectárea. | 15,0 | 17,50 | 20,0 | 22,5 | 25,0 |
| 2,5 » = 25 » | 6,0 | 7,00 | 8,0 | 9,0 | 10,0 |
| 5,0 » = 50 » | 3,0 | 3,50 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
| 7,5 » = 75 » | 2,0 | 2,30 | 2,6 | 3,0 | 3,3 |
| 10,0 » = 100 » | 1,5 | 1,75 | 2,0 | 2,2 | 2,5 |

Los mismos autores (Heuschmidt) admiten que los riegos por circulación del agua, según los diferentes suelos, exigen

de mediados de mayo a mediados de agosto las siguientes cantidades de agua:

Suelos arcillosos: 2.800 metros cúbicos de agua por hectárea y año, dados en dos veces, con una altura de agua total de 0,28 metros y cada vez una altura de 0,14 metros.

Suelos de consistencia media: 4.500 a 5.000 metros cúbicos en tres veces, cada una de ellas con una altura de agua igual a 0,15 metros o 0,16 metros, y en total una altura de agua de 0,45 a 0,50 metros.

Suelos ligeros: 6.000 a 10.000 metros cúbicos en cuatro o cinco veces a razón de una capa de agua de 0,17 metros a 0,20 metros cada vez, en total de 0,68 a 1 metro.

En Francia se dan generalmente cantidades de agua mucho más considerables, lo cual prueba que, además del suelo y clima, es decir, de las condiciones meteorológicas, influyen notoriamente la temperatura y luz.

3.º **Influencia de la pendiente del suelo.** — Cuanta menos pendiente tiene un prado, más agua se necesita para regarlo.

4.º **Influencia del sistema de riego.** — Las cantidades de agua necesaria varían según los sistemas y métodos de riego. Así el sistema de caballetes exige más agua que el de acequias horizontales, y éste más que el riego por sumersión.

Cantidades de agua que se dan en Francia.—En el Mediodía de Francia la práctica agrícola y las observaciones en diferentes lugares han evidenciado que la cantidad de agua necesaria para el riego se aproximaba al gasto anual continuo y ficticio de un litro por segundo y hectárea. El término *anual* se refiere a la temporada de riego, que generalmente dura 183 días, desde el 1.º de abril al 1.º de octubre. El volumen de agua distribuido durante este tiempo, a razón de un litro por segundo, corresponde a 15.811 metros cúbicos por hectárea, o sea una capa de agua de 1,581 metros de espesor. Esta cantidad de agua se distribuye en un número de riegos que varía entre 12 y 42.

De la interesante obra de M. P. Lévy Salvador (1) copiamos la siguiente tabla, que indica el intervalo de los riegos, su duración y cantidades necesarias de agua para dicha comarca:

(1) LÉVY SALVADOR, *Hydraulique agricole*, Paris, 1896-1900.

La tabla demuestra que aun en el Mediodía de Francia y para riegos exclusivamente destinados a refrescar el suelo, la cantidad de agua no es constante, y esta comprobación se repite al examinar las cifras suministradas por Hervé Mangon y por Gasparín.

Hervé-Mangon halló los siguientes resultados, después de sus observaciones en algunos riegos de Vaucluse:

| | PRADERAS (Tallades) | ALFALFA (Tallades) | JUDÍAS (Tallades) | PRADERAS (L'Isle) | |
|----------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Número anual de riegos | 13 | 11 | 6 | 5 | |
| Duración | total . . . | 11 h. | 38 h. 4 m. | 2 h. 4 m. | 31 h. |
| | parcial . . | 50 h. 46 s. | 3 h. 28 m. | 27 m. 30 s. | 6 h. 12 m. |
| Volumen de agua | entrada. | 16.383 m ³ | 37.959 m ³ | 5.126 m ³ | 5.402 m ³ |
| | salida. . . | 3.179 m ³ | 2.001 m ³ | 0 | 326 m ³ |
| Caudal medio | total . . . | 1,89 l. | 4,393 l. | 0,988 l. | 1,226 l. |
| | de riego. . | 26,56 l. | 25,76 l. | 0,973 l. | 4,570 l. |
| | de verano | 1,89 l. | 4,393 l. | 0,988 l. | 1,226 l. |
| | de invierno | 0 | 0 | 0 | 0 |

Gasparín, al hablar de los métodos que actualmente trata de realizar, quiso establecer una relación entre la naturaleza más o menos compacta del suelo de la región meridional de Francia y la cantidad de agua que conviene proporcionar. Dice que debe darse:

| | | Por 100 de arena (1) |
|---------------|------------------------------------|----------------------|
| Un riego cada | 15 días a un terreno que contenga. | 20 |
| | 11 » » | 40 |
| | 6 » » | 60 |
| | 3 » » | 88 |

(1) La proporción de arena contenida en el suelo se determina desecando cierta cantidad de tierra a 40° y pasando 50 gramos de esta tierra desecada por un tamiz, cuyos agujeros tengan 1,5 milímetros de diámetro; la que queda sobre el tamiz es la parte pedregosa de la tierra, cuya cantidad se determina por peso. Se toman 20 gramos de esta tierra tamizada y durante varias horas se pone en un vaso de 2 a 3 litros de capacidad, lleno de agua. Después se agita enérgicamente con una varilla de vidrio, dando a la masa un movimiento giratorio, y cuando todo el líquido adquiere este movimiento, se decanta, cuidando de vertier las partes tenues en suspensión en el agua y de conservar las que se han precipitado en el fondo. Se repite varias veces la misma operación con estas últimas porciones, decantando cada vez, hasta que el agua, después de agitar, queda perfectamente clara. El peso se deseca, se pesa, y este peso fija la proporción de la parte arenosa que se trataba de determinar.

| NATURALEZA DE LOS CULTIVOS | Intervalo entre dos riegos | Número de riegos por estación | Duración de cada riego | Volumen absorbido por segundo y por hectárea | Volumen total necesario para un riego por hectárea | Volumen absorbido anualmente por hectárea | Gasto continuo correspondiente por segundo y hectárea | OBSERVACIONES |
|--|----------------------------|-------------------------------|------------------------|--|--|---|---|---------------|
| | horas | | litros | m ³ | m ³ | m ³ | | |
| Praderas naturales . . . | 8 | 23 | 30 | 648 | 14 904 a 15 860 | 0,74 l. a 1,003 l. | » | » |
| Praderas artificiales: alfalfa | 12 | 15 | 30 | 648 | 9,720 a 15,860 | 0,63 l. a 1,003 l. | » | » |
| Trigo | » | 1 ó 2 | 30 | » | 648 a 2,731 | 0 a 0,15 l. | Sin riego regular. Un riego en primavera, renovado en caso de extrema sequía. | |
| Olivares | » | 10 ó 2 | 60 | 486 | 1 000 | 0,63 l. | Dos riegos como promedio: uno en junio, el otro en agosto. | |
| Cultivo de jardinería | » | » | » | » | 39,528 | 2,5 l. | » | » |
| Leguminosas | » | » | » | » | 13,811 a 21,977 | 1 litro a 1,39 l. | » | » |
| Cultivos pantanosos | 5 | » | » | » | 1,000 | 0,63 l. | » | » |

Y añade que cada riego exige una capa de agua de 0,08 a 0,10 metros de espesor, o sean 800 a 1.000 metros cúbicos por hectárea, lo que corresponde a los siguientes consumos de agua, en un período de riego desde 1.º de abril a 30 de septiembre:

| TIERRA QUE CONTENGA | METROS CÚBICOS | LITROS POR SEGUNDO |
|-------------------------|----------------|--------------------|
| 20 por 100 de arena . . | 12.000 | 0,77 |
| 40 » . . | 16.000 | 1,03 |
| 60 » . . | 30.000 | 1,02 |
| 80 » . . | 60.000 | 3,83 |

Nadault de Buffon resumió sus observaciones sobre los riegos de praderas en el cuadro de la pág. 313.

Las temporadas de riego son de seis meses, salvo para la cifra que corresponde a la última línea y que comprende una temporada de 5 meses. Además, las cifras se refieren a un año seco y a praderas de subsuelo arcilloso.

| NÚMERO de días después de los cuales se reanudan los riegos | NÚMERO de riegos | | ALTURAS de agua | | | VOLÚMENES empleados | | |
|---|---------------------|-----------------|--------------------|------------|-----------------|------------------------|------------|-----------------|
| | por meses | por estación | por riego | por mes | por estación | por riego | por mes | por estación |
| | | | m. | m. | m. | m. c. | m. c. | m. c. |
| 7 a 8 | 4 | 24 | 0,04 | 0,16 | 0,96 | 400 | 1.600 | 9.600 |
| 10 | 3 | 18 | 0,06 | 0,18 | 1,08 | 600 | 1.800 | 10.800 |
| 7 a 8 | 4 | 24 | 0,05 | 0,20 | 1,20 | 500 | 2.000 | 12.000 |
| 10 | 3 | 18 | 0,07 | 0,21 | 1,26 | 700 | 2.100 | 12.600 |
| 7 a 8 | 4 | 24 | 0,06 | 0,24 | 1,44 | 600 | 2.400 | 14.400 |
| 10 | 3 | 18 | 0,08 | 0,24 | 1,44 | 800 | 2.400 | 14.400 |
| 10 | 3 | 18 | 0,10 | 0,30 | 1,50 | 1.000 | 3.000 | 15.000 |

Nadault de Buffon anticipa que el volumen de 15.000 metros cúbicos que corresponde a una toma de agua de un litro por segundo y por hectárea durante seis meses es excesivo para la mayor parte de las praderas.

En el estudio de un proyecto de riego publicado en 1903 en el *Journal d'agriculture pratique*, M. Jules Crevat estima

que para el riego de una hectárea de prados se necesitan en Francia:

| | Litros por segundo |
|--|-----------------------|
| En un suelo profundo, arcilloso, clima fresco | 0,50 |
| » permeable y clima fresco | 0,75 |
| » permeable y clima caluroso | 1,00 |
| » delgado muy permeable, clima caluroso. | 1,50 |
| » delgado muy permeable, clima caluroso y ventoso | 2,00 |



Estas cifras se refieren a un gasto continuo por segundo y hectárea durante la temporada de riegos.

Los riegos de verano que se efectúan en los países meridionales, sobre todo con objeto de completar las aportaciones de las lluvias, requieren menos agua que los riegos fertilizantes del norte.

Hemos dicho que en general se les atribuí a 15.552 metros cúbicos de agua por hectárea y año. Este volumen se reparte en dieciocho a veinticuatro veces. Pero esta cifra no puede servir de base para una regla absoluta y general. Ya lo hemos dicho. Debe corregirse según las cantidades de lluvia caídas, la naturaleza más o menos permeable del suelo y su mayor o menor poder de absorción, según la evaporación y la pendiente del suelo, etc. Es, por lo demás, más bien un máximo.

He aquí algunas cifras que se refieren a diversos países:

En el Rosellón, M. Mescure de Lasplane estima el consumo medio de una hectárea en 8.000 metros cúbicos. Nadault de Buffon, para los valles de Teels y del Thet, limita a 4.300 metros cúbicos la cantidad de agua necesaria por hectárea y año. Jaubert de Passa la evalúa todavía en menor cantidad. En los territorios de Risevaltes, Vinca, Elne y Perpiñán, según dice, el caudal medio necesario por hectárea sólo es de 2.626 metros cúbicos por temporada.

En Argelia el agua es escasa. Los cultivos de verano: algodón, maíz, viña y tabaco, durante los cinco meses desde mayo a septiembre sólo reciben de un cuarto a medio litro por segundo y hectárea. Los cultivos de invierno, cereales y forrajes, no reciben más que dos o tres riegos de 400 metros cúbicos

cada mes. Las praderas artificiales aprovechan 400 metros cúbicos.

Los ingenieros alemanes evalúan en 10 a 20 litros por segundo y hectárea, por término medio 15 litros, la cantidad de agua precisa en los riegos de sumersión, con renovación continua.

En cuanto a los riegos por circulación, es cierto que son excesivas las cantidades indicadas de un modo general. Se podrían disminuir en gran manera si se conociesen mejor las relaciones entre el agua y las tierras, y en particular si se supieran regular según la permeabilidad y el poder de imbibición de los diversos terrenos.

Las consideraciones que hemos detallado sobre las cantidades de agua necesarias a las plantas, y sobre la capacidad de las tierras para el agua y su permeabilidad, permiten deducir algunas reglas, que no son más que aproximadas y deben corregirse con los datos de la experiencia, pues es imposible tener en cuenta factores tan numerosos y que se conocen tan mal.

Siempre es preciso comenzar por establecer el paralelismo entre la cantidad de agua que exige la cosecha y la cantidad de lluvia que cae durante el período activo de la vegetación (abril a octubre), haciendo deducción de las pérdidas por infiltración y evaporación.

Generalmente se utilizarán las cifras que ha dado Risler acerca de la exigencia de agua de las plantas. Pero estas experiencias se han hecho en Caleves (Suiza) y es necesario hacer otras análogas en las diferentes regiones donde se efectúen riegos.

Sea lo que fuere, supongamos que se trata de regar praderas naturales. Risler ha evaluado en 5 milímetros diarios, aproximadamente, la cantidad de agua que ellas evaporan. Durante los 183 días del período activo de la vegetación, evaporarán, por tanto, por hectárea:

$$183 \times 0,005 \times 10.000 = 9.150 \text{ metros cúbicos.}$$

Supongamos también que las observaciones meteorológicas manifiestan que ha caído durante este tiempo en la región

0,250 metros de lluvia. Por consiguiente, la hectárea considerada habrá recibido:

$$0,250 \times 10.000 = 2.500 \text{ metros cúbicos.}$$

Pero será preciso tener en cuenta que una gran parte de este agua desaparece por infiltración o por evaporación y que casi no quedará más que la mitad a disposición de las plantas, o sea 1.250 metros cúbicos.

En su virtud el riego deberá suministrar a la hectárea de pradera:

$$9.150 - 1.250 = 7.900 \text{ metros cúbicos.}$$

También es menester tener en cuenta las numerosas pérdidas de agua que se verifican durante el riego mismo, pérdidas debidas a la infiltración, a la evaporación y a la acción del viento. Empiezan en el canal de conducción, de suerte que evaluando en 8.000 metros cúbicos el consumo de agua por hectárea, no se rebasa la cifra verdadera; si se tratara de trigo, bastarían unos 2.000 metros cúbicos.

B. Riegos fertilizantes. — Los riegos también pueden tener por principal objeto la fertilización del suelo, como ocurre en los Vosgos y en la región belga de la Campine. En el Milanesado, las praderas llamadas *marcitas* deben su excepcional feracidad a la capa de agua relativamente caliente (11°) que las cubre en invierno. Estos diversos riegos exigen cantidades variables de agua, pero siempre superiores a las que requieren los riegos únicamente destinados a suministrar el agua necesaria para la vegetación. En general se aplican a los países del norte y a las comarcas vecinas a las montañas, donde se dispone de mucha agua.

Con gran frecuencia se transponen los límites convenientes y en lugar de enriquecer se empobrece el suelo, especialmente en nitratos, sulfatos y cloruros. Es el riego *mortal*.

En los Vosgos es enorme el consumo de agua. Un verdadero derroche, y, sin embargo, sólo se cosechan henos duros y pobres.

Recordemos que, según los cálculos de Hervé-Mangon, el agua vertida en la pradera de Habeaurupt cubriría el suelo con una capa de agua de 400 metros de espesor si se reuniese en un momento dado. Cita muchas instalaciones en que el agua extendida anualmente por hectárea alcanza a 150.000 metros cúbicos, lo cual corresponde a 150 metros de altura de agua. Bien es verdad que no toda atraviesa el terreno y que la mayor parte va en seguida a los colectores.

En Campine (Bélgica), el riego es de unos 31 litros por hectárea y segundo y el número de riegos es de 18. Doce desde el 15 de mayo al 15 de octubre; y seis desde el 15 de octubre al 15 de mayo.

Las praderas de suyo muy permeables absorben 977.306 metros cúbicos por hectárea y año, o sea una altura próxima a los 100 metros.

En Normandía, según Debauve, las praderas del valle del Charentonne (Eure) reciben 141.900 metros cúbicos por hectárea y año, lo cual corresponde a un caudal continuo de 4,5 litros por segundo.

Las praderas del valle de la Risle (Eure) reciben unos 504.500 metros cúbicos de agua por año, o sean 16 litros por segundo.

En Italia, en el Milanesado, las marcititas exigen un caudal constante de 20 a 42 litros por segundo, o sea de 1.700 a 3.600 metros cúbicos por día, o 63.072 a 1.324.610 metros cúbicos por año.

Los riegos con aguas de cloaca o con aguas industriales se efectúan a veces con enormes volúmenes. Durand-Claye dice que los terrenos permeables del llano de Gennevilliers, en los alrededores de París, reciben de 40 a 100.000 metros cúbicos de agua por hectárea y año. Pero cuando se emplean estas aguas residuales, hay que depurarlas aprovechando el máximo poder de depuración del suelo. La fertilización queda en segundo término, de tal modo que con la mayor frecuencia estos riegos originan un verdadero derroche de elementos fertilizantes.

La diversidad de cifras que acabamos de citar denotan que en cuanto a fertilización no hay regla fija. En teoría, las

cantidades de agua deben variar según su abundancia en principios fertilizantes, naturaleza del suelo, pendiente, clima y cultivo. En la práctica se da la que se tiene, y muy a menudo los riegos dependen de la cantidad de agua disponible. Además, cuando se cuenta con mucha agua, pero muy estéril, no hay que abusar de los riegos con grandes volúmenes, so pena de empobrecer el suelo y al propio tiempo modificar notablemente sus propiedades físicas.

CAPÍTULO VII

DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

Cuando un canal de determinado caudal corre a lo largo por lo alto de un prado, nada más fácil, a primera vista, que regar con esta agua. Pero bien mirado, se echa de ver en seguida que el caso entraña un problema muy delicado, pues además de que el terreno ha de recibir la necesaria cantidad de agua igualmente distribuída, es preciso economizarla a fin de que no se desperdicie por derrame ni por penetración en el suelo, sino que corra lo más rápidamente posible por la tierra sin perjudicarla.

La cantidad y duración del riego, las dimensiones de los tablares, etc., se han de computar de antemano. En esta obra elemental deberíamos contraernos a los hechos corroborados por la práctica y no aconsejar otras reglas que las, por decirlo así, clásicas. Ahora tratamos de cuestiones que todavía tardarán en resolverse, pero su importancia es tal, que no podemos por menos de romper nuestra reserva advirtiendo al lector que sólo nos proponemos llamarle la atención sobre un punto aún obscuro, y por lo tanto ha de acoger cuanto digamos con las mismas restricciones indicadas por los ingenieros y agrónomos cuyas ideas vamos a exponer.

Una vez conocida la cantidad de agua que el riego debe suministrar a la hectárea de tierra o aquella de la que se puede disponer, es necesario saber cómo se distribuirá durante la estación de riego, que comprende, así lo suponemos, 183 días, de abril a octubre.

No hay que dar a la tierra de una vez más agua de la que ella pueda absorber sin inconveniente. En esto será en lo que

intervendrá la consideración de la capacidad absoluta de la tierra para el agua, en volumen, C (véase pág. 99)

Supongamos que se trata de una pradera que requiere 12.000 metros cúbicos de agua durante la época de riegos de 183 días de duración. Si la capa de tierra que nutre las raíces alcanza una profundidad de 0,40 m., pondrá a disposición de las plantas un volumen de $10\ 000 \times 0,4 = 4.000$ metros cúbicos. Este volumen podrá absorber:

$$4.000 \times C_v \text{ o } 4.000 \times 0,40 = 1.600 \text{ metros cúbicos}$$

si $C_v = 0,40$.

Pero nosotros hemos supuesto que la tierra estaba completamente enjugada. Ahora bien, en realidad para que las plantas puedan vegetar, deben encontrar por lo menos un 10 por 100 de agua en el suelo. Habrá, por tanto, que empezar a regar cuando la tierra contenga todavía por lo menos un 10 por 100 de agua.

Y la cantidad de agua que se le podrá dar no será más que de:

$$4.000 \times (0,40 - 0,10) = 1.200 \text{ metros cúbicos.}$$

De esto se deduce que el número de riegos en la estación será de:

$$\frac{12.000}{1.200} = 10.$$

Y que la duración de cada uno de ellos será:

$$\frac{183}{10} = 18 \text{ días aproximadamente.}$$

Augusto Friedrich, catedrático de la Escuela superior de Agricultura de Viena, ha publicado interesantes consideraciones sobre la materia que nos ocupa en la última edición de su obra *Kulturtechnischer Wasserbau*. En Francia, el ingeniero Crevat, auxiliado por el Servicio de Mejoras Agrícolas, y la colaboración de Carrier, entonces inspector general, emprendió notables experimentos. Unos y otros aclaran la cuestión aunque con ciertas reservas, pues se apoyan en el estudio de la

permeabilidad de las tierras, que parece ser la clave del arte de los riegos y drenajes.

Los señores Friedrich y Crevat fundan sus cálculos en el coeficiente de absorción determinado sobre el terreno rodeando determinada área de un aro de hierro cuyos bordes se levantan lo bastante para contener una columna de agua más o menos alta. Es un método muy delicado en su aplicación.

Müntz, Faure y Lainé lo emplean y perfeccionan en los experimentos que han emprendido en Francia y de los cuales hemos hablado. Indudablemente no cabe mayor precisión en los procedimientos que vamos a describir.

He aquí, según Friedrich, las relaciones entre las superficies regadas, la duración del riego, las cantidades de agua y el coeficiente de absorción.

A. Método de Friedrich. — 1.º Riegos por sumersión. — Sean:

T_1 , tiempo necesario, en días, para llenar el depósito;

T_2 , tiempo en días, que permanece lleno;

S , superficie del depósito en metros cuadrados;

h , altura del agua en metros;

k , cantidad de agua infiltrada por días, en metros y por metros cuadrados;

Q , cantidad total de agua necesaria para llevar el agua a la altura h en el depósito;

Q_1 , cantidad de agua necesaria para llenar el depósito;

Q_2 , cantidad de agua perdida por infiltración mientras se vuelve a llenar el depósito;

Q_3 , cantidad de agua que se pierde por evaporación mientras está lleno el depósito;

Q , Q_1 , Q_2 , Q_3 se expresan en metros cúbicos;

e , altura del agua evaporada por día, en metros (varía entre 0,01 metros y 0,025 metros).

En primer lugar, tenemos:

$$(1) \quad Q = Q_1 + Q_2, \quad Q_1 = Sh, \quad Q_2 = \frac{1}{2} ST_1 k,$$

$$Q = \frac{1}{2} ST_1 k + Sh = S \left(\frac{T_1 k}{2} + h \right).$$

Si q designa la cantidad de agua que se ha de dar por segundo y t el número de segundos necesarios para llenar el depósito, tendremos:

$$qt = S \left(\frac{kT_1}{2} + h \right); \text{ o, como } t = 24 \times 60 \times 60 \times T_1,$$

$$q \times 24 \times 60 \times 60 \times T_1 = S \left(\frac{kT_1}{2} + h \right). \quad q = \frac{S}{86.400} \left(\frac{k}{2} + \frac{h}{T_1} \right);$$

$$(2) \quad q = 0,000.111 S \left(\frac{k}{2} + \frac{h}{T_1} \right) \text{ en m}^3 \text{ por segundo.}$$

Mientras está lleno el depósito, es necesario compensar dos pérdidas de agua: 1.^a, por infiltración; 2.^a, por evaporación. La primera es:

$$ST_2k;$$

la segunda:

$$ST_2e;$$

por lo tanto:

$$(3) \quad Q_2 = (S k + e) T_2.$$

Si q' designa la cantidad de agua necesaria para resarcir esta pérdida por segundo, tendremos:

$$(4) \quad q' = \frac{S}{86.400} (k + e) = 0,0000111 S (k + e) \text{ metros cúbicos por segundo.}$$

Si queremos reducir a hectáreas la superficie expresada en metros cuadrados, y S' representa hectáreas, tendremos:

$$(5) \quad q = 0,111 S' \left(\frac{k}{2} + \frac{h}{T_1} \right) \text{ metros cúbicos por segundo.}$$

$$(6) \quad q' = 0,111 S' (k + e) \text{ metros cúbicos por segundo.}$$

Finalmente para examinar el caso de la sumersión con renovación de agua, supongamos que se trata de llenar n veces el depósito durante el tiempo T_2 . ¿Qué cantidad de agua Q se

necesitará? Primeramente hay que calcular la necesaria para resarcir las pérdidas por infiltración y evaporación durante el tiempo T_2 y después la precisa para llenar n veces el depósito, o sea $nS'h$. Tendremos:

$$(7) \quad Q_4 = S' [(k + e) T_2 + nh].$$

Y si q'' es la cantidad de agua necesaria por segundo, resultará:

$$(8) \quad q'' = 0,111 S' \left(k + e + \frac{nh}{T_2} \right) \text{ en metros cúbicos por segundo.}$$

EJEMPLOS. — *Sea una cuenca de sumersión de 8 hectáreas de superficie en que la profundidad media del agua ha de ser de 0,30 metros. El canal de alimentación tiene un caudal de 20 litros por segundo y hectárea. La infiltración es de 0,12 m.³ por día y metro cuadrado, y la evaporación, 0,01 m. por día.*

1.º *¿Cuánto tiempo tardará en llenarse la cuenca de sumersión?*

La ecuación (5) da:

$$0,200 = 0,111 \times 8 \left(\frac{0,12}{2} + \frac{0,30}{T_1} \right),$$

de donde $T_1 = 1,8$ días = 1 día 11 horas.

2.º *Una vez llena la cuenca, ¿cuánta agua habrá que dar para mantener la altura en 0,30 metros?*

La ecuación (6) da:

$$q' = 0,111 \times 8 (0,12 + 0,01),$$

$$q' = 0,115.$$

Así podrá reducirse el caudal de 200 litros a 115 o 120 litros aproximadamente.

3.º *¿Cuánta agua habrá que suministrar para que no sólo se mantenga en la cuenca a altura constante durante los seis días siguientes al en que se llenó, sino para renovarla dos veces en este tiempo?*

La ecuación (8) resuelve el problema:

$$q'' = 0,111 \times 8 \left(0,12 + 0,01 + 2 \cdot \frac{0,30}{6} \right),$$

$$q' = 0,204 \text{ m}^3 \text{ por segundo.}$$

2.º Riego por circulación. — Hay dos fases en este riego. 1.ª, cuando el agua sale de la parte superior del tablar y llega a la inferior; 2.ª, cuando, establecido el régimen, el agua penetra en el suelo y la sobrante sale del tablar regado.

Veamos qué relación hay entre los factores siguientes:

q , cantidad de agua en litros que se suministra por segundo a la superficie regada;

t , tiempo en segundos;

L , longitud del tablar en metros;

l , ancho del tablar en metros;

h , altura media, en metros, de la capa de agua que circula por el tablar;

k , coeficiente de absorción o cantidad de agua absorbida por segundo y metro cuadrado, expresada en metros y determinada según queda dicho.

La cantidad de agua consumida durante la primera fase es en litros:

$$1.000 \times L. l. h$$

La cantidad media de agua absorbida durante la segunda fase se evalúa en litros, según Friedrich, en:

$$\frac{1.000 L. k. t}{2}$$

Pues la parte inferior del tablar recibe en el tiempo t menos agua que la parte superior.

Por lo tanto, el agua total que se ha de suministrar durante el tiempo t será:

$$1.000 \left(L. l. h + \frac{L. l. k. t}{2} \right).$$

Y tendremos:

$$qt = 1.000 \left(L. l. h + \frac{L. l. k. t}{2} \right).$$

De donde

$$(9) \quad t = \frac{1.000 L. l. h}{q - 500 L. l. k}$$

El valor de h depende de la pendiente del tablar y del estado de su superficie. Friedrich la computa en 0,010 m. para la pendiente mínima de 2,5 por 100 y una superficie muy regular en 0,025 m. para pendientes más pequeñas y superficies menos regulares, y en 0,050 m. para las tierras de labor.

En cuanto a la segunda fase del riego, durante la cual se establece la circulación permanente del agua, Friedrich la determina por la siguiente fórmula:

$$(10) \quad q = 1.000 L. l. k + \frac{1}{n} q.$$

Indica esta fórmula que una fracción constante del agua de riego, la que no penetra en el suelo, se derrama fuera del tablar.

El valor de n varía según la intensidad del riego, y es igual a 10 en los riegos que tan sólo refrescan la tierra, a 4 en los de intensidad media y a 2 en los enérgicos.

EJEMPLOS NUMÉRICOS.—Los siguientes ejemplos numéricos demuestran el interés práctico de ambas fórmulas:

1.º *Calcular el ancho que ha de tener un tablar para riego sencillo, siendo 30 metros la longitud de la acequia que vierte el agua en cantidad de un litro por segundo en la superficie del tablar. La permeabilidad k del suelo es de 0,004 milímetros por segundo y metro cuadrado: $n = 10$.*

De la igualdad (10) resulta:

$$1 = 30. l \times 0,004 + \frac{1}{10} \times 1,$$

de donde $l = 7,50$ m.

2.º *¿Cuánto tiempo tardará el agua en llegar al límite del tablar?*

De la igualdad (9) resulta:

$$t = \frac{1.000 \times 30 \times 7,5 \times 0,01}{1 - 500 \times 30 \times 7,5 \times 0,000,004} = 4,363'' = 1 \text{ h. } 12'.$$

Así vemos que el régimen permanente de riego se establecerá al cabo de una hora aproximadamente, suponiendo el tablar bien construido.

3.º Si el consumo diario del agua es de 0,004 m., ¿cuánto tiempo se habrá de dar agua en las condiciones precedentes para que el suelo almacene la suficiente para satisfacer las necesidades de diez días?

La provisión de agua corresponde a una altura de $0,004 \times 10 = 0,04$ m. Ahora bien, como el suelo absorbe 0,000004 m. por segundo, para absorber una columna de agua de 0,04 m. se necesitarán $0,000004 \times 10.000$ segundos o sean dos horas y cuarenta y seis minutos. En total tres horas y cuarenta y seis minutos, porque el régimen permanente tarda una hora en establecerse.

4.º ¿Cuál deberá ser la cantidad que se dé por segundo a este tablar para que reciba un riego intenso correspondiendo a n el valor 2?

La igualdad (10) se convierte entonces en:

$$\begin{aligned} q &= 30 \times 7,5 \times 0,004 + 0,5 \times q, \\ q &= 1,8 \text{ litros,} \end{aligned}$$

o sea por hectárea y segundo:

$$\frac{1,8 \times 10\,000}{225} = 80 \text{ litros.}$$

5.º Supongamos que los datos precedentes permanezcan los mismos, pero que $k = 0,008$ mm., en lugar de 0,004 mm. ¿En qué condiciones se efectuará el riego?

El agua, para llegar a la parte baja del tablar, tardará:

$$t = \frac{1.000 \times 30 \times 7,5 \times 0,01}{1 - 500 \times 30 \times 7,5 \times 0,000,008} = 22,500'' = 6 \text{ horas.}$$

Para que una columna de agua de 0,05 m., correspondiente al aprovisionamiento de diez días, se filtre en el suelo, suponiendo que $k = 0,008$ mm., será preciso que el riego se prosiga durante un tiempo t' , igual a:

$$t' = \frac{0,05 \text{ m.}}{0,000008 \text{ m.}} = 6,250'' = 1 \text{ h. } 45''.$$

Los valores t y t' demuestran que el riego se efectúa de un modo irracional. La cantidad de agua teóricamente necesaria

es de $30 \times 7,5 + 0,05 \text{ m.} = 11,25 \text{ m}^3$; luego, se empleará un volumen de agua igual a

$$3,600 \left(6 + 1 \frac{3}{4} \right) = 27,7 \text{ m}^3$$

Además, la parte superior del tablar recibirá mucha más agua que la parte inferior.

Con este nuevo valor de k , para permanecer en condiciones racionales, habrá que modificar el caudal q , dando, por ejemplo, 2 litros por segundo en lugar de 1 litro. Entonces se tendrá:

$$t = \frac{2 \times 30 \times 7,5 \times 10}{4 - 30 \times 7,5 \times 0,008} = 2,045'' = 34'.$$

La duración total del riego será de 1 hora $\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{2}$ hora aproximadamente, o sea 2 horas $\frac{1}{4}$; la cantidad de agua gastada: $3.600 \times 2,25 \times 2 = 16,2 \text{ m}^3$. y se habrá hecho mucho mejor el reparto del agua por la superficie del tablar.

Estos ejemplos demuestran que si bien las fórmulas todavía no son exactas, *por lo menos permiten* considerar bajo un nuevo aspecto los problemas relativos a las cantidades de agua en los riegos y a la duración de éstos. Más adelante veremos que Mr. Crevat ha profundizado más en esta cuestión.

M. Friedrich inserta en su obra dos tablas calculadas con las fórmulas anteriores. En la página siguiente damos la primera, que resulta de la aplicación de la igualdad:

$$q = 1.000 \text{ L. l. } k + \frac{1}{n} q.$$

La segunda tabla indica el tiempo necesario para el reparto del agua en tablares de diferentes anchos.

B. Método de M. J. Crevat.— M. J. Crevat (1), distinguido agrónomo y práctico de la Biolière (Ain), con la colaboración de M. Carrier, inspector general de Mejoras agrícolas, ejecutó en 1906 importantes investigaciones, que preci-

(1) CREVAT, *Les conditions d'irrigation rationnelle*, París, 1907.

san bastante los problemas relativos a los riegos. Como dice M. Crevat, estas investigaciones se referían a los riegos de simple humedecimiento de las praderas de su propiedad. Se trata de suelos más o menos permeables que descansan sobre una gruesa capa de grava. Los experimentos de M. Crevat deberán repetirse en diversas condiciones antes de generalizar sus consecuencias. No obstante, M. Crevat expuso una teoría que hasta ahora está corroborada en los mismos lugares de experimentación.

Aun cuando los principios que anuncia se pueden aplicar a toda clase de riegos por circulación, tienen por principal objetivo el riego por el método provenzal.

Cantidades de agua necesarias en litros por segundo y hectárea para regar por circulación suelos cuyo coeficiente de permeabilidad varía de 0,001 a 0,010.

| COEFICIENTE de permeabilidad del suelo en milímetros, por segundo y por m ² | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,007 | 0,008 | 0,009 | 0,010 |
| | | | | | | | | | | |

Cantidades de agua necesarias por hectárea y segundo

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Humedecimiento sencillo . . . | 22 | 22 | 35 | 45 | 55 | 65 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| Circulación débil | 15 | 30 | 40 | 55 | 65 | 80 | 95 | 105 | 120 | 135 |
| Circulación fuerte | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 |
| Circulación muy fuerte | 40 | 80 | 120 | 160 | 200 | 240 | 280 | 320 | 360 | 400 |

Los experimentos de Mr. Crevat, en colaboración con M. Carrier, sobre la velocidad de la circulación del agua, le indujeron a establecer una fórmula relativamente sencilla que enlaza la longitud de los tablares regados con la dotación de riego, pendiente del terreno y coeficiente de absorción. Si dos factores permanecen constantes y varía el otro, se puede advertir la influencia sucesiva de cada uno de ellos en la longitud de las tablas. Finalmente, como todas las cantidades están

relacionadas entre sí, ya sea por su propia definición, ya por la fórmula de que hemos hablado, es fácil calcularlas todas, con ciertos coeficientes de corrección que determinó M. Crevat. Construyó, además, unas tablas que pueden servir como modelos para investigaciones del mismo orden y que permiten obtener rápidamente la solución. Véanse las definiciones de los diferentes factores que M. Crevat llama *condiciones racionales de riego*.

DOTACIÓN TEÓRICA DEL RIEGO. — *Según M. Crevat, es el número de litros de agua que puede absorber y retener un terreno por metro cuadrado sin dejar que se pierda en el subsuelo.*

M. Crevat estima que en sus tierras de buena calidad de la Biolière, de subsuelo permeable, el suelo debe mojarse hasta 0,50 metros de profundidad y que una capa de agua bien uniforme podrá humedecer hasta cinco veces su espesor. Teóricamente será preciso que la capa de agua alcance 0,10 metros, lo que corresponde a 100 litros por metro cuadrado y a $100 \times 10.000 = 1.000$ metros cúbicos por hectárea. En suelos de mala calidad, secos y pedregosos, de 0,25 metros de profundidad, bastarán 0,05 metros, o sean 50 litros por metro cuadrado o 500 metros cúbicos por hectárea.

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE LAS TIERRAS. — *Es el número de litros de agua que puede absorber el terreno por metro cuadrado y por minuto, cuando recibe su dotación teórica de riego en forma de capa delgada de agua que circula por su superficie.*

M. Crevat lo determina cercando una superficie muy horizontal de terreno, de 2 metros cuadrados por lo menos. Naturalmente, debe elegirse un sitio no labrado desde uno o dos años antes. La cerca de hierro que lo limita sobresale del suelo unos 5 centímetros y penetra otro tanto. Después de regar ligeramente el perímetro para evitar las filtraciones laterales y después de recubrir con tierra comprimida para evitar las fugas, se vierte lentamente en su interior y en algunos minutos la dotación conveniente de agua y se comprueba cuántos minutos tarda en absorberse por completo. Se deduce el coeficiente de absorción, que desde luego varía mucho en

los diferentes suelos; muy pequeño en las tierras finas, compactas y profundas; muy grande en los terrenos arenosos. M. Crevat calculó que puede variar entre 0,1 y 100 litros, y en suelos del mismo origen de su finca comprobó variaciones de 1 a 20 litros.

DURACIÓN TEÓRICA DEL RIEGO.— *Es el tiempo, expresado en minutos, necesario para que el suelo absorba la dotación teórica de riego, cuando el agua circula en capas delgadas.* Es evidente que depende de la naturaleza del terreno. Para una misma dotación de riego será tanto más corto cuanto menos profundos y más gruesos sean los elementos constitutivos de la tierra, y tanto más largo cuanto más finos sean los elementos de que esté constituida la tierra y más profundidad tenga. Los trabajos agrícolas, excavaciones, drenajes, etc., lo modifican y aumentan.

MÓDULOS DE RIEGO.— *Es el rendimiento en litros por segundo del canal de distribución.*

UNIDAD PARCELARIA DE RIEGO.— *Es la superficie de terreno que se puede regar de una sola vez empleando todo el módulo de riego en el tiempo que marca la duración teórica del riego.* Depende de la dotación teórica del riego, de la duración del riego y del módulo. Así, con un módulo de 100 litros, si la dotación teórica es de 100 litros de quince minutos de duración, se podrá regar de una sola vez $\frac{100 \times 60 \times 15}{100} = 900$ me-

tros cuadrados. Se tendrá que dividir la superficie que debe regarse en superficies de 9 áreas, que se regarán sucesivamente, recibiendo cada parcela toda el agua del módulo durante quince minutos.

Supongamos que se trata de regar un terreno de 10 hectáreas (1) con un módulo frecuentemente usado en el Mediodía de Francia, 50 litros por segundo y hectárea, que la dotación de riego sea de 100 litros o de 0,100 metros cúbicos y la duración del riego de veinte minutos.

En estas condiciones, ¿cuántos metros cuadrados se po-

(1) Trátase aquí del módulo del canal de distribución sobre la superficie regada.

drán regar a la vez? Siendo el módulo de 50 litros por segundo y hectárea, la cantidad de agua disponible en veinte minutos para 10 hectáreas será de $10 \times 50 \times 60 \times 20 = 600.000$ litros; siendo la dotación de riego de 100 litros por metro cuadrado, se podrán regar $\frac{600.000}{100} = 6.000$ metros cuadrados. Habrá que dividir las 10 hectáreas en parcelas de 6.000 metros cuadrados y regarlas sucesivamente, operación que requerirá teóricamente para las 10 hectáreas:

$$\frac{20 \times 10\,000 \times 10}{6.000} = 5,556 \text{ horas.}$$

VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN DEL AGUA. — *Es la velocidad media con que una delgada capa de agua atraviesa una sección perpendicular a la dirección de la circulación, de tal modo que, multiplicándola por el área de esta sección, suministre un producto igual al gasto.* No hay que confundirla con la *velocidad media en la superficie*, que siempre es mayor. En sus experimentos han procurado Crevat y Carrier buscarla aproximadamente vertiendo muy de prisa una disolución concentrada de permanganato potásico o de fucsina en una línea transversal a la dirección del agua, que, al teñirse, permitía comprobar cuántos segundos se necesitaban para que el agua colorada recorriese una distancia determinada, por ejemplo 10 metros.

Esta velocidad depende evidentemente de la altura del agua en la sección líquida, de la *pendiente de la superficie del agua* y del espesor de la hierba. Para quedar precisado de un modo algo exacto, requeriría numerosos experimentos en diversidad de condiciones. M. Crevat, fundándose en los que había practicado con M. Carrier, estima que aproximadamente pueden computarse por la fórmula siguiente, para una pradera muy llana, en que la hierba rebrote después de la siega:

$$(1) \quad v = 20 h \sqrt{I},$$

h representa la altura del agua, *I* la pendiente de la *superficie del agua*. Para una pendiente *I*, constante, esta velocidad es,

pues, proporcional a la altura h de la capa líquida. Esta velocidad es peligrosa cuando excede de \sqrt{h} en las praderas y de $\frac{1}{2}\sqrt{h}$ en las tierras de cultivo. Nunca debe ser superior a 0,30 m. por segundo, porque entonces el agua podría socavar el terreno y abatir las plantas.

Desde luego, la determinación del coeficiente de $h\sqrt{i}$ exige cuantas reservas expuso el mismo Crevat y las nuevas investigaciones que demanda.

El coeficiente 20 se refiere a una circulación de espesor 0,03 metros a 0,05 metros. M. Crevat considera que hubiera que reducirlo a 10 en los prados fecundos y a 5 en los de musgo, pues éste atenúa enormemente la velocidad de circulación.

LONGITUD DE LA UNIDAD PARCELARIA.—*Es su dimensión en el sentido de la corriente del agua, es decir, en el sentido de la máxima pendiente.*

Designando por x la longitud de la unidad parcelaria y por h la altura del agua al entrar en el terreno, $\frac{x}{h}$ es despreciable con relación a i , pendiente del terreno; se puede substituir I por i y anotar:

$$(2) \quad v = 20 h \sqrt{i};$$

si i , en sí misma, es relativamente pequeña, 0,001 a 0,002, M. Crevat propone añadir a i la cantidad $\frac{h}{x}$, y entonces:

$$(3) \quad v = 20 h \sqrt{i + \frac{h}{x}}$$

UNIDAD DE GASTO DE LA CORRIENTE.—*Es el número de litros de agua por segundo que pasan por metro de ancho a la entrada del tablar.*

Evidentemente es igual al producto del espesor de la corriente por su velocidad, tomando por unidad de longitud el metro.

Fórmula de los riegos por circulación.—Sean:

A, dotación de riego, expresada en altura de agua;

c , coeficiente de absorción, altura de agua absorbida por segundo;

i , pendiente del terreno en el sentido de la corriente;

I , pendiente de la superficie del agua;

t , duración de un riego;

h , altura de la corriente a la entrada del tablar;

v , velocidad de la corriente a la entrada del tablar;

x , longitud máxima de la unidad parcelaria;

l , su anchura;

P , superficie de la unidad parcelaria;

q , unidad del gasto de la corriente a la entrada;

m , módulo de riego o gasto a la entrada de la parcela.

La altura, longitud y anchura se expresan en metros, la superficie en metros cuadrados, el rendimiento en metros cúbicos y la duración en segundos.

De las definiciones se infieren desde luego las siguientes relaciones:

$$(1) \quad t = \frac{A}{c}; \quad (2) \quad P = xl = \frac{tm}{A} = \frac{m}{c} \quad m = ql; \quad (3)$$

$$(4) \quad q = vh = xc = \frac{m}{l} = \frac{x A}{t}; \quad x = \frac{q}{c}; \quad (5)$$

la velocidad de la circulación viene dada por la fórmula:

$$v = 20 h \sqrt{I},$$

o también con las reservas más arriba expresadas:

$$(6) \quad v = 20 h \sqrt{i + \frac{h}{x}}.$$

A estas relaciones, M. Crevat añade otra que define la longitud máxima x del tablar, una vez establecido el régimen de riego. Entonces la absorción total por segundo es igual al caudal o gasto de entrada, es decir, que:

$$(7) \quad cx = vh, \quad x = \frac{vh}{c}.$$

Por otra parte, M. Crevat admite que la velocidad media de la corriente durante el tiempo t que emplea el agua en

recorrer la longitud x de la tabla, es igual a la mitad de la velocidad v del agua a la entrada. Sean (fig. 86) $OB = h$ el espesor de la capa de agua a la entrada; OA la longitud máxima que puede alcanzar la corriente cuando la absorción total iguala al gasto en la entrada. Suponemos que el agua entra con la velocidad inicial resultante de la altura h y

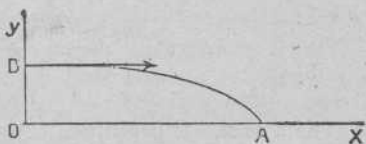


Fig. 86. — Determinación de la longitud de los tablares de riego.

de la pendiente i , hipótesis que se realiza al cabo de algunos segundos. La velocidad, en un punto cualquiera de la capa, es igual a $20 h \sqrt{i}$, es decir, que, como ya hemos indicado, para una pendiente constante es proporcional a la altura h .

Suponiendo constante el coeficiente de absorción del suelo, cualquiera que sea la velocidad de la circulación, a medida que una sección OB de agua avanza sobre el eje OX , que representa el suelo, su altura inicial h disminuye en una cantidad constante por segundo y la velocidad v disminuye en una cantidad proporcional. Se puede, por tanto, comparar el movimiento de la molécula líquida situada originariamente en B al de un proyectil lanzado verticalmente desde este punto, con velocidad inicial v , que fuese disminuyendo en una cantidad constante por segundo. Se puede, en consecuencia, evaluar en $\frac{v}{2}$ la velocidad media de la molécula B o de la sección OB , durante su recorrido OA .

M. Crevat parte, por consiguiente, de la expresión:

$$x = \frac{v}{2} t$$

o, puesto que $t = \frac{A}{c}$, $x = \frac{vA}{2c}$, y que (7) $x = \frac{vh}{c}$,

$$\frac{vh}{c} = \frac{vA}{2c}, \quad \text{de donde} \quad h = \frac{A}{2}.$$

De todo lo cual resulta:

$$x = 10 Ah \sqrt{i + \frac{h}{x}},$$

o sea:

$$(8) \quad x = \frac{5A^2}{c} \sqrt{i + \frac{A}{2c}}.$$

Esta ecuación permite calcular por tanteo la longitud máxima x del tablar y deducir, gracias a las seis ecuaciones precedentes, las demás condiciones de riego, tales como la *unidad de caudal a la entrada*, el *ancho de la parcela* que se puede regar con un módulo dado, la *duración del riego* cuando se da la *dotación*, la *pendiente del terreno* y el *coeficiente de absorción*.

M. Crevat compuso cuatro tablas (que no podemos reproducir aquí, pero que hallará el lector en la obra que hemos citado), que permiten calcular las condiciones de riego.

Dos últimas tablas, las números V y VI, permiten aportar las correcciones necesarias a los resultados que suministran las cuatro primeras.

Efectivamente, los cálculos que resumen las tablas I a IV se refieren a terrenos de por lo menos 0,02 metros de pendiente y superficie rigurosamente plana. Pero, generalmente, estas dos condiciones no se cumplen. M. Crevat propone dos coeficientes de corrección. El primero se aplica del siguiente modo: la longitud del tablar se disminuye en $\frac{1}{100}$ por cada milímetro de pendiente sobre la de 0,02 metros. En la misma proporción se reduce la duración del riego.

En cuanto a la influencia de la imperfección de la nivelación, M. Crevat estima en 20 litros la cantidad media en que se debe aumentar la dotación de agua para compensarla. Y se reduce la longitud del tablar o parcela y la duración del riego en el producto de estos dos coeficientes. Las tablas V y VI mencionadas dan: una de ellas, el valor de cada uno de estos coeficientes y su producto para cada duración de riego combinado con cada una de las pendientes del terreno; y la otra,

las longitudes reducidas de las parcelas, teniendo en cuenta los coeficientes de la tabla V para dotaciones y pendientes variables, cuando el coeficiente de absorción es 0,0001.

Cualquiera que sea el método de riego empleado y a pesar de todos los cuidados en coordinar las diversas condiciones del mismo, rara vez se llegará a realizar el riego ideal, perfecto. Así, en la práctica, es necesario emplear un tercio o un cuarto más que la dotación teórica suficiente, y sobre todo si los terrenos son muy permeables.

Los experimentos de M. Crevat requieren las reservas formuladas por él mismo; pero tienen el mérito de haber llevado la observación y el razonamiento a un terreno hasta hoy absolutamente empírico. No cabe duda que los perfeccionamientos de que serán objeto les darán mayor precisión.

«Evidentemente, dice M. Crevat, no deben tomarse muy al pie de la letra los resultados de estos cálculos que descansan en bases todavía poco precisas. No obstante, creo que pueden evitar a los prácticos errores mayúsculos al establecer riegos en regiones agrícolas donde todavía no existen o no haya nada que les pueda guiar. Como que la naturaleza del terreno, de una a otra región, varía enormemente, es muy arriesgado imitar servilmente en un país lo que en otro se ha visto practicar con éxito, aun cuando estos dos terrenos no estén muy lejanos y parezcan semejantes.»

Cuando el agua no es muy cara, no tiene gran importancia el derroche, pero en la mayoría de los casos el agua cuesta bastante y hay que limitar su empleo a la cantidad estrictamente necesaria.

Estos experimentos, y otros estudios parecidos reiterados en las más variadas condiciones, pueden conducir a determinar las cantidades de agua de riego, las duraciones de riego, las dimensiones de las parcelas, etc., y a establecer, por último, la fórmula de riego racional.

CAPÍTULO VIII

PRECIO DEL AGUA

Hay que distinguir entre el *precio de coste* y el *precio de venta*.

El *precio de coste* es extraordinariamente variable, pues depende evidentemente de los medios que se pongan en práctica para obtener el agua.

Los motores hidráulicos la suministran muy barata. Desgraciadamente es difícil la continuidad de su marcha en el momento en que los riegos son más necesarios, es decir, en verano, cuando el caudal disminuye por el estiaje. Durand-Claye cita en su obra muchas grandes centrales hidráulicas en que el precio de coste del metro cúbico de agua elevado a 10 metros varía entre 0,00104 francos (rueda Girard) y 0,00352 francos (rueda Sagebien).

Según Charpentier de Cossigny, un caballo atado a una noria desarrolla 45 kilográmetros por segundo. En el mismo tiempo puede elevar 8,4 litros de agua de un pozo situado a 4 metros de profundidad, suponiendo que el mecanismo aproveche el 75 por 100 del trabajo efectuado. Por jornada de ocho horas puede suministrar 240 metros cúbicos. Si la jornada del caballo vale 3,50 francos, el metro cúbico de agua resultará por este motivo a 0,1458 francos y los 15.552 metros cúbicos que en el Mediodía se consideran anualmente necesarios para un riego medio, resultarán a 226,76 francos, sin contar la amortización de los gastos de instalación del pozo y de la noria, ni la conservación de ésta.

Las máquinas de vapor y las bombas destinadas a la elevación del agua deben ser rústicas. Según Durand-Claye no puede esperarse que consuman mucho menos de 4 kilogramos

de carbón por caballo y hora; esto corresponde a un gasto medio aproximado de 0,10 francos por elevación de un metro cúbico a 10 metros de altura (cifras anteriores a la guerra).

En resumen, ordinariamente se puede calcular (sin el *interés* ni la *amortización* de las obras, que se evalúan en un 10 por 100 del capital empleado) un gasto de 0,10 francos por 1.000 metros cúbicos elevados a un metro, si se usan motores hidráulicos, y de 0,30 a un franco, en el caso en que se empleen motores de vapor (Bechmann).

La gran diferencia entre los precios de coste del agua elevada con motores de vapor se debe a las circunstancias variables de su empleo.

He aquí el precio de coste del agua suministrada por algunos canales, que entresacamos de la *Hidráulica agrícola* de Durand-Claye. Para establecerlos se han tenido en cuenta: gastos de construcción del canal de conducción y de la toma de agua, interés y amortización del capital, gastos de conservación y gastos de vigilancia.

Se refieren al gasto continuo de un litro por segundo y al periodo anterior a la guerra (véase pág. 341).

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Canal de Carpentras | 58,33 francos |
| » de Forez | 73,33 » |
| » de Saint-Martory | 40 » |
| » de la Bourne | 85.70 » |
| » de Verdon | 200 » |
| » de Cavour (Italia) | 33.60 » |

Los canales franceses comprendidos en esta enumeración sólo llevan unos 6 a 10 metros cúbicos por segundo, mientras que el de Cavour lleva 110 metros cúbicos por segundo. De estas cifras se colige la enorme diferencia entre el precio de coste del canal italiano y el de los canales franceses. Los canales caudalosos son mucho más convenientes porque los gastos generales y los de establecimiento de las obras corresponden a caudales mucho mayores.

El precio de venta del agua de los canales de riego es muy variable. En los canales más antiguos la venta generalmente se efectúa por superficie regada. Generalmente el precio del agua es de unos 30 francos por hectárea regada. Este proce-

dimiento de venta es muy defectuoso, porque incita al derroche del agua y a los fraudes y después la cantidad de agua suministrada no está bien definida.

La mejor base de tasación es indudablemente la unidad de litro por segundo, que generalmente se adopta en los canales modernos. Entonces y durante la estación de los riegos el agua se vende a tanto el litro, cuando se trata de un riego discontinuo, o bien según el volumen suministrado por segundo durante todo el año. Es mejor no especificar sobre qué extensión se repartirá el agua recibida. El cultivador debe poder distribuir el agua como le convenga.

La concesión periódica de un litro de agua por segundo da derecho a recibir en total un volumen de 15.552 metros cúbicos durante los seis meses que dura la estación del riego ($15.552 \text{ m.}^3 = 86,4 \text{ m.}^3 \times 180$).

El precio del litro de agua en estas condiciones varía según los lugares. En el canal de Forez es de 40 francos por medio litro por segundo durante los seis meses de la estación de riego. El agua proporcionada durante todo el año para la alimentación y usos industriales cuesta 160 francos el litro (precio anterior a la guerra).

El precio de venta del litro continuo de agua oscila en los canales de construcción más reciente entre 38 y 80 francos. En el canal de Verdon el precio del litro de agua es de 70 francos para el municipio de Aix, de 60 francos para los demás y de 80 francos para las aguas continuas. En el canal de Saint-Martory, el litro por segundo se paga a 66,60 francos, pero hay un máximo de 50 francos por hectárea (precio anterior a la guerra).

El agua, salvo cláusulas especiales, no se suministra de un modo continuo, sino periódicamente.

Así, en el canal de Forez, cada abonado recibe de una sola vez por semana, y en el mismo año, siempre en el mismo día y a las mismas horas, el total del gasto de su acequia. El caudal de ésta y la duración del riego están regulados en tal forma, que el abonado recibe el volumen total de agua que ha suscrito.

Los abonos generalmente se contratan por un mínimo de

10 y un máximo de 30 años. Las cláusulas y estipulaciones de los contratos son muy variables según las localidades.

A causa de las costosas obras de preparación del suelo, que oscilan entre 300 y 500 francos por hectárea, se calcula el precio medio del agua en Francia en 30 francos, sin exceder de 50 francos (1).

Müntz, Faure y Lainé, en los estudios que efectuaron sobre la permeabilidad de las tierras y sobre los riegos insisten en el gran interés que tiene la venta del *agua por volumen, sin especificación de su empleo en una superficie determinada*, pues así el cultivador reparte el agua en sus tierras según lo necesitan.

Distribución del agua de riego. — Turno. — Horario. — Cuando el propietario es el único que utiliza el agua de un arroyo, puede tomarla a su gusto y talante. Pero cuando recibe el agua que le suministra la Compañía de un canal en volumen determinado y por un precio convenido de antemano, no siendo solo en utilizar el agua del canal, entonces hay que regular la distribución entre él y los demás regantes.

Supongamos que la Compañía del canal le suministra 50 litros por segundo y que quiere dar un riego de 1.000 metros cúbicos por hectárea. Así pues, para regar esta superficie necesitará recibir el agua durante un tiempo de

$$\frac{1.000.000}{50} = 20.000 \text{ segundos}$$

o sea, cinco horas y media aproximadamente.

Si ha de regar cuatro hectáreas, el riego durará 22 horas.

Mediante uno de los aparatos de que antes hemos hablado, la Compañía del canal le suministrará 50 litros de agua por segundo durante un período de 22 horas. Al cabo de este tiempo interrumpirá el envío de agua al canal de conducción para cederla a otro regante.

De esta manera irá estableciendo un *horario regular*, para

(1) Estos precios se refieren a la época anterior a la guerra europea. El precio del agua ha aumentado (1922) en un 80 a 130 por 100, o sea, por término medio, un 100 por 100, sobre aquellos precios.

que cada regante reciba a una hora determinada la cantidad de agua a que está abonado.

En el sur de Francia la duración del riego está fijada en principio en siete días. Así pues, el propietario de las 4 hectáreas a que antes hemos aludido recibirá cada siete días su módulo de 50 litros durante 22 horas.

A fin de que los propietarios no se vean obligados a regar siempre en el mismo momento, lo que sería muy incómodo para los que recibieran el agua por la noche, se ha hecho variar ligeramente la duración del riego. De esta manera las horas del riego varían algo de un periodo a otro.

Si un propietario ha de regar grandes superficies, se le conceden, naturalmente, varios módulos a la vez, con objeto de que pueda efectuar el riego más rápidamente.

CAPÍTULO IX

EJECUCIÓN DE LOS RIEGOS

Proyecto y plano. — Como ya hemos dicho, el ingeniero encargado de implantar los riegos debe aplicar ante todo el método que mejor convenga a las circunstancias naturales; relieve del suelo y cantidad y calidad de las aguas. Debe esforzarse en realizar el riego del modo más sencillo y, por consiguiente, más económico posible. En rigor no hay *procedimientos de riego preconcebidos*. Cada sistema y cada método se aplican a condiciones particulares. No los hay que *a priori* sean mejores que otros. De por sí ninguno asegura el buen resultado del riego, pues todo depende de las condiciones de aplicación y la oportunidad del empleo. En el mismo suelo, y yuxtapuestos, deben aplicarse uno u otro cuando sea preciso. Al ingeniero incumbe manejarlos como al pintor los colores, según las partes del paisaje que quiera reproducir. Hemos visto que entre las dos horizontales del terreno, separadas por 30 centímetros en el plano vertical, a veces se debían orientar los arriates en dos sentidos diferentes. Un poco más arriba, a derecha o a izquierda, la pendiente del suelo puede decidir el empleo de acequias horizontales o el de caballetes.

La pendiente natural del suelo, la conveniencia de reducir al mínimo el movimiento de tierras, y a veces la necesidad de economizar el agua, o de sanear enérgicamente un terreno pantanoso, son los principales factores de la elección del procedimiento de riego.

Al describir cada uno de los métodos, los examinamos. Recordaremos únicamente que siempre que sea posible, es decir, en todos los casos en que la pendiente del suelo se aproxime al

3 por 100, el método de derrame por acequias horizontales es el más ventajoso, tanto por la sencillez de su trazado y de la conducción de las aguas, como por los excelentes resultados que se obtienen. Lo primero que conviene hacer es examinar si se dispone de bastante agua y si está a conveniente nivel para regar el terreno considerado y cuál es su calidad. Esto siempre será fácil en las proximidades de un gran canal de riego.

Cuando se trata de un río o de un arroyo, se mide su caudal empleando uno de los procedimientos descritos. Con el nivel es fácil darse cuenta de la zona que se puede regar. Finalmente, habrá que proceder siempre con todas las garantías legales a fin de evitar pleitos con los usufructuarios y los vecinos.

Efectuadas las primeras comprobaciones, se procede a la nivelación general del terreno (1), tomando como plano de referencia de cota cero el nivel medio del agua en el punto de la derivación. De este modo se distinguirán desde luego los puntos demasiado altos para el riego y que, por consiguiente, se han de nivelar y aquellos otros a donde el agua llegará fácilmente. Pero sobre todo esta operación esencial permitirá determinar la pendiente del suelo en sus diversos sectores. El ingeniero podrá así elegir el sistema de riego conveniente para tal o cual zona de la pradera y calcular aproximadamente la importancia de los desmontes y terraplenes, apreciando en seguida cuántas veces se podrá volver a emplear el agua.

Terminados estos trabajos preliminares, se jalona el canal de conducción de agua, señalando los puntos que indican su dirección de modo que no tenga más del medio a 3 por 1.000 de pendiente (2).

Luego, con auxilio del plano, se llevan al terreno líneas horizontales separadas de 25 a 30 centímetros sobre el plano vertical.

Con pequeñas estacas se señalan estas líneas más o menos regulares, y para distinguirlas entre sí, se da a las estacas de

(1) Véanse sobre este extremo las nociones elementales de nivelación que exponemos al hablar del drenaje.

(2) Vincent marcaba inmediatamente sobre el terreno, con auxilio de estacas, las horizontales separadas de 25 a 30 centímetros.

una línea dirección vertical y oblicua a las de la siguiente. Se redondean los contornos del trazado. El examen de estas horizontales así figuradas sobre el terreno permite advertir la dirección de las acequias horizontales de riego si la pendiente del suelo es por lo menos del 3 por 100 y de la orientación de los arriates si es inferior a 3 por 100. Estando separadas las horizontales 30 centímetros sobre el plano vertical, las zonas del terreno se regarán por el método de acequias horizontales o por el de arriates, según estén comprendidos entre dos horizontales separadas menos o más de 13 metros. Consideraciones de la misma naturaleza deberán guiar al ingeniero en la superposición de tablares, en la determinación de diversas zonas del prado regado y en las disposiciones que tome para volver a emplear el agua de los desagües.

No cabe extenderse mucho sobre estas obras que la habilidad y la práctica del ingeniero pueden variar hasta el infinito. No hay más que recomendar la rigurosa aplicación de los principios del riego racional, es decir, aplicar los procedimientos más sencillos empleando cada vez el método más conveniente a las circunstancias particulares que se presenten.

Este es el primer principio a que obliga el riego racional. Además, enseña a deducir de la separación de las horizontales la orientación de los arriates a fin de establecerlos con el menor movimiento de tierras posible. Si la separación de las horizontales no excede de 20 a 25 metros, longitud óptima del arriate, los tablares podrán disponerse en el sentido de la pendiente del suelo. Pero si dicha separación pasa de 20 a 25 metros, se dispondrán perpendicularmente a la pendiente.

En un terreno algo quebrado, las horizontales de más de 25 metros de separación pueden aproximarse a menor distancia, y entonces, en la parte del terreno en que las horizontales están a más de 25 metros, se dispondrán los arriates perpendicularmente a la pendiente orientándonos en el sentido de ésta en los parajes donde se acerquen las horizontales.

Casi siempre los arriates tienen la dirección de la pendiente del suelo. Se escalonan unos debajo de otros. La figura 55 representa una porción del terreno donde terminan los tablares de un piso y principian los del inmediatamente inferior: AA es

el canal de desagüe del piso superior; BB' el canal de distribución correspondiente al segundo piso. El espacio que los separa sirve de camino, está cubierto de césped y el canal de desagüe lo puede regar.

Ejecución de las obras. — Se empezará por abrir los principales canales de desagüe, a fin de que el agua contenida en la tierra o que se le aporte no entorpezca las obras. Al propio

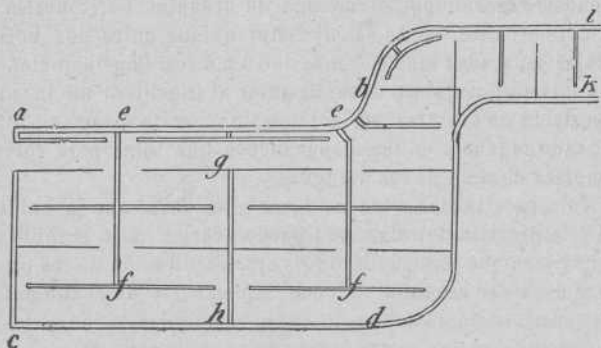


Fig. 87. — Disposición de los arriates en terreno quebrado

a b i, canal de conducción. — *e f, e f*, canal de distribución. — *g h, k i*, acequias de desagüe. — *c d*, canal de evacuación

tiempo se secan y adquieren consistencia los sitios pantanosos o excesivamente húmedos.

Después se construye el principal canal de distribución, que pronto se hace necesario para conducir el agua a las acequias y regular sus pendientes.

En seguida, si se trata de una pradera antigua, se extirpa el césped que cubre el suelo. Si se trata de un terreno cubierto de juncos y mimbres o de cualquier otra planta inútil y de difícil destrucción, hay que emplear el arado.

El césped se quita por fajas rectangulares de 30 centímetros de anchura y 2 ó 3 metros de longitud o por placas cuadradas. Casi siempre esta operación se efectúa a mano. Se *corta el césped* a golpes del aparato representado en las figuras 88 y 89. Existen otros muchos tipos de instrumentos análogos. Previamente se tiene una cuerda a cierta distancia de la línea

por la cual ha de hacerse el corte. Así recortada la faja de césped, según sus dos lados, se levanta en una anchura de 10 centímetros con una azada de hoja cortante, de 10 a 12 centí-

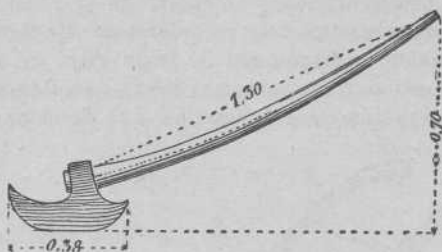


Fig. 88. — Hacha para cortar el césped

metros de anchura y 30 de longitud. Cuando el terreno no es demasiado seco ni guijarroso y se opera en superficies bastante grandes, suele emplearse un arado de reja cuidadosamente afilada.

Las bandas de césped, levantadas del modo explicado, se cortan con la azada a la longitud que se quiere.

Cuando el césped es muy recio y compacto, se arrollan las bandas hacia dentro alrededor de un palo para facilitar el transporte. Se cargan las fajas en carretillas después de dejar de trecho

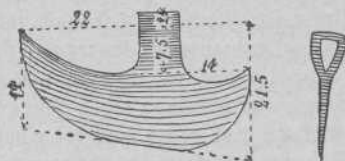


Fig. 89. — Hierro del hacha de la figura 88, visto de frente y de perfil a la escala de 1/10.

en trecho el césped necesario para la construcción de las acequias y se forman montones regulares en el suelo fuera de los sitios donde se haya de trabajar.

Este césped volverá a colocarse luego sobre el terreno al terminar las obras de explanación.

Cuando el riego es por acequias horizontales, no hay que descuajar todo el césped. Basta quitar el que cubre los lugares huecos o demasiado convexos. Sólo se quita del todo para cons-

truir los arriates, y aún a veces bastará quitarlo de las superficies que han de transformarse en acequias y colocar el césped descuajado en cada margen de las acequias horizontales de riego. Ya hemos explicado al hablar de la construcción de *arriates naturales* cómo debe procederse en este caso.

Pero cuando la disposición del suelo exija su total remoción, se procederá como acabamos de explicar. Después se efectuarán las explanaciones necesarias. Las hondonadas se re-

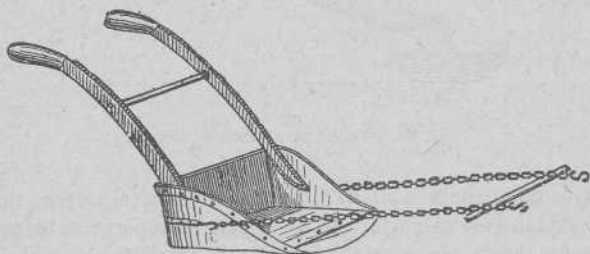


Fig. 90. — Pala de caballo.

llenarán con la tierra que proporcionen los desmontes. Se mullirá convenientemente el suelo, labrándolo y pasando el rodillo alternativamente. El transporte de tierras de uno a otro punto del prado se efectuará intensamente por medio de la *pala de caballo* representada en la figura 90. Es una caja de madera abierta por su parte anterior y cuyo fondo, de 1,50 metros de anchura, está formado por una gruesa placa de palastro reforzado con el borde cortante. Va provista de dos mangos que sostiene el obrero. Cuando los levanta, el instrumento se introduce en el suelo y por la acción del caballo que lo arrastra se carga de tierra. Cuando el obrero suelta los mangos, la caja se inclina y desprende la carga. Se completa este trabajo con el *arado enrasador*, que consiste en una tabla de madera provista en su parte inferior de una sólida plancha de palastro. Se coloca sobre un tren ordinario de arado (Charpentier de Cosigny). Al remover tierras se cuidará de no poner la del subsuelo en lugar de la vegetal que se quita para eliminar un saliente del terreno. Por esto conviene separar la tierra arable,

como se hace con el césped. Evidentemente esta operación requiere exceso de trabajo y gasto, pero si no se practicase, acabaría por estropearse la tierra arable y comprometer la vegetación.

Una vez terminadas las obras de explanación, se trazan las diversas acequias, y si conviene, se construyen los arriates o los medios tablares y luego se vuelve a colocar el césped. Los tepes se disponen unos junto a otros y se echa tierra vegetal en los intervalos que los separan. Se humedece todo y se apisona con un pisón formado por una pieza de madera provista de un mango de un metro de longitud. Cuando no hay bastante césped para cubrir casi por completo la superficie del suelo, se disponen las placas como en un tablero de ajedrez. Se llenan las casillas con buena tierra y se siembran gramíneas.

Hay que reservar bastante césped para tapizar los taludes de las acequias y canales expuestos a desgaste, además de sembrar en seguida las superficies planas.

Trazado y construcción de las acequias en el método de riegos por acequias horizontales. — Para la nivelación del terreno se puede aplicar uno de los métodos que exponremos al hablar del drenaje, por ejemplo, el de los cuadriláteros, trazando en el plano las horizontales y trasladarlas luego al terreno. Pero con frecuencia, si la superficie es pequeña, se trazan en el mismo campo las horizontales, según indicaremos también más adelante. Con el nivel de aire de anteojo se pueden dirigir visuales hasta 120 metros a derecha e izquierda del punto de estación, y así se opera más rápidamente. El nivel de agua limita a 40 ó 50 metros las visuales, según la vista del operador. Però su manejo es tan sencillo y su utilidad tan apropiada a las necesidades de los agricultores, que su empleo es más general que el de anteojo.

Con pequeñas estacas de madera, empezando por la parte alta del prado, se señalan los puntos que están en el mismo plano horizontal que el del eje del anteojo. Para diferenciar las horizontales entre sí, se clavan, alternativamente, estas estacas verticales e inclinadas. Los puntos señalados guardan 4 metros de distancia y las horizontales del plano vertical tienen una separación de unos 50 centímetros, según el declive del terreno.

Los puntos que determinan el paso de las horizontales forman generalmente una línea quebrada, que el director de las obras substituye por una línea curva, sinuosa y continua, de modo que no haya recodos bruscos, trazada con una azada ligera, y de paso se trazan las curvas de unión de las acequias de riego con las de distribución.

Trazadas directamente las horizontales como acabamos de decirlo, habiéndolas llevado al terreno desde el plano y señalándolas con estacas, se trazan las acequias de distribución. Las

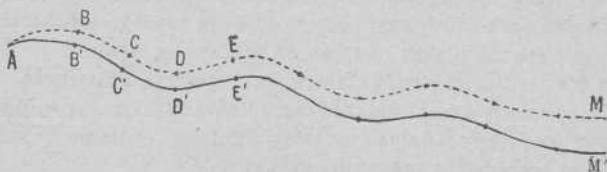


Fig. 91. — Procedimiento para fijar la pendiente de una acequia

horizontales permiten discernir fácilmente las divisorias de las vaguadas. En éstas, se abrirán las acequias de distribución, por las razones ya expuestas, señalando su trazado con jalones algo más altos que los que determinan la dirección de las horizontales.

La de las acequias de distribución se indica por medio de una cuerda que los operarios van siguiendo para arrancar el césped que se coloca cuidadosamente al lado y terminada la acequia se aprovecha para tapizar las paredes y prevenir las degradaciones.

Del mismo modo se procede para las acequias de riego. Si son rectilíneas, se indica la dirección con una cuerda, y si son sinuosas, con estacas de madera o con un surco trazado con el azadón.

Hasta ahora hemos supuesto que las acequias eran rigurosamente horizontales. Pero en la mayoría de los casos deben tener a ambos lados de la acequia de distribución una ligera pendiente, que puede variar de 1 a 3 mm. por metro y facilita singularmente el reparto del agua. Véase como se puede proceder, utilizando las estacas clavadas según las curvas de nivel.

Sean A, B, C, D..., M (fig. 91) la serie de puntos obtenidos por la nivelación, señalados claramente en la línea A M de unos treinta metros de longitud. Supongamos que se quiera abrir una acequia que desde A se dirige a M con una pendiente de 1,5 milímetros por metro. Esta pendiente da, para una longitud de 30 metros, un desnivel de 45 milímetros. Por lo tanto, la acequia deberá terminar en un punto M' situado 45 milímetros más bajo que M. Con el nivel se obtendrá inmediatamente este punto y el mismo procedimiento permitirá determinar los puntos intermedios B', C', D', E'...

Estas acequias de riego tienen perfil rectangular. Miden 15 centímetros de ancho y 10 centímetros de profundidad. Para construirlas basta arrancar un tepe de las mismas dimensiones, y con el instrumento de la figura 88, ya descrito, se trazan en el césped dos cortes verticales separados 15 centímetros entre sí. Luego se corta con la azada en trozos de 25 centímetros de longitud la banda así formada. Finalmente, se desprenden los trozos con una pala. Un operario experto puede construir diariamente unos 300 metros de acequia. Pero hay que transportar el césped a puntos más o menos lejanos, según el destino que se le reserve, y esto puede consumir mucho tiempo. Hay que dejar siempre cierto número de estas placas de césped sobre los bordes de las acequias para formar pequeñas presas cuando el riego funcione. Además, los tepes se emplean para revestir las acequias y los taludes de los terraplenes y para cubrir los parajes sin vegetación.

Cuando las acequias son rigurosamente rectas, hay un apero, especie de *arado*, que permite trazarlas con rapidez, aunque no es posible utilizarlo en las acequias sinuosas.

Hasta ahora hemos supuesto las operaciones en una pradera; pues es mucho más fácil abrir las acequias en un suelo cubierto de césped, ya que las secciones quedan mejor perfiladas, las tierras se sostienen por sí solas y no hay temor de derrumbamientos. Así es que, cuando el suelo no está cubierto de césped, suele aguardarse un año para abrir las acequias. No obstante, puede convenir trazarlas enseguida, a fin de que las siembras y el césped tierno aprovechen el riego. En este caso se da a las acequias de riego

la forma de una pequeña zanja de taludes inclinados que más tarde se rectificarán.

Las acequias de desagüe y el canal de evacuación se abren del mismo modo que las demás acequias y el canal de conducción; pero el canal principal de evacuación, en lugar de tener pendiente pequeña, tiene, por el contrario, la máxima. Se cubre con césped y, si conviene, se hacen pequeños saltos para evitar degradaciones.

Trazados las acequias y canales, se comprueba su pendiente y se acaba de corregir dando paso al agua de modo que penetre en el canal de conducción por medio de una compuerta, y luego se distribuye por las diversas acequias. Atentamente se sigue su distribución y su derrame. Si fuese menester, es fácil corregir la pendiente de las acequias.

Construcción de arriates.—1.º **ARRIATES NATURALES.**— Cuando es posible se procura construir solamente *arriates naturales*. Pero es preciso que la naturaleza se preste a ello, es decir, que la pendiente del terreno sea muy pequeña y que las aguas contengan bastante limo para que sus depósitos completen cada año, poco a poco, el trabajo del obrero. Este procedimiento tiene la ventaja de limitar a muy poca cosa la extirpación de césped, de reducir al mínimo el transporte de tierras y, por consiguiente, el gasto, y de no interrumpir, por decirlo así, la producción del prado.

Se principia por señalar con jalones y estacas el emplazamiento de las diversas acequias y de los caminos que han de separar las series de arriates. Luego se abren las acequias de desagüe que separan los tablares. Así se obtienen tepes con los que se forman las paredes laterales de las acequias de riego.

Antes de colocar las estacas, se tienden a 1,5 metros de los surcos v, v' e y, y' dos cuerdas cuya separación es igual a la longitud del arriate (25 a 30 metros). Las estacas se clavan de manera que sus vértices en r, r' y e, e' queden respectivamente a la misma altura que la cresta del arriate y el fondo de la acequia de desagüe.

El césped procedente de la excavación de las dos acequias de desagüe se coloca junto al anterior, a una y otra parte, de

modo que indique la arista del arriate (fig. 52). Luego se profundizan cada vez más los desagües, hasta ganar el extremo del arriate, y a medida que se va avanzando, se echa la tierra cuidadosamente desmenuzada hacia el centro del tablar. Después se regulariza la superficie lo mejor posible apisonándola ligeramente. La segunda parte de la figura 51 representa el aspecto del arriate en este período de su cons-

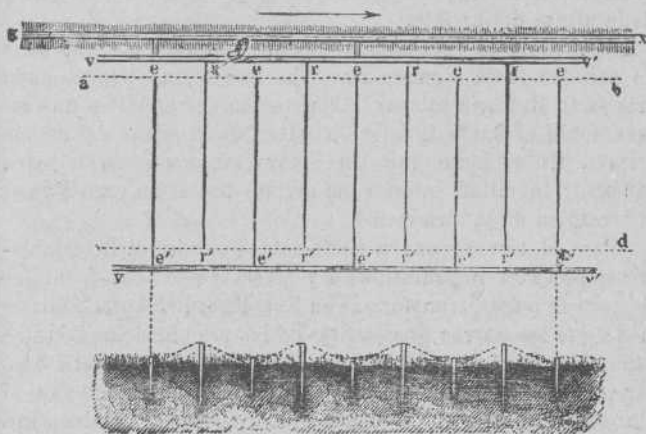


Fig. 92. — Construcción de los arriates naturales

trucción. Más tarde, los depósitos que dejan las aguas lo completarán poco a poco, aunque nunca tendrá configuración muy regular.

2.º ARRIATES ARTIFICIALES. — Efectuada la nivelación del terreno, se traza por la parte más alta el canal de distribución del agua, con la pendiente necesaria. En seguida, por medio de estacas y cuerdas se señala el emplazamiento de las acequias de derrame y desagüe, y de los caminos que separan las series de arriates. Para fijar la dirección de los arriates se han de recordar las consideraciones ya expuestas.

A los caminos de explotación se les da una anchura de 1,5 a 3 metros.

La parte delicada de la construcción de los arriates consiste en la conveniencia de establecerlos de modo que en las obras de explanación el volumen de los desmontes compense aproximadamente al de los terraplenes. Así se reduce en lo posible el transporte de tierras, que siempre ocasiona considerables gastos.

Esto se logra estableciendo la coronación del arriate a una cota conveniente, que depende de la pendiente del terreno y de la altura del arriate.

Si el suelo de cada compartimiento formado por una serie de arriates fuese rigurosamente horizontal, no habría nada más fácil. Bastaría colocar la coronación del arriate a una altura sobre el suelo igual a la mitad de la altura del mismo arriate. Es evidente que las excavaciones necesarias para construir la mitad inferior del arriate bastarían para formar el terraplén de la otra mitad.

Pero el terreno nunca tiene esta disposición. Invariablemente presenta irregularidades y diversas pendientes, aunque siempre se puede transformar en una superficie horizontal, de modo que las tierras procedentes de las prominencias de estas superficies llenen las depresiones. Por lo tanto, bastará buscar en primer término la cota del terreno por donde pase el plano horizontal a que se pueda referir. Luego se establecerán las crestas de los arriates sobre este plano, a una altura igual a la mitad de la total del arriate.

Se procederá del siguiente modo:

Dividido el terreno en compartimientos, si conviene, se colocará el operador, sucesivamente, en el centro aproximado de cada uno de ellos, y desde allí dirigirá el nivel a todas las eminencias o depresiones del terreno. Tomando el promedio de todas las cotas se obtendrá la del plano horizontal a que se puede referir el terreno para que los desmontes y terraplenes se compensen aproximadamente.

Esta cota, que debe servir de punto de referencia para trazar todas las partes del prado, se señala con una estaca fuertemente clavada en el suelo.

Este procedimiento requiere que las depresiones y eminencias del terreno tengan la misma extensión; pues, de lo con-

trario, sería preciso modificar ligeramente a ojo en más o en menos la cota obtenida.

Luego se dividirá el compartimiento obtenido en arriates de la longitud adoptada. Los extremos de las acequias de derrame y de desagüe se señalan con estacas.

Con el nivel se determinarán las cabezas de las acequias de derrame por debajo de la estaca de referencia a una distancia igual a la mitad de la altura del arriate, y los extremos de las estacas que indican los extremos de las acequias de riego, a una distancia por encima igual a la de por abajo.

Se jalonan las acequias con estacas intermedias situadas a las cotas convenientes mediante un juego de niveletas que más adelante describiremos. Por último, se reúnen por una cuerda a la altura deseada las estacas que indican la cresta o coronación de los arriates.

Del mismo modo se procederá para cada arriate. Si la serie no es muy larga, bastará determinar con el nivel las cotas de las crestas y de los extremos de las acequias de desagüe. Las cotas de las demás se determinarán con auxilio de jalones y niveletas.

Ejecutadas así las obras, se arreglan las crestas de las acequias y caminos de explotación con tepes de 0,10 metros de anchura y de 0,03 a 0,05 metros de espesor. Así queda trazado todo el perfil de la obra y en seguida se ataca el suelo con la azada. La tierra extraída en los extremos se va echando en la dirección del centro del tablar, hacia los desagües que se profundizan poco a poco, a medida que se llega al final del arriate. Se debe dejar cuidadosamente la capa vegetal en la superficie. Las capas inferiores del suelo son estériles. También son menos consistentes y por lo tanto sostienen menos firmemente que las superiores la forma del arriate.

Conviene practicar con la azada una excavación tan profunda como sea posible. Algunos ingenieros, Keelhoff por ejemplo, la consideran como condición necesaria para el éxito del riego. Con ello se asegura la desecación del suelo. Sería inútil si el subsuelo fuese absolutamente impermeable.

En la construcción de los arriates hay que tener en cuenta

el asiento de las tierras en los terraplenes, que es aproximadamente igual a $\frac{1}{9}$ de su volumen.

Los trabajos se deben efectuar en el invierno precedente a las siembras.

Establecidos los arriates, se iguala la superficie de sus flancos con un rodillo y se terminan las acequias, cuya pendiente se regulariza. Se comprueba esta pendiente dando el agua con precaución. Es fácil ver si el agua circula fácilmente en la dirección deseada y si es preciso profundizar o levantar el fondo de la acequia. Los diferentes canales y acequias tienen las dimensiones ya indicadas. Las acequias de riego reciben el agua del canal de alimentación a un nivel cada vez menor a medida que se alimentan más lejos en dicho canal siguiendo la pendiente.

Disposición especial para el riego de tablares de grandes dimensiones.—Estos tablares no son ventajosos, porque exigen obras de explanación importantes. Pero la configuración del suelo obliga a recurrir en algunas ocasiones a ellos. A fin de regarlos regularmente, es preciso abrir acequias horizontales en los flancos del arriate y en la coronación triangular. Las figuras 50 y 52 indican con suficiente claridad esta disposición para entrar en pormenores. Las acequias de los flancos se trazan con auxilio del nivel. Comunican con la acequia de derrame por medio de regueras transversales. La acequia de derrame tiene una pendiente un poco mayor que la usual y se dirige hacia el extremo del arriate. Naturalmente, debe ser más ancha que si regase un tablar estrecho.

Esta disposición se adopta cuando la anchura de los tablares es de 15 a 20 metros.

Construcción de planos inclinados.— Si el terreno tiene pendientes en sentido contrario, debe enrasarse previamente y después se señalan con estacas el contorno y los ángulos de los tablares. Las cabezas de estas estacas tendrán la cota conveniente gracias al empleo oportuno del nivel. Los medios tablares se dispondrán transversalmente a la máxima pendiente del terreno.

En la figura 93 se ve cuán fácil es construirlos. La línea

m, n indica en este corte la sección del suelo primitivo. Para formar cada medio tablar, se extrae tierra de la parte más baja y se echa hacia arriba, de modo que el plano quede con una pendiente aproximada del 4 por 100. Cuando la superficie del suelo es regular, el desmonte, al construir cada superficie regada, equivale aproximadamente al terraplén. Las acequias de distribución y de desagüe se construyen como se ha

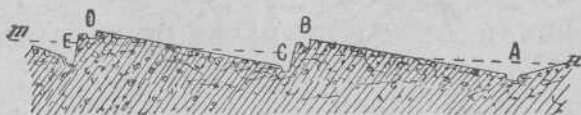


Fig. 93. — Corte de medios tablares superpuestos

m, n, superficie primitiva del suelo. — B, D, acequias de riego.
A, C, E, acequias de desagüe

dicho al hablar de los arriates. Los canales de distribución *cd, ef, gh* (fig. 42), siguen la pendiente natural del terreno. Llevan el agua a los canales de riego *r, r, s*. Según se emplee o no el agua de desagüe, el conjunto de las obras se aproxima a las disposiciones indicadas en las figuras 42 o 44.

Lo más frecuente es que el terreno sea de superficie irregular. Para compensar los desmontes con los terraplenes se seguirá el procedimiento que acabamos de indicar para los arriates. Con auxilio del nivel se buscará la cota del plano horizontal a que se puede referir el terreno.

En seguida se establecerá el centro de cada tablar a la altura de esta cota, y las tierras que procedan de la mitad inferior servirán para terraplenar la mitad superior.

CAPÍTULO X

DRENAJE DE LAS PRADERAS DE REGADÍO

Siempre conviene regar los prados, aun cuando no tengan pendiente ni el subsuelo sea permeable. Pero entonces es preciso que al riego siga un enérgico saneamiento. La aplicación del método de los arriates satisface esta necesidad hasta cierto punto. No se puede emplear siempre; así es que con frecuencia es preciso practicar un drenaje completo. No basta abrir zanjias a cielo abierto, porque por lo general los prados no tienen mucho declive, y para evacuar cortas cantidades de agua las zanjias a cielo abierto requieren mucha pendiente. Si el agua no circula a gran velocidad, no puede vencer la resistencia de las plantas que en seguida cubren los taludes. Las zanjias se ciegan y rápidamente llegan a perjudicar más que a favorecer. Además, como hemos dicho en otro lugar, roban mucho terreno al cultivo. Por lo tanto, debe preferirse el drenaje subterráneo, formando los conductos con piedra o todavía mejor con tubos de barro cocido.

Las prácticas ordinarias del drenaje se aplican también en este caso, pero con las siguientes precauciones:

1.^a El drenaje no puede ser independiente de la red de riego. Los tubos de drenaje nunca se habrán de colocar directamente debajo de las acequias. Tampoco las cruzarán en lo posible. Cuando sea inevitable un cruce, el tubo de drenaje se protegerá contra las filtraciones de agua por medio de un manguito o envolviéndolo con arcilla comprimida. Las líneas de tubos de drenaje terminarán a 1,50 ó 2 metros de las acequias de riego.

2.^a Los tubos de drenaje se colocan a una profundidad de 0,90 a 1,10 metros. Se disponen según la pendiente del terreno,

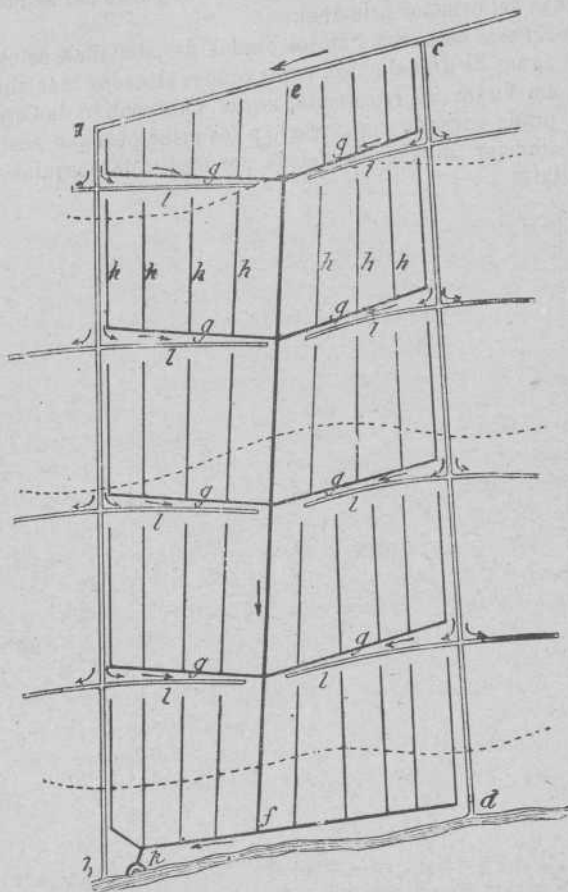


Fig. 94. — Planta de un terreno saneado y regado

Las líneas de puntos representan las curvas de nivel. Los trazos dobles representan las zanjales y acequias para el riego. Los trazos llenos son las líneas de los tubos de drenaje subterráneos.—a, c, canal de conducción.—b, d, arroyo para la evacuación de las aguas sobrantes.

cuando no exceda de 3 a 4 por 1.000, y entonces se da a los colectores una pendiente artificial.

El drenaje sólo es posible cuando se puede dar salida a las aguas del colector principal.

En este caso, como en los prados de montañas, se utilizan las aguas de drenaje para regar prados situados más abajo.

La figura 94 representa, según Charpentier de Cossigny, un prado saneado con arreglo a los principios que acabamos de enunciar. El riego se efectúa por medio de acequias horizontales.

CAPITULO XI

ECONOMÍA DE LOS RIEGOS

Precio de coste de los riegos.—Depende de las dificultades de instalación, de la importancia de las obras que necesita el sistema de riego adoptado y del precio de la mano de obra. Varía según las dificultades del terreno y las regiones, y es imposible establecerlo *a priori* con precisión.

Los riegos por sumersión y por acequias horizontales resultan los más baratos. Los primeros pueden costar (1) de 80 a 150 francos por hectárea; los segundos de 80 a 300 francos. La preparación de las sumersiones requiere a veces movimiento de tierras y entonces aumenta el precio. Lo mismo ocurre cuando se construyen los diques y acequias con cuidado especial. En su Tratado sobre los riegos de la Campine, publicado en 1856, Keelhoff computa en 703 francos el precio de coste de una hectárea de praderas inundables. Pero en esta suma comprende una excavación de 0,60 metros, los abonos y las semillas, o sea unos 592 francos de gastos complementarios, lo que reduce a unos 110 francos el gasto necesario para la sumersión propiamente dicha.

Los principales factores de encarecimiento son los transportes y el movimiento de tierras. El riego natural, que exige poca modificación de la forma general del terreno, ocasionará siempre menos gastos que el riego artificial.

Así, según las cifras dadas por los mejores tratadistas de riegos, el precio de los arriates naturales puede variar, según

(1) Repetimos que estos precios se refieren a la situación anterior a la guerra. En los momentos actuales será menester multiplicar estas cifras por un coeficiente próximo a 3, que hay que confiar en que irá disminuyendo con el tiempo.

las dificultades del terreno y las regiones, entre 95 y 250 francos por hectárea. Puede llegar a 400 y 500 francos si los arriates están escalonados en pisos.

Los arriates artificiales resultan mucho más caros. Pero aquí las cifras oscilan también entre mayores límites, porque la importancia de las obras es muy variable. Pueden comprenderse entre los 500 y 1.500 francos por hectárea, y considerarse las cifras entre los 600 y los 1.000 francos como las más corrientes. Se citan construcciones de prados que han costado hasta 2.000 francos por hectárea. Estas grandes diferencias evidencian que en cada caso se deben considerar cuidadosamente los gastos y tener en cuenta el precio de la mano de obra en la región.

En cuanto a los gastos anuales de conservación, pueden llegar a 20 y 30 francos por hectárea regada.

Estos precios se reducen notablemente cuando se efectúan las obras por una asociación o sindicato de los propietarios interesados. Siempre se deberían emprender en esta forma.

En estos precios no están comprendidos los gastos de establecimiento de obras de fábrica, tales como presas, acueductos, pontones, etc., sino únicamente el proyecto, replanteo y construcción de las acequias, es decir, el riego propiamente dicho.

Resultado del riego.—Antes de realizar una mejora agrícola hay que examinar con cuidado lo que costará y calcular los beneficios que puede producir. Sólo debe efectuarse cuando se obtenga un beneficio seguro y suficiente para compensar el capital inmovilizado. Respecto a los riegos, se puede decir con M. Dunkelberg que ninguna otra mejora agrícola, salvo la desecación de tierras demasiado húmedas, recompensa tan ampliamente al que la emprende con oportunidad. Pero hay que tener en cuenta la naturaleza de los prados, sus cualidades, las que la conducción del agua añadirá, las dificultades y gastos del riego. A veces conviene destinar el dinero que se había de emplear en trabajos costosos, en la compra de praderas de mejor calidad.

No obstante, es muy de notar que el provecho del riego con frecuencia es tanto más ventajoso, cuanto menor es el

valor del suelo, siempre que éste se preste, una vez regado, a la producción de hierbas y mientras que las aguas sean algo fertilizantes.

La estadística agrícola publicada en 1892 por el ministerio de Agricultura da las siguientes cifras como rendimiento de las praderas por año medio y hectárea:

| | SUPERFICIES | RENDIMIENTO POR HECTÁREA |
|--|-------------|-----------------------------|
| | Hectáreas | Kilogramos |
| Prados no regados. | 2 008.851 | 3.100 |
| Prados naturalmente inundados por las avenidas de los ríos | 1.323.198 | 3.600 |
| Prados regados con canales y obras especiales. | 1.070.787 | 3.800 |

Estas cifras medias están muy lejos de representar los rendimientos que se obtienen en buenas condiciones. Si se examina el asunto con más cuidado, la misma estadística nos enseña que en el departamento de Vaucluse, por ejemplo, la cosecha de heno es de 5.000 kilogramos por año medio en prados regados, mientras que en circunstancias análogas desciende a menos de 3.000 kilogramos en Loiret, Marne, Alto Marne y otros departamentos.

Pero los mejores prados regados fácilmente dan 8.000 kilogramos de heno seco por hectárea. Las marcitas de Lombardía, que verdaderamente reúnen condiciones excepcionales, producen con cinco riegos anuales hasta 15.000 kilogramos por hectárea, y la producción de los prados regados con las aguas de la ciudad de Milán, en siete cortes llega hasta los 20.000 kilogramos por hectárea (A. Hérisson).

El riego duplica y a veces cuadruplica la cosecha. El capital empleado produce cuantioso interés y se amortiza rápidamente, al propio tiempo que con frecuencia el valor de la tierra aumenta en proporciones considerables.

Del informe de los trabajos de la comisión superior para la utilización de las aguas, publicado en 1897 por el ministerio de Obras públicas, resulta que esta comisión admitía (Du-

rand-Claye) que el riego, por término medio, produce un aumento de renta de por lo menos 200 francos por hectárea, deducido todo gasto; que la plus valía que adquiere el terreno sometido al riego puede evaluarse en unos 4.000 francos por hectárea y que puede alcanzar una cifra relativamente mayor para las tierras de mala calidad.

Según Barral, el producto de las tierras regadas en las Bocas del Ródano es de 1.500 a 3.000 francos por hectárea, en lugar de 200 a 500 o 600 francos que apenas vale el de las mejores tierras de secano. La renta neta es de 200 a 500 francos mayor. Con frecuencia se quintuplica.

El valor de la propiedad crece en proporciones análogas y esta plus valía se extiende por una especie de acción refleja a todas las tierras del predio.

Por lo tanto, el Estado puede percibir mayores impuestos, por lo que su interés está en favorecer los riegos. La construcción y aprovechamiento de los canales de riego puede ser un excelente negocio de interés público.

CAPÍTULO XII

SIEMBRA Y CONSERVACIÓN DE LOS PRADOS DE REGADÍO

Trasplante del césped. — Las zanjas y los canales, las elevaciones del terreno que se han tenido que destruir, los bordes de los caminos, los bosques vecinos, etc., proporcionan placas de césped que a veces bastan para cubrir las partes desnudas de las praderas. Se disponen estas placas unas junto a otras o bien se forma como un tablero de damas. Los espacios vacíos se llenan con tierra fina y luego todo se apisona con el rodillo.

Pero si no hay césped o se ha de convertir en pradera una tierra arable, hay que sembrarlo. La elección de semillas, su calidad, época del año y temperatura influyen poderosamente en el éxito de la operación.

Siembra. — La siembra tiene el inconveniente de retrasar algo el aprovechamiento de los prados; pero en cambio tiene la gran ventaja de permitir formarlos con semillas escogidas y de eliminar las plantas nocivas con frecuencia mezcladas al césped. Entiéndase bien: esta ventaja sólo es positiva a condición de emplear buenas semillas mezcladas en proporciones convenientes. El cultivador hábil podrá hacer por sí mismo estas mezclas, escogiendo semillas de plantas altas que no escapen a la guadaña, que broten fácilmente para dar lugar a un segundo corte y en reunir aquellas que en su comarca maduren aproximadamente en la misma época. Podrá elegir preferentemente gramíneas y leguminosas que constituyan la flora de las buenas praderas vecinas y en tierras poco más o

menos de la misma calidad que la suya. Una vez sembradas las semillas, la naturaleza auxiliará al sostenimiento de los vegetales que mejor convengan al terreno y al clima, y aun añadirá las especies que faltaban en la mezcla, pero que, no obstante, son propias del medio.

A continuación damos dos ejemplos de composición de praderas permanentes, según M. Schripaux, profesor del Instituto Agronómico y director de la Estación de ensayos de semillas. Los 50 kilogramos por hectárea que conviene sembrar vienen a costar unos 70 francos (cifra anterior a la guerra).

| NATURALEZA DE LAS ESPECIES VEGETALES A EMPLEAR | I. TIERRA APTA PARA PRODUCIR TRÉBOL VIOLETA | | II. TIERRA INAPTA PARA PRODUCIR TRÉBOL VIOLETA | |
|---|---|--------------------------|--|--------------------------|
| | Fresca | Seca | Fresca | Seca |
| | Kilos por hectárea | Kilos por hectárea | Kilos por hectárea | Kilos por hectárea |
| Trébol violeta | 1 | 1,5 | » | » |
| » híbrido | 2 | 1 | 2 | 1 |
| » blanco | 1,5 | 2 | 1,5 | 3 |
| Loto corniculado | 3 | » | 3 | » |
| Lupulina | » | » | » | » |
| Pipirigallo doble, de dos cosechas | » | 14 | » | 8 |
| Vulneraria (trébol ama- rillo de las arenas) | » | 2 | » | 2 |
| Gramma inglesa | 4 | 5 | 4 | 4 |
| » italiana | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Avena descollada | 4 | 15 | 4 | 18 |
| Dáctila apelonada | 5 | 7 | 5 | 7 |
| Fleola de los prados | 3 | 2 | 3 | 1 |
| Fetuca de los prados | 14 | » | 14 | » |
| Cretela de los prados | » | » | » | 2 |
| Vulpina de los prados | » | » | » | » |
| Pastorina de los prados | 2 | » | 2 | » |
| » común | 4 | » | 4 | » |
| Fetuca durilla | » | » | » | » |
| Lanosilla | » | 4 | » | 4 |

Algunos agricultores recurren al empleo de los *restos* de los graneros de forraje, que, además de las semillas de las

plantas forrajeras, contienen residuos vegetales y polvo. Pero no es práctica recomendable. En primer lugar estos restos contienen semillas de plantas buenas y de plantas nocivas. Además, están muy lejos de representar la composición media de los prados de que proceden, porque gran número de semillas caen sobre el prado al efectuar el transporte de los forrajes; otras no se cosechan, porque muchos vegetales se siegan antes o después de madurar sus granos. Finalmente, la considerable cantidad de substancias extrañas que entran en la composición de los restos de que hemos hablado, aun cuando se limpien, dan a las semillas un considerable volumen y peso. Se necesitan hasta 400 kilogramos por hectárea, y esto es otro inconveniente.

La tierra debe estar profundamente removida y la superficie preparada como una tierra de jardín, es decir, bien dividida e igualada, pues sin estas precauciones no germinarían la mayor parte de las semillas. Al remover la tierra en la medida necesaria para establecer el riego, se habrá tenido cuidado en no enterrar la tierra vegetal buena, sino que se habrá reservado para cubrir el suelo. Si es preciso, se añadirán abonos. Casi siempre se podrán emplear ventajosamente las escorias de desfosforación (1.000 kilogramos por hectárea) y el cloruro potásico (2 a 300 kilogramos por hectárea). El estiércol de establo es de un empleo recomendable, sobre todo cuando se trata de tierras pobres en substancias orgánicas.

Las semillas de las praderas tienen muy distinta densidad.

Si se repartiesen al mismo tiempo los granos que constituyen las mezclas, las siembras serían muy irregulares. Así es que se deben dividir las semillas en dos lotes. El primero contiene los granos *pesados*: loto, lupulina, trébol amarillo y fleola; el segundo, los granos *ligeros*: grama, avena descollada, dactila, fetuca, cretela, vulpina y lanosilla. Y se siembran sucesivamente cada uno de los lotes. Es mucho mejor emplear una sembradora a vuelo que sembrar a mano. Con preferencia se escoge un tiempo nublado y sin viento. Se entierran los granos del primer lote cavando ligeramente. Si el tiempo es seco, después de la segunda siembra se puede pasar fuertemente el rodillo. Si no hace aire y el suelo está húmedo, se

mejor no tocar nada o bien contentarse con pasar un ligero rastrillo formado con algunos bastones a los que van atados unos cuantos espinos.

Las siembras pueden efectuarse en primavera y en otoño, pero siempre temprano, en una u otra estación. En los países cálidos se siembra con preferencia en otoño. Al año siguiente las plantas son bastante fuertes para resistir el calor del verano. En las regiones norteñas, las siembras se practican generalmente en primavera. Conviene sembrar en el prado una planta que sirva de abrigo y proteja a las plantas tiernas durante su primer desarrollo. Los cereales u otras plantas que sirvan para cubrir un prado nuevo deberán en lo posible sembrarse en líneas, muy claros, a fin de que más tarde reciban aire y luz. Por lo general se emplearán los $\frac{2}{3}$ de la dosis de semillas ordinariamente empleadas. Para cosechar la planta protectora no se esperará a que madure. Generalmente, como planta de abrigo, se elige la avena de primavera o el alforfón.

En un suelo profundamente removido, con numerosos fosos de riego, no siempre conviene utilizar una planta de abrigo, pues hay que cosechar pronto el forraje verde, y el paso de los vehículos pesados por este suelo mullido, cruzado de canales, puede comprometer la regularidad de la superficie y el buen funcionamiento del riego.

Durante los primeros años la pradera será muy clara, pues las plantas que las componen retoñan muy despacio. No habrá que preocuparse mucho de las plantas adventicias que aparezcan en este período, pues generalmente no tardan en dejar sitio a las buenas a medida que éstas se desarrollan. De cuando en cuando se podrá pasar la guadaña. Así se destruirán las plantas nocivas sin grave perjuicio de las gramíneas ni de las leguminosas.

El agua contribuye poderosamente al desarrollo del nuevo prado; pero en un principio debe usarse con mucha moderación y gran cuidado. Se podrá emplear desde el momento en que nazcan las plantas, con cuidado de no arrancar los nuevos brotes ni socavar el terreno. Ha de circular en capa delgada. Auxiliará en la lucha contra la sequía estival, favorecerá el crecimiento y dará vigor a las plantas.

Después, cuando la hierba esté más arraigada, podrá funcionar el riego normalmente. Las raíces, al desarrollarse, consolidarán poco a poco el terreno. Se aprovechará esta circunstancia para terminar la construcción de regueras y acequias.

Conservación de las praderas de regadío

Las praderas regadas requieren muchos cuidados. Si no se atienden, no solamente se pierde el capital comprometido en el plantío, sino que incluso pueden valer menos que antes. Es absolutamente preciso ocuparse de ellas. Es una obligación que hay que considerar detenidamente antes de crear praderas de regadío. En cambio, las praderas compensan ampliamente el trabajo que en ellas se invierte. Por lo tanto se ha de vigilar que los canales y regueras estén limpios, de modo que el agua pueda circular libremente, de lo contrario se producen inundaciones parciales y la tierra sumergida se convierte en pantanosa y se cubre de plantas acuáticas. Se comprobará el estado de las esclusas, compuertas, pontones y demás obras pequeñas. En caso necesario habrá que extirpar las plantas nocivas y los animales dañinos y destruir las toperas. En el momento del riego, el encargado de efectuarlo deberá recorrer el campo sin cesar. Vigilará que el agua circule regularmente y que todas las partes del prado se rieguen por igual. Constantemente deberá trasladarse de uno a otro lugar, abrir y cerrar compuertas, disponer las pequeñas presas en las regueras valiéndose de chapas de palastro o de tepes. En cuanto empieza el buen tiempo, la práctica del riego es suficiente para absorber la atención de un hombre activo e inteligente en praderas de alguna importancia.

Se considera que un buen regante puede dirigir y vigilar el riego de unas 20 hectáreas. Si la superficie es menor, se le encargarán trabajos suplementarios; si, por el contrario, es mayor, se le darán auxiliares en las épocas de más trabajo. Debe conocer bien y sentir afición por su oficio. Según la justa expresión de M. Charpentier de Cossigny, «un buen regante cuida de un prado como el buen pastor de sus ovejas».

La conservación de praderas requiere múltiples cuidados que varían según las estaciones. Los principales son la dirección y la conducción del agua. Hablaremos de ello a propósito de la práctica de los riegos.

Limpia de regueras y canales. — Es inevitable y debe efectuarse desde fines de septiembre a principios de octubre, después del crecimiento de los retoños, y en primavera. Así se preparan sucesivamente la buena disposición de los riegos de otoño (que son los más importantes, por lo menos en las regiones septentrionales) y de los de primavera.

Durante el funcionamiento del riego, se ensucian rápidamente regueras y canales. El agua arrastra tierra, las raíces de las plantas se desarrollan y caen semillas que luego germinan.

Las plantas medran tanto más de prisa cuanto mejor es el agua y más fértil la pradera. A veces se amontonan las hojas secas y obstruyen los canales, y luego el paso de hombres, ganados, vehículos y aperos desmorona los bordes. Se altera la corriente de agua y se compromete el riego.

Por lo tanto es indispensable rehacer los bordes de las regueras en las épocas que acabamos de indicar. Se efectúa fácilmente con auxilio de una cuerda que sirve de guía y con una azada para extraer la tierra, que no deja de aprovecharse, pues primero se amontona al borde de las regueras y luego se transporta a los parajes del prado en que ha bajado la tierra. Si no se le encuentra empleo para igualar las superficies, se extiende regularmente sobre el suelo, en fragmentos tan pequeños como sea posible. Esta tierra es esencialmente útil para confeccionar los arriates naturales de que hemos hablado.

Al propio tiempo que se limpian las regueras, se debe desembarazar la superficie de los prados de las hojas secas que la cubren en mayor o menor cantidad. El rastrillo arrastrado por un caballo está indicadísimo para esta labor.

Ya bastante adelantada la primavera, las hierbas de las proximidades de las regueras son bastante altas para ocultarlas. Entonces conviene segar la hierba dejando a los lados un pasillo estrecho paralelo a dichas regueras, con el fin de poder vigilar mejor los riegos.

M. Pierre de Malliard, cuya hermosa finca de Saint-Loup-sur-Semouse (Alto Saona) ha servido ya para nuestras demostraciones, y a quien debemos cinco magníficas fotografías, recomienda que se reconstruyan anualmente las acequias de riego. La figura 95 representa a tres obreros ocupados en este trabajo. Deben principiar por tender en forma de V una cuerda a 0,50 o 1 metro de la antigua acequia (esta cuerda aparece debajo de la herramienta del obrero de la izquierda). Dos hombres, en sentido inverso, cortan el césped con la azada. El tercero tapa la antigua acequia con el prisma de césped cortado. Estos tres obreros pueden construir de 500 a 600 metros de acequia o reguera por día. Así el metro resulta a un centímetro. M. de Malliard las rehace anualmente y cada vez las corre un metro. Así todas las partes del prado aprovechan sucesivamente la *primera agua*.

Destrucción de animales y plantas nocivas.— Los topos son útiles porque persiguen a los grillos e insectos que atacan directamente a las plantas, pero perjudican el riego. Sus largas galerías subterráneas constituyen un grave obstáculo para el reparto uniforme del agua y además desmoronan las obras y con frecuencia obligan a reconstruirlas. Finalmente, las *toperas* dificultan la circulación del agua. En primavera, antes de que la hierba brote, se deben destruir, extendiendo sobre la superficie la tierra fina con que están formadas.

Esta operación se practica cómodamente con la pala, el arado o la azada; pero se puede *ir más deprisa* usando un instrumento especial, muy sencillo, que cualquier herrero de pueblo puede construir.

Se compone de un bastidor rectangular cuyos dos lados mayores, provistos de llantas de hierro, forman patines y resbalan por el suelo. Este bastidor tiene tres travesaños de madera. Los dos posteriores, inclinados hacia su cara anterior, van armados de dos planchas, cuyos bordes inferiores enrasan los patines y, por consiguiente, el suelo. Dos llantas de hierro sólidamente remachadas a estas planchas constituyen la parte activa del aparato. Cuando el instrumento se pone en movimiento, las toperas y los montículos que encuentra en su camino sufren primero el ataque del travesaño delantero. Su

destrucción se determina por las láminas de hierro y la tierra, poco a poco, se deposita en los huecos del césped.

Muchas de las plantas nocivas que infestan las praderas, desaparecen con el riego, con un buen laboreo y con los abonos convenientes al suelo. Así el encalado destruye la acederilla (*Rumex acetosella*). Los brezos (*Cerica vulgaris*), helechos



Fig. 95. — Construcción de acequias desbordantes en forma de V
Hacienda de M. P. de Malliard, en Saint-Loup-sur-Seimouse (Alto Saona)

(*Pteris aquilena*) y retamas (*Genista scoparia*) caracterizan los suelos áridos, faltos de ácido fosfórico. La aplicación de fosfatos las destruye (1). Mal dirigido el riego, ocasiona la excesiva humedad del suelo y aparecen cardos (*Cirsium*), juncos (*Juncus*) y carrizos (*Carex*).

Las plantas anuales, tales como la cresta de gallo (*Rhinanthus crista galli*), son bastante fáciles de destruir. Basta regarlas antes de la floración para que no rebroten. Es menos fácil desembarazarse de las plantas vivaces que sólo ceden al

(1) V. GAROLA, *Abonos* (ENCICLOPEDIA AGRÍCOLA).

arranque directo y a la enmienda del suelo. Entre éstas, la más peligrosa es el cólquico de otoño (*Colchicum autumnale*), planta venenosa, sobre todo cuando verde. Mezclado a los forrajes puede producir accidentes mortales. Se reconoce fácilmente por sus flores de color lila que aparecen en otoño y se deben extirpar en primavera. Los ranúnculos (*Ranunculus acris*, *Ranunculus bulbosus*) son menos tóxicos, pero también se deben destruir con cuidado. Igualmente se arrancan en primavera la romaza (*Rumex patientia*) y el esfondilio (*Heraclium sphondylium*), que rápidamente invaden las tierras frescas y fértiles.

No se deben descuidar los musgos. Generalmente los destruye el paso del rastrillo. También se puede emplear el sulfato de hierro a la dosis de 100 a 300 kilogramos por hectárea.

Los prados se despojan de los árboles de poco valor, pues sus raíces agotan el suelo y su sombra perjudica a la hierba.

Finalmente, conviene desembarazar la superficie de las praderas de hojas secas, ramitas y piedras. En superficies grandes conviene amontonar las hojas y ramas por medio del rastrillo arrastrado por un caballo.

Henificación. — Las praderas bien regadas y cuidadas dan cosechas precoces, lo cual es una ventaja. Al cultivador le interesa mucho henificar temprano para tener menos trabajo en el momento de la cosecha.

Los henos tiernos son más nutritivos, fácilmente asimilables, se conservan verdes y son más apetitosos. Por otra parte, son acuosos y difíciles de henificar. Por lo tanto, se deben segar en la floración, en los primeros días de junio, en el centro de Francia; pero si se tiene que segar mucho espacio es preciso principiar pronto la henificación. Efectivamente, vale más segar el forraje algo prematuramente que con retraso. Una vez maduro, las partes más nutritivas de las substancias que contiene en sus tallos han emigrado a los granos, que durante la cosecha y el transporte caen al suelo en gran parte, se extienden por las vecinas tierras arables con detrimento de las cosechas y se pierden. Además, el forraje tardíamente segado, mientras no se henifica, resiste mucho mejor la lluvia que

cuando maduro. Finalmente, una siega tardía perjudica el crecimiento de los retoños.

El forraje segado con la guadaña o con la segadora forma bandas sobre el suelo que se llaman *andanadas*. Según la temperatura y la estación, varias veces se le da vuelta con una horquilla. En las grandes explotaciones se remueve por medio de henificadoras mecánicas.

Cuando el heno no se puede guardar a cubierto desde el primer día, se dispone por la noche formando pequeños montones. Así se resguarda de la lluvia y del rocío que lo altera rápidamente en cuanto principia a henificarse. Al día siguiente se extienden dichos montones y así todos los sucesivos hasta que se puedan guardar. En los alrededores de París y de las grandes ciudades se empaca el heno. Entonces, en el segundo y tercer día, se aumenta el tamaño de los haces, para formar los almiares de muchos cientos de kilogramos, hasta que llega el momento de empacarlo.

A pesar del cuidado que se tiene de interrumpir el riego unos quince días antes de la henificación, el suelo de las praderas permanece mojado con frecuencia. Así es que a veces se emplean *caballetes* para evitar el contacto del forraje con la tierra mojada. Este forraje dispuesto en pequeños montones sobre los caballetes se marchita rápidamente sin perder las hojas que con frecuencia arrancan las henificadoras mecánicas.

Especialmente se emplean estos *secadores* en ciertas comarcas de Alemania (Würtemberg y Baviera), en Suiza, en Austria y en general en los valles estrechos, húmedos y sombríos.

En Francia, los señores de Muret los emplean en gran escala en las praderas de su hermosa propiedad de Noyen sur-Seine. Llamen *secadores de forraje* a los ingeniosos modelos de *caballetes* adoptados por ellos.

Las figuras 96 y 97 representan secadores dispuestos a recibir carga de heno junto a almiares ya terminados.

Véase cómo describen este aparato, que presta grandes servicios y que los señores de Muret han propagado por todo el contorno de su hacienda.



Fig. 96. — Empleo de los *secadores de forraje* o *caballetes*, en la hacienda de los señores de Muret, en Noyen-sur-Seine



Fig. 97. — Otro aspecto del empleo de los *secadores de forraje* o *caballetes*, en la hacienda de los señores de Muret, en Noyen-sur-Seine

El *secador* consiste en una estaca bastante gruesa, de 2,70 metros de altura, uno de cuyos extremos, afilado en punta, se clava en el suelo. De trecho en trecho, a lo largo de la estaca, hay nueve brazos articulados dispuestos en espiral, o sujetos por medio de un fuerte clavo que sirve de pivote. Dos tirantes de madera situados a ambos lados de los brazos mantienen éstos sólidamente en posición horizontal. El interior impide que el brazo caiga y el superior se opone a que la carga arranque el clavo que sirve de pivote. El primer brazo está a 0,50 metros del suelo; la distancia entre dos brazos consecutivos es de 0,25 metros. El precio del aparato se computa en 1,50 a 2 francos.

En el momento oportuno, el secador se planta en el suelo. El agujero para clavarlo se practica con una barra puntiaguda de acero, que se hunde con auxilio de un mazo o con un martillo. El aparato se carga con el heno segado principiando por abajo. Hay que poner especial cuidado en que las partes inferiores no toquen al suelo. El aire circula fácilmente a través del forraje y lo seca rápidamente sin pérdida de hojas. El agua resbala por la superficie exterior del montón, de modo que éste en su interior permanece seco.

MM. Muret han comprobado que el forraje así dispuesto puede soportar la lluvia continua de quince días sin desmerecer en calidad. Cada aparato equivale a trece o quince fardos o de quince a dieciocho de 5 kilogramos, según se trate de praderas naturales o artificiales.

Una vez seco el forraje, basta deshacer los montones para guardarlo. En cuanto a los aparatos, una vez cerrados, ocupan muy poco espacio. Cuando ya no se necesitan, se guardan en un cobertizo.

En la finca de Noyen-sur-Seine se emplean un millar de estos secadores. Este procedimiento de henificación ha sido adoptado poco a poco en casi todas las grandes propiedades de los alrededores.

Pastoreo en los prados de riego. — Las patas de los animales destruyen las acequias y abren agujeros en el suelo que cuando el terreno es impermeable se llenan de agua estancada. Los perjuicios son mayores cuanto más pesados son los anima-

les y menos permeable y más pendiente es el suelo. Los prados de regadío son, por lo tanto, más convenientes para la producción de heno que para el pastoreo. No obstante, puede haber necesidad de llevar animales a ellos y entonces deben tomarse algunas precauciones. Lo mejor es dividir los prados en varias parcelas que se someten a un sistema de rotación. Salvo en casos de sequía prolongada, las parcelas en que pacen los ganados no se riegan o se riegan muy poco. Las demás parcelas se riegan tanto más cuidadosamente cuanto más corto es el riego. Es verdaderamente ventajoso regar las parcelas una vez al año. Esta operación rejuvenece las plantas y sobre todo destruye las plantas nocivas, impidiendo que rebroten.

CAPÍTULO XIII

PRÁCTICA DEL RIEGO DE LOS PRADOS

Cantidades de agua empleada. — Riegos según las estaciones. — Riegos de invierno. — Riegos de verano. — Ya hemos hablado de las cantidades de agua empleadas. Su determinación está relacionada con la estación en que se practiquen los riegos. Efectivamente, puede decirse que hay dos clases de riegos: los *riegos fertilizantes*, que llevan abonos a las tierras, y los *riegos ordinarios*, que les aportan especialmente agua. Los primeros exigen mucha más agua que los segundos. Generalmente se practican en otoño e invierno y los otros en primavera y verano. Los primeros se efectúan del 1.º de octubre al 1.º de abril, con intermitencias variables; los segundos, durante el resto del año. Los países del Norte, Alemania, Inglaterra y, en Francia, los Vosgos y el Centro, que generalmente tienen mucha agua, usan casi exclusivamente los riegos invernales. Italia les debe las marcitas de Lombardia; pero el punto de vista de los beneficios es otro en este caso. En el Mediodía de Francia, donde el agua es más escasa, sólo se recurre a los riegos propiamente dichos. Los fertilizantes de invierno no excluyen los segundos. Así es como los prados alemanes, los de los Vosgos franceses y los del Centro, no solamente reciben agua en invierno, sino también en verano. Además, los riegos de verano aportan considerablemente cantidad de sustancias útiles, y los riegos de invierno, como las lluvias de la misma estación, almacenan en el suelo reservas de agua para la sequía. Por lo tanto, no pueden aislarse unos de otros. Más para que los riegos de invierno sean eficaces exigen mayores cantidades de agua que los estivales, cuya especial finalidad es dar a la tierra

el agua que le falta. Completan las lluvias, de modo que la tierra contenga de 20 a 25 por 100 de humedad, como exige la vegetación. Hemos dicho en otro lugar que aproximadamente se puede determinar la cantidad de agua para este género de riego.

Se compara la cantidad de lluvia caída durante el período activo de la vegetación con la que las cosechas ponen en juego. El resultado de la operación se debe corregir con un coeficiente que depende de la naturaleza del suelo y del subsuelo, de la evaporación, de la pendiente del terreno y del sistema de riego adoptado. Así vemos que en el Mediodía de Francia el riego que completa la acción de las lluvias debe ser de unos 15.000 metros cúbicos de agua anualmente y por hectárea. Este volumen corresponde aproximadamente al que suministra un gasto continuo de un litro por segundo y hectárea durante el período activo de la vegetación, del 1.º de abril al 1.º de octubre. Efectivamente, ésta es la cifra sancionada por la práctica, que a lopta la a lministración para regular las concesiones de agua; pero sería excesiva para riegos practicados en clima húmedo y suelo arcilloso, resultando erróneo computarla como mínimo y aplicarla de un modo general.

Hay regiones, por ejemplo Bretaña, en que las lluvias bastan para la producción de forrajes, pero no ocurre lo mismo en los alrededores de París, donde si hay prados que dan buenas cosechas es porque están situados en valles u hondonadas y además de las aguas pluviales que directamente caen sobre ellos, reciben las que se escurren de los terrenos más altos que los rodean.

En general los riegos de invierno se efectúan desde 1.º de octubre a 1.º de abril. En el mes de diciembre se contraen al período de reposo de la vegetación. Desde esta época influyen directamente en el suelo y no en las plantas. Las investigaciones comparativas de Hervé-Mangon en los Vosgos y en Vaucluse denotan que en invierno el agua aporta sobre todo oxígeno y substancias minerales. También suministra nitrógeno, aunque las plantas únicamente se benefician de él en verano.

Los riegos de otoño e invierno tienen como principal objeto fertilizar el suelo. No responden, pues, a una necesidad inme-

diata de las plantas y, por consiguiente, no puede regularse por ellas su importancia.

En general los riegos fertilizantes requieren más agua que los ordinarios y su cantidad es muy variable, pues depende de su abundancia en principios fertilizantes y de los caudales disponibles. Foltz computa entre 65 y 90 litros por segundo y por hectárea la cantidad de agua que se da a los prados de los Vosgos. Hervé-Mangon eleva esta cifra a 68 y 217 litros. Vincen calcula en 121 litros por segundo y por hectárea el gasto necesario para los riegos fertilizantes del Norte de Alemania. En Bélgica, Keelhoff se satisface con un promedio de 31 litros.

La diversidad de estas cifras denota que no se puede dar una regla general. Además, los riegos se ven limitados muchas veces por la escasa cantidad de agua de que se dispone. En la práctica hay que contentarse con dar lo que se tenga. Finalmente, cuando se dispone de abundantes aguas, pero pobres en principios fertilizantes, no habría que abusar en verano de los riegos copiosos, por el riesgo de enlejar el suelo, de empobrecerlo y aun de modificar sensiblemente sus propiedades físicas arrastrando la caliza. Además, las plantas que medran en tierra excesivamente húmeda pierden su valor nutritivo y su sabor.

CANTIDAD ÓPTIMA DE AGUA. — Los Sres. Müntz, Faure y Lainé, en el transcurso de los trabajos mencionados, estudiaron esta cuestión en que interviene la permeabilidad de las tierras. Aunque esta cantidad óptima no es seguramente proporcional a la permeabilidad, crece con ella. Según Müntz y sus colaboradores, debe ser tal, que el agua llegue precisamente al extremo del tablar regado. Los agricultores erróneamente piden más agua, pero en este caso se pierde en los colectores e incluso puede perjudicar a las cosechas.

SEPARACIÓN DE LOS RIEGOS. — Dada una misma cantidad de agua, puesta a disposición del cultivador, ¿en cuántos riegos la debe distribuir y con qué intervalos para obtener las mejores cosechas?

Si los riegos deben ser más abundantes en las tierras permeables, necesariamente deben espaciarse más. Inversamente, la repetición en dotaciones pequeñas es necesaria en los terre-

nos impermeables, si no existiesen razones económicas que rápidamente la limitasen.

Riego por circulación. — Algunos principios de aplicación general. — Hemos dicho cuán difícil era establecer principios generales en materias de riego. No obstante, véanse algunos preceptos que podemos considerar como base de la conducción de los riegos por circulación:

1.º El agua debe llegar regularmente a todas partes; pero no permanecer en ninguna de ellas, sino estar constantemente en movimiento, sin formar charcos ni estanques.

2.º El agua debe penetrar en el suelo y atravesarlo, sin estancarse. Por consiguiente, es preciso que todo riego vaya seguido de un drenaje natural o artificial tan completo como sea posible.

3.º El riego debe ser intermitente.

4.º Deben interrumpirse los riegos con tanta mayor frecuencia cuanto más avanzada esté la vegetación, el suelo sea más arcilloso y tengan menos pendiente los prados.

5.º El riego debe ser completo, es decir, suficientemente abundante durante un tiempo bastante largo.

6.º Sólo han de renovarse los riegos cuando verdaderamente sea preciso.

7.º A menos que se disponga de grandes masas de agua o de manantiales cuya temperatura sea superior a la ambiente, no debe regarse cuando se teman heladas. Por el contrario, en invierno, y sobre todo en primavera, hay que dejar que el suelo se oreo cuando amenace frío.

8.º Ni en invierno ni en primavera se debe regar con agua de temperatura inferior a la del suelo o del ambiente.

9.º En verano no se debe regar a pleno sol ni cuando la evaporación sea más activa. Esta regla se debe observar con tanto mayor cuidado cuanto más fría sea el agua.

10. En general, siempre que sea posible, conviene regar con tiempo sereno y aún mejor nublado o lluvioso. Principalmente en verano, a la caída de la tarde y por la mañana son los momentos más favorables para el riego.

11. Los riegos deben cesar antes de la siega. En los climas septentrionales se interrumpen un mes antes. De otro

modo las plantas altas se encamarían y pudrirían las plantas tardías que aún crecen. En los climas secos, el encamado es menos frecuente y basta suspender los riegos quince días antes de la recolección. Este procedimiento facilita el paso ulterior de las máquinas agrícolas, por estar la tierra más dura.

12. Cuando se acerque el tiempo de la cosecha, hay que abstenerse de regar con aguas cargadas de limo, porque podrían cubrirse de tierra los forrajes y estropearse.

13. En verano, el agua puede contener algas que indican su buena calidad; pero conviene impedir que estas plantas se desarrollen en el campo, porque lo cubrirían en seguida de un mucilago perjudicial a las plantaciones recientes. Se evita este peligro no dejando mucho tiempo las aguas sobre el prado y renovando frecuentemente las intermitencias. Si este medio no da resultado, aconseja Vincent secar el suelo y regarlo después con mucha parsimonia de modo que tan sólo se humedezca el mucilago formado por las algas. Podrá continuar el riego cuando hayan crecido las plantaciones y las conferváceas, al descomponerse, servirán de abono.

14. Inmediatamente después de segado el heno, se da el agua de nuevo a fin de favorecer el crecimiento de los rebrotos. En tiempo oportuno se suspende para proceder a la segunda siega.

15. Todo riego racional debe ir acompañado de los abonos apropiados a las circunstancias.

Intermitencias en los riegos de verano y de invierno.— La regla fundamental del riego es que siempre debe ir seguido de un escurrimiento del suelo tan completo como sea posible.

No hay riego aprovechable si simultáneamente no puede el agua atravesar libremente el suelo y si los riegos no van seguidos de un conveniente saneamiento del terreno, porque uno de los más útiles efectos del riego es la aireación, es decir, la oxigenación del suelo. Desde este punto de vista, el agua ejerce doble acción. Al penetrar en el suelo, expulsa el aire viciado por las reacciones químicas y las combustiones lentas que se efectúan en el seno de la tierra. Aporta el oxígeno que lleva disuelto y en cierto modo la tierra respira. Este fenómeno, en igualdad de circunstancias, es tanto más activo cuanto mayor es

el volumen de agua que atraviesa el suelo en la unidad de tiempo. Cuando el riego se suspenda y la tierra se escurra, penetrará ampliamente el aire atmosférico atraído por el vacío que el agua produzca al fluir por los canales capilares. Este doble fenómeno explica por qué los intervalos entre riego y riego deben diferir bastante según las estaciones.

En invierno, la vegetación dormita. El riego obra directamente sobre el suelo, que utiliza el oxígeno y las substancias fertilizantes que el agua lleva y beneficia de su temperatura si es bastante elevada. No hay necesidad de airear enérgicamente el suelo. El oxígeno disuelto en el agua basta para las oxidaciones lentas que ocurren en la tierra, por lo que pueden proseguirse los riegos bastante tiempo, y no interrumpirlos hasta que lo permita la temperatura. Pero en verano sucede todo lo contrario. La vegetación está en toda su actividad y necesita hallar en el suelo copiosas provisiones de oxígeno. La cantidad disuelta en el agua de riego es insuficiente y conviene la frecuente penetración del aire atmosférico en el suelo. Si fuese demasiado espaciada, desaparecerían poco a poco las plantas buenas y morirían las que crecen en suelos saturados de agua: juncos, helechos, etc. Por lo tanto, en verano es preciso suspender los riegos con más frecuencia que en invierno y durante más largo tiempo. Arrastrada por su peso, el agua se escurre hacia las acequias y zanjas o bien desciende a las capas profundas del terreno y abandona los intersticios capilares del suelo, produciendo un vacío relativo, una succión que atrae al aire exterior que la substituye.

En algunos prados el agua puede circular en invierno por el suelo durante muchas semanas. Pero desde el momento en que la temperatura se mantiene a algunos grados sobre cero y la hierba principia a reverdecer, conviene reducir la duración de los riegos, primero a cuatro o cinco días, con intervalos de tres o cuatro, y luego a uno o dos días y aun a algunas horas, a medida que la temperatura se eleva y la vegetación es cada vez más activa.

Esta regla está, por lo demás, en armonía con las condiciones naturales del riego. Se dispone de más agua en invierno que en verano. En la estación calurosa, los propietarios ribere-

ños de un canal de riego solamente reciben el agua por turno. Además, los usufructuarios o propietarios de un arroyo o de un río generalmente no disponen de bastante agua para regar a su albedrío, y para disponer de conveniente caudal se ven en la necesidad de concentrar toda la que tienen en una porción del prado. Así han de establecer la *rotación del agua* y, por consiguiente, regar con intermitencias más o menos largas.

La estación y la temperatura no son los únicos factores que intervienen en la duración de los riegos, pues la naturaleza del suelo y su pendiente desempeñan también importante acción.

Cuanto más permeable es el terreno, más prolongado puede ser el riego. La pendiente influye en el mismo sentido.

Empleo del agua durante las heladas.— El agua, al congelarse en el suelo, descalza las plantas y desgarran los tejidos. Por esta razón conviene suspender los riegos cuando amenacen las heladas. Se recomienda suspenderlos bastante pronto para que el suelo se halle secado hasta una profundidad bastante grande. Esta función es más imperiosa en primavera, cuando se intensifica la vegetación y sólo se dispone de cortas cantidades de agua.

Los regantes hábiles se abstienen de riegos costosos mientras la serenidad del cielo y los vientos del norte anuncian heladas.

Pero cuando se dispone de grandes volúmenes de agua, sólo se cesa de regar cuando abonanza el tiempo. No se han de suspender bruscamente en el momento de un frío riguroso.

En primavera, las aguas, sobre todo las de río, proporcionan valioso recurso contra las heladas. Las aguas corrientes, que en esta época pueden tener de 10 a 12°, generalmente resisten a las heladas y no se congelan. Salvan los tallos de las hierbas y los retoños apenas brotados (Vidalin).

Riegos de otoño.— Se puede discutir la oportunidad de los riegos de invierno; pero todo el mundo reconoce la eficacia de los riegos de otoño desde el punto de vista de la aportación de principios fertilizantes. En esta época, las aguas de los ríos y arroyos son muy ricas en dichos principios. Las lluvias arrastran la substancia de las tierras porque han pasado y su temperatura es mayor que la ambiente, por lo que estimulan

a las plantas, que arraigan enérgicamente y se preparan a luchar contra los rigores invernales.

Hasta mediados de noviembre se puede continuar durante una, dos o tres semanas el riego de la misma superficie, día y noche sin interrupción. Pasado el 15 de noviembre se han de precaver las heladas, y entonces, durante corto tiempo, se deja el prado sin agua a fin de que se seque. Si no sobrevienen heladas, pueden reanudarse los riegos, pero hay que suspenderlos cada dos o tres días para no mojar demasiado el suelo y que se pueda secar fácilmente en cuanto llegue el frío.

Si la temperatura es benigna, se puede proseguir el riego hasta el 15 de diciembre aproximadamente. En los Vosgos hay prados que reciben agua durante todo el invierno. Las marcitas del Milanésado deben sus cosechas extraordinarias a los riegos invernales, aunque estas prácticas proceden de condiciones especiales. En los Vosgos se dispone de considerables cantidades de agua, y las que riegan los prados lombardos también se dan abundantemente en dosis de 42 litros por segundo y hectárea, según M. Hérisson. Además, proceden de manantiales y su temperatura es algo superior a la ambiente. Cubren el suelo con un velo de agua que en vez de enfriar calienta. Se suspende el riego cuando el agua puede helarse en los flancos de los arriates. El agua de las *fontanelas* (1) tiene de 10 a 11° y permite hacer lo que con el agua de canales sería imposible, por estar con frecuencia solamente a 3 ó 4° más alta que la temperatura ambiente.

En general, ¿es ventajoso regar en invierno?

Esto depende de la temperatura y del agua disponible. Si el agua está a temperatura conveniente y el suelo no está helado, se puede regar y aún se podría continuar el riego si el agua se cubriese de hielo o de témpanos, pero a condición de que continuase corriendo. Esto es raro, ya por no disponer de bastante agua, ya porque la temperatura dificulte la operación. Habitualmente, las regueras se cubren de témpanos, el agua cesa de circular, se forma hielo en el suelo y, entumeciéndolo, descalza las raíces. Si se riega un suelo sometido a un frío in-

(1) Manantiales que se utilizan para el riego.

tenso, se fundirá el hielo superficial. Pero si el frío vuelve, se producirá hielo nuevamente con gran perjuicio para las plantas. Por esto conviene, salvo en las excepciones motivadas por el clima o por el régimen de las aguas, dejar los prados en seco desde el principio de las heladas hasta el fin del invierno y no dejarse seducir por las aportaciones fertilizantes de los ríos en enero.

Cuando el tiempo es benigno, el riego produce buenos efectos. Pero si sobrevienen fríos se puede comprometer la cosecha del año.

Riegos de primavera. — El riego de primavera, por lo menos en los países del norte y del centro, puede considerarse como fertilizante. ¿Cuál es el momento oportuno? Las opiniones están divididas: unos dicen que en marzo y otros que en abril. Los primeros rayos del sol primaveral son peligrosos en los suelos que contienen hielo, porque se funde, la tierra se deprime y las plantas sufren. En este momento es beneficioso un buen riego. Pero si hay peligro de que la helada continúe, si el viento es frío, es mejor abstenerse, especialmente si el agua procede de la fusión de nieves y ha pasado por tierras estériles y si la vegetación principia a despertar.

En las regiones del norte y del centro se puede empezar el riego en los primeros días de marzo, en cuanto se colija que ha terminado el invierno. Se riega sin cesar hasta que la tierra esté deshelada. Luego se interrumpe el riego y se deja secar el suelo.

Se vuelven a reanudar los riegos hacia mediados de abril. Primero se da el agua tan copiosamente como sea posible, dejándola de ocho a quince días seguidos sobre la misma parcela, hasta que los brotes de las hierbas aparezcan sobre la capa líquida.

Desde este momento se riega con precaución; los días son ya calurosos, pero el agua todavía está fría. Así es que no se manda agua al prado; se deja que se caliente cuando el tiempo es sereno, el sol ardoroso y el aire suave. Por el contrario, se riega con intensidad cuando el tiempo es frío, borrascoso y amenazan heladas. Si ya ha helado y el tiempo es caluroso, se riega antes de que el sol esté muy alto, a fin de evitar la acción ne-

fasta de un brusco deshielo. Durante este período se cambia el agua de lugar cada dos o tres días.

La entrada o salida del agua se practica siempre por la tarde, en el momento de ponerse el sol.

Si en alguna parte del prado la hierba es basta y mezclada con musgo, no es necesario tomar tantas precauciones; al contrario, conviene regar de un modo continuo en primavera, sobre todo cuando el agua arrastra mucha tierra que, al depositarse, destruye el musgo, y además, si hay lugar a ello, completa el enrase del suelo. La destrucción del musgo no depende de la fertilidad particular del depósito, pues la misma arena fina produce buen efecto (Jean Bignon) (1).

Riegos de verano. — Los riegos de primavera cesan en una época indeterminable, pues depende de las comarcas, de la llegada más o menos pronta del calor y de la sequía. Siempre hay un momento en que conviene reducir los riegos. El agua sólo sirve entonces de disolvente del alimento de las plantas y sobre todo mantiene su transpiración. El prado requiere poca agua y durante poco tiempo. Dada en cantidad muy grande, el agua enfría el suelo y no llega a las raíces. Con frecuencia, en esta estación, el agua de los ríos y arroyos contiene pequeñas algas, substancias vegetales apenas visibles, que se depositan sobre los tallos de las plantas y dan un heno que puede perjudicar a los animales, especialmente a los corderos. Se da agua cada cinco, ocho o diez días, según el suelo y durante una noche.

No obstante, si refresca el tiempo, se regará de un modo continuo aunque llueva, pero sin regar las hierbas largas. Así se mantiene el suelo en buena temperatura. Frecuentemente, en los países del norte y del centro basta conservar la humedad del suelo, dejando circular el agua por las regueras durante los veranos rigurosos.

Se interrumpen los riegos unos quince días antes de la siega, a fin de que se afirme el suelo. Después de la siega, se deja seca la tierra durante diez o quince días; entretanto se arreglan las regueras que se hayan estropeado durante la cosecha. Después

1) JEAN BIGNON, *Annales de l'Institut agronomique*, 1.^{re} serie, t. XI.

se vuelve a dar el agua, sin interrupción, pero moderadamente, durante unos ocho días. Se deja secar el suelo y luego se riega como antes de la cosecha.

Según el estado de la atmósfera y la naturaleza del suelo, se da el agua, si es posible, cada cinco u ocho noches.

Si el tiempo refresca o llueve mucho, se riega noche y día, como queda dicho. Cesa el riego en cuanto vuelve el calor.

Si se espera un tercer corte, se seguirán las mismas prácticas que después del primero. No obstante, se dejarán los prados en seco un poco antes, porque siendo las noches más frías no se secará tan fácilmente el suelo.

Aplicación de los abonos

En el volumen consagrado a los *Abonos*, que forma parte de esta ENCICLOPEDIA AGRÍCOLA, M. Garola estima que en prados bien cultivados, sin descuidar los riegos ni los abonos, el cultivador moderno debe exigir no menos de 50 a 70 quintales de heno por hectárea. Pero el quintal de heno, con 15 por 100 de agua, contiene como promedio:

| | |
|---------------------------|-----------------|
| Nitrógeno | 1,86 kilogramos |
| Acido fosfórico | 0,50 » |
| Potasa | 2,21 » |
| Cal | 1,24 » |

Por lo tanto, una cosecha de 70 quintales extrae anualmente del prado:

| | |
|---------------------------|----------------|
| Nitrógeno | 130 kilogramos |
| Acido fosfórico | 35 » |
| Potasa | 155 » |
| Cal | 87 » |

Por otra parte, una cosecha equivalente de trigo, según los análisis de M. Joulie reproducidos por M. Risler en su *Fisiología y cultivo del trigo*, extraería un promedio de:

| | |
|---------------------------|------------------|
| Nitrógeno | 82,11 kilogramos |
| Acido fosfórico | 31,29 » |
| Cal | 17,22 » |
| Potasa | 39,13 » |

La cosecha de 70 quintales de trigo por hectárea, paja y grano, es excepcional y, sin embargo, se ve que empobrece el suelo mucho menos que la correspondiente cosecha de heno. Esto se nota más todavía en la potasa. Verdad es que el suelo del prado se enriquece en nitrógeno gracias a las leguminosas, pero éstas desaparecen pronto de la flora por el empobrecimiento del suelo en potasa. Además, el acopio de nitrógeno formado en el suelo solamente es utilizable a condición de que no falte cal. Pero, como acabamos de ver, la producción de hierba también extrae importante cantidad de cal, por lo que es grave error suponer que la producción de heno exige menos abonos que la de trigo.

Es preciso que las plantas de los prados encuentren en el suelo las substancias fertilizantes que extraen, y, por lo tanto, hay que restituir las materias minerales. Las leguminosas absorben el nitrógeno del aire, de modo que el suelo de los prados viejos contiene naturalmente nitrógeno, aunque sólo a condición de que haya cal y oxígeno. El riego, que airea enérgicamente el suelo, aporta el oxígeno; pero como no siempre aporta cal, entonces hay que suministrársela al prado.

Las cantidades de cal, así como las de ácido fosfórico y potasa que conviene dar a un prado, dependen de la fertilidad del suelo y de las aguas de riego. En otro tiempo se discutió mucho sobre la necesidad de abonar los prados de regadío. Algunos agrónomos afirmaron que el agua compensaría a todos los abonos y que era superflua la adquisición de éstos. Esta generalización conducía a un grave error. La fertilidad no se improvisa y sólo se mantiene a condición de que el cultivador obedezca la ley de restitución, que se aplica tanto a las tierras de regadío como a las de secano. El agua, al solubilizar los elementos nutritivos de las plantas, estimula la producción vegetal y moviliza los acopios preexistentes en el suelo. Además, por simple disolución, arrastra parte de los elementos útiles que contiene el suelo, y si le da elementos que no posee, le quita, en cambio, los que posee la tierra y a ella le faltan. El riego de tierras pobres con aguas desprovistas de substancias fertilizantes esterilizaría rápidamente el suelo si no se añadiesen abonos apropiados. Las cosechas disminuirían rápida-

mente, a la par que se alteraría la composición de la flora, desde los puntos de vista químico y botánico, y a las leguminosas sucederían las gramíneas. El heno sería progresivamente más escaso y menos nutritivo.

Hay aguas de una riqueza tal que bastan para dar buenas cosechas y mantener la fertilidad si el riego es suficiente: tales son las de cloacas y las residuales de ciertas industrias.

Por lo tanto, la naturaleza y la dosis de abonos dependen de la composición del suelo, de la de las aguas y de la importancia de las cosechas. Puede ser peligroso regar las tierras con excesiva abundancia de aguas pobres o no del todo fertilizantes, es decir que, por ejemplo, aporten potasa sin cal ni ácido fosfórico. Por de pronto producen en un suelo fértil abundantes cosechas, pero en detrimento de las cantidades de ácido fosfórico y de cal que contenga, y poco a poco la fertilidad mengua tanto más de prisa cuanto más abundante sea el riego.

Cuando no hay aguas ricas, se ha de regar bastante para poner a disposición de las plantas los elementos fertilizantes que pueden restituirse al suelo por los abonos; pero no conviene exceder de este límite. Recordemos que *cuando el agua es rica en elementos fertilizantes, se necesita menor cantidad para formar la materia seca contenida en la cosecha.*

Para determinar la naturaleza de los diversos principios fertilizantes que requiere un prado, hay un procedimiento tan sencillo como exacto. Según la espiritual expresión de Boussingault, consiste en «interrogar a las plantas». Generalmente los prados abundan en nitrógeno y, por lo tanto, habrá que limitarse a determinar la necesidad de ácido fosfórico, cal y potasa. A este efecto se prepararán tres parcelas, en las cuales se aplicarán por hectárea:

1.º 1.000 kilogramos de escorias + 200 kilogramos de cloruro potásico.

2.º 1.000 kilogramos de escorias.

3.º 500 kilogramos de cal + 200 kilogramos de cloruro potásico.

La diferencia entre los rendimientos de los parcelas 1 y 2 denota la eficacia de la potasa; las diferencias comprobadas entre 1 y 3, la del ácido fosfórico.

Siempre es ventajoso añadir cal a los prados antiguos de secano; no así a los prados que reciben aguas calizas. Las escorias aportan aproximadamente el 50 por 100 de su peso de cal: la dosis no siempre es suficiente y el precipitado ensayo no permite darse cuenta de ello. Un año o dos después de la primera aplicación de abonos se extenderán sobre la mitad de la parcela de 2.000 a 4.000 kilogramos de cal en polvo; luego se juzgará de su eficacia. ¿Por qué retrasar la aplicación de la cal? Aplicándola al propio tiempo que las escorias, influirá desfavorablemente en la acción de éstas y podría encubrir en parte sus efectos.

Cuando se posee una sembradora de abonos, son muy fáciles de realizar los metódicos ensayos a que nos hemos referido, estableciendo largas parcelas de la anchura de la sembradora, separadas por intervalos de 3 a 4 metros. Si el terreno no es homogéneo, es indispensable que estas parcelas corten las partes del prado de diversa composición.

Remitimos al lector a la excelente obra de M. Garola, *Abonos*, que forma parte de esta ENCICLOPEDIA AGRÍCOLA.

CAPÍTULO XIV

RIEGOS EN LA ALTA MONTAÑA

Canales alpestres de Valais. — En los países de altas montañas, como los Pirineos y Suiza, se utiliza el agua procedente de la fusión del hielo y de la nieve para el riego y el abastecimiento de poblaciones. Desde el lugar de su formación, helero, lago alpestre, etc., hasta donde ha de ser utilizada, se transporta el agua en canales que tan pronto corren adosados a los flancos de las montañas, como sobre las crestas que bordean los precipicios. En el cantón de Valais estos canales se llaman *bisses*. Son numerosos y muy importantes. Los servicios que prestan, su atrevimiento y la ingeniosidad de las instalaciones dan mucho interés a estos *bisses* que hemos tenido ocasión de ver. Convendría establecerlos en las montañas donde las aguas desgastan las pendientes que deberían regar de un modo racional. Así es que creemos necesario destinarles algunas líneas, entresacadas, así como los grabados que las acompañan, de una memoria muy interesante del ingeniero jefe federal L. Blotnizki y de un notable estudio de M. P. Chavan, primer ayudante del Instituto suizo de química agrícola de Lausana (1915).

La región de Valais es un surco ancho y profundo formado en la parte superior de los Alpes. Está rodeado por varias cadenas de montañas que dominan los picos más elevados de la Europa central. Esta configuración tiene una influencia considerable en su clima. El aire caliente que se eleva del valle del Ródano precipita el agua que contiene a lo largo de las faldas de las montañas que lo aprisionan. De esto resulta que el clima de la zona del interior difiere completamente de las demás regiones de Suiza. En vez de ser relativamente húmedo es muy

seco. El turista, hacia el final del otoño, engañado por los agnaceros que caen en dicha época sobre los más bellos sitios del valle del Ródano, se encuentra sorprendido y encantado de encontrar un cielo azul en Mayens de Sion o sobre los caminos de Evolène. Pero si los habitantes de esta región no se hubieran ingeniado para dar artificialmente a sus tierras el agua que les faltaba, sobre todo durante los meses del período activo de la vegetación, este país tan rico, que tanto reverdece con sus prados magníficos, sus viñedos productores de especies muy apreciadas, no sería en verano más que un desierto bajo un sol de fuego. Con el agua suministrada en abundancia es otra cosa completamente distinta. Esta región da así una prueba brillante del efecto maravilloso que el agua y el calor ejercen sobre la vegetación.

Con una tenacidad, una inteligencia y un atrevimiento que imponen el respeto y la admiración, estos montañeses han ido a buscar el agua que les faltaba al pie de los heleros en el origen de los torrentes y de los ríos que descienden de ellos.

En 1871, el Valais poseía 117 de estos canales. Charvan estimaba en 1915 que su número total de 207 se extiende en una longitud de 1.388 kilómetros, sin contar 370 kilómetros de canales derivados. El origen de alguno de ellos se remonta a la época romana. Muchos fueron construidos en los siglos XIV, XV y XVI. Generalmente, recogen las aguas procedentes de la fusión de los ventisqueros o las de los arroyos que descienden de las montañas y a veces se nutren de los lagos que se construyen para recoger las aguas de fusión de las nieves. Algunos canales toman a más de 2.400 metros de altura el agua que transportan. A veces tienen más de 48 kilómetros de longitud. En ocasiones, como se ve en A de la figura 98, están formados por cajas de madera colgantes de los flancos y de los precipicios, y otros, como en la figura 99, son de piedra y bordean las simas. A veces también se abren, en túnel, en una gran longitud (fig. 100). Cuando hay riesgo de desprendimiento de piedras, se sitúan enterrados en la ladera de la montaña y se protegen como indica la figura 101.

La toma de agua es, en general, muy sencilla y con gran frecuencia demasiado rudimentaria. Se utiliza para alimentarla

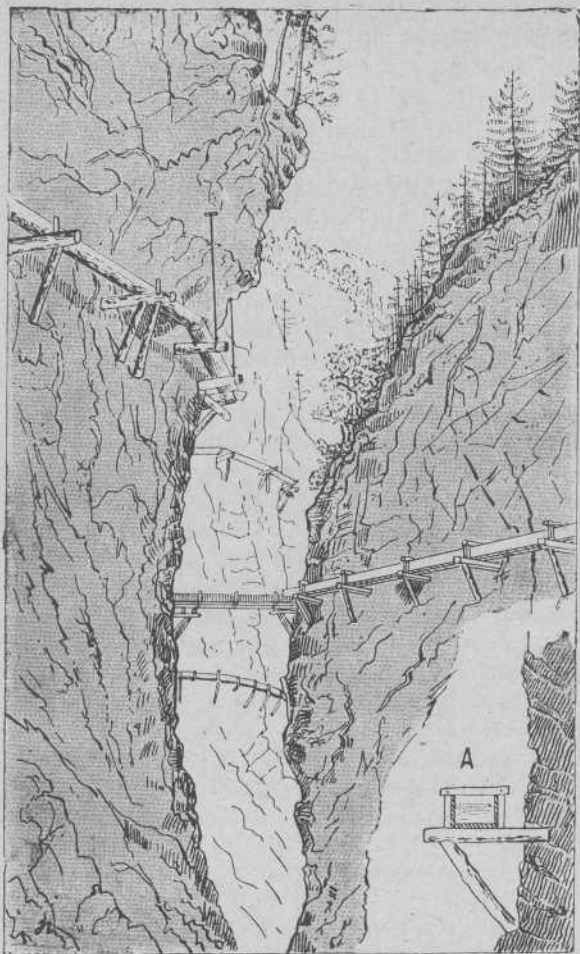


Fig. 98. — Canales a pestres o *bisses* del Valais

un recodo del río o un saliente rocoso que esté bien colocado para desviar el agua; algunas veces se construye una presa

rústica con troncos de árboles o con piedras. Sin embargo, los canales alpinos atraviesan a menudo los valles estrechos y las gargantas gracias a las obras de fábrica importantes lla-



Fig. 99. — Canal alpestre al borde de un precipicio



Fig. 100. — Canal alpestre en túnel

madras acueductos. Los canales tienen más anchura que profundidad, para que el agua se caliente más fácilmente. Sus dimensiones varían para el ancho entre 0,40 y 1,20 metros, y para la altura entre 0,30 y un metro; por lo demás dependen de la cantidad de agua que hay que transportar y de la pendiente.

En las canalizaciones recientes, la pendiente es de 5 por 1.000; en los canales antiguos, de 1 a 5 por 1.000. El caudal de los canales alpinos importantes varía entre 300 y 400 litros por segundo. Se pierde mucha agua durante el recorrido de estos largos canales, por infiltración y por evaporación, en total un 25 por 100 de la cantidad de agua primitiva aproximadamente.

En 1915 se evaluaba entre 5,6 y 8,4 millones de francos la totalidad de estos canales y estas cifras se estimaban bajas.

Por la noche se recogen las aguas en recipientes y no se

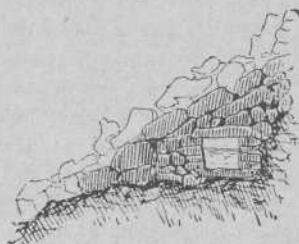


Fig. 101. — Canal alpestre protegido contra los desprendimientos

emplean hasta el otro día. El uso del agua se computa por día y hora. Cada regante ha de utilizar el agua en un momento dado. Así es indispensable que el canal se mantenga siempre en buen estado y que cualquier deterioro se advierta y repare inmediatamente. Hay que ejercer activa vigilancia, tanto más necesaria cuanto que con frecuencia atraviesa muchos términos en que el agua, voluntariamente o no, se podría retener. Esta vigilancia

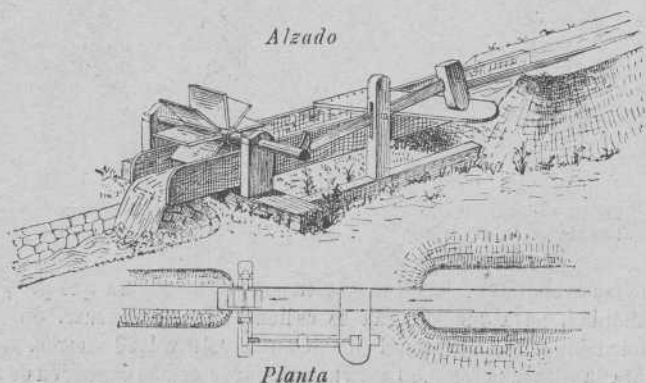


Fig. 102. — Canales alpestrés del Nalais. Avisador automático

para cada canal se encomienda a uno o dos guardas. Muchas veces se facilita con la ingeniosa disposición representada por la figura 102. El agua mueve una rueda de paletas que, por medio de un escape, eleva y deja caer un martillo que bate sobre una tabla como si fuese un yunque, produciendo un ruido que se oye a gran distancia. A veces, para mejor caracterizar este ruido, otra rueda mueve un martillo que da un sonido más grave que el anterior. Estos ruidos se oyen desde muy lejos y cuando cesan es que el agua no afluye regularmente. El vigilante, prevenido de este modo, se dirige en seguida al canal y efectúa la reparación necesaria a veces con peligro de su vida. Se utilizan muchas clases de presas; las que regulan la entrada del agua en el canal se construyen con especial cuidado, dispuestas de modo que no dejen penetrar más agua que la conveniente, aun cuando sobrevengan lluvias de temporal.

La figura 103 indica la construcción de las presas que sirven para el reparto del agua. La distribución del agua se efectúa del siguiente modo: según indican las partes A y B de la

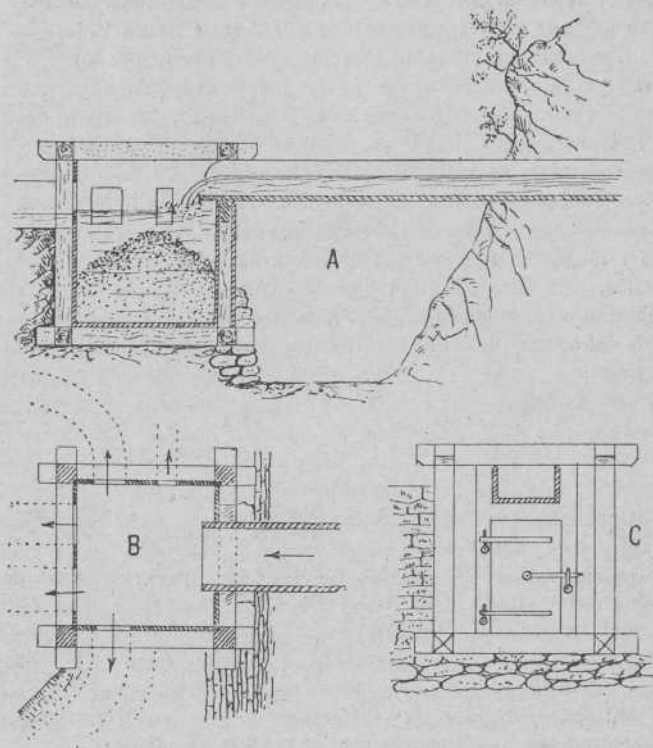


Fig. 103. — Canales alpestrés del Valais. Aforo

figura 103, el agua llega a un recipiente de madera por uno de sus lados; en los otros tres lados se han practicado aberturas rectangulares con los bordes inferiores rigurosamente horizontales.

Estas aberturas tienen todas la misma altura, pero su ancho varía en relación con la cantidad de agua que dejan pa-

sar y, por lo tanto, pueden limitar el caudal de agua que debe pasar al canal.

El recipiente tiene profundidad bastante grande para que puedan depositarse la tierra y las piedras arrastradas. Se limpian por una puerta representada por C en la figura 103.

Los canales alpinos no sólo suministran a los prados y viñas el agua de humedecimiento que les es indispensable, sino que también contribuyen mucho a la fertilidad. En efecto, dejan depositar los limos, que mejoran el suelo no solamente desde el punto de vista químico, sino desde el físico. Se produce en el movimiento lento de descenso de los heleros una verdadera trituración de las rocas que continúa en el lecho del río o del torrente en que penetra. Las aguas arrastran, por lo demás, con ellas un limo fino que colmata las tierras y da cohesión a los suelos arenosos. A continuación damos los análisis del agua y del limo del Dranse en Martigny hechos por Dussert.

| LIMO DEL DRANSE (por 100) | | AGUA DEL DRANSE (por metro cúbico) | |
|------------------------------|-------|---------------------------------------|-----------|
| Calizo silíceo | 86,3 | Residuo | 186,7 gr. |
| Calizo | 10,0 | Materia orgánica | 56,6 » |
| Arcilla | 3,7 | » mineral | 130,1 » |
| Nitrógeno | 0,164 | Sílice | 4,1 » |
| Acido fosfórico | 0,101 | Cal | 60,7 » |
| Potasa | 0,084 | Magnesia | 10,1 » |
| | | Acido sulfúrico | 47,9 » |
| | | Potasa | 6,0 » |

El agua y el limo del río Dranse no son muy ricos, pero el segundo es muy fino y es preciso tenerlo en cuenta:

CAPÍTULO XV

ENTARQUINADO

El entarquinado consiste en dejar que las aguas vayan depositando sobre el suelo, de un modo uniforme, los limos que arrastran. Se diferencia del colmataje, de que hablaremos en el volumen de esta ENCICLOPEDIA dedicado al drenaje, en que: 1.º, no interrumpe los cultivos; 2.º, propende especialmente al mejoramiento gradual del suelo, mientras que el colmataje tiene por fin principal elevarlo o rellenar las depresiones. El *entarquinado* se clasifica entre los riegos, mientras que el *colmataje* es un método de desecación.

Ya hemos estudiado la composición de los limos arrastrados por algunas corrientes de agua. Y lo dicho basta para evidenciar la importancia de este capítulo. La operación de que hablamos es siempre conveniente, aun cuando los terrenos sean fértiles; pero es particularmente beneficiosa cuando se trata de suelos pobres o estériles. En el primer caso permiten mejorar poco a poco terrenos que no daban más que cosechas escasas. Las aguas depositan en su superficie materias terrosas, con frecuencia ricas en principios fertilizantes, que el arado mezcla con el suelo. Cuando la mala calidad del terreno impide que la incorporación de los limos baste para convertirlo en tierra arable, por ejemplo, en las arenas o prados de la desembocadura de los ríos, o cuando no se puede esperar bastante tiempo para que el limo se mezcle en gran cantidad en el suelo, se puede sacar partido del suelo primitivo transformándolo en prado permanente.

Práctica de los entarquinados. — El principio que se debe seguir consiste en hacer circular lentamente sobre el suelo

previamente enrasado, el agua turbia en forma de capa muy ancha y delgada. La superficie del suelo debe tener una ligera inclinación y estar interrumpida de trecho en trecho por los terraplenes de que hablamos al tratar de la sumersión. Estos diques son bastante altos cuando se trata de campos cultivados en que hay que cubrir grandes espacios libres de obstáculos. No hay la misma necesidad en los terrenos todavía incultos que se quieran entarquinar. Los caballetes de tierra pueden aproximarse mucho entre sí y consistir en simples rebordes de 1 a 2 decímetros de altura a lo sumo. Más adelante, cuando el campo sea apto para el cultivo, el arado y la azada borrarán fácilmente estas desigualdades.

De la excelente *Hidráulica agrícola* de Charpentier de Cosigny entresacamos los siguientes detalles sobre el entarquinado:

Ante todo es preciso regularizar de cierto modo la superficie del suelo, dándole el aspecto general y la forma que deberá conservar una vez terminada la operación. Así no habrá después necesidad de remover tierras, que en ciertos parajes obligarían a cubrir con tierra estéril el limo depositado. Terminadas estas operaciones preliminares de explanación, se construirán los caballetes necesarios para retener el agua y se procederá al entarquinado. Se podrá suspender la operación cuando la arena o grava se haya cubierto de una capa de limo de suficiente espesor para que arraiguen las plantas. Se destruirán los rebordes, se establecerán acequias de distribución y de riego y se sembrará el terreno de gramíneas. Siempre que sea posible se introducirá en las acequias una corta cantidad de agua, de modo que, por simple filtración, se produzca la humedad necesaria para la germinación, brote y desarrollo inicial de las plantas. Una vez la hierba bien arraigada, se podrá hacer circular el agua con precaución por la superficie de la tierra. Finalmente, cuando las plantas hayan alcanzado conveniente desarrollo, la operación entrará en su tercera fase, en la que se empezará a sacar partido del suelo por la explotación del prado, sin interrumpir la maniobra del mejoramiento continuo por medio de limos. La marcha que habrá que seguir consistirá sencillamente en regar la pradera con

aguas turbias, haciendo circular por la superficie una capa de esta agua repartida uniformemente y tan delgada como sea posible. En invierno se podrá dejar el agua sobre los prados durante muchas semanas consecutivas. Pero desde el momento en que la tierra entre en activa vegetación, habrá que dividir la pradera en tres o cuatro partes, que se regarán sucesivamente para procurar al suelo la aireación necesaria y no convertirlo en pantanoso. Así podrá procederse durante todo el año, menos en el momento de la madurez de la hierba. Siempre se trabaja con cuidado para que el agua circule lentamente y en capa delgada, pues sólo en estas condiciones se depositará el limo en el fondo. El agua que llega turbia al terreno debe salir tan clara como sea posible. En invierno y en primavera van las aguas más cargadas de limo. La práctica de esta operación es muy conveniente en invierno en terrenos no sembrados todavía o en praderas de gramíneas, con tal que el agua tenga escaso espesor. Cuando el suelo está sembrado, hay que efectuar la operación con muchas precauciones.

Todos los métodos de riego se prestan mejor o peor al entarquinado. Lo esencial es que el agua llegue muy lentamente y retrasar, por lo tanto, su irrupción en el terreno. Desde luego que una pendiente demasiado rápida del mismo estorba o imposibilita esta operación. El limo se deposita siempre en cantidad bastante grande en las acequias horizontales. Cada año se extrae con palas y se esparce sobre las tierras próximas.

Cuando los campos están dispuestos para el riego por su inmersión, hay que aprovecharse siempre para practicar este depósito de limo si las circunstancias son propicias, es decir, cuando se emplean aguas turbias y el estado de la vegetación lo permite. Se cubre el terreno de agua y se deja en reposo hasta que esté clara, y luego se le da salida lentamente.

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA SOBRE RIEGOS

EXTRACTO DE LA LEY DE AGUAS DE 13 DE JUNIO DE 1879

SECCIÓN 4.^a

Del aprovechamiento de las aguas públicas para riegos

ARTÍCULO 176.—Los dueños de predios contiguos a vías públicas podrán recoger las aguas pluviales que por ellas discurren y aprovecharlas en el riego de sus predios con sujeción a lo que dispongan las Ordenanzas de conservación y policía de las mismas vías.

ART. 177.—Los dueños de predios lindantes con cauces públicos de caudal no continuo, como ramblas, rieras, barrancos u otros semejantes de dominio público, pueden aprovechar en su regadío las aguas pluviales que por ellos discurren, y construir, al efecto, sin necesidad de autorización, malecones de tierra y piedra suelta o presas móviles o automóviles.

ART. 178.—Cuando estos malecones o presas puedan producir inundaciones o causar cualquier otro perjuicio al público, el alcalde, de oficio o por instancia de parte, comprobado el peligro, mandará al que los construyó que los modifique en cuanto sea necesario para desvanecer todo temor, o si fuese preciso, que los destruya. Si amenazaran causar perjuicio a los particulares, podrán éstos reclamar a tiempo ante la autoridad local; y si el perjuicio se realiza, tendrán expedito su derecho ante los Tribunales de justicia.

ART. 179.—Los que durante veinte años hubiesen aprovechado para el riego de sus tierras las aguas pluviales que descienden por una rambla o barranco u otro cauce semejante de dominio público, podrán oponerse a que los dueños de predios superiores les priven de este aprovechamiento. Pero si solamente hubiesen aprovechado

parte del agua, no podrán impedir que otros utilicen la restante, siempre que quede expedito el curso de la cantidad que de antiguo aprovechaban ellos.

ART. 180.—Lo dispuesto en los artículos que preceden respecto de aguas pluviales, es aplicable a la de manantiales discontinuos que sólo fluyen en épocas de abundancia de lluvias.

ART. 181.—Cuando se intente construir presas o azudes permanentes de fábrica a fin de aprovechar en el riego las aguas pluviales o los manantiales discontinuos que corran por los cauces públicos, será necesaria la autorización del Gobernador de la provincia, previo expediente.

ART. 182.—Para construir pantanos destinados a recoger y conservar aguas pluviales o públicas, se necesita autorización del Ministro de Fomento o del Gobernador de la provincia, con arreglo a la Ley de Obras públicas y reglamento para su ejecución.

ART. 183.—Si estas obras fuesen declaradas de utilidad pública, podrán ser expropiados, previa la correspondiente indemnización, los que tuviesen derecho adquirido a aprovechar en su curso inferior las aguas que hayan de ser detenidas y acopiadas en el pantano, cuando el caudal de éste u otras circunstancias no consientan sostener aquellos aprovechamientos en las mismas condiciones en que venían existiendo.

Cuando esto pueda verificarse, se respetarán dichos aprovechamientos, indemnizando a los que a ellos tengan derecho por los daños que les ocasione su interrupción por causa de la ejecución de las obras del pantano.

ART. 184.—En los ríos navegables, los ribereños podrán en sus respectivas márgenes establecer libremente bombas o cualquier otro artificio destinado a extraer las aguas necesarias para el riego de sus propiedades limítrofes, siempre que no causen perjuicios a la navegación. En los demás ríos públicos será necesaria la autorización del Gobernador de la provincia.

Si en cualquiera de los casos del párrafo anterior hubiera de hacerse la extracción del agua funcionando el vapor como fuerza motriz, la autorización del Gobernador recaerá en virtud de expediente instruido, dándose publicidad en el *Boletín oficial* y audiencia a los interesados.

ART. 185.—Es necesaria la autorización del Ministro de Fomento para el aprovechamiento de aguas públicas con destino a riegos, cuya derivación o toma deba verificarse por medio de presas, azudes u otra obra permanente, construida en los ríos, barrancos, arroyos y cualquier otra clase de corrientes naturales continuas,

siempre que hayan de derivarse más de 100 litros de agua por segundo.

ART. 186. — Si la cantidad de agua que ha de derivarse o distraerse de su corriente natural no excediese de 100 litros por segundo, hará la concesión el Gobernador de la provincia previo el oportuno expediente, pudiendo el peticionario recurrir enalzada al Ministro de Fomento.

También autorizarán los gobernadores de provincia la reconstrucción de las presas antiguas destinadas a riegos u otros usos. Cuando las obras que hayan de ejecutarse en las presas sean de conservación o nueva reparación, y no alteren las condiciones del aprovechamiento, podrán llevarse a cabo sin previa autorización, pero dando de ello conocimiento al Gobernador de la provincia.

ART. 187. — Los gobernadores de provincia no podrán hacer más que una sola concesión en unas mismas obras de toma, de las cuales forma parte la presa.

ART. 188. — Las concesiones de aguas hechas individual o colectivamente a los propietarios de las tierras para el riego de éstas serán a perpetuidad. Las que se hicieren a Sociedades o Empresas para regar tierras ajenas mediante el cobro de un canon serán por un plazo que no exceda de noventa y nueve años, transcurrido el cual las tierras quedarán libres del pago del canon, y pasará a la Comunidad de regantes el dominio colectivo de las presas, acequias y demás obras exclusivamente precisas para los riegos.

ART. 189. — Al solicitar las concesiones de que tratan los artículos anteriores, se acompañará:

1.º El proyecto de las obras, compuesto de planos, Memoria explicativa, condiciones y presupuesto de gastos.

2.º Si la solicitud fuese individual, justificación de estar poseyendo el peticionario como dueño las tierras que intente regar.

3.º Si fuese colectiva, la conformidad de la mayoría de los propietarios de las tierras regables, computada por la extensión superficial que cada uno represente.

4.º Si fuere por Sociedad o empresario, las tarifas del canon que en frutos o en dinero deban pagar las tierras que hayan de regarse.

ART. 190. — Cuando existan aprovechamientos en uso de un derecho reconocido y valedero, solamente cabrá nueva concesión en el caso de que del aforo de las aguas en años ordinarios resultare sobrante al caudal que se solicite, después de cubiertos completamente los aprovechamientos existentes.

Hecho el aforo, se tendrá en cuenta, para determinar la cantidad de agua necesaria, la época propia de los riegos, según terrenos, cultivos y extensión regable.

En años de escasez no podrán tomar el agua los nuevos concesionarios mientras no estén cubiertas todas las necesidades de los usuarios antiguos.

ART. 191.—No será necesario el aforo de las aguas estiales para otorgar concesiones de las invernales, primaverales y torrenciales que no estuviesen estacional o accidentalmente aprovechadas en terrenos inferiores, siempre que la derivación se establezca a la altura o nivel conveniente y se adopten las precauciones necesarias para evitar perjuicios o abusos.

ART. 192.—Cuando corriendo las aguas públicas de un río, en todo o en parte, por debajo de la superficie de su suelo, imperceptibles a la vista, se construyan malecones o se empleen otros medios para elevar su nivel hasta hacerlas aplicables al riego u otros usos, este resultado se considerará, para los efectos de la presente ley, como un alumbramiento del agua convertida en utilizable.

Los regantes o industriales inferiormente situados, que por prescripción o por concesión del Ministerio de Fomento hubiesen adquirido legítimo título al uso y aprovechamiento de aquellas aguas que se trata de hacer reaparecer artificialmente a la superficie, tendrán derecho a reclamar y a oponerse al nuevo alumbramiento superior en cuanto hubiese de ocasionarles perjuicio.

ART. 193.—Los molinos y otros establecimientos industriales que resultaren perjudicados por la desviación de las aguas de un río o arroyo, concedida con arreglo a lo dispuesto en la presente ley, recibirá en todo caso del concesionario de la nueva obra la indemnización correspondiente. Esta consistirá en el importe del perjuicio por convenio entre las partes, mas si no hubiese avenencia, se procederá a la expropiación por causa de utilidad pública, previo el oportuno expediente.

ART. 194.—Las Empresas de canales de riego gozarán:

1.º De la facultad de abrir canteras, recoger piedra suelta, construir hornos de cal, yeso y ladrillo, y depositar efectos o establecer talleres para la elaboración de materiales en los terrenos contiguos a las obras. Si estos terrenos fuesen públicos o de aprovechamiento común, usarán las Empresas de aquellas facultades con arreglo a sus necesidades, mas si fuesen de propiedad privada, se entenderán previamente con el dueño o su representante por medio del Alcalde, y afianzarán competentemente la indemnización de los daños y perjuicios que pudieran irrogar.

2.º De la exención de los derechos que devenguen las traslaciones de dominio, ocurridas en virtud de la ley de expropiación.

3.º De la exención de toda contribución a los capitales que se inviertan en sus obras.

4.º En los pueblos en cuyos términos se hiciese la construcción, los dependientes y operarios de la Empresa tendrán derecho a las leñas, pastos para los ganados de transporte empleados en los trabajos y las demás ventajas que disfrutaban los vecinos.

Las concesiones con subvención del Estado, de la provincia o municipio, serán siempre objeto de pública subasta, con arreglo a lo que dispone la ley general de Obras Públicas.

ART. 195.—Durante los diez primeros años se computará a los terrenos reducidos a riego la misma renta imponible que tenían asignada en el último amillaramiento en que fueron consideradas como de seco, y con arreglo a ello satisfarán las contribuciones e impuestos.

ART. 196.—Será obligación de las Empresas conservar las obras en buen estado durante el tiempo de la concesión. Si éstas se inutilizaran para el riego, dejarán las tierras de satisfacer el canon establecido mientras carezcan del agua estipulada, y el Ministro de Fomento fijará un plazo para la reconstrucción o reparación. Transcurrido este plazo sin haber cumplido el concesionario, a no mediar fuerza mayor, en cuyo caso podrá prorrogársele, se declarará caducada la concesión.

Las condiciones de la caducidad serán las marcadas en la Ley general de Obras públicas para casos análogos, con arreglo a las prescripciones del Reglamento de la presente Ley.

ART. 197.—Tanto en las concesiones colectivas otorgadas a propietarios como en las hechas a Empresas o Sociedades, todos los terrenos comprendidos en el plano general aprobado de los que puedan recibir riego, quedan sujetos, aun cuando sus dueños los rehusen, al pago del canon o pensión que se establezca, luego que sea aceptada por la mayoría de los propietarios interesados, computada en la forma que se determina en el número 3.º del artículo 189.

Las Empresas tendrán en este caso derecho de adquirir los terrenos cuyos dueños rehusen el abono del canon por el valor en seco, con sujeción a las prescripciones de la ley y reglamento de expropiación forzosa.

Si la empresa no adquiriese las tierras, el propietario que no las riegue estará exento de pagar el canon.

ART. 198.—A las Compañías o Empresas que tomen a su cargo la construcción de canales de riego y pantanos, además del canon

que han de satisfacer los regantes para el pago de intereses y amortización del capital invertido en las obras, se les podrá conceder por vía de auxilio durante un período de cinco a diez años el importe del aumento de contribución que se ha de imponer a los dueños de las tierras después de los diez primeros años en que sean regadas. El mismo auxilio se podrá conceder a las Asociaciones de propietarios que lleven a cabo colectivamente la construcción de canales y pantanos para riego de sus propias tierras.

Las concesiones que tengan este auxilio sólo podrán otorgarse mediante una Ley, concediéndose las demás en virtud de un Real decreto, según lo dispuesto en el art. 147 de esta ley, de acuerdo con lo que previene la general de Obras públicas.

ART. 199.—Se declaran comprendidos en la exención del impuesto sobre primera traslación de dominio, la de los terrenos que hayan de regarse conforme a las prescripciones de esta ley.

ART. 200.—Quedan declaradas de utilidad pública, para los efectos de la ley de expropiación forzosa, las obras necesarias para el aprovechamiento de aguas públicas en riego, siempre que el volumen de éstas exceda de 200 litros por segundo.

ART. 201.—Si las Diputaciones provinciales, Sindicatos, Ayuntamientos, Compañías nacionales o extranjeras o personas particulares, acudiesen al Ministerio de Fomento pidiendo que se estudie el proyecto de un canal o pantano de riego por el Estado, se acudirá a la instancia cuando no lo impida el servicio público y siempre que los solicitantes se comprometan a satisfacer los gastos de dichos estudios, conforme a lo que se prefiere en el reglamento de esta ley.

ART. 202.—Los dueños, Sociedades, Corporaciones o Sindicatos de canales o acequias ya existentes en virtud de autorización, concesión, cédula u otro título especial que no hubiesen terminado sus obras a la publicación de la presente ley, podrán optar a los beneficios de la misma.

Para otorgarlos será preciso una ley, cuyo proyecto presentará a las Cortes el Ministro de Fomento, cuando del expediente, previamente instruido, resulte la conveniencia pública de conceder los expresados beneficios.

ART. 203.—Para el aprovechamiento de las aguas públicas sobrantes de riegos o procedentes de filtraciones o escorrentías, así como para las de drenaje, se observará, donde no hubiese establecido un régimen especial, lo dispuesto en los artículos 5.º al 11 y siguientes sobre aprovechamiento de aguas sobrantes de dominio particular.

ART. 204 — En interés general del mejor aprovechamiento de las aguas dispondrá el Ministro de Fomento que se proceda al reconocimiento de los ríos existentes con la mira de alcanzar que ningún regante desperdicie el agua de su dotación que pudiera servir a otro necesitado de ella, y con la de evitar que las aguas torrenciales se precipiten improductiva y aun nocivamente en el mar, cuando otras comarcas las deseen y pidan para el riego y aprovechamientos estacionales, sin menoscabo de derechos adquiridos.

Ley de 7 de julio de 1911 para la construcción, mediante la cooperación del Estado y de las provincias representadas por las Asociaciones y Sindicatos interesados, de obras hidráulicas con destino a riegos y de obras de defensa contra las corrientes de las aguas, de regularización y de encauzamiento de los ríos. — Modificación de la ley de 7 de julio de 1905.

CAPÍTULO PRIMERO

Construcciones hidráulicas con destino a riegos

PROYECTOS

ARTÍCULO PRIMERO. — El Gobierno realizará la redacción de los proyectos de pantanos y canales de riego a que la presente ley hace referencia, por el orden de la mayor utilidad al fomento de la riqueza nacional, teniendo en cuenta, desde el punto de vista agronómico, las condiciones de las zonas regables en relación con el establecimiento del riego, si éste no existiera, o las ventajas de mejorarlo o ampliarlo, si se tratara de regadíos ya establecidos. Al proyecto acompañarán el plano de la zona regable y las tarifas máximas exigibles por el riego.

ESTUDIOS Y MEJORAS COMPLEMENTARIAS

ART. 2. — Una vez acordada la redacción de los proyectos, deberán estudiarse los predios de repoblación forestal de las cuencas ali-

mentadoras, con objeto de reducir, si fuera necesario, los aterramientos de los pantanos y de contribuir a la regularidad de las corrientes cuando se estime que pueda conseguirse por tales medios; se determinarán asimismo las clases de cultivo y las prácticas agrícolas que se juzgaren más recomendables para la zona donde haya de establecerse el riego, y las medidas de carácter local propias para facilitar su introducción, y, finalmente, se iniciarán los estudios que tengan por objeto mejorar y abaratar los medios de transporte en dicha zona en cuanto a ello pueda contribuir el Estado.

A medida que lo permitan los recursos disponibles, deberán implantarse las mejoras que se juzgen necesarias, según resulte de los estudios indicados en el párrafo precedente, debiendo procurarse, una vez terminadas las obras, el establecimiento de Centros de crédito y de enseñanza y experimentación agrícolas, si no existieran, que pudieran ser utilizados por los nuevos regadíos.

PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

ART. 3. — La construcción de cada obra se autorizará por Real decreto acordado en Consejo de Ministros, a propuesta del del Fomento, previa consulta al de Hacienda acerca de la posibilidad de realizarla en vista de los créditos disponibles y de los compromisos contraídos

A las que pueden seguirse los procedimientos siguientes:

- 1.º Ejecución por el Estado, con auxilio de las localidades interesadas
- 2.º Ejecución por Asociaciones o Empresas, con auxilio del Estado.
- 3.º Ejecución por cuenta exclusiva del Estado.

ART. 4. — Podrá el Estado emprender la ejecución de una obra que tenga proyecto aprobado, siempre que las localidades interesadas garanticen al Gobierno auxilios en la forma siguiente:

1.º Cuando se trate del riego de terrenos de secano, los propietarios de la mitad, por lo menos de las tierras de la zona regable, en la forma o formas que detallarán las disposiciones reglamentarias de esta ley, deberán comprometerse a contribuir con el 50 por 100 al menos de los gastos de construcción, debiendo satisfacer el 10 por 100, como mínimo, en metálico y al tiempo de la construcción. Podrán los propietarios substituir el pago en metálico de todo o parte del 10 por 100 indicado, mediante la aportación de los terrenos que con las obras deban ocuparse y la ejecución de aquellas partes

que el Gobierno pueda confiarles, siempre que valorados unos y otros a los precios del presupuesto, importen, por lo menos, vez y media del tanto por 100 que deje de abonarse en metálico. El resto de lo que deje de abonarse hasta completar en todos los casos el tanto por 100 del coste de la obra que ha de correr a cargo de los propietarios, se abonará con el aumento de 1 y medio por 100 de interés anual, a partir de uno a cinco años después de la fecha de terminación de las obras, en un plazo máximo de veinticinco.

2.º Si se tratare de mejorar o ampliar regadíos existentes, los regantes y Comunidades de regantes, legalmente constituidos, interesados en la empresa, deberán garantizar al Gobierno una aportación mínima durante la ejecución de las obras de un 20 por 100 de su coste, más otro 40 por 100 también como mínimo, aumentado con un interés del 2 por 100 al año, en un plazo máximo de veinte, contados a partir de un año después de terminarse las obras.

El pago se hará en metálico, a menos que el Gobierno acepte la substitución en todo o en parte del tanto por ciento que debe pagarse al tiempo de la ejecución, por la aportación de los terrenos que hayan de ocuparse con las obras y la ejecución de ciertas partes de ellas, valorando aquéllos y éstas a los precios del presupuesto.

Las Diputaciones provinciales, Ayuntamientos y Corporaciones podrán contribuir a la ejecución de las obras concediendo subvenciones o auxilios a los propietarios o regantes y Comunidades de regantes; pero éstos, en el caso de que dichos auxilios no se hicieran efectivos, no deberán considerarse relevados del cumplimiento de las obligaciones contraídas con el Estado.

Art. 5. — Las obras pasarán a ser propiedad exclusiva de los propietarios o Comunidades de regantes que hubiesen garantizado los auxilios, una vez los hagan efectivos, pero el Gobierno, conservando siempre la facultad de inspeccionarlas, podrá confiar a aquéllos su explotación y conservación en el momento que lo juzgue conveniente.

Al pasar las obras a ser propiedad de los propietarios o Comunidades, se expedirá a su favor el correspondiente título de concesión a perpetuidad, en que conste la aportación del Estado en concepto de subvención.

Percibirán los productos que las obras puedan rendir, los propietarios o Comunidades que hubiesen prestado los auxilios, interin cumplan debidamente los compromisos contraídos con el Gobierno; éste, en caso contrario, recaudará en beneficio del Estado dichos productos explotando la obra libremente, como si fuese de su exclu-

siva propiedad, sin otras limitaciones que las expuestas por las leyes, arrendamiento o por medio de arrendatario, hasta que por este procedimiento complete la suma total de los auxilios debidos. En ambos casos registrarán las tarifas que acuerde la entidad encargada de la explotación, sin que en ninguno puedan excederse las máximas aprobadas.

Art. 6. — Los grandes pantanos destinados a aumentar los caudales disponibles en varios de los regadíos establecidos y en otros que puedan establecerse, así como los que, además de estos fines, tengan por objeto complementario la regularización de las corrientes para el mejor aprovechamiento de la energía hidráulica, podrán ser construídos por el Gobierno con el auxilio de las entidades que con la mejora hayan de beneficiarse, en la forma y condiciones que aquél acuerde.

Para ello, a más de cumplimentarse las prescripciones de los artículos 1, 2 y 3 y demás aplicables de las disposiciones generales de esta ley, antes de acordar la ejecución, deberá aquél asegurarse el equitativo concurso de las entidades a quienes haya de beneficiar la obra, obteniendo las garantías precisas para lograr su efectividad.

Art. 7. — La administración de los fondos mixtos con que deban construirse las obras podrá ser confiada, en tanto la consideren conveniente ambos partícipes, a una Junta especial dependiente y delegada del Ministro de Fomento, al que en todo caso corresponderá exclusivamente, sin intervención de aquélla, la gestión y resolución de las cuestiones de carácter técnico que la ejecución de las obras suscite y el nombramiento y separación del Ingeniero director. Los servicios de éste y demás personal, que figurando en activo servicio en los Cuerpos facultativos del Ministerio de Fomento, pasen o hayan pasado anteriormente al de los puntos de esta clase, deberán considerarse, para todos los efectos, como servicios activos prestados al Estado, aun cuando no se hayan consignado o no se consignen explícitamente sus sueldos respectivos en los presupuestos generales de la Nación.

El Gobierno hará efectiva la parte que le corresponde en los gastos de la obra por medio de mandamientos de pago trimestrales que, previa la orden del Ministerio de Fomento, librará a favor de las Juntas la ordenación de pagos al principio de cada trimestre. Servirán de justificante único a aquellos mandamientos las cuentas que las referidas Juntas habrán de rendir antes del 1.º de marzo de los gastos e ingresos de todas clases que hayan realizado en el año anterior, acompañadas de una certificación en que conste la situación

económica y la existencia en las respectivas Cajas en 31 de diciembre. Dichas cuentas, al igual de las demás del Estado, serán sometidas al Tribunal de las del Reino.

No podrán aplicarse los fondos de las Juntas a otros fines que a los requeridos por la ejecución de las obras; los que lo autorizaren o consintieren quedarán sujetos a la responsabilidad que el Código Penal señala para los que cometen el delito de malversación de los caudales públicos.

ART. 8. — Mientras no existan Juntas, y cuando se hallen terminadas las obras, los propietarios y Comunidades ingresarán la parte que les corresponda pagar en las Cajas del Tesoro público, al cual el Ministro de Fomento pasará al efecto oportunamente relaciones de las cantidades que deban aquéllos ingresar.

ART. 9. — Cuando las obras no puedan terminarse por dificultades imprevistas de orden técnico que se reputen insuperables relativamente a las utilidades que puedan reportar, o cuando sobrevenga la ruina por fuerza mayor, los partícipes en los gastos lo serán igualmente en las pérdidas, en la proporción en que hubiesen debido contribuir cada uno hasta el momento en que se acuerde el abandono de las obras.

En este caso y en los que éstas terminen normalmente, el Gobierno queda autorizado para enajenar los medios auxiliares de construcción o reservarlos para otras obras; el producto de la venta en su caso, o el de la tasación del valor que pudiesen alcanzar en venta en otro, se considerarán, para todos los efectos, como disminución del coste de las obras.

EJECUCIÓN POR EMPRESAS O SOCIEDADES, CON EL AUXILIO DEL ESTADO

ART. 10. — Podrá otorgarse en subasta previa a una Comunidad de regantes, Asociación de propietarios, Sindicato agrícola, etc., debidamente constituidos, que lo soliciten del Gobierno, la concesión de toda obra hidráulica, destinada a riego de terrenos de secano, con sujeción a un proyecto previamente redactado y aprobado por el Ministerio de Fomento de acuerdo con las prescripciones de esta ley, siempre que aquellas entidades representen debidamente a los propietarios de la mitad, por lo menos, de las tierras de la zona regable correspondiente. El Gobierno en este caso podrá, además, conceder una subvención que no exceda del 50 por 100 del presupuesto de las obras y un anticipo, en concepto de préstamo, hasta de otro 25 por 100 del mismo presupuesto, reintegrable en un plazo máximo

de veinticinco años y con un interés de 2 por 100 anual, no pudiendo exceder la suma de la subvención y anticipo de 275 pesetas, y de 400 pesetas por hectárea de la zona regable efectiva, según se trate, respectivamente, de riegos estacionales, destinados principalmente al cultivo cereal, o de riegos permanentes en que hayan de predominar los cultivos intensivos.

La subvención y el anticipo se abonarán a medida que vayan realizándose los trabajos. Ninguna modificación que en la realización del proyecto se introduzca, aunque sea impuesta por circunstancias ineludibles, podrá hacer variar su cuantía, a menos que con ella se redujese la superficie de la zona regable aprobada o el caudal de aguas utilizable y previsto, pues en estos casos se disminuirán también la cuantía de la subvención y anticipo en la misma proporción en que lo hubiesen sido la zona regable o el caudal según fuese aquélla o éste el factor que mayor reducción experimentase. Si la devolución del anticipo no se realizara dentro del plazo y en las condiciones fijadas, el Gobierno se incautará de las obras y podrá explotarlas directamente o por medio de arrendatario, en beneficio del Estado, como si fueran de su propiedad, sin otras limitaciones que las impuestas por las leyes y el respeto a las tarifas máximas aprobadas, continuando la incautación hasta tanto que por este procedimiento completase el cobro de la cantidad debida.

ART. 11. — La realización de toda obra hidráulica de riego con proyecto estudiado y aprobado con arreglo a las prescripciones de esta ley, podrá también autorizarse otorgando la concesión basada en aquél con sujeción a los términos que para este caso previene la de auxilios de 27 de julio de 1883.

Para ello será indispensable que exista una Empresa que lo solicite y que, además de presentar el compromiso escrito de los propietarios de más de la mitad de la zona regable, obligándose a regar sus tierras mediante tarifas que no excedan de las aprobadas, constituya una fianza en la Caja de Depósitos equivalente al 1 por 100 del presupuesto de la obra, que sólo le será devuelta en el caso en que tome parte en la subasta de la concesión y que no resulte adjudicataria dicha Empresa.

EJECUCIÓN POR CUENTA EXCLUSIVA DEL ESTADO

ART. 12. — Para que una obra hidráulica con destino a riegos pueda ser ejecutada por el Estado sin auxilio de los propietarios, Asociaciones o Empresas interesados se requerirá:

1.º Que exista un proyecto redactado y aprobado con sujeción a las prescripciones de la presente ley.

2.º Que la obra afecte a una extensa comarca, y que una severa información abierta al efecto demuestre la indudable conveniencia de realizarla y la utilidad que rendirá su explotación, así como la imposibilidad de llevarla a cabo por los procedimientos de que se trata en los artículos 4 al 10 de esta ley.

3.º Que la mitad, por lo menos, de la zona regable se obliguen, mediante compromiso hipotecario, al pago de las tarifas progresivas que se fijen, y que al quinto año de su establecimiento no podrán ser inferiores a la mitad de las legales aprobadas.

4.º Que sea autorizado el Gobierno especialmente para la ejecución por una ley, cuyo proyecto habrá de presentar a las Cortes, consiguándose en él que la explotación será retribuida y con sujeción a las condiciones fijadas en el apartado anterior y demás aplicables de la presente ley, y

5.º La construcción de los pantanos de alimentación y obras necesarias para transformar el Canal de Castilla en canal de riego, se hará conforme a la ley de 5 de mayo de 1909.

No será necesario el cumplimiento de los requisitos consignados en este artículo para la continuación y conservación de aquellas obras hidráulicas de propiedad del Estado que éste administre directamente en la fecha de la promulgación de esta ley y cuyos productos por el concepto de canon de riego ingresen íntegramente en las arcas del Tesoro público.

DISPOSICIONES GENERALES

ART. 13. — El coste de las obras a que se refiere el artículo 4 comprenderá el de los terrenos que haya necesidad de expropiar para su ejecución y establecimiento, el de la construcción de los pantanos, canales y acequias principales y los de la dirección y administración. Podrá, sin embargo, el Gobierno fijar como condición necesaria para realizarlas que, cuando exista Junta de Obras, las de administración que sean exclusivamente imputables a la existencia de ésta corran a cargo de los propietarios, o, por lo menos, que no puedan exceder de 6.000 pesetas al año las que deban pagarse con los fondos mixtos.

Para los efectos del artículo 10 se entenderá por presupuesto de las obras el coste previsto de los terrenos que haya necesidad de expropiar e indemnización que haya que abonar, y el de ejecución



material del presupuesto de los pantanos, canales y acequias principales, aumentando con un 16 por 100, en concepto de dirección y administración, imprevistos y beneficio industrial del contratista.

En ambos casos, la construcción de acequias secundarias y brazales correrá exclusivamente de cuenta de los propietarios y regantes interesados o de los concesionarios.

ART. 14. — Al fijarse la forma y cuantía de los auxilios y subvenciones para la construcción de obras hidráulicas que se realicen, con sujeción a las prescripciones de esta ley, se tendrá en cuenta el valor en venta o los rendimientos de los saltos de agua que tales obras hagan posible, así como el concurso que pueda recabarse de los propietarios de saltos ya establecidos y que la nueva obra mejorase. Los propietarios y concesionarios en una corriente o que se establezcan en el plazo de diez años después de que empiece a funcionar una nueva obra hidráulica que haya sido objeto de una subvención o auxilio con arreglo a esta ley, no tendrán derecho a utilizar las mejoras que la corriente experimente, debidas exclusivamente a dicha obra, al menos que mediara convenio que lo autorizase o que la no utilización de la mejora implicase perjuicio para los aprovechamientos.

En las obras que afecten a las Provincias Vascongadas y Navarra tendrá el Gobierno en cuenta el régimen fiscal a que están sometidas, para fijar la cuantía de los auxilios.

ART. 15. — En todos los casos a que esta ley se refiere, la entidad encargada legalmente de la explotación de una obra, y el Gobierno en su defecto, cuando no lo sea él mismo, tendrá el derecho de adquirir los terrenos no sometidos a riego comprendidos en el plano aprobado de la zona regable por su valor en secano, con sujeción a las prescripciones que sean aplicables de la legislación vigente de expropiación forzosa, y siempre que, transcurridos dos años después de la terminación de las obras, sus dueños no cumplieran debidamente los compromisos contraídos, bien con el Gobierno, bien con la entidad encargada de la construcción o explotación, o de no tenerlos, rehusasen pagar el canon o tarifas de riego que existiesen aprobadas, aplicables a los que se hallasen en este caso.

ART. 16. — Están exentas del pago de derechos reales las traslaciones de dominio a que diere lugar lo dispuesto en el artículo anterior, siempre que ocurran dentro de un plazo de menos de doce años, a partir de la terminación de las obras.

Para los efectos de otras exenciones fiscales se declaran también aplicables a las construcciones destinadas a riego a que esta

ley se refiere y a las zonas regables correspondientes, contenidas en los artículos 194 y 195 de la de Aguas vigente, cualquiera que sea la entidad encargada de construir y explotar las primeras, así como las consignadas en el artículo 14 de la ley de 27 de febrero de 1883, para los casos en el mismo previstos.

ART. 17.—En todos los regadíos que en lo sucesivo se establezcan, el derecho que adquieran al riego de sus tierras los propietarios de la zona regable, se considerará siempre adscrito a los mismos, no pudiendo, por lo tanto, independientemente de ellos, enajenarlo ni hipotecarlo, y transmitiéndose en iguales condiciones en que lo tuviese el vendedor en las sucesivas traslaciones de dominio.

ART. 18.—En cuanto no se oponga a las prescripciones de esta ley, quedan vigentes las contenidas en la general de Obras públicas de 18 de abril de 1877, en la de Aguas de 13 de junio de 1879, y en la de auxilios a las Empresas de canales y pantanos de riego de 27 de julio de 1883.

ART. 19.—El Gobierno aplicará a las obras en construcción los artículos 13 y 14 de esta ley, con la condición de que se hubiesen cumplido todas las que en ellas se establecen para cada caso

Se fija un plazo de seis meses, a partir de la promulgación de esta ley, para que las Comunidades de regantes, Sindicatos Agrícolas, Asociaciones de propietarios o particulares que tengan realizados estudios de alguna de las obras a que esta ley se refiere, puedan solicitar los beneficios de la misma con sólo presentar dichos proyectos.

El Ministro de Fomento resolverá en definitiva sobre la aprobación del proyecto y su aceptación para que sirva de base a la concesión del auxilio, previas las informaciones y confrontaciones especiales que ordenará en cada caso.

ART. 20.—Los artículos anteriores de esta ley sólo serán aplicables cuando la extensión efectiva de la zona regable sea por lo menos de 200 hectáreas.

ART. 21.—Los auxilios que para el establecimiento de los riegos garantiza la ley de 7 de julio de 1905 serán aplicables a zonas regables de menos de 200 hectáreas de cabida, y podrán también concederse cuando las aguas que se empleen no sean de dominio público ni artesianas.

La indicada ley se entenderá modificada en el sentido de que el premio o auxilio que se conceda versará únicamente sobre el número de hectáreas regadas, no sobre el de litros de agua consumidos, y en el de que serán de cuenta del Estado los gastos que a la Adminis-

tración puedan irrogarse con motivo de la instrucción de los expedientes correspondientes.

CAPÍTULO II

Obras de defensa y encauzamiento

ART. 22.—Se autoriza al Ministro de Fomento para que se redacten por cuenta del Estado los proyectos de obras de defensa contra las corrientes de aguas, de regularización y de encauzamiento de los ríos.

Se autoriza igualmente al Gobierno para que, con sujeción a los proyectos previamente aprobados y a los créditos legislativos disponibles, pueda llevar a cabo esta clase de obras, siempre que los que con ellas hayan de beneficiarse garanticen un auxilio equivalente al 25 por 100, por lo menos, del importe de su presupuesto y del valor calculado en el proyecto para la ocupación de los terrenos necesarios que no sean del Estado, comunales ni del dominio público.

El auxilio equivalente al 25 por 100, especificado en el párrafo anterior, se podrá ofrecer a pagar en un plazo que no exceda de veinte años.

Los auxilios se harán efectivos:

1.º Con la aportación gratuita de los terrenos que hayan de ocuparse permanentemente y con la autorización, también gratuita, para las ocupaciones temporales que la ejecución de las obras pueda requerir, o en defecto de éstos, con el pago del importe de los correspondientes expedientes de expropiación, si hubiese necesidad de instruirlos.

2.º Con la contribución en metálico del resto del auxilio.

En lo sucesivo no podrá subastarse la construcción de obras de esta clase que hayan de construirse por contrato, ni emprenderse la ejecución de las mismas por el sistema de administración sin que conste:

1.º Que los particulares o Corporaciones interesadas están dispuestas a entregar los terrenos que dichas obras requieran o que han transferido debidamente a favor del Estado el derecho a ocuparlos cuando sea preciso, y:

2.º Que han garantizado debidamente la aportación de la mitad, por lo menos, del auxilio en metálico ofrecido, o que han formalizado el compromiso a que se refiere el siguiente párrafo.

Cuando el Gobierno lo estime conveniente, en vez del auxilio

directo en metálico podrá aceptar un recargo en la contribución territorial de sus fincas, que todos o parte de los propietarios interesados en la realización de las obras puedan comprometerse a pagar voluntariamente, fijándose la cuantía de dicho recargo de manera que en el plazo máximo de veinte años quede abonado el total importe del auxilio.

En las obras de defensa de poblaciones el recargo sobre la contribución territorial deberá pesar especialmente sobre la urbana, en proporción a la riqueza que represente

En las obras de encauzamiento, el recargo deberá gravar sobre la rústica en proporción al valor de las fincas y a la utilidad que la obra pública proporcione a los mismos, siendo obligatorio en uno y en otro caso para todos los contribuyentes beneficiados. Si no fuese aceptado el repartimiento hecho por los Ayuntamientos o Corporaciones, el Ministro de Fomento resolverá, previo informe de los ingenieros que hayan hecho el estudio y planos de la obra correspondiente.

La obligación del Gobierno al emprender las obras queda limitada a la ejecución de las que en cada caso se hubiesen proyectado; pero cuando llegue a reconocerse que esto es prácticamente imposible, o que resultaría inconveniente, se podrán introducir las modificaciones que se juzguen necesarias, con el fin de obtener, con un coste razonable, los resultados perseguidos, sin que los que en definitiva se alcancen una vez realizadas las obras deban tenerse en cuenta para los efectos de la prestación de los auxilios ofrecidos.

Art. 23.—Dentro de los créditos legislativos disponibles podrá el Gobierno realizar, por cuenta del Estado, con o sin el auxilio de las comarcas interesadas, con arreglo a los proyectos previamente aprobados:

1.º Las obras de defensa, regularización o encauzamiento en los ríos y corrientes importantes que tengan por objeto evitar o combatir las inundaciones que perjudiquen a poblaciones importantes y comarcas extensas del territorio nacional.

2.º Las obras que sean indispensables para defender del ataque de las corrientes las propiedades y obras públicas del Estado.

3.º El encauzamiento de los ríos navegables para los fines de la navegación.



INDICE DE MATERIAS

| | <u>Págs.</u> |
|--|--------------|
| PREFACIO DE LA CUARTA EDICIÓN. | v |
| INTRODUCCIÓN. | vii |

PRIMERA PARTE

EL AGUA, LA PLANTA Y LA TIERRA

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO PRIMERO. — <i>Relaciones entre la tierra, el agua y la planta desde el punto de vista químico.</i> | 1 |
| I. — Papel fisiológico del agua. | 1 |
| 1. — Cantidad de agua que consumen las plantas. | 3 |
| 2. — Comparación entre el régimen de lluvias y las necesidades de los principales cultivos. | 10 |
| 3. — Cómo dar a las plantas la cantidad de agua que necesitan. | 19 |
| II. — Influencia de los cultivos en el caudal de los manantiales y en el caudal de las corrientes de agua. | 20 |
| III. — Fenómenos químicos que acompañan la circulación del agua en el suelo. | 21 |
| 1. — Poder absorbente de las tierras para las materias fertilizantes | 24 |
| 2. — Composición de las disoluciones contenidas en el suelo. | 26 |
| CAPÍTULO II. — <i>Relaciones entre la tierra, el agua y la atmósfera desde el punto de vista físico.</i> | 39 |

| | Págs. |
|--|--------|
| I. — Propiedades físicas del suelo. | 59 |
| 1. — Poder de absorción de las tierras. | 41 |
| 2. — Permeabilidad. | 55 |
| 1.º Medida de la permeabilidad de las tierras por el procedimiento de Müntz, Faure y Lainé sobre el terreno. | 60 |
| 2.º Examen de las tierras en el laboratorio. | 64 |
| 3. — Capilaridad. Movimientos del agua en el suelo | 71 |
| 4. — Desecación de las tierras. Evaporación. | 77 |
| 5. — Contracción de las tierras. Agrietamiento. | 82 |
| 6. — Temperatura del suelo. | 82 |
| ¿Cuál es la cantidad de agua óptima que debe contener la tierra? | 85 |
| II. — Relación entre la cantidad de lluvia caída y la cantidad de agua que atraviesa la tierra. | 85 |
| III. — Instrumentos para extraer muestras de tierras. Sondas | 90 |
| CAPÍTULO III. — Régimen de las aguas en las formaciones geológicas. | 94 |
| 1. — Terrenos primitivos. | 94 |
| 2. — Terrenos volcánicos. | 99 |
| 3. — Terrenos primarios. | 100 |
| 4. — Terrenos secundarios | 101 |
| Terrenos jurásicos | 105 |
| Terrenos infracretáceos. | 107 |
| Terrenos cretáceos | 110 |
| 5. — Terrenos terciarios | 115 |
| Arcilla plástica | 115 |
| Margas verdes. | 114 |
| Arcillas molares de Brie | 114 |
| Margas de ostras y arenas de Fontainebleau. | 117 |
| Caliza de Beauce. | 118 |
| La Sologne | 118 |
| La Brenne | 119 |
| La llanura de Forez y la cuenca de Roanne. | 119 |
| La comarca entre el Loira y el Allier. | 120 |
| El departamento del Norte. | 120 |
| 6. — Terrenos terciarios y cuaternarios del sudoeste de Francia. | 120 |
| Molasas y terrenos arcilloarenosos | 120 |

| | Págs. |
|---|------------|
| Departamento de las Landas. | 123 |
| Dunas de Gascuña | 124 |
| 7. — Terrenos terciarios y cuaternarios de Suiza y del Este | 125 |
| El Hysch. | 125 |
| Molasas | 125 |
| 8. — Terrenos cuaternarios de Suiza y Saboya. | 126 |
| La Bresse y Dombes. | 128 |
| Dombes | 129 |
| Limo de las mesetas. | 130 |
| CAPÍTULO IV. — <i>Substancias fertilizantes contenidas en el agua.</i> | 133 |
| 1. — Substancias que llevan las aguas en suspen- sión. Limos. | 135 |
| Investigaciones de Müntz y Lainé (1910-1913). | 136 |
| Composición y propiedades de los limos. | 145 |
| 2. — Substancias fertilizantes disueltas en las aguas. | 151 |
| A. Aguas de lluvia y de nieve. | 151 |
| B. Aguas de arroyos y ríos. | 152 |
| a) Gases disueltos en las aguas de los arroyos y ríos. | 152 |
| b) Nitrógeno y materias minerales conte- nidos en las aguas de los ríos y arroyos | 153 |

SEGUNDA PARTE

EMPLEO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA RIEGOS

| | |
|--|------------|
| Definición | 157 |
| CAPÍTULO PRIMERO. — <i>Efectos del riego</i> | 159 |
| 1. — El riego durante el período activo de la vege- tación compensa la insuficiencia de la lluvia. | 159 |
| 2. — El riego como agente fertilizante | 159 |

| | <u>Págs.</u> |
|---|--------------|
| 1.º El riego orea el suelo. | 159 |
| 2.º El riego solubiliza las materias fertilizantes contenidas en el suelo. Moviliza la fertilidad. | 162 |
| 5.º El riego puede aportar materias fertilizantes. | 162 |
| 4.º Acción calorífica del agua de riego. | 170 |
| 3. — El riego bien efectuado libra a las tierras de insectos, animales y plantas nocivos. | 171 |
| 4. — Los riegos practicados con aguas estériles agotan las tierras si no se aportan abonos complementarios. | 172 |
| CAPÍTULO II. — Cualidades de las aguas empleadas en el riego. | 173 |
| CAPÍTULO III. — Medios de obtener agua para el riego. | 175 |
| 1. — Aguas de manantiales. | 175 |
| 2. — Estanques y grandes depósitos. | 180 |
| 3. — Aguas de ríos y arroyos | 185 |
| Evaluación del caudal de una corriente de agua. | 194 |
| 4. — Canales de riego | 197 |
| Distribución del agua. Partidores. Módulos. | 198 |
| 5. — Aguas de drenaje | 200 |
| Máquinas elevadoras. | 201 |
| CAPÍTULO IV. — Canales y acequias de riego. | 202 |
| 1. — Sección de los canales y de las acequias. | 203 |
| 2. — Pendientes de los taludes de los canales y de las acequias principales | 204 |
| 3. — Pendiente de los canales. | 205 |
| 4. — Canal de conducción o de derivación. | 207 |
| 5. — Acequias de distribución. | 208 |
| 6. — Acequias de riego | 209 |
| 7. — Acequias de desagüe | 209 |
| 8. — Canales de evacuación o descarga. | 210 |
| Pérdida de agua por evaporación y filtración. | 210 |
| 9. — Cálculo de las dimensiones de los canales y de las acequias principales | 211 |
| Empleo de las fórmulas; uso de las tablas de Bazin y de Ganguillet y Kutter; ejemplos numéricos | 215 |

| | Págs. |
|--|-------|
| CAPÍTULO V. — <i>Técnica del riego.</i> | 225 |
| I. — Sistemas y métodos de riego. | 225 |
| II. — Riego de las tierras laborables y de los cultivos hortelanos | 226 |
| III. — Riego de praderas | 227 |
| IV. — Descripción de los diferentes métodos de riego. | 228 |
| 1. — Riego circulatorio o por desborde. | 228 |
| 1.º Método de riego por regueras horizontales. | 228 |
| A. Riego natural | 229 |
| Canal de conducción del agua. | 231 |
| Acequias de distribución o de alimentación. | 231 |
| Situación de las acequias de distribución. | 231 |
| Acequias horizontales o de riego | 232 |
| Unión de las acequias de riego con las de distribución. | 234 |
| Longitud y pendiente de las acequias de riego. | 234 |
| Separación de las acequias de riego entre sí. | 255 |
| Acequias de desagüe. | 255 |
| Canales de evacuación del agua. | 256 |
| Manera de dar el agua. | 256 |
| Ventajas e inconvenientes del riego por acequias horizontales | 256 |
| B. Riego artificial por acequias horizontales o por planos inclinados. | 257 |
| Planos inclinados ordinarios. | 259 |
| Planos inclinados sucesivos | 259 |
| Ventajas e inconvenientes del riego por planos inclinados sucesivos | 241 |
| 2.º Riego por acequias oblicuas o provenzal. | 242 |
| 3.º Riego por acequias inclinadas, marejadas o espigas de trigo. | 244 |
| Acequias principales de alimentación y desagüe | 245 |
| Acequias de distribución | 245 |
| Acequias de riego | 245 |
| Acequias de desagüe | 245 |
| Ventajas e inconvenientes del riego por espigas. | 247 |

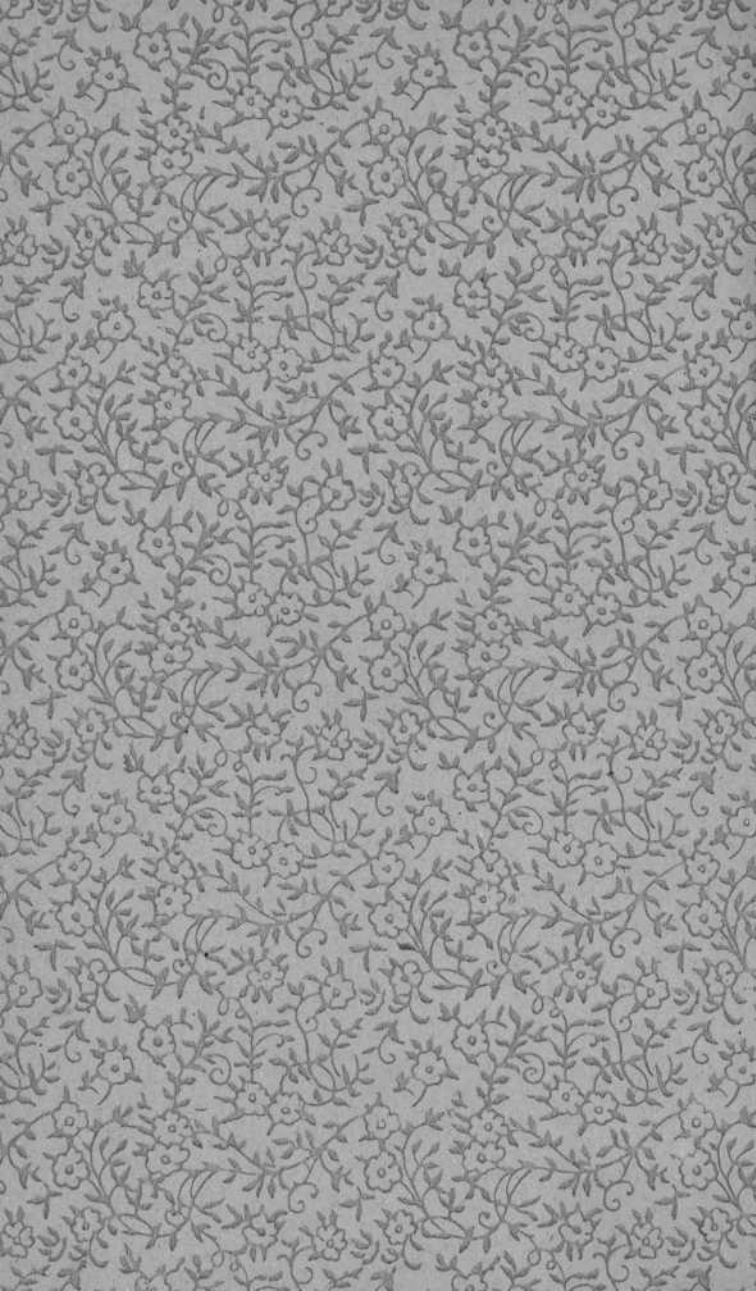
| | Págs. |
|--|-------|
| 4.º Método de riego por caballetes o doble arriate | 247 |
| Pendiente y dimensiones de los arriates. | 250 |
| Arriates naturales, artificiales y escalonados. | 255 |
| A. Arriates naturales. | 256 |
| B. Arriates artificiales | 257 |
| Dimensiones y pendientes de los tablares. | 257 |
| Acequias de llegada y de salida de las aguas. | 258 |
| Acequias de riego. | 258 |
| Acequias de desagüe | 260 |
| Acequias colectoras de las de desagüe. | 260 |
| Caminos de servicio. | 260 |
| Orientación de los arriates. | 261 |
| Empleo del agua de los desagües. | 265 |
| C. Arriates escalonados. | 267 |
| Cantidad de agua necesaria para los arriates | 269 |
| Ventajas e inconvenientes del método de riego por arriates | 272 |
| 2. — Riego por sumersión o a manta. | 275 |
| 1.º Sumersión natural | 274 |
| 2.º Sumersión artificial sencilla | 274 |
| Ejecución de las obras | 276 |
| Ventajas e inconvenientes del riego por sumersión artificial sencilla. | 278 |
| Modo de dar el agua. | 280 |
| 3.º Sumersión artificial con renovación de agua | 282 |
| 3. — Riego por infiltración. | 282 |
| 1.º Por infiltración del agua en el suelo por regueras profundas. | 282 |
| 2.º Infiltración del agua por regueras abiertas superficiales. | 284 |
| 4. — Riego por aspersion o lluvia artificial. | 286 |
| 5. — Drenaje y riego combinados. | 298 |
| Método de Petersen. | 298 |
| CAPÍTULO VI. — <i>Cantidades de agua necesarias para el riego.</i> | 304 |
| Definición | 304 |
| A. Riego propiamente dicho. | 307 |

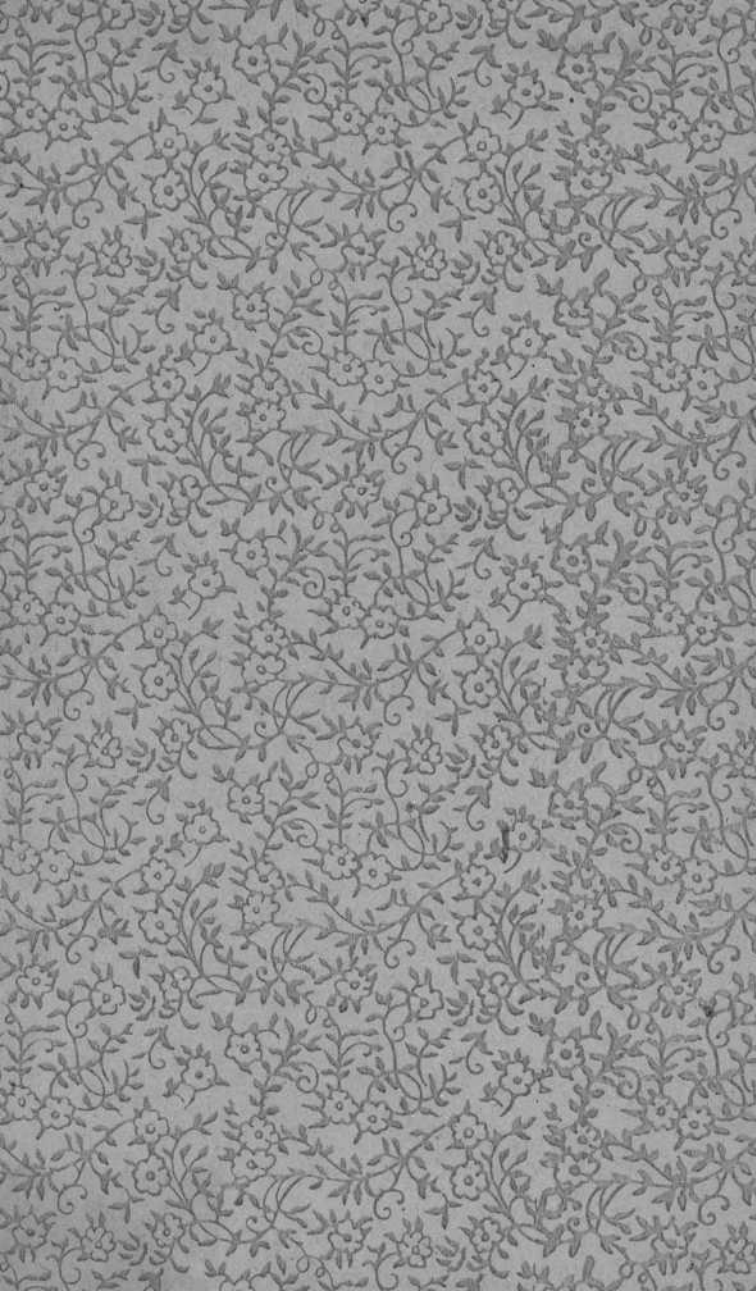
| | | |
|---|--|-----|
| 1.º | Influencia de la naturaleza de las plantas y del clima. | 507 |
| 2.º | Influencia del suelo. | 508 |
| 3.º | Influencia de la pendiente del suelo. | 511 |
| 4.º | Influencia del sistema de riego | 511 |
| | Cantidades de agua que se dan en Francia. | 511 |
| B. | Riegos fertilizantes | 517 |
| CAPÍTULO VII. — <i>Distribución del agua.</i> | | 320 |
| A. | Método de Friedrich. | 322 |
| 1.º | Riegos por sumersión. | 322 |
| 2.º | Riego por circulación. | 325 |
| B. | Método de M. J. Crevat. | 328 |
| CAPÍTULO VIII. — <i>Precio del agua.</i> | | 358 |
| | Distribución del agua de riego. -Turno. -Horario. | 341 |
| CAPÍTULO IX. — <i>Ejecución de los riegos.</i> | | 345 |
| | Proyecto y plano | 345 |
| | Ejecución de las obras. | 346 |
| | Trazado y construcción de las acequias en el método de riegos por acequias horizontales. | 349 |
| | Construcción de arriates. | 352 |
| 1.º | Arriates naturales. | 352 |
| 2.º | Arriates artificiales. | 355 |
| | Disposición especial para el riego de tablares de grandes dimensiones | 356 |
| | Construcción de planos inclinados | 356 |
| CAPÍTULO X. — <i>Drenaje de las praderas de regadío.</i> | | 358 |
| CAPÍTULO XI. — <i>Economía de los riegos.</i> | | 361 |
| | Precio de coste de los riegos | 361 |
| | Resultado del riego | 362 |
| CAPÍTULO XII. — <i>Siembra y conservación de los prados de regadío.</i> | | 365 |
| | Trasplante del césped. | 365 |
| | Siembra. | 365 |
| | Conservación de las praderas de regadío. | 369 |
| | Limpia de regueras y canales. | 370 |
| | Destrucción de animales y plantas nocivas. | 371 |
| | Henificación. | 375 |
| | Pastoreo en los prados de riego. | 376 |

| | Págs. |
|--|-------|
| CAPÍTULO XIII. — <i>Práctica del riego de los prados.</i> | 378 |
| Cantidades de agua empleada. — Riegos según las estaciones. — Riegos de invierno. — Riegos de verano | 378 |
| Riego por circulación. — Algunos principios de aplicación general | 381 |
| Intermitencias en los riegos de verano y de invierno. | 382 |
| Empleo del agua durante las heladas. | 384 |
| Riegos de otoño. | 384 |
| Riegos de primavera | 386 |
| Riegos de verano. | 387 |
| Aplicación de los abonos. | 388 |
| CAPÍTULO XIV. — <i>Riegos en la alta montaña.</i> | 392 |
| Canales alpestres de Valais. | 392 |
| CAPÍTULO XV. — <i>Entarquinado</i> | 399 |
| Práctica de los entarquinados. | 399 |
| CAPÍTULO XVI. — <i>Legislación española sobre riegos.</i> . . . | 402 |











RISLER Y WÉRY

RIEGOS

C

260