

MINISTERIO DE AGRICULTURA  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

ESTACIÓN DE QUÍMICA AGRÍCOLA

# Algunas características agrícolas de las tierras de la Laguna de la Nava y límites de Tierra de Campos, Palencia

POR

J. DÍAZ Y MUÑOZ† y C. TAMÉS  
INGENIERO AGRÓNOMOS



Cuaderno N.º 1

ALCALÁ, 62 - MADRID

MARZO - 1941



R.126343

DGCL  
A

## ESTACIÓN DE QUÍMICA AGRÍCOLA

### **Algunas características agrícolas de las tierras de la Laguna de la Nava y límites de Tierra de Campos (Palencia), por J. DÍAZ Y MUÑOZ † y C. TAMÉS, Ingenieros Agrónomos.**

Los trabajos que se efectúan actualmente en la Laguna de la Nava para conseguir su posibilidad de cultivo y aminoración de la superficie inundada, previo saneamiento, dando salida a las aguas que recoge y que, debido a los arrastres producidos por las lluvias intensas en los terrenos colindantes, producen un aterramiento y, como resultado, una mayor extensión inundada con el decurso del tiempo, cual pudo apreciarse en el año 1833 al encontrar cubierto por una capa de tierra arcillosa un sillar que, en el año 1752, sirvió a don Antonio y a D. Fernán de Ulloa como punto de la triangulación que efectuaron, señalaban la conveniencia de un estudio de la característica de estos suelos, que han de someterse al cultivo, comparativamente con los límites en que se efectúa.

La Laguna de la Nava, situada en terreno mioceno, como toda la Tierra de Campos, y en la que se acusan horizontes de arcilla de más de 80 metros de espesor, se halla a poca distancia de Palencia, y rodeada por los pueblos de Grijota, Becerril, Mazariego, Villaumbrales y Fuentes, ocupando actualmente una extensión de 3.100 hectáreas.

No deja de ser interesante que, en 1831, en la cesión de la Laguna, se estimaba como superficie para su saneamiento, la de 4.016 obradas y 221 estadales (2.160,8 hectáreas), lo que comprueba los arrastres de las tierras cercanas, arcillosas, cual todas las de Campos, y de las aportadas por los arroyos Retortillo el Mayor y Valdeginete, que, en su corto curso, atraviesan suelos de la comarca,

+161314

CB.1204520



cuya característica de poca permeabilidad facilita extraordinariamente los arrastres, en lluvias intensas.

Las tierras lindantes con la Laguna, productora tan sólo de carrizo, son aprovechables o no, según la intensidad de las lluvias, y se cultivan de cereales, siguiéndose, en las que no están afectadas por las oscilaciones, y por ello son cultivables, un cultivo predominantemente cereal, abonando intensamente un año con estiércol, para siembra de cebada, y los sucesivos, barbecho y trigo, obteniendo cosechas variables, según la pluviosidad. Suelos de poca sazón; hay que aprovechar para labrar los escasos días que tengan tempero, exigiendo un gran esfuerzo para las labores, cual lo justifica las buenas yuntas de mular con que cuentan los labradores de la comarca para accionar los arados de vertedera, de general uso.

Responden las tierras a la estercoladura y a fertilización mineral, aquélla aprovechada por el cultivo de cebada, como se ha indicado.

En cuanto al abonado mineral, la casi totalidad de los labradores sólo emplea el superfosfato y nitrato.

La profundidad de las raíces tiene su máxima penetración hacia los 40 centímetros.

Agradecemos a D. Manuel Polo y D. Antonio Dorronsoro los datos facilitados.

#### CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS.

Las muestras estudiadas han sido once. Seis, tomadas en la misma Laguna de la Nava y en sitios pertenecientes a los pueblos de Grijeta, Villaumbrales y Becerril. Se indican en los resultados por las iniciales G-3, V-4-5-6-7 y B-8.

Las otras cinco son tierras cultivadas en la misma zona y tomadas en los términos de Becerril y Fuentes de Nava (los Cortijos, Prado Viejo, La Sorpresa, Los Picones de la Cruz); vienen indicadas en los cuadros por B-9 y F-10-11-12-13.

Las muestras nos fueron remitidas, a petición nuestra, por los Ingenieros Agrónomos señores Castañón y Conde Bazaga, por cuya diligencia les estamos muy agradecidos. Se recibieron en la Estación Agronómica, las seis primeras, en el mes de agosto de 1934, y las cinco últimas, en octubre de 1935.

#### DETERMINACIONES EFECTUADAS.

Se han llevado a cabo las de orden mecánico, físico, físico-químico y químico, cuyos resultados constan en los Cuadros I a XI bis (1).

Las técnicas seguidas se indican más adelante, y, aunque sucesivamente detallaremos la interpretación de los resultados obtenidos, como las muestras presentan características comunes, creemos de interés hacerlas resaltar en primer lugar.

Puede verse en el Cuadro I que todas ellas son muy arcillosas, con un contenido variable del 45 al 70 % de arcilla y del 30 al 15 % de limo; es decir, que ambas fracciones suman alrededor del 80 % del total. Así se comprende que la composición mecánica o textura marca las propiedades del suelo. Es decir, que con el solo conocimiento de estas cifras podríamos inducir, *a priori*, que poseen las características inherentes a los suelos arcillosos. Estos son corriente-mente muy poco permeables, de poco tempero, pobres en materia orgánica, nitrógeno y fosfórico y, generalmente, ricos en potasio.

Todas estas características, como puede verse en los Cuadros, han sido confirmadas por el análisis.

La reacción es alcalina en todos ellos, variando el pH del 7,60 al 7,95 (Cuadro VI).

En mayor o menor cantidad, todas tienen carbonatos y sulfatos, variando el contenido del 1,5 al 17 % en los primeros y del 0,27

---

(1) En parte de estos trabajos ha colaborado con nosotros el Perito Agrícola Sr. Domíech, del Servicio del Cultivo del Tabaco, durante el período de prácticas que siguió en la Estación Agronómica.

a 1,80 en los segundos, expresado, respectivamente, en  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{CaSO}_4$ .

Si examinamos el Cuadro II, veremos que, eliminando las dos muestras de Becerril (B-8-9), las de la Laguna presentan buena estructura, y las de Fuentes de Nava, mala, según indican el "factor de estructura Alten" y el "volumen de sedimentación de Bouyoucos". El "equivalente de humedad de Bouyoucos" denuncia mala estructura para todos ellos.

Para explicar esta anomalía estamos efectuando en la actualidad ensayos que más adelante daremos a conocer. Por ahora, sólo podemos hacer resaltar la relación cualitativa que existe entre los índices de estructura y el calcio soluble en el agua, pareciendo ser el mínimo compatible con la buena estructura, en las condiciones en que operamos, y sin eliminar los electrolitos ni bases de cambio, 1,52 M. E. % de  $\text{Ca}$  (0,043 % de  $\text{CaO}$ ).

Relacionando los "índices" con el contenido de sulfatos, parece ser el 0,68 % de  $\text{CaSO}_4$  el límite de la estabilidad en los suelos que nos ocupa.

Actualmente estamos efectuando estudios en muestras con el calcio como único catión de cambio y exentas de electrolitos, con el fin de ver la influencia del núcleo aniónico de la arcilla sobre la estabilidad de la estructura.

En el Cuadro II constan los "coeficientes higroscópicos", mayores en los suelos de la Laguna que en los restantes. Esto es debido, probablemente, a la salinidad mucho mayor de los primeros.

Como datos interesantes de los Cuadros IV y IV bis, tenemos la gran cantidad de hierro de todas las muestras: 6 a 8,6 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , característica ésta muy frecuente en los suelos arcillosos, y la excesiva pobreza en manganeso de las muestras F-10-11 y 13, por lo que sería interesante examinar los resultados de la fertilización. En el Cuadro VII se aprecia la elevada cantidad de óxido de hierro hidratado, de importancia, como más adelante se verá.

En el Cuadro V se insertan las cifras de carbono y nitrógeno que, aunque muchas de ellas bajas, no podemos interpretar en sentido

absoluto, por haber sido tomadas las muestras a profundidades diferentes. Según algunos clásicos, los suelos necesitan contener del 3 al 5 % de materia orgánica. Suponiendo que en ésta la relación carbono-nitrógeno es 10 y que la expresión del carbono en materia orgánica se hace multiplicándole por 1,72, tendríamos que el nitrógeno necesario variaría entre 1,7 y 2,9 por 1.000 y, como promedio, el 2,3. Según otros, la cifra suficiente es el 1 por 1.000. Esta última cifra nos parece demasiado baja, sobre todo si tenemos en cuenta que en más del 80 % de los suelos españoles el contenido es mayor del 1 por 1.000, y que, en la gran mayoría, los abonos nitrogenados producen un aumento en el rendimiento. Por estos motivos consideramos que el límite debe elevarse también al 2 por 1.000, como para la potasa, por lo menos en nuestros suelos. Con este criterio, vemos que todos los suelos estudiados tienen necesidad de materia orgánica y abonos nitrogenados. Estos, es conveniente se apliquen en forma de nitrato cálcico o de sulfato amónico, donde el contenido del carbonato cálcico lo permita. El nitrato sódico no es conveniente, en general, por acentuar la inestabilidad de la estructura.

La relación carbono-nitrógeno, excepto en una de las muestras, no se aparta mucho de 10, indicando buenas condiciones de transformación de la materia orgánica.

En la mayoría de los suelos españoles, cultivados, el contenido de sales solubles oscila alrededor del 2 por 1.000. Si admitimos que estas sales fueran exclusivamente  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ó  $\text{MgCl}_2$ , que son las sales sódicas y magnésicas que podrían existir en el suelo con mayor y menor equivalente, respectivamente, tendremos que el 2 por 1.000 representará 2,8 M. E. % de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ó 4,2 M. E. % de  $\text{Cl}_2\text{Mg}$ . Si tomamos este último valor como límite de separación de los suelos salinos y no salinos, y examinamos los valores de L en el Cuadro V, vemos que en los suelos de la Laguna existe una acumulación de sales solubles, sobre todo sódicas y magnésicas. Alguna de las muestras de Tierra de Campos están también próximas al límite. La salinidad de las tierras de la Laguna se explica por el carácter aluvial de su formación y el subsuelo impermeable de arcilla plástica, favo-



recido, uno y otro, por el bajo "factor de estructura". En estas condiciones, las sales provienen del lavado de las tierras inmediatas. El agua desaparece principalmente por evaporación, debido a la constitución del subsuelo, y las sales quedan próximas a la superficie, como consecuencia del bajo "índice de Meyer",  $N/S = 121$  (1).

Si los suelos de la Laguna se sometieran al lavado, probablemente quedarían con un contenido salino análogo al de Tierra de Campos.

Esta salinidad es muy importante, como veremos más adelante, pues perturba la utilización del agua por la planta, sobre todo teniendo en cuenta la pluviosidad, no muy elevada (464 mm.).

En el Cuadro VI pueden verse los "cationes de cambio". En la Laguna, el calcio forma más del 90 % de los totales. En Tierra de Campos, la cifra baja casi al 60 %, estando parte del calcio sustituido por el magnesio.

Esto pudiera ser debido, como se verá, a la acción del magnesio, "extensivamente absorbido", que reemplaza al calcio, "intensivamente absorbido", como consecuencia del lavado del yeso en los suelos de Tierra de Campos, próximos a la Laguna.

Como era de esperar, el  $Na^+$  de cambio en la Laguna es muy inferior al de Tierra de Campos, como consecuencia del menor contenido de éstas en sulfato cálcico. Esto contribuye a la inestabilidad de la estructura, como veremos más adelante.

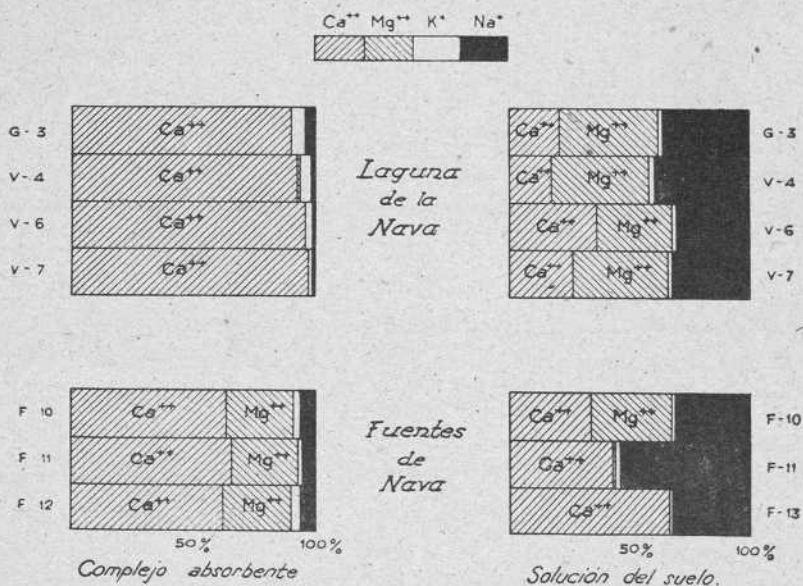
La reacción (pH) determinada en agua y cloruro potásico normal, nos indica, por su casi igualdad, la saturación del suelo, como hemos podido comprobar al valorar la acidez de cambio, que nos resultó nula.

En el Cuadro VII figuran los datos a considerar para la fertilización fosfatada, que se interpretan más abajo, con mayor extensión, teniendo en cuenta su gran importancia.

---

(1) El "índice de Meyer" se deduce dividiendo la lluvia media anual por un coeficiente que expresa el déficit medio de saturación a la temperatura media anual. En la Península, este índice varía de 49 en Totana (Murcia) a 600 en Santiago. En Las Palmas baja el índice a 32.

## Porcentaje de los diferentes cationes en el contenido total



En los Cuadros VIII y VIII bis aparecen los resultados de interés para la fertilización potásica. El segundo se utiliza para la aplicación del método de Lichterfelde, cuyos detalles de fundamento pueden verse en el Apéndice.

En los IX y IX bis se determina el "agua inerte", según VAGELER y ALTEN, para diferentes plantas. A nosotros nos ha parecido de interés hacerlo:

1.º Para los *trigos cultivados en países lluviosos*, en que la "presión de succión" varía de 6,7 a 11,1 atmósferas. El "agua inerte", en los suelos de la Laguna, oscilaría del 86 al 50 %, y en Tierra de Campos, del 34 al 10 %.

2.º Para las *cebadas cultivadas en países lluviosos*, en que la "presión de succión" oscila de 6,7 a 15,99 atmósferas. El "agua inerte" varía, en la Laguna, del 86 al 39 %, y en Tierra de Campos, del 34 al 9 %.

3.º *Trigos egipcios*, con "presión de succión", de 13 a 28 atmósferas. En la Laguna, el "agua inerte" varía del 53 al 26 %; en Tierra de Campos, del 23 al 6 %.

4.º Para las *plantas cultivadas en climas secos*, cuya presión de succión oscila de 15 a 35 atmósferas. El "agua inerte", de las tierras de la Laguna, oscilaría entre el 47 y el 26 %, y en Tierra de Campos, entre el 21 y el 6 %.

Los Cuadros X (1), X (2), X (3) y X (4), resumen el balance del agua, según VAGELER y ALTEN, como resultado de la aplicación de los valores indicados en los Cuadros III, IX y IX bis, y suponiendo una profundidad de 40 cm. como utilizada por las raíces.

Como veremos, la capacidad útil para el agua en buenas condiciones para el cultivo no excede del 34 %. Comparando estos resultados con el "agua inerte", indicada anteriormente, nos muestran imposibilidad de cultivar los trigos propios de climas húmedos, en los suelos de la Laguna, y probabilidad relativa, en Tierra de Campos.

Pero si tenemos en cuenta que el modo diferente de comportarse ambos suelos se debe a la salinidad de los de la Laguna y que las

sales tenderán a disminuir con un saneamiento adecuado, se comprende que el "agua inerte" pueda disminuir hasta reducirse a valores análogos a los de Tierra de Campos.

Así, pues, en el "Balance del Agua" que muestran los Cuadros X (1)-(2) se han considerado los suelos de la Laguna como desalados y, los de Tierra de Campos, con su contenido normal salino. En esta forma calculada, el "agua disponible" nos dará valores máximos para las tierras de la Laguna.

El "agua estática disponible" oscila entre los siguientes valores:

	LAGUNA DE LA NAVA	TIERRA DE CAMPOS
Trigos .....	4-5,5 %	8-17 %
Cebadas .....	8-9,5 %	12-20 %

Para los *trigos egipcios*, que normalmente se cosechan en suelos con alto contenido salino, así como para las *plantas cultivadas en climas secos*, se ha tenido en cuenta también el "agua inerte", debido a la salinidad, y en estas condiciones el "agua disponible" oscila entre los siguientes límites:

	LAGUNA DE LA NAVA	TIERRA DE CAMPOS
Trigos egipcios.....	4-6,3 %	18-24,6 %
Plantas cultivadas en climas secos.....	7-9,5 %	18-25,5 %

Si tenemos en cuenta que el "agua útil" se ha determinado partiendo del óptimo de humedad, y lo bajas que son las cifras de aquella en la Laguna, se comprende que la limitación de la producción, por la humedad propia de Tierra de Campos, se acentúe en las tierras de la Laguna de la Nava. La significación de las características del método de Alten puede verse en el Apéndice y en un trabajo nuestro anterior [92].

Por último, en los Cuadros XI y XI bis se muestra la aplicación del método Alten al balance de cationes, teniendo en cuenta los resultados de los Cuadros III y VIII bis. El balance referente al potasio será objeto, por su importancia, de un estudio especial, posterior.

Por lo que se refiere al *Ca*, *Mg* y *Na*, como alimentos para la planta, pueden verse a continuación, resumidas, las cantidades necesarias y las suministradas por el suelo hasta 40 centímetros de profundidad.

*Cantidades necesarias para una cosecha de 12 Qm. de trigo por Ha., con la relación grano paja = 1:*

<i>Ca</i> = 0,14	K. E. = 2,8	kg.
<i>Mg</i> = 0,19	" = 2,3	"
<i>Na</i> = 0,03	" = 0,7	"

CANTIDADES SUMINISTRADAS POR EL SUELO  
EN KG. POR HA.

MUESTRAS	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
V-4	2.399	4.173	6.119
R-8	1.210	1.010	1.823
B-9	10.781	2.897	9.561
F-11	2.066	37	2.845
F-12	1.497	10	725
F-13	737	21	59

Es decir, como alimento, las cantidades disponibles de *Ca*, *Mg* y *Na* son suficientes para muchísimas cosechas.

El calcio, sin embargo, no es suficiente, en general, para las demás misiones que desempeña, como se verá al tratar en especial de la Estructura.

Terminamos este capítulo con una relación de las técnicas utilizadas en el Estudio.

## TÉCNICAS UTILIZADAS.

La *composición mecánica* se ha determinado por el método internacional A [81], utilizando, para la dispersión NaOH y para la determinación de la arcilla y limo, el método de Pipeta, como se aconsejó en la última reunión de la I Comisión de la Asociación Internacional de la Ciencia del Suelo [82].

La *materia orgánica*, determinando el carbono por oxidación con permanganato potásico, según la técnica de Lichterfelde [83].

*Humedad al aire, carbonatos y sulfatos*, por los métodos clásicos.

El *factor de estructura de ALTEN* [65], fué preciso efectuarlo, comparando la arcilla en suspensión por la simple agitación con agua, y la totalmente dispersa, según el método internacional. La dispersión directa por el litio no es posible debido a la alta concentración de electrolitos en alguna de las muestras.

Los índices de estructura de BOUYOCOS, *Equivalente de Humedad y Volumen de Sedimentación*, según describe el autor [84].

Por el carácter salino de algunas de las muestras, la *bigrosco-picidad* para la aplicación del método de Alten se determinó según MITSCHERLICH [85].

*Capacidad mínima para el agua, ascensión capilar y contracción lineal*, según ALTEN [65].

Para el análisis de los elementos en el *extracto clorhídrico*, se comenzó tratando la muestra por el HCl al 20 %, como se detalla en la técnica aconsejada por la Asociación Internacional de la Ciencia del Suelo [36].

En esta solución y en el residuo se determinó la *sílice soluble* (SiO<sub>2</sub>).

El *titano*, gravimétricamente, precipitando por el tanino y la antipirina, según MOSER [86].

El *fósforo*, precipitando y valorando en las condiciones indicadas por LORENZ y SCHEFFER [37], previa transformación de los cloruros en nitratos.

*Hierro y aluminio*, por los métodos clásicos.

El *calcio*, precipitándolo por el ácido oxálico a  $pH$  4,4, según CHAPMAN [87], en el filtrado de la separación del hierro y aluminio.

*Magnesio y manganeso*, precipitándolos conjuntamente por el fosfato sódico amónico; valorando el precipitado con sosa a  $pH$  4,5, según DEAN y TRUOG [88]. Esta valoración da la suma del magnesio y manganeso.

En el líquido resultante de la valoración anterior se determina el *manganeso*, según PARK [89], oxidándolo por el bismutato sódico y valorando por permanganimetría.

El *potasio*, tratando la solución clorhídrica, según NEUBAUER, precipitando por el cobaltinitrito sódico y valorando por permanganimetría [73].

El *sodio*, gravimétricamente, precipitando por el acetato de magnesio y uranilo, según WEILAND [90].

El *nitrógeno* se determinó por el método clásico.

Las *sales solubles en el agua* se disolvieron por agitación de la tierra con agua, en la relación de 1 a 10. En el extracto se determinaron con los tratamientos preliminares adecuados: el *sodio*, gravimétricamente por precipitación, como acetato triple de uranilo de magnesio y sodio; el *potasio*, valorando por una permanganimetría el precipitado de cobaltinitrito sódico potásico; el *magnesio*, gravimétricamente por precipitación con oxiquinolina; calcio, azufre, cloro, etc., por los métodos conocidos. En todos los detalles se han seguido las técnicas de LICHTERFELDE [83].

La *capacidad de saturación* (T) se determinó por absorción de amonio del  $NH_4Cl$ , estableciendo dos equilibrios correspondientes a números diferentes de M. E. de  $NH_4$  en la solución. En ambas soluciones se determinan magnesio, potasio y sodio, como se indica anteriormente. De todos los pares de valores obtenidos se abstraen los solubles en el agua, se aplica la ecuación de VAGELER, obteniéndose así el magnesio, potasio y sodio de cambio, con sus módulos de absorción ( $q$ ).

El  $Ca^{++}$  se obtiene por diferencia, debido a la existencia de

sulfatos y carbonato cálcico solubles en el  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Todas las determinaciones se hicieron según la técnica de LICHTERFELDE [83].

El pH, en agua y en KCl, colorimétricamente, con las correcciones inherentes a este último.

El *fosfórico asimilable*, precipitando y valorando el P, según LORENZ-SHEFFER, bien en la solución de ácido cítrico al 2 %, si las muestras son poco calizas, o en las de nítrico diluido, según SCHLOESING DE SIGMOND, si el contenido de  $\text{CaCO}_3$  es mayor del 10 % [37].

La *concentración crítica de equilibrio*, como detallan DEMOLÓN y BARBIER en el trabajo original [4].

El hierro existente al estado de óxidos hidratados ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre), según DEMOLÓN [39], tratando las muestras por el ácido oxálico y el citrato amónico.

## R E S U M E N

Se han efectuado determinaciones comparativas de carácter mecánico, físicoquímicas y químicas sobre diferentes muestras de tierras de la Laguna de la Nava, incultas actualmente, y de las limítrofes cultivadas, de Tierra de Campos (Palencia). Los resultados se resumen en 18 Cuadros.

Todas las muestras examinadas tienen el carácter común de ser muy arcillosas, pobres en materia orgánica y nitrógeno; reacción alcalina y cantidades variables de carbonato cálcico.

El "factor de estructura" de ALTEN y el "volumen de sedimentación de BOUYOUCOS parecen estar relacionados, sobre todo, con el contenido de sulfato cálcico, dependiendo, por consiguiente, de éste, la mayor o menor estabilidad estructural.

Los valores de la "higroscopicidad" y "sales solubles" son mucho mayores en las muestras de la Laguna que en las de Tierra de Campos. La mayor salinidad se explica por su origen aluvial, impermeabilidad del subsuelo y sequedad del clima, repercutiendo también el mayor contenido salino en el aumento de la "higroscopicidad".



Como consecuencia de lo señalado, el "agua inerte" es mucho mayor en las muestras de la Laguna que en las de Tierra de Campos, haciendo esto que los resultados culturales sean menos favorables, pues actúa como limitante de la producción la escasa pluviosidad (464 mm.).

## NECESIDAD DE ABONOS FOSFATADOS

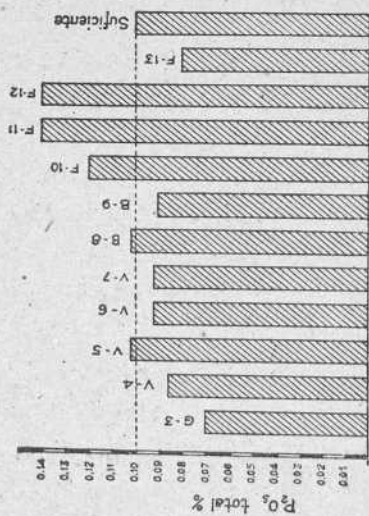
Según los autores clásicos, se considera que un suelo está bien provisto de fosfórico cuando contiene más del 1 por 1.000 de  $P_2O_5$  soluble en los ácidos concentrados (total), admitiéndose que, a partir del 2 por 1.000, los abonos fosfatados no producen aumento en el rendimiento de las cosechas. Este concepto ha variado mucho en los últimos años, a consecuencia de investigaciones efectuadas acerca de los modos de fijación del  $PO_4$  por el suelo.

Desde hace cuarenta años, en que GERLACH [1] demostró la formación de fosfatos di y tricálcicos por la reacción del fosfato monocalcico con el carbonato cálcico, y la de fosfatos dicálcicos y férrico por la del fosfato monocalcico e hidróxido férrico, fundando sobre esto su teoría sobre la fijación, por el suelo, del superfosfato, han sido numerosos los trabajos que con esta orientación se han efectuado para explicar la insolubilización química que el fosfórico experimenta en el suelo. Reseñas históricas, con abundantes citas bibliográficas, pueden verse en trabajos recientes de M. C. FORD [2], SCARSETH [5] y DEMOLÓN y BARBIER [4].

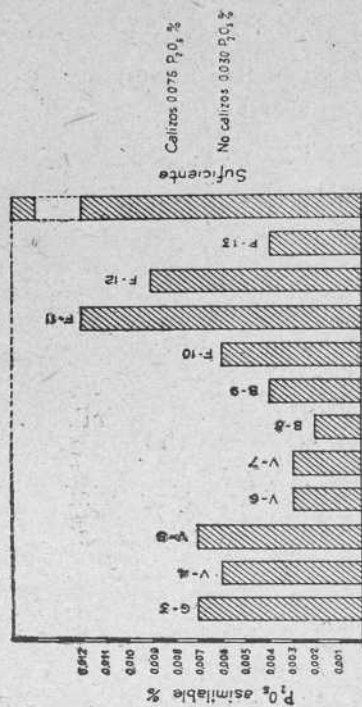
Casi al mismo tiempo, TH. SCHOESING (hijo) [3] consideraba la fijación como resultante de reacciones complejas de equilibrio, tendiendo unas a insolubilizar y otras a hacer pasar en solución: es decir, esbozaba el concepto moderno de absorción, puntualizado más recientemente por RUSSELL y PRESCOTT [6].

Ultimamente, estas dos orientaciones, química y físicoquímica, han sido comprobadas, siendo numerosos los trabajos publicados, sobre todo desde que el concepto del papel desempeñado por la reacción  $pH$  se ha introducido en la físicoquímica.

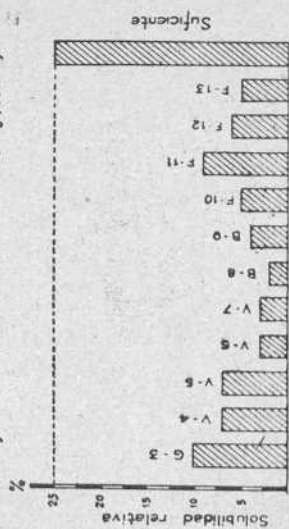
El Fosfórico en los suelos de la Laguna y en algunas muestras de Tierra de Campos. (Necesidad manifiesta)



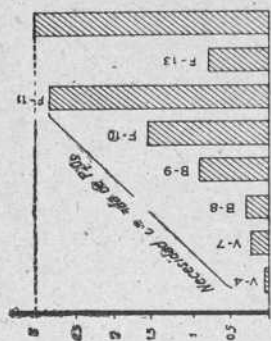
Fosfórico soluble en el HCl al 20% (total)



Fosfórico asimilable



Solubilidad relativa de Lemmerman



Concentración crítica de equilibrio de Demolon y Barbier

Las investigaciones de DEMOLÓN y BARBIER [4] consideran la fijación del fosfórico, en suelos minerales, como los de La Nava, resultado de dos grupos de fenómenos:

1.º Precipitación química al estado de fosfato de calcio, tanto más importante cuanto más alcalina es la reacción y, en ausencia de  $\text{CaCO}_3$ , cuanto más calcio contenga el complejo absorbente (calcio de cambio).

2.º Absorción por los coloides arcillosos, por el intermedio del sexquióxido de hierro hidratado (limonita), principalmente, pues el anhidro (hematites) no tiene apenas poder de fijación (2); esta acción se manifiesta, sobre todo, en medio ácido.

SCARSETH [5], experimentando sobre sílico-aluminatos coloidales exentos de iones móviles, observó que el máximo de retención del  $\text{PO}_4$  se presenta entre los  $\text{pH} = 5,2$  y  $6,1$ , cuando el catión de cambio es el calcio, y a  $\text{pH} = 6,1$ , cuando se trata del sodio. En este último caso la capacidad de fijación era, aproximadamente, el tercio de la de cambio catiónico.

Cuando todas las valencias catiónicas se saturaron por el calcio ( $\text{pH} = 8,2$ ), la concentración de los iones fosfóricos en solución disminuye a medida que aumentan los iones calcio no absorbidos, debido a la formación de fosfatos de calcio insolubles.

Todo el fosfórico se insolubilizó cuando el sistema contenía  $\text{CaCO}_3$  libre. Cuando el sodio era el catión de cambio no aumentaba la insolubilización del fosfórico a partir del  $\text{pH} 6,1$ .

El fosfórico absorbido entre los  $\text{pH} 5,5$  a  $6,1$  está retenido en la superficie de los sílico-aluminatos por las valencias del aluminio o, según DEMOLÓN y BARBIER, también por el calcio de cambio [4]. El ión fosfórico puede someterse al cambio iónico con los aniones  $\text{OH}$  y  $\text{SiO}_4$ .

La retención del fosfórico por el coloide aumenta considerablemente cuando se enriqueció con hierro el sílicoaluminato.

Vemos, pues, que estos resultados están completamente de acuerdo con los de DEMOLÓN y BARBIER. Es decir, que existe una precipi-

tación química y una absorción susceptible de cambio aniónico, según han demostrado también MATTSON [7, 8, 9], RAVIKOVITCH [10, 11] y DEMOLÓN y BASTISSE [12].

Los suelos de La Nava tienen, todos los estudiados, como características comunes, el ser fuertemente arcillosos, calizos, de reacción alcalina y cantidad considerable de óxido de hierro hidratado, libre, como puede verse en los Cuadros I y VII. En estas condiciones, les serán aplicables los estudios efectuados por SCARSETH [17], MC. GEORGE [13, 14, 15, 16], BUEHRER [18], DEMOLÓN y BASTISSE [12], BOISCHOT [19] y HIBBARD [20].

Según MC. GEORGE [13], en los suelos calizos de reacción alcalina, la insolubilización del fosfórico se efectúa bajo la forma de carbonato-apatito, principalmente  $[Ca_3(PO_4)_2]_3 CaCO_3$ ; además, según HIBBARD [20], el óxido de hierro hidratado puede fijar  $PO_4$  entre los pH 3 y 8; por encima del pH = 8 hay solubilización del  $PO_4$ , o bien por hidrólisis o por cambio aniónico con el  $OH^-$ .

A nuestro juicio, éstos son los modos de fijación que más contribuyen al aumento del poder fijador de las arcillas de La Nava, aunque también puede contribuir a esta fijación la gran cantidad de calcio soluble en el agua, y que en el suelo debe existir en forma de sulfato cálcico, como puede verse en el Cuadro VII, y han comprobado algunos investigadores [43].

Ahora bien, está demostrado que la absorción del fosfórico por las plantas se efectúa preferentemente de soluciones muy diluídas, en forma selectiva; es decir, más rápidamente sobre el fosfórico que sobre el agua. Además, HOAGLAND demostró, en 1923 [21], que la absorción de los diferentes elementos no se efectúa, en general, sobre moléculas, sino sobre iones, viniendo determinada por sus cualidades físicoquímicas (carga, volumen, etc.) y por la energía potencial que existe entre el protoplasma y el medio exterior, que se mantiene por los procesos vitales, principalmente por la respiración [LUNDEGORDH, 22].

De esto se deduce que, para formarse idea de la facultad de estos suelos para suministrar fosfórico a las plantas, es preciso estudiar

las condiciones de solubilización y las de ionización en relación con el antagonismo iónico y absorción iónica preferencial.

La solubilización del fosfórico viene determinada por la concentración en  $\text{OH}^-$  de la solución, es decir, por el  $\text{pH}$ .

Es creencia muy general que la absorción del fosfórico se efectúa sobre el  $\text{PO}_4^{---}$ ; pero los trabajos de BUEHRER [18] han puesto de manifiesto, al estudiar las constantes de ionización a diferentes  $\text{pH}$ , que de las tres etapas sucesivas de ionización del ácido fosfórico,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{--}$  y  $\text{PO}_4^{---}$ , la concentración de este último es tan pequeña que puede, prácticamente, despreciarse para la nutrición vegetal.

Los iones presentes en la solución son casi exclusivamente  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^-$ ; el primero domina en las reacciones ácidas; el segundo, en las alcalinas; a  $\text{pH}$  6,8 ambos se encuentran en igual proporción.

Parece, además, demostrado que las plantas sólo absorben el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y, por consiguiente, será preciso, según GEORGE, transformar el  $\text{HPO}_4^-$  en aquél para que las plantas lo puedan absorber.

Este es el caso de muchos de los suelos de Arizona, estudiados (2 a 10 % de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{pH}$  7,8 a 9) y de los de La Nava (1,4 a 17 % de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{pH}$  7,6 a 8).

Además del efecto sobre la proporcionalidad en la disociación, intervienen también el  $\text{pH}$  elevado, impidiendo la penetración del fosfórico por antagonismo iónico con el  $\text{OH}^-$ , según ha podido comprobar LUNDEGORDH [23].

Todos los efectos anteriores pueden eliminarse activando la producción de anhídrido carbónico; en efecto:

1.º El antagonismo iónico desaparece por neutralización de los  $\text{OH}^-$  y carbonatos disueltos, por el ácido carbónico.

2.º La relación de  $\frac{\text{H}_2\text{PO}_4^-}{\text{HPO}_4^{--}}$  aumenta al disminuir los  $\text{OH}^-$ , uno de los efectos conseguidos por el ácido carbónico, y puesto que las plantas tienen preferencia por  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , el efecto es evidente.

3.º La solubilidad del carbonato-apatito se reduce por la presencia de la fase sólida, carbonato cálcico. El ácido carbónico ataca a este

último, lo mismo que al carbonato cálcico del carbonato-apatito y, por consiguiente, aumenta la solubilidad del fosfato en la solución del suelo.

Por consiguiente, a juicio de Mc. GEORGE, el problema de la fertilización fosfatada en los suelos calizos con reacción alcalina, estriba en utilizar fosfatos solubles, tales como el amónico, y activar la producción de  $\text{CO}_2$  por estercolados abundantes.

Examinado el mecanismo de fijación y solubilización natural, veamos cómo actúa el suelo en la fijación de un abono fosfatado.

Si lo agregamos superficialmente, muy poco a nada, será el que pueden utilizar las raíces, pues en su totalidad será fuertemente absorbido.

Así, LINDSEY [24] expone experiencias efectuadas en Pensylvania, en que el superfosfato no penetró a más de 5 cm.

FLOYD [25], en Wisconsin, afirma que en suelos ricos en hierro la penetración queda reducida a pocos milímetros.

STEPHENSON y CHAPMAN, en California [26], observaron que en los suelos ligeros, abonados con fuertes dosis de  $\text{P}_2\text{O}_5$  soluble, durante dieciocho años, penetró hasta 90 cm., pero en los suelos compactos no llegó a los 30.

En la práctica, no penetraron a más de 15 cm.

Según MIDGLEG [27], el superfosfato penetra muy lentamente cuando se aplica en cobertera, por lo que no dan buenos resultados más que mezclados íntimamente con el suelo. Los fosfatos de  $\text{NH}_4$ ,  $\text{Na}$  y  $\text{K}$  se fijan mucho más lentamente.

Cultivando alfalfa, en suelos calizos, HOCKENSMITH [28] y otros, llegaron a la conclusión de que el efecto del superfosfato va ligado a la profundidad de aplicación. Los resultados negativos, obtenidos a veces, se deben a la mala repartición del abono. KRÜGEL [29] ha observado que el superfosfato en cobertera, tres o cuatro semanas después de la siembra, se fija en la capa superior, originando una solución concentrada, en la que se desarrolla un sistema radicular potente.

GERICHE [30], experimentando en praderas, comprobó que los

abonos fosfatados no penetran a más de 5 cm. y, por consiguiente, sólo se obtendrán buenos resultados cuando se aplican en la proximidad de las raíces. Al mismo resultado han llegado SPENCER y STEWARD [31].

Según NEMEC [32], los suelos relativamente ricos en  $P_2O_5$  soluble en el agua, examinados por él, tienen un poder de fijación relativamente débil, mientras que los pobres en este elemento, lo tienen elevado.

En los ensayos culturales, los suelos ricos no han respondido a las aplicaciones de este elemento, y los pobres, sólo débilmente.

Es decir, que los mejores resultados de los abonos se han obtenido en suelos de contenido medio de  $P_2O_5$  soluble en agua, cuyo poder de fijación es también medio.

De todo lo dicho se infiere lo errónea que es la práctica corriente de agregar X kg. de abono por Ha., sin tener en cuenta la composición mecánica del suelo. Lo racional es agregar en proporción al contenido coloidal.

Así, por ejemplo, una aplicación de 300 kg. por Ha., de superfosfato, a un suelo arenoso, como el de la Moncloa, que contiene un 10 % de arcilla, es un abonado conveniente; pero si tenemos un suelo, como los de la Laguna de la Nava, con un 70 % de arcilla, las dosis deben elevarse grandemente si se quiere obtener algún resultado.

Un abonado de 2.500 kg. de superfosfato, en un suelo con el 70 % de arcilla, equivale a uno de 300, si contiene el suelo el 10 % de aquella.

A estas conclusiones ha llegado SCARSTH [17], estudiando suelos muy arcillosos de  $CaCO_3$  y  $P_2O_5$ , total, iguales a los de La Nava. DEMOLÓN y BARBIER, experimentando en el laboratorio, encontraron una fijación de fosfato soluble equivalente a 2,400 kg. por Ha. en 7,5 cm. de espesor.

Nosotros hemos operado agitando la tierra de La Nava con una solución de acético al 1 % en volumen que contenía, además, cantidades variables de  $P_2O_5$  procedentes de fosfato mono-amónico. Las

cantidades empleadas correspondían a 25,50 y 100 mg. de  $P_2O_5$  por 100 g. de tierra y 1.000 c. c. de solución.

Se determinó, al final, la cantidad remanente en solución, y se encontró una retención del 95, 92,6 y 81,4 %, respectivamente.

Estas cifras son elevadísimas, si se tiene en cuenta que el equilibrio tiene lugar por solución en acético al 1 %.

Es decir, que a las dos horas se fijarán, en el último caso, 122 kg. de  $P_2O_5$  por Ha. y centímetro, suponiendo que el peso de la Ha./cm. sea de 150 Tm.

De todo lo dicho anteriormente se deduce que la facultad de un suelo para suministrar fosfórico a las plantas depende, más del poder fijador del suelo y de la reacción, que del contenido total. Antiguamente, se determinaba sólo este último, bien tratando el suelo por el ácido nítrico concentrado o por el clorhídrico al 20 %, que destruían el poder absorbente.

En la actualidad, se recurre a ácidos diluïdos, que permiten, en cierto modo, tener en cuenta aquél. Entre estos métodos, tenemos el empleo del sulfúrico 0,002 N (TRUOG), nítrico al 1 % (SIGMOND) ó 0,2 N (FRAPS), cítrico al 2 %, acético al 1 % y disoluciones acuosas de  $CO_2$ .

Es dudoso, según ciertos autores, que estos métodos puedan aplicarse a suelos calizos de reacción alcalina, por las causas expuestas anteriormente unidas, según WRENSHALL (B-3), a la presencia en el medio de extracción de iones que escasean, o no existen, en el suelo. Como los principales iones en aquellos suelos son el  $Ca^{++}$  y el  $SO_4^{--}$ , propone como solución ácida una de  $Ca(HSO_4)_2$  a pH 2. Pero aún no ha efectuado el autor ensayos comparativos de vegetación que nos puedan servir para interpretar los resultados.

Junto a estos métodos de extracción única se han ideado otros combinados, para tener en cuenta, además de la cantidad de fosfórico susceptible de ser asimilado por la planta, lo que nos dan los anteriores, la mayor o menor resistencia que el poder absorbente del suelo opone a su cesión; entre éstos, tenemos los de HIBBARD [34], que emplea tres extracciones con ácido acético a distinta concentración,



construyendo un gráfico y determinando por interpolación el  $P_2O_5$  en solución al pH deseado.

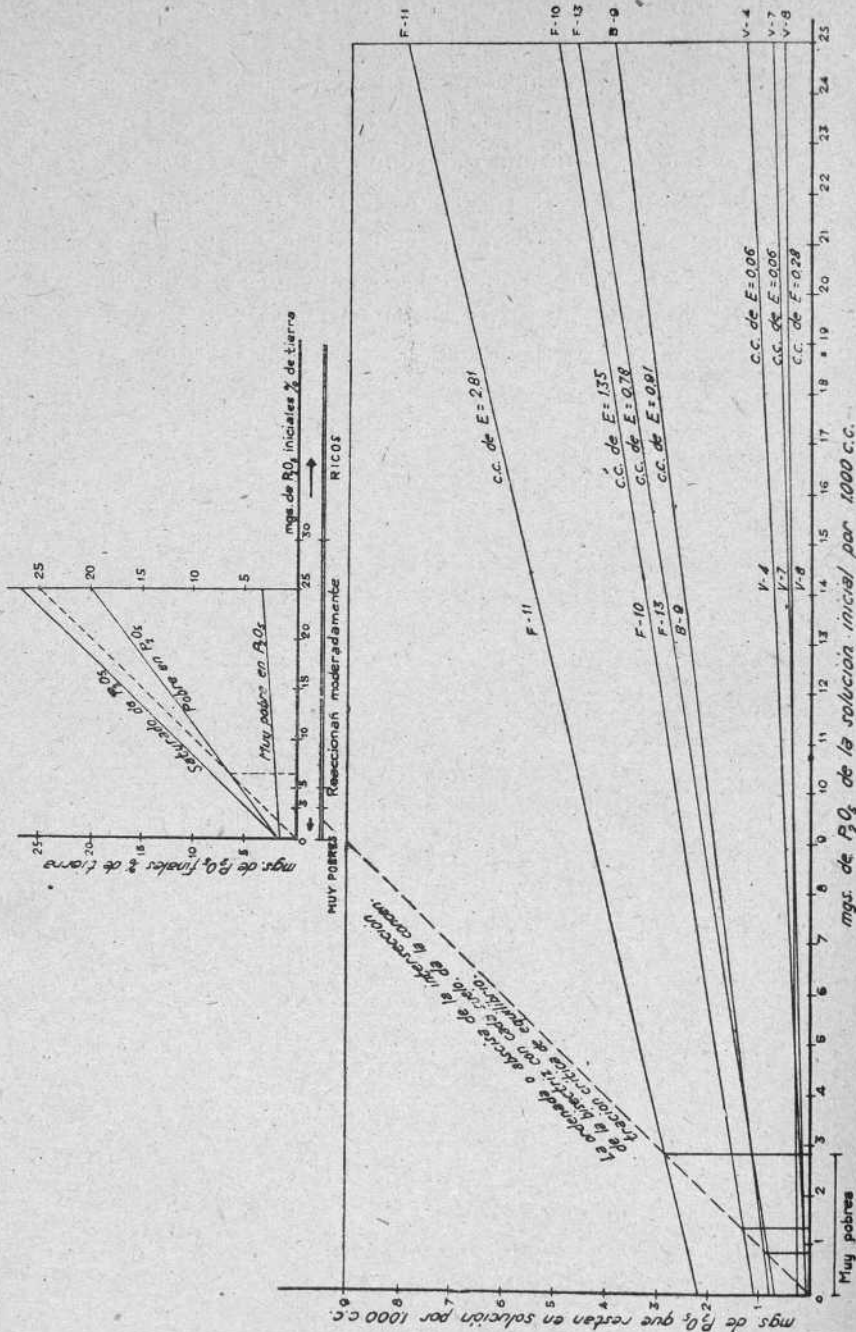
LEMMERMANN efectúa dos extracciones: una con clorhídrico concentrado y otra con cítrico; para que el suelo contenga suficiente  $P_2O_5$ , el valor de la última determinación debe ser, por lo menos, el 25 % de la primera. Esta relación se llama "solubilidad relativa".

Finalmente, DEMOLÓN y BARBIER [4] determinan lo que llaman la "concentración crítica de equilibrio", valiéndose de las siguientes consideraciones: Si tomamos 100 g. de tierra y los agitamos con 1.000 c. c. de acético al 1 %, la tierra cederá  $P_2O_5$  a la solución. Si efectuamos agitaciones sucesivas de 100 g. de tierra con el mismo volumen de solución acética, a la que hayamos adicionado cantidades crecientes de un fosfato soluble (nosotros hemos empleado fosfato monoamónico), al principio la tierra sigue cediendo  $P_2O_5$  a la solución, pero llega un momento en que fija  $P_2O_5$  de aquélla. La concentración de transición, en que la tierra no cede ni fija  $P_2O_5$ , es lo que llaman los autores "concentración crítica de equilibrio".

Este se encuentra muy fácilmente, pues si en abscisas llevamos las concentraciones iniciales de  $P_2O_5$ , y en ordenadas, las finales, obtendremos una hipérbola de absorción [6], que, en las proximidades del origen de coordenadas, se puede asimilar a una recta. Nos podrán servir para definirla los valores iniciales de  $P_2O_5 = 0$  y  $P_2O_5 = 25$  mg. La determinación efectuada sobre la primera solución nos da el  $P_2O_5$  soluble en el acético al 1 %; es decir, la reserva del asimilable, que en la construcción gráfica sería la ordenada en el origen. Uniendo este punto con la ordenada correspondiente al valor del  $P_2O_5$ , que acusa la segunda solución, tendremos una recta, cuyo coeficiente angular representa el poder absorbente, siendo aquél tanto más pequeño cuanto mayor es éste. La intersección con la bisectriz nos da la "concentración crítica de equilibrio".

Los autores del método han encontrado valores para aquélla, comprendidos entre 0,24 y 156, y comparándolos con los ensayos de cultivo, clasifican así los diferentes suelos: 1.º  $C < 3,0$ , necesidad elevada; 2.º  $3,0 < C < 30,0$ , los suelos reaccionan moderadamente al

CONCENTRACION CRITICA DE EQUILIBRIO DE DEMOLON Y BARBIER



aporte de  $P_2O_5$  en cultivo intensivo; 3.º  $C > 30$ , fosfórico suficiente.

Además de estos métodos químicos, existen otros, fisiológicos y microbianos, que, por diferentes razones, no examinamos en este trabajo.

En el estudio efectuado por nosotros se ha determinado el fosfórico soluble en el HCl al 20 % [36]; cítrico, al 2 %, y nítrico, al 1 por 1.000, según que las tierras contengan menos o más del 10 % de  $CaCO_3$  [37], y la "concentración crítica de equilibrio" [4]. En todos los casos, la precipitación del fosfórico se efectuó según LORENZ [37], y la valoración volumétrica, según SCHEFFER [37]. Los resultados obtenidos pueden verse en el Cuadro VII.

Si tomamos como límite el establecido por los clásicos, del 1 por 1.000 para los suelos bien provistos de fosfórico, ya vemos, de primera impresión, que casi todas las muestras, unas por exceso y otras por defecto, están muy próximas al límite. Pero esta cifra del 1 por 1.000 es reconocida ya como muy baja, aun para los suelos de Francia, por DEMOLÓN [38]; si a esto unimos la gran cantidad de arcilla,  $CaCO_3$ , la reacción alcalina y la cantidad considerable de  $Fe_2O_3$ , hidratados libres [39], se comprende que podríamos *a priori* asegurar la gran necesidad de fertilizantes fosfatados.

La solubilidad en el cítrico se determinó en todas las muestras, excepto en las G-3 y V-4, que contienen más del 10 % de  $CaCO_3$ , y dió valores comprendidos entre 2 y 12 miligramos de  $P_2O_5$  por 100 g. de tierra.

Como el límite para la ineficacia de los abonos, que se admite, es de 30 miligramos, vemos que también este método denuncia necesidad.

En las muestras G-3 y G-4, muy calizas, se determina el fosfórico por el nítrico, con acidez final comprendida entre 0,5 y 1 g. de  $N_2O_5$  por litro, y dió valores de 6 y 7 mg. de  $P_2O_5$  por 100 g. de tierra. Si se admite el límite inferior de necesidad en los 75 mg., se ve la eficacia que tendrán los abonos fosfatados en estos suelos.

Son dignos de tenerse en cuenta, a este respecto, los resultados extremos encontrados por JORET y MALTERRE, los cuales, experimen-

tando con cereales en suelo calizo y que contiene 0,090 % de  $P_2O_5$  asimilable, obtienen aumento de rendimiento, agregando superfosfato. A su juicio, y de acuerdo con DE SIGMOND y BRIOUX, debe aumentarse el límite en los suelos de basicidad latente, elevada al 1 por 1.000, de  $P_2O_5$  asimilable.

La "concentración crítica de equilibrio" se determinó en las muestras V-4-7, B-8-9, F-10-11-13; pero en la muestra V-4 no tiene valor, por no ser aplicable el método a los suelos francamente calizos.

Los valores están comprendidos entre 0,24 y 2,20 mg.; y si tenemos en cuenta los límites expuestos anteriormente, vemos que también este método nos denuncia la necesidad de abonos fosfatados.

Según puede verse en el Cuadro VII, la necesidad es más acentuada en los suelos de la Laguna que en los restantes. La insolubilización en el acético para los 25 mg. de  $P_2O_5$  por 100 g. de tierra varió del 95 % al 98 % en los suelos de la Laguna, mientras en los restantes osciló del 68 al 84.

Los valores deducidos para la solubilidad en el acético son muy inferiores a los encontrados para la cítrica; pero esto es debido a la acción disolvente de ciertos ácidos orgánicos (cítrico y oxálico) sobre los óxidos de hierro. Esto hace que, al destruir parcialmente el poder absorbente, pasa más  $P_2O_5$  en solución.

La "solubilidad relativa de Lemmermann" varía entre el 2 y el 10 %; como el límite es de 25, también nos acusa la necesidad de  $P_2O_5$ .

#### CONCLUSIONES REFERENTES A LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA.

De todo lo anteriormente expuesto, se deduce:

- 1.º Que debe estercolarse fuertemente para activar el desprendimiento de  $CO_2$ .
- 2.º Los abonos minerales fosfatados que deben emplearse, preferentemente, han de ser solubles y de reacción ácida: es muy conveniente, por esto, el fosfato monoamónico, preferentemente granu-

lado [44]. De no poderse emplear éste, puede utilizarse el superfosfato, pero de ninguna manera las escorias, ni otro fertilizante de reacción alcalina.

3.º Las dosis deben ser elevadísimas. Puede ser un indicio para su fijación las que se empleen en suelos que tengan análogo contenido de  $\text{CaCO}_3$  y pH, multiplicadas por la relación del contenido coloidal de las tierras de La Nava, a las de efectos positivos del fertilizante.

Es decir, que si un empleo de 300 kg. por Ha., de superfosfato, produce aumento de rendimiento en un suelo próximo a La Nava que contenga un 6 % de  $\text{CaCO}_3$  y 20 % de arcilla, para uno de La Nava que contenga un 70 % de arcilla, la dosis debe ser  $300 \cdot 70/20 = 1.050$  kg. de superfosfato (el pH es casi constante en la zona).

4.º La época del abonado y profundidad vienen determinadas por la planta y el poder fijador del suelo.

Si se trata de trigo, es conveniente repartirlo en dos veces: los dos tercios, enterrándolos con el arado y, el tercio restante, en cobertera, recibiendo inmediatamente una labor de escarificador o fuerte de grada, algo antes de la siembra.

Estas precauciones son necesarias al esparcir el superfosfato, porque hay que confiar más, por lo que a éste se refiere, en la buena distribución mecánica que en el equilibrio por solubilidad.

En esta forma, las plantas tendrán en los primeros momentos de la vegetación el  $\text{P}_2\text{O}_5$  necesario para el desarrollo de un sistema radicular potente, y a medida que penetran las raíces encontrarán también el alimento necesario para las últimas fases de su vegetación.

El ideal sería que se pudieran enterrar juntos semilla y abono; esto, para el superfosfato, quizá no sea posible por la acción corrosiva, pese a que en ensayos con trigo ha dado, según DULEY [45], buenos resultados; pero si se emplea fosfato monoamónico es conveniente ensayarlo. Así se ha hecho recientemente en los Estados Unidos y Canadá [41], y se fabrica maquinaria que permite colocar los abonos a profundidad conveniente y distancia adecuada de la semilla.

Para ciertos abonos dió buenos resultados el contacto directo con la semilla, en los cereales [42], aunque en los climas secos pueden

producirse retardos en la vegetación y aumento en el agua inerte para la germinación. Por estas últimas causas debe ensayarse el método antes de aplicarlo.

Con esto damos por terminada la parte de este trabajo referente al fosfórico.

## NECESIDAD MUY PROBLEMATICA DE LOS FERTILIZANTES POTASICOS

Se ha considerado durante mucho tiempo que un suelo contenía suficiente potasio cuando el soluble en los ácidos concentrados era del 2 por 1.000. En la actualidad, este concepto ha variado mucho, debido a un conocimiento más científico del modo de retenerlo y de sus condiciones de movilización.

El potasio se encuentra en el suelo en tres formas diferentes:

1.º Formando parte de minerales, en mayor o menor grado de descomposición, y no susceptible de pasar en solución por cambio catiónico.

2.º Como uno de los componentes de la envolvente catiónica del complejo absorbente (potasio de cambio).

3.º En las soluciones del suelo.

El examen del Cuadro VIII nos hace ver que, en los suelos estudiados por nosotros, el potasio total es de 3 a 17 veces más que el susceptible de cambio. Esto puede ser debido, en parte, a los fragmentos de minerales, aún no descompuestos totalmente. Pero si tenemos en cuenta que los suelos estudiados acusan un contenido elevadísimo de arcilla y limo, se comprende que para explicarnos esta diferencia considerable, que nos da el análisis, entre la solubilidad clorhídrica al 20 por 100 y de cambio con cloruro amónico, que no deben presentar una gran divergencia en suelos de descomposición tan elevada, sea preciso admitir la existencia de un "cambio extensivo", sustentada por GEDROIZ [46], además de otro, "intensivo".

A juicio de GEDROIZ, la propiedad del cambio de bases es general

a todas las partículas del suelo, pero la "intensidad" con que pueden efectuarlo depende de su tamaño; es decir, que alcanzan el máximo en las fracciones coloidales.

Estas últimas, por sus condiciones de formación, tienen como catión predominante el calcio. Por el contrario, en las de mayor tamaño predominarán el magnesio y potasio.

A la facultad que poseen las partículas coloidales de ceder sus cationes por cambio con otros, se la llama "cambio intensivo"; la propia de partículas de mayor tamaño, "cambio extensivo". Es decir, que el primero se efectúa casi instantáneamente, mientras el segundo es de una gran lentitud.

Además, parece demostrado que el cambio tiene lugar obedeciendo a la "ley de masas", por lo menos en determinadas concentraciones [53] y a otras leyes físicoquímicas, tales como las enunciadas por HARDY, SCHULZE, KRUYT, WILLIGEN, TUORILA, WIEGNER, etc., cuyo resumen puede verse en un trabajo nuestro anterior [47].

Con lo anteriormente expuesto, podemos explicarnos el distinto comportamiento de las soluciones de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 0,2N y de  $\text{HCl}$  al 20 % (5,5 N).

Al emplear el cloruro amónico, sustituimos casi instantáneamente el potasio absorbido intensivamente y sólo una parte insignificante del extensivo.

El  $\text{HCl}$  diluído (0,05 N), propuesto por GEDROIZ [48], también extraería sólo el potasio de cambio "intensivamente absorbido", pues aunque la energía de sustitución del hidrógeno es mucho mayor que la del amonio, la concentración, en cambio, es menor; estableciéndose, hasta cierto punto, una compensación, por lo que no se extrae el potasio "extensivamente absorbido".

Por el contrario, al atacar la tierra por el  $\text{HCl}$  al 20 % (5,5 N), la gran concentración del hidrógeno iónico (cien veces mayor que el anterior) obliga a pasar en solución todo el potasio absorbido "intensivo y extensivo", además de la solubilización por destrucción de los minerales en vía de descomposición natural del potasio en éstos contenido.

Esto basta para explicarnos (1) el que en los suelos arcillosos sometidos a estudio se encuentren cifras tan diferentes para el potasio total y el solubilizable por el cloruro amónico, así como la fijación en forma no cambiante de potasio y regeneración del potasio de cambio, observado por VOLK [49], BARBIER [50], ABEL [51], HOAGLAND [52] y CHAMINADE [54], entre otros. Según FURLANI [64], el paso en solución de potasio o calcio va acompañado, en los ensayos por él efectuados con feldespatos artificiales, de una transformación de parte de los geles de  $\text{SiO}_2$  en solución verdadera.

Pero actualmente sólo se admite que las plantas puedan absorber el potasio que se encuentre en solución, y de aquí la necesidad de que el absorbido pase a aquel estado, lo que sólo puede conseguirse por cambio con otros cationes.

Este cambio, cualitativamente, se efectúa con arreglo a leyes físicoquímicas deducidas para las permutitas [47]; pero que pueden variar en su interpretación cuantitativa al intentar aplicarlas a las zeolitas y arcillas, como puso de manifiesto CERNESCU [42], en el laboratorio de Wiegner, al examinar el comportamiento distinto, cuantitativamente, de los diferentes cationes, según su hidratación en el cambio con los absorbidos en distintos materiales.

El comportamiento diferente de las arcillas y permutitas se debe, según CERNESCU, al distinto tamaño y número de poros superficiales; de gran tamaño y en pequeño número en las arcillas, numerosos y pequeños en las permutitas. Así explica que iones poco hidratados, como el potasio, puedan penetrar en el interior de la estructura cristalina de la permutita, no siendo susceptible de cambio con iones de mayor hidratación, como el amonio, y apareciendo una fijación del potasio en forma no cambiante. En las arcillas, por el gran tamaño de los poros, el amonio podría penetrar en el interior, desplazando el potasio cuantitativamente.

Como ya se ha dicho, distintos investigadores han observado

---

(1) También puede explicar este resultado, lo que más adelante se indica sobre la regeneración del potasio de cambio y fijación como no cambiante.



también una fijación del K en forma no cambiante en las arcillas, así como una regeneración del potasio de cambio, a medida que pasa en solución a expensas de aquél. Para explicar estos hechos, recurren a diferentes teorías. Por ejemplo, CHAMINADE [54] admite que los cationes de cambio forman en la envoltura catiónica diferentes capas, siendo la energía de retención tanto mayor cuanto menor es su distancia al núcleo. Si se agrega un fertilizante potásico a un suelo, parte del potasio penetra muy profundamente en la envoltura catiónica, quedando retenido con gran energía por su proximidad al núcleo aniónico, y siendo de difícil extracción por cambio de bases, hasta que sobrevenga algún cambio en el exterior o en la micela que, debilitando las fuerzas de retención, le permiten pasar a forma cambiante. Tal acaece, por ejemplo, si parte del fácilmente cambiante pasa en solución, como ha estudiado BARBIER [50].

Hasta ahora, la estructura de las arcillas no es del todo bien conocida, y, por ello, los resultados observados por estos últimos investigadores podrían explicarse también, como lo ha hecho CERNESCU, para las permutitas. Vistas las dificultades que presenta el estudio del cambio de bases en conjunto, se comprende que se hayan efectuado ensayos con el fin de determinar las leyes cuantitativas que rigen el paso en solución de un catión, saturante de la totalidad del complejo absorbente, por la acción exclusiva de otro.

Según KERR [55], la reacción entre una solución de sulfato amónico y una arcilla cálcica se podría representar por una ecuación cuyas condiciones de equilibrio obedecerían a la ley de acción de masas. Con ligeras modificaciones, a esta misma conclusión llega WANSELOW [56].

VAGELER [57], modificando la ecuación de Pauli-Valkó, considera que el cambio iónico se ajusta a una curva de absorción de la forma:

$$y = \frac{x \cdot S}{x + q \cdot S}$$

en la que  $x$  es la cantidad de sal usada e  $y$  la cantidad absorbida;  $S$ , el valor límite de la capacidad de absorción, y  $q$ , una constante de

pendiente del material absorbente y del par de cationes considerados. Este valor de  $q$  nos da lo que, en lenguaje vulgar, podríamos decir la forma de la curva.

VAGELER utiliza esta ecuación en numerosos estudios efectuados por él, y nosotros la empleamos con gran frecuencia al aplicar, como más adelante se verá, el método de Lichterfelde para la determinación de la necesidad de abonos potásicos en los suelos.

WIEGNER [58], experimentando con permutitas cálcicas, llega a una expresión en la forma:

$$P = k (p/c)^{1/n} \quad (I)$$

en la que  $P$  es la cantidad de potasio fijada en el equilibrio;  $p$  y  $c$ , las de potasio y calcio en solución;  $k$  y  $n$ , constantes; y si suponemos la capacidad de cambio  $T$ , como una constante, se tendrá:

$$T = C + P,$$

siendo  $C$  la cantidad de calcio fijada en el mismo equilibrio.

De esta última fórmula y la anterior, se deduce:

$$P/C : [1 + (P/C)] = k/T \times [p/c]^{1/n} \quad (II)$$

es decir, que, según la fórmula (I), el potasio fijado no determina el disuelto, sino la relación de éste al calcio en solución. Según la (II), la relación del calcio al potasio fijado determina la del potasio al calcio disuelto.

Primitivamente, WIEGNER [59] consideraba que la ecuación de cambio era una de absorción de la forma de la de Freundlich; es decir, análoga a  $P = k \cdot p^{1/n}$ , y, según ésta, la cantidad de potasio disuelta aumentaría con la dilución. Según pudo comprobar más tarde, no sucede así; es decir, que la cantidad disuelta se mantiene constante mientras no varía la relación del potasio al calcio fijados. Si sobreviene un aumento del calcio en solución, por cualquier causa, disminuye la relación del potasio al calcio disuelto y, como conse-

cuencia, debe disminuir la relación del potasio al calcio fijados. Si el complejo absorbente tuviera una capacidad de calcio ilimitada, la disminución de la última relación podría corregirse por fijación de calcio exclusivamente; pero como T no puede aumentar, sólo se puede conseguir aquel efecto por disminución del potasio de cambio; es decir, pasando parte en solución hasta que se restablece el equilibrio. Así se explica el fenómeno de movilización del potasio absorbido por el calcio, tan de antiguo observado.

Si por cualquier artificio se consigue mantener constante la concentración del calcio en la solución, entonces la fórmula de Freundlich se hace aplicable. En estas condiciones experimentaron primitivamente DEMOLÓN y BARBIER [60] y WIEGNER [59].

BARBIER [61] ha podido comprobar en un trabajo reciente la exactitud de la fórmula de Wiegner en los suelos; CSIKY [63], la de Vageler.

FUDGE [62] también, recientemente, ensayó las de Kerr, Vanselow, Vageler, y primitiva de Wiegner, en suelos naturales.

Las de Kerr y Vanselow se apartaron algo de la realidad; las de Vageler y Wiegner dan resultados bastante concordantes. Todo esto está también de acuerdo con los resultados de ANTIPOV-KARATAEV [53], que muestran que, operando con  $KCl$  en concentraciones hasta 0,8 N, la absorción sigue sensiblemente la isoterma de Freundlich. La ley de "acción de masas" no es aplicable más que para concentraciones inferiores a 0,1 N.

WEIZ, citado por CROWTHER [42], sostiene, por el contrario, que ninguna de las ecuaciones de absorción pueden aplicarse a los suelos ni permutitas.

Examinado el mecanismo de fijación y movilización del potasio, como consecuencia del poder absorbente, veamos qué criterios se han seguido para determinar la asimilabilidad.

Desde luego, el existente en los minerales no meteorizados carece de utilidad para las plantas, aunque a veces pueda pasar algo en solución, sobre todo en climas tropicales. ALTEN [65] evalúa en un 10 % del liberado por el complejo, el que pasa en solución por

simple solubilidad. Generalmente, está admitido que el potasio de cambio es asimilable, y se dan límites sobre los cuales los abonos potásicos son ineficaces. Referencias bibliográficas abundantes pueden encontrarse al final de los trabajos de HOAGLAND [52], WISSMAN [66], JOFFE [68], MURPHY [66] y MAGISTAD, a pesar de que los tres primeros, no negando la importancia primordial del potasio de cambio, consideran que, en algunos casos excepcionales, el potasio no cambiante puede ser suficiente para las plantas.

Según MURPHY, el 0,06 por 1.000 de potasio de cambio es un límite inferior para la eficacia de los abonos.

MAGISTAD encontró como límite 0,24 por 1.000 de  $K_2O$ ; DYER, el 0,10 por 1.000; WOOD, el 0,14; DEMOLÓN, el 0,450 por 1.000; MECHLICH, TRUOG y FRED, el 0,15 por 1.000; WOLK y TRUOG, el 0,11 por 1.000; BARBIER considera la necesidad por debajo de 0,20 por 1.000; NOSTITZ, el 0,10 por 1.000.

Vemos, pues, que, según los distintos investigadores, los límites de eficacia varían del 0,07 al 0,45 por 1.000 de  $K_2O$  y, por consiguiente, para mayor seguridad, tomaremos el último.

El potasio disuelto en el agua es susceptible de utilización inmediata por la planta, y, según HOAGLAND [69], cuando los suelos contienen de 0,012 a 0,12 por 1.000 de  $K_2O$  en este estado, la suficiencia es manifiesta. La dificultad del problema estriba, si se trata de suelos pobres, es decir, que contienen de 0,001 a 0,006 por 1.000, pues algunos, como BARTHOLOMEW [70], han encontrado que, en medio líquido, 0,004 por 1.000 de  $K_2O$  era suficiente. Análogamente al fosfórico, otros investigadores creen que no es suficiente el potasio total, ni el asimilable; es decir, el de cambio, más el soluble en el agua, para determinar la necesidad de abonos potásicos. Se requiere, además, tener en cuenta el poder absorbente, es decir, la mayor o menor dificultad que el suelo opone al paso en solución.

De los intentos efectuados, conocemos los de VAGELER y ALTEN [65], BONDORFF [71] y BARBIER.

El primer método se ha empleado con gran extensión por distintos investigadores. Nosotros lo hemos aplicado al estudio de los suelos

de la Laguna de la Nava y otros de Tierra de Campos. Emplea como agente desplazante el  $\text{NH}_4\text{Cl}$  y determina con él los llamados "módulos de absorción" de cada catión, que le sirven para determinar las cantidades que pasan en solución.

Algunos detalles del método pueden verse en el Apéndice.

La técnica de Bondorff, muy empleada en Dinamarca, es una modificación de la de Vageler, empleando como agente desplazante el  $\text{NaCl}$ , y en lugar de variar la relación tierra-solución, se varía la de tierra-concentración.

Utiliza para la determinación de los resultados finales una ecuación algo más complicada que la de Vageler.

Finalmente, BARLIER [59] intentó determinar una "concentración crítica de equilibrio", análoga a la del fosfórico. Los resultados no los considera aceptables y, a su juicio, la determinación sólo de potasio asimilable da tan buenos resultados, si no mejores, que aquélla. Esto se debe, según el autor, a una regeneración del potasio de cambio, por degradación de los silicatos. Como ha observado, además, que los suelos que con más rapidez regeneran el potasio de cambio son, también, los que en cada instante lo contienen en mayor cantidad, se comprende que la determinación sencilla de aquél nos dé una idea de su aptitud para suministrar potasio a las plantas. La velocidad de regeneración es mayor en los suelos de reacción ácida.

Vistas las anteriores consideraciones, deducimos que todas las técnicas se dirigen hacia la determinación del potasio de cambio, utilizando los resultados; unos, directamente, y otros, aplicando ecuaciones de equilibrio, para determinar el K que puede pasar en solución.

Todos los métodos tienen, pues, como fin inmediato la sustitución del potasio absorbido por otro catión.

Al principio, se utilizó mucho el ión hidrógeno, empleando para la extracción los ácidos muy diluídos o débiles, de modo que no ataquen la arcilla,  $\text{HNO}_3$  (SCHOLOESING-DE SIGMOND),  $\text{HCl}$  (GEDROIZ), acético, cítrico.

En la actualidad, se emplean sales neutras y, entre éstas, con preferencia,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  y  $\text{NH}_4(\text{COO-CH}_3)$ .

Los detalles de las técnicas pueden verse recopilados en distintas publicaciones de la Segunda Comisión de la Asociación Internacional de la Ciencia del Suelo [71], del Imperial Bureau of Soil Science [72], así como en una obra de WRIGHT [73] y distintos trabajos publicados por ARENA [78], LAMB [74], SALGADO [75] y VOLK [76]. Al final de todos ellos se encuentran extensas referencias bibliográficas.

En la actualidad se concede preferencia al empleo del acetato amónico para efectuar el cambio; pues, por su facilidad de destrucción, ofrece grandes ventajas para la determinación de los metales alcalinos. Además, ofrecen otras, como ponen de manifiesto SCHOLLENBERGER [77], el primero que lo empleó, y SALGADO. Por éstas casi se ha eliminado el empleo del cloruro amónico. Nosotros, sin embargo, lo hemos empleado en este trabajo para ajustarnos al método de Alten.

El calcio de cambio se ha tenido que determinar por diferencia entre S (suma de los cationes de cambio) y  $(Mg^{++} + K^{+} + Na^{+})$ , por las dificultades, a nuestro juicio insuperables, que presenta la determinación directa en suelos calizos, con yeso y sales alcalinas, como las de La Nava.

Hasta ahora hemos anotado una revista sucinta de la fijación, movilización y medios de determinar lo que podríamos llamar el potasio dinámico del suelo. Pero, una vez en solución, debe penetrar en las raíces de la planta, lo que requiere la salida del interior de aquélla del mismo número de otros cationes, para que en el interior exista neutralidad de cargas eléctricas.

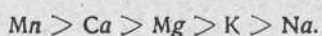
LUNDEGARDH [23] muestra que, en cultivos líquidos, los vegetales pueden expeler  $Na^{+}$ ,  $Ca^{++}$  y  $K^{+}$ , en cambio de los cationes absorbidos. En general, los cationes cambiados en la absorción de los nutritivos son completamente dominados por el  $H^{+}$ . Por esto, la absorción de cationes repercute en una acidificación del suelo.

Vemos, pues, que la absorción de cationes puede asimilarse a un cambio de bases, entre la solución del suelo y la planta; y del mismo modo que en el suelo puede variar la proporción de los dis-

tintos cationes de cambio, según la relación de sus concentraciones en la solución, en la planta puede variar también, dentro de ciertos límites.

Hay, pues, en el suelo y en la planta un antagonismo iónico en la absorción, como consecuencia de la constancia de la "capacidad de saturación" en el primero y en la planta, por causas, aún no bien conocidas, de orden fisiológico.

El antagonismo es más fuerte entre los extremos de la serie de absorción:



Los efectos del antagonismo son, en la actualidad, muy estudiados. GEDROIZ [46] y GEHRING [79] observaron el del calcio al magnesio de cambio, primeramente, y posteriormente se comprobó que es un fenómeno general, según exponen BURSTRÖM y LUNDEGARDH [23], habiendo observado el primero el antagonismo amoniacalicio. EHRENBURG [80], LAMB [74] y LAGATU y MAUME [91] estudiaron el calcio-potasio.

El del calcio-potasio es objeto, modernamente, de numerosos estudios; pero cuando se trata de concretar las relaciones  $K/Ca$  más adecuadas, surge siempre la dificultad de determinar el potasio y calcio en las condiciones en que se encuentran en la solución del suelo. Por esto, unos, como LUNDEGARDH [23], propugnan el empleo de los extractos cítricos, y de sus experiencias con avena deduce que el óptimo de la relación anterior, en las hojas, debe variar de 1,5-5. Valores demasiado altos o bajos producen síntomas patológicos. Para conseguir aquella relación en la planta, la del potasio al calcio, en el suelo, debe ser 0,02.

En los suelos que no tienen  $CaCO_3$  ni  $CaSO_4$ , el empleo del cítrico nos da el potasio asimilable (de cambio, más el soluble en el agua). En los suelos estudiados por nosotros, con ambos componentes, no es aplicable, siendo preferible examinar la relación:

---

Potasio de cambio, más potasio soluble en el agua.

Calcio de cambio, más calcio soluble en el agua.

VOLK [76] propugna la determinación del potasio y calcio solubles en el agua como más adecuados, e indica que, a su juicio, el "antagonismo" en la absorción del potasio sólo tiene efecto para pequeñas concentraciones de éste, lo que está de acuerdo con lo sostenido por LUNDEGARDH.

Este método nos parecería muy adecuado si el suelo sólo contuviera sales cálcicas muy solubles y muy poco solubles, pues así la determinación del  $K^+$  y  $Ca^{++}$  existente en el extracto acuoso del suelo en la relación 1/10 nos reflejaría fielmente los existentes en el suelo. Pero como en los estudiados por nosotros existe, probablemente,  $CaSO_4$ , compuesto algo soluble, se comprende que, al hacerse la dilución unas treinta veces mayor que la óptima, la cantidad disuelta de  $Ca^{++}$  y  $K^+$ , como consecuencia de la ley de Wiegner, aumentará también mucho, separándose los resultados obtenidos para el  $Ca^{++}$  y  $K^+$  de los reales.

Esto aun suponiendo que en el suelo no existiese "agua inerte", que no interviene probablemente en los fenómenos de disolución.

Nosotros hemos intentado la determinación de las sales solubles en el alcohol al 68 %, en algunos de los suelos; con esto se evitaría la solubilización de calcio procedente de los sulfatos y el paso en solución, por cambio de bases, de mayor cantidad de K. Los resultados pueden verse a continuación:

*Sales solubles en el agua en M. E. %*

MUESTRAS	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$K^+$	$Na^+$	L	$\frac{K}{Ca}$
4	1,52	3,72	0,25	3,52	9,01	0,16
7	2,77	4,25	0,24	3,48	10,74	0,09
8	0,79	0,93	0,11	1,09	2,92	0,14



*Sales solubles en el alcohol al 68 % en M. E. %*

MUESTRAS	Ca ++	Mg ++	K +	Na +	L	$\frac{K}{Ca}$
4	0,22	0,12	0,14	2,10	2,58	0,64
7	0,13	0,10	0,06	2,02	2,31	0,46
8	0,17	0,10	0,07	0,73	1,07	0,41

Claro es que la extracción con alcohol al 68 % nos puede aproximar más a la realidad, en lo que se refiere al  $K^+$ ; pero en los suelos examinados, en que probablemente la solución natural está saturada de  $Ca^{++}$ , los resultados de este último vendrán desfigurados. Por esto, los resultados que se insertan sobre sales solubles están obtenidos de soluciones extraídas en la relación de 1 de tierra a 10 de agua.

Con todo lo dicho anteriormente, pasemos a interpretar los resultados obtenidos en las muestras examinadas por nosotros. En el Cuadro VIII tenemos reunidos los resultados referentes al potasio total considerado como el soluble en el  $HCl$  al 20 %; potasio solubilizado por el  $NH_4Cl$ ; es decir, el de cambio más el soluble en el agua (asimilable); y el potasio y calcio soluble en el agua, así como su relación.

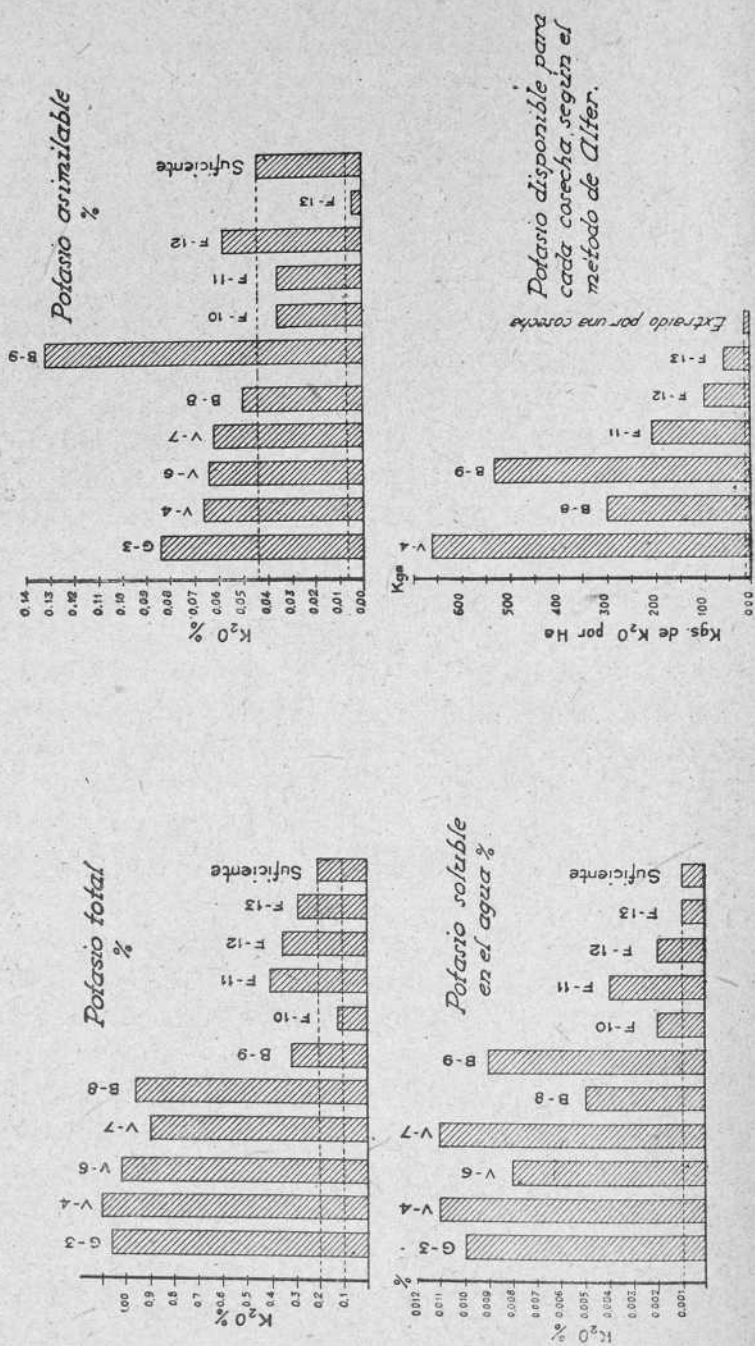
De la segunda columna se deduce que, tomando como límite para la suficiencia el 0,2 %, todos los suelos están bien provistos de  $K_2O$ .

La cuarta columna nos muestra el contenido de  $K_2O$  asimilable. Si tomamos como límite 0,045 % de  $K_2O$ , vemos que, excepto los suelos F-10-11-13, todos los demás tienen  $K_2O$  suficiente.

En la sexta columna puede verse la solubilidad en el agua, y, si tomamos como límite 0,001 de  $K_2O$  %, vemos que todos tienen  $K_2O$  suficiente.

En la columna novena se ve la relación  $K/Ca$ , que es bastante elevada, poniendo también de manifiesto las buenas condiciones para la absorción del potasio.

El Potasio en los suelos de la Laguna de la Nava y en algunas muestras de Tierra de Campos. (Necesidad problemática)



En los Cuadros VIII bis y IX se insertan los resultados obtenidos por la aplicación del método de Alten.

Se ha tomado como base para el cálculo una cosecha de trigo de 12 Qm. por Ha., con la relación grano-paja igual a uno.

Tomando como composición química del trigo la dada por WOLF, las cantidades de elementos fertilizantes extraídos por la cosecha serán las siguientes, en kilo-equivalente por Ha.

	K +	Na +	Ca + +	Mg + +	TOTAL
Grano .....	0,13	0,01	0,02	0,12	0,28
Paja .....	0,16	0,02	0,12	0,07	0,37
	0,29	0,03	0,14	0,19	0,65

En el Cuadro VIII bis se insertan los módulos de absorción  $q$ , y, en el IX, los resultados obtenidos para el trigo egipcio, suponiendo una presión de succión de 20 atmósferas y una emisión de 0,65 K. E. de H+. Como puede verse en este Cuadro, aun el suelo XIII, que es el que pone a disposición de las plantas menos potasio, 1,27 K. E., tiene suficiente para alimentar varias cosechas, teniendo en cuenta que cada una sólo extrae 0,29 K. E.

En los demás suelos, las cantidades son más que suficientes, proviniendo la mayor parte de sales en solución, toda vez que las puestas en libertad por el complejo absorbente son muy pequeñas, debido a lo arcilloso del suelo, por lo que los módulos de absorción son muy elevados. Esta elevada concentración salina es probable que sea mantenida en los horizontes superficiales, debido a la aridez del clima, como muestra el "índice de Mayer".

Resumiendo, podemos concluir que el potasio total, solubilidad en el agua y método de Alten, coinciden en todos los suelos, acusando la suficiencia en potasio. En los suelos F-10-11, la determinación del asimilable indica duda, y en el F-13 hay divergencia. Hay que tener en cuenta para explicar este hecho que quizás el límite de 45 miligramos es demasiado elevado y, además, la influencia considerable

que tiene la profundidad del suelo, por lo que las cifras absolutas no dicen realmente nada, si no están en igualdad de condiciones los suelos comparados. Si en la aplicación del método de Alten se hubiera tomado, en lugar de un suelo de 40 cm. y una cosecha de 12 Qm., uno de 20 cm. y cosecha de 30 Qm., las cantidades de potasa disponibles se habrían casi reducido a la mitad, y las necesarias se elevan a más del doble, por lo que el suelo F-13 acusaría entonces necesidad manifiesta.

Otro tanto ocurriría al variar el cultivo, empleando plantas más esquilmantes, o de ciclo vegetativo más corto.

Además, el clima es también de gran importancia para interpretar los resultados; pues, como es sabido, la característica de los climas áridos es la acumulación en la superficie, en tiempo seco, de las sales solubles, por lo que será conveniente determinar, para interpretarlos, la época en que la solución en contacto con las raíces sea más concentrada. En los suelos de estos climas, las sales se limitan a elevarse o descender, no habiendo pérdidas por drenaje en las tierras en que el cultivo está estabilizado.

Con lo dicho, creemos tener suficientemente aclarada la interpretación de los análisis en lo referente al potasio.

## A P E N D I C E

## FUNDAMENTO DEL MÉTODO DE LICHTERFELDE PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CATIONES ASIMILABLES.

Del análisis agrícola de un suelo se deben poder deducir las cantidades de elementos nutritivos que éste es susceptible de proporcionar a las plantas (en condiciones atmosféricas favorables) durante su período de crecimiento, y, como consecuencia, aquéllos que deben adicionarse para hacer frente a las necesidades de las cosechas.

Para cumplir estas condiciones, los análisis del suelo no deben limitarse a la estimación de la solubilidad de las sustancias nutritivas existentes en aquél, en las condiciones convencionales del laboratorio, sino que deben también ayudar a descubrir las relaciones funcionales que rigen el suministro de nutrientes a las plantas por el suelo, en condiciones naturales determinadas. La cantidad de elementos nutritivos que el suelo puede proporcionar a la planta depende de ciertos factores físicos y químicos, particularmente de su capacidad para almacenar agua, libertad de movimiento de ésta en el suelo considerado y fijación y liberación de los principios nutritivos por reacciones de cambio con los coloides del suelo. El suministro de potasio a las plantas depende, no solamente del contenido de potasio asimilable, sino también de otras varias propiedades del suelo, interdependientes.

El método de Lichterfelde, para la determinación de las necesidades de abonos del suelo, está basado en el principio de que todos los factores que influyen sobre las cosechas están íntimamente unidos y únicamente teniendo en cuenta este hecho, puede llegarse a conclusiones verdaderas al interpretar los análisis. El suelo, por esto, es sometido a determinaciones de carácter físico y químico. La característica principal de ellas es que no sólo se tiene en cuenta la composición actual, de los suelos, en el momento del examen, sino también todas las relaciones funcionales que gobiernan los cambios en equili-

brio entre suelo y solución del suelo, por una parte, y solución del suelo y raíces de las plantas, por otra. La determinación de estas relaciones hace posible calcular el balance nutritivo de un suelo determinado.

En las investigaciones de laboratorio sobre las muestras del suelo, se concede primordial atención al estudio de la "economía del agua".

Esta lleva consigo tres determinaciones, a saber: la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener (humedad equivalente), la cantidad de agua que puede suministrar el suelo a la planta (agua estática) y la velocidad con que el agua del suelo puede moverse hacia las raíces (agua dinámica).

Estas características del suelo se determinan por diferentes métodos físicos:

El análisis mecánico, realizado con o sin desfloculación, indica el contenido de arcilla y la "estructura del suelo".

La estimación de la "humedad equivalente", da la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener, en oposición a la fuerza de gravedad.

La "compacidad del suelo", es decir, su composición de partículas sólidas, humedad y aire, se deduce de la determinación llamada "contracción lineal".

La "humedad higroscópica" indica la cantidad de agua que es absorbida de tal manera por el suelo, que la "fuerza de succión" de las raíces de las plantas, no es suficiente para liberarla: "agua inerte".

El "agua estática" se calcula como la diferencia entre los valores del "contenido de humedad" y del "agua inerte".

El valor de la "ascensión capilar" es una medida de la velocidad con que el agua del suelo llega a las raíces de la planta. De este valor puede deducirse el espesor de la capa del suelo, capaz de suministrar agua a la velocidad suficiente para compensar las pérdidas de este elemento experimentadas por la planta (espesor de la capa crítica).

El examen físico del suelo sirve primariamente como criterio de la economía del agua del suelo; también es indispensable, sin embargo, como base para establecer el "balance nutritivo" del suelo. Otros datos para el cálculo de este último se obtienen por métodos químicos.

El análisis químico ayuda a determinar si los principios nutritivos existentes en el suelo bastan para hacer frente a las necesidades de las cosechas en condiciones favorables. Las cantidades de aquéllos, necesarias para asegurar los cosechas máximas, son conocidas en el caso de las plantas más importantes, y pueden calcularse teniendo en cuenta la composición de cada planta y el peso de cosecha obtenido. La intensidad con que los nutrientes son absorbidos por las diferentes plantas es también conocida con suficiente seguridad. Aquéllos son tomados por las plantas a la solución y coloides del suelo. Los componentes minerales pueden también proporcionar alimento a las plantas, pero su importancia a este respecto sólo es digna de tenerse en cuenta en condiciones climáticas particularmente favorables a la meteorización.

Para calcular la cantidad de nutrientes que pueden ser proporcionados por la solución del suelo es necesario conocer, no sólo su contenido absoluto, sino también la cantidad de la solución del suelo accesible a la planta en un tiempo dado. El contenido absoluto se determina por el análisis de un extracto acuoso del suelo, teniendo cuidado de no emplear un exceso de agua.

La distancia a que puede la planta tomar el agua y, por consiguiente, los elementos solubles, depende de la velocidad con que se puede mover aquélla. Este es un punto digno de consideración en la interpretación de los resultados analíticos, si se quiere llegar a conclusiones verdaderas, lo que no ocurre cuando se calcula el contenido de materiales nutritivos del suelo en una capa de espesor empírico.

Un suelo en el que el agua puede moverse libremente es capaz de suministrar más nutrientes a la planta que otro que presente gran resistencia al movimiento del agua, aunque el contenido de

sales solubles en el último puede ser mayor que en el primero. De aquí, que diferentes tipos de suelos deban ser considerados individualmente, y el reconocimiento de este hecho constituye cierto progreso en la aplicación de los resultados analíticos, en las condiciones de la práctica.

Además de la solución del suelo, los coloides existentes en éste están también considerados como un origen de materias nutritivas para la planta. La absorción de los nutrientes existentes en aquéllos se efectúa de la siguiente forma: Las raíces de las plantas excretan anhídrido carbónico, produciéndose en la solución del suelo ácido carbónico, y originándose así iones hidrógeno, los que desplazan los cationes absorbidos en los coloides del suelo, haciéndolos utilizables para las raíces de las plantas. Para determinar la importancia de este origen de alimentos en un suelo determinado, se trata una muestra con cantidades variables de una solución de cloruro amónico, y en el líquido resultante se determina el grado de saturación del suelo respecto a los cationes monovalentes y divalentes.

Según VAGELER, el cambio de bases tiene lugar con arreglo a la siguiente expresión hiperbólica:

$$y = \frac{x \cdot S}{x + qS}$$

en la cual

$x$  = La cantidad del ión actuante sobre el complejo coloidal.

$y$  = La cantidad del ión desplazado.

$S$  = El contenido total de las bases absorbidas.

$q$  = Constante.

Agitando dos muestras de 50 gramos de tierra, desecada al aire, con 250 c. c. ( $= x_1$ ) y 500 c. c. ( $= x_2$ ) de una solución N/5 de cloruro amónico, respectivamente, se obtienen dos valores,  $y_1$  é  $y_2$ , de los que pueden deducirse el valor límite  $S$ , para la suma total de las bases absorbidas y el módulo de absorción  $q$ .

Analizando los dos extractos de cloruro amónico, y con la ayuda de la expresión de Vageler, pueden determinarse los valores de  $S$



y  $q$ , para cada uno de los cationes sodio, potasio, magnesio y calcio. Estos valores indican las cantidades de los cationes en cuestión, susceptibles de liberación al actuar diferentes cantidades de iones hidrógeno sobre los coloides del suelo.

La cantidad de iones hidrógeno utilizables para este objeto, en las condiciones naturales, puede considerarse como aproximadamente igual al contenido total de cationes de la cosecha obtenida en el suelo en cuestión.

La suma de los principios nutritivos solubles en el agua que existen en la capa del suelo accesible a la planta, y de las cantidades de nutrientes procedentes de los coloides por movilización parcial de las reservas de éstos en el mismo espesor de capa, representa la cantidad total de alimentos utilizables por la cosecha durante una estación, y comparado este valor con las necesidades de la cosecha en cuestión, es posible determinar las necesidades de la cosecha en las condiciones consideradas.

Los valores  $S$  y  $q$ , para los diferentes cationes, ofrecen una guía útil para la fertilización potásica, pues indican la importancia que tiene en cada suelo la fijación del potasio del fertilizante por absorción, haciéndose utilizable para la planta.

Si se efectúa una experiencia de fertilización en un suelo que tiende a absorber enérgicamente el potasio, las aplicaciones de un fertilizante potásico pueden no producir al principio efecto apreciable, debido a que el grado de saturación de los coloides del suelo, con respecto al potasio, es demasiado bajo y no a causa de que el suelo sea rico en potasio.

Conocidos estos fundamentos, veamos sucintamente cómo se enlazan las diferentes determinaciones físicas, químicas y biológicas para la aplicación del método. A continuación esquematizamos los diferentes datos para facilitar la exposición.

## DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE EN EL LABORATORIO.

*Físicos.*

I. Dos "análisis mecánicos", con y sin dispersión de los coloides, obteniéndose dos valores, que llamamos Arcilla I y Arcilla II.

II. Dos valores de la "ascensión capilar",  $y_1$  é  $y_2$ , en tiempos diferentes,  $x_1$  y  $x_2$ .

III. La "higroscopicidad por 100", en los suelos en que existen "sales solubles" en cantidad apreciable, se determina por absorción de vapor de agua sobre  $H_2SO_4$  al 10 % en el vacío (MITSCHERLICH).

IV. "Capacidad mínima para el agua" o "humedad equivalente" por 100 g. de tierra seca = C.

V. "Contracción lineal por 100" al 80 % de la capacidad mínima para el agua.

*Químicos.*

VI. Análisis cuantitativo en la "solución acuosa", obtenida en la relación 1 de tierra a 10 de agua, de los iones sodio, potasio, magnesio, calcio, carbónico, sulfúrico, etc.

VII. Análisis cuantitativo, en la "solución N/5 ó N/10 (según las tierras) de cloruro amónico", obtenida en la relación 1 de tierra a 5 de solución, del amonio absorbido ( $y_1S$ ) y de los iones sodio, potasio, magnesio y calcio.

VIII. Análisis cuantitativo, en la "solución N/5 ó N/10 (según tierras) de cloruro amónico", obtenido en la relación 1 de tierra a 10 de solución, del amonio absorbido ( $y_2S$ ) y de los iones sodio, potasio, magnesio y calcio.

IX. Valoración de los iones hidrógeno en las soluciones de acetato sódico normal, obtenidos por agitación de la tierra con dicha solución, en las relaciones 1 de tierra a 2,5 de la solución, y 1 de tierra a 5 de la solución.

*Biológicos.*

X. Análisis químico (*Ca*, *Mg*, *K* y *Na*) de los productos vegetales que constituyen la cosecha (grano, paja). Pueden también utilizarse las composiciones medias dadas por WOLF u otros analistas.

Peso de la cosecha obtenida (grano, paja).

XI. Desarrollo vertical y horizontal alcanzado por el sistema radicular de la planta en el suelo considerado.

XII. Presión de succión, en atmósferas, de las diferentes plantas. Esta medida debe efectuarse en el sitio en que se cultivan aquéllas. Nosotros hemos comenzado a hacerlo en nuestro país, pero como esto requiere varios años de ensayo, por ahora emplearemos los valores encontrados por diferentes investigadores en climas de características parecidas a los nuestros. A continuación se dan las presiones de succión empleadas por nosotros, así como las encontradas por otros autores.

*Presión de succión de varias plantas cultivadas.*

PLANTA	PRESIÓN DE SUCCIÓN (atms.)	AUTOR
Gramíneas .....	6,7-17,7	Pammer.
Centeno de invierno.....	9,6-14,3	Eibl.
Trigo de invierno.....	6,7-11,1	Idem.
Centeno de primavera.....	8,1	Idem.
Trigo de primavera.....	5,3-8,1	Idem.
Cebada de primavera.....	6,7-16	Idem.
Ayena .....	6,7-8,1	} Eibl y Foschum.
	hasta 25,5	
Espelta (T. espelta L.).....	5,1-11,1	Eibl.
Maíz .....	16,0-27,0	Foschum.
Trébol .....	12,7-16,0	Pammer.
Medicago sativa .....	27,0-29,5	Idem.
" Lupulina .....	8,1	Idem.
Leguminosas .....	17,8-23,8	Oppenheimer.
Nabo, remolacha.....	12,7-16	Hafekost.
Zanahoria .....	7,0	Oppenheimer.
Remolacha forrajera.....	8,4	Idem.
Lino .....	16,7	Idem.
Cáñamo .....	16,0	Idem.
Cucurbitáceas .....	12,4-14,8	Idem.
Cebolla .....	15,9-17,1	Idem.
Girasol ( <i>Helianthus annuus</i> ).....	14,3	Idem.
Adormidera .....	8,1-11,7	Idem.
Algodón egipcio.....	13,3-15,3	} Taschdian, Vageler y Alten.
	hasta 35,0	
Algodón americano.....	5,1-15,6	Taschdian.
Tabaco .....	4,7-11,1	Idem.
Tomate .....	5,5	Oppenheimer.
Citrus nobilis .....	40,5-58,0	Vageler y Alten.
" medica .....	26,0-47,0	Idem id.
Maíz egipcio.....	17,0-28,0	Idem id.
Trigo .....	13,0-28,0	Idem id.

OPPENHEIMER da las siguientes presiones medias de succión (plantas cultivadas):

Plantas nórdicas.....	9	atms.
Tropicales y de regiones húmedas de Sur y Centro América .....	9	"
Plantas marítimas .....	10	"
Egipto .....	14	"
Indias Orientales.....	15	"
Regiones secas del Sur y Centro de América.....	15	"
Cáucaso .....	12-16	"
Asia Occidental .....	20	"

Para las plantas, en general, se tiene:

Hongos y algas.....	hasta 158 atms.
Plantas desérticas.....	17-100 "
Plantas marinas.....	15-50 "
Plantas cultivadas en climas moderados.....	5-35 "
Idem íd. en climas secos.....	15-35 "

El conocimiento de los valores I a XII permite, por la aplicación de sencillos cálculos matemáticos, la determinación de características inherentes al suelo, de utilidad práctica posterior; tales son:

1. *Factor de estructura.* — Se deduce de I:

$$F = \frac{\text{Arcilla I} - \text{Arcilla II}}{\text{Arcilla I}} \times 100$$

2. *Ascensión capilar máxima y espesor de la capa crítica:*

Aplicando la ecuación  $y = \frac{x E}{x + q E}$  a los valores  $x_1, y_1, x_2$  é  $y_2$ , mencionados en II, se pueden despejar E (ascensión capilar máxima) y q (módulo de tiempos).

2'. El "espesor de la capa crítica" para una velocidad de ascensión de 0,2 mm. por hora, se calcula por la siguiente fórmula:

$$e_c = E (1 - 0,447 \sqrt{q})$$

3. *Higroscopicidad como función de los cationes de cambio.* — Por la fórmula: Higroscopicidad % = 0,44 [T - 0,5 (Ca<sup>++</sup> + Mg<sup>++</sup>)]

Los valores de T, Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> son los deducidos de VII, VIII y IX.

Este valor se emplea en el caso de tratarse de suelos no salinos.

4. *Agua inerte = i.* — Es función de la higroscopicidad, de las sales solubles y de la presión de succión:

$$\text{Agua inerte} = \text{higroscopicidad} \times K + \frac{33,6 (\text{Na}^{++} + \text{K}^{++} + \text{Mg}^{++})}{\text{Presión de succión en atmósferas}}$$

Los valores de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> y Mg<sup>++</sup> son los encontrados en VI.

Los valores de K, dependientes de la "presión de succión" son los siguientes:

PRESIÓN DE SUCCIÓN EN ATMÓSFERAS	K
2,0	5,00
2,5	4,50
3,0	4,00
4,0	3,50
6,0	3,00
8,0	2,50
13,0	2,00
22,5	1,50
32,5	1,25
50,0	1,00

5. *Volúmenes ocupados por tierra, agua y aire.* — Conociendo V, se deducen fácilmente los volúmenes ocupados por la tierra, agua y aire.

6. *Volumen mínimo de poros = P.* — El volumen mínimo de poros, en centímetros cúbicos por 100 gramos de tierras, se calcula con la siguiente expresión:

$$\frac{(100 - \text{contracción lineal})^3}{260 \times \text{volumen por 100 tierra}} - 38$$

7. *Cationes de cambio, así como sus módulos de absorción, q.* De VI, VII, VIII, IX, y aplicando la ecuación:

$$y = \frac{x \cdot C}{x + q \cdot C}$$

a los dos pares de valores, VII, VIII y IX, obtenidos, se deducen S, qS; Ca<sup>++</sup>, qCa; Mg<sup>++</sup>, qMg; K<sup>+</sup>, qK; Na<sup>+</sup>, qNa; qH y T.

De las características anteriores pueden deducirse los balances del agua y cationes para los suelos *in situ*, de la siguiente forma:

## I. Balance del agua.

A) Posibilidad para contener el agua = A.— Dependerá de IV, 6, así como de la profundidad  $x$  a que se encuentra la capa considerada. Se calcula por las siguientes fórmulas:

$$A \% = C - k (C - P)$$

$$k = \frac{300 x - x^2}{22 \cdot 500}$$

La cantidad absoluta, en metros cúbicos por hectárea y centímetro de capa, será:

$$A_p = \frac{100 \cdot A}{38 + A}$$

B) Agua estática disponible = E.— Es la diferencia entre la posibilidad para contener agua y el agua inerte:  $E \% = A - i$ .

La cantidad absoluta, en metros cúbicos por hectárea y centímetro de capa, será:

$$A_e = \frac{E \cdot A_p}{A}$$

C) Agua dinámica disponible =  $A_d$ .— Depende de (2') y de B).

1. Cuando el espesor de la capa natural es mayor que el doble del de la capa crítica:

$$A_d = 2 \cdot e_c \cdot A_e$$

2. Cuando el espesor de la capa natural es menor que el doble de la capa crítica:

$$A_d = e_c \cdot A_e$$

El "agua disponible efectiva" se deduce del "agua dinámica disponible", descontando las pérdidas por evaporación.

## II. Balance de cationes.

Los cationes susceptibles de ser utilizados por las plantas serán, principalmente, los existentes en la solución o "solubles en el agua", VI,

incrementados en los que pueden pasar en solución por cambio iónico con los iones hidrógeno activados por la planta.

El cálculo de los "solubles en el agua", en toneladas por hectárea, se efectúa fácilmente, conociendo el peso en toneladas de una H./cm. de tierra desecada y teniendo en cuenta el espesor de la capa útil, según se indica en C).

Los procedentes del cambio iónico se calculan considerando el peso de tierra susceptible de utilización por la planta, los iones hidrógeno activados y los valores indicados en 8, ligados por las siguientes relaciones:

$$\text{Sodio disponible} \dots = Na_a = \frac{qS}{qNa} \times \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + qS - 1) + H}$$

$$\text{Potasio disponible} \dots = K_a = \frac{qS}{qK} \times \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + qS - 1) + H}$$

$$\text{Magnesio disponible} = Mg_a = \frac{qS}{qMg} \times \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + qS - 1) + H}$$

$$\text{Calcio disponible} \dots = Ca_a = \frac{qS}{qCa} \times \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + qS - 1) + H}$$

Conocidos ya los cationes existentes actualmente en la solución, en equilibrio biológico con la planta; es decir, la suma antes mencionada, podemos calcular la cantidad de fertilizante que se debe agregar para que, teniendo en cuenta el poder fijador del suelo, quede en solución el suficiente para compensar las pérdidas ocasionadas por la cosecha extraída.

Para el potasio, por ejemplo, y lo mismo se haría con los demás cationes, se emplea la siguiente ecuación, tomando a D como incógnita:

$$\frac{\frac{qS}{qS \cdot S} \times \frac{m \cdot H \cdot S}{S(m + qS - 1) + H} + \left( D - \frac{m \cdot D \cdot S}{S(m + qS - 1) + D} \right)}{K + \frac{F}{m}} = E_1$$

D = cantidad de fertilizante potásico en kilo, equivalente por H<sub>a</sub>, que debe emplearse para cada cosecha.



S = suma de cationes del complejo en kiloequivalentes por 100 toneladas de tierra desecada.

$qS$  = módulo de absorción.

K = potasio de cambio en K. E. por 100 Tm., antes del abonado.

F = potasio retenido por el suelo en K. E. por Ha. y capa útil.

H = iones hidrógeno activados por la planta en K. E.

$m$  = peso en centenares de Tm. de una Ha. de tierra desecada a la profundidad útil.

$E_1 = E. - K_s.$

$K_s$  = potasio soluble en K. E. por Ha., y espesor de capa útil.

$K_s$  = potasio soluble en K. E. por Ha., y espesor de capa útil.

El valor de F es función, a su vez, de D:

$$F = \frac{\bar{m} \cdot D \cdot S}{S \left( m + \frac{qS \cdot S}{S - K} - 1 \right) + D}$$

Sustituyendo este último valor en la primera ecuación, se obtiene una de segundo grado en D, cuya resolución nos da la cantidad de fertilizante potásico necesaria para conseguir el efecto deseado.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. GERLACH (1895): Landw. Vers., Sta., 46, 201-219.
2. FORD M. C. (1933): Jour. Am. Soc. Agron., 25, 134-143.
3. TH. SCHLOESING (1898): C. R. Ac. Sc., 127, 239.
4. DEMOLON y BARBIER (1930): Ann. Science. Agro., mai-juin.
5. SCARSETH (1935): Jour. Am. Soc. Agron., 27, 596-616.
6. RUSSELL y PRESCOTT (1916): Jour. Agr. Sci., 8, 65-110.
7. MAITSON (1928): Proc. and Pap. Firs. Int. Cong. Soil. Sci. Com. II, 185-211.
8. — (1929): Soil. Sci., 28, 179-220.
9. — (1931): Soil. Sci., 32, 345-365.
10. RAVIKOVITCH (1934): Soil. Sci., 38, 219-240.
11. — (1934): Soil. Sci., 38, 279-290.
12. DEMOLON y BASTISSE (1934): Ann. Agron., IV, 53-76.
13. MC GEORGE (1933): Jour. Am. Soc. Agron., 25, 351-354.
14. MC GEORGE BUEHRER y BREAZCALE: Jour. Am. Soc. Agr., 27, 330-335.

15. MC GEORGE (1935): *Soil. Sci.*, 39, 443-452.
16. MC GEORGE y BREAZCALE (1931): *Ariz. Agr. Exp. Sta. Tech. Bul.*, 36.
17. SCARSTH (1934): *Jour. Am. Soc. Agron.*, 26, 138-162.
18. BUEHRER (1932): *Ariz. Agr. Exp. Sta. Tech. Bul.*, 42.
19. BOISCHOT (1934): *Ann. Agr.*, IV, 77-84.
20. HIBBARD (1935): *Soil. Sci.*, 39, 337-358.
21. HOAGLAND (1923): *Soil. Sci.*, 16, 225.
22. LUNDEGARDH (1935): *Soil. Sci.*, 40, 89-102.
23. — (1934): *Centralanst. Försöksv. Jordbruksamra det (Sweden). Medel*, 444.
24. LINDSEY (1935): *Soil. Sci.*, 39, 277-288.
25. FLOYD (1934): *Soil. Sci.*, 37, 343-356.
26. STEPHENSON y CHAPMAN (1931): *Journ. Am. Soc. Agr.*, 23, 759-770.
27. MIDGLEG (1931): *Journ. Am. Soc. Agr.*, 23, 788-799.
28. HOCKENSMITH, R. GARDNER y KEZER (1933): *Soil. Sci.*, 36, 35-40.
29. KRÜGEL y DREYSPRING (1933): *Zeits. f. Pflanz. B.* 12, 449-460.
30. GERICKE (1934): *Die Phosphorsäure*, IV, 79-98.
31. SPENCER y STEWARD (1934): *Soil. Sci.*, 38, 65 a 81.
32. NEMEC (1931): *Die Phosphorsäure*, 1.8, 49-463.
33. WRENSHALL y MC KIBBIN (1935): *Jour. Am. Soc. Agr.*, 27, 511-519.
34. HIBBARD (1933): *Soil. Sci.*, 31, 437-467.
35. LEMMERMANN (1927): *Zeits F. Pflanz. B.*, 163.
36. BEMMELEN-HISSINK (1929): *Verhandlungen der II Komm. der Int. Bod. Gessell. in Budapest*, A, 6-18.
37. DEMOLON: *Guide pour l'étude experimental du sol*, Paris, 1933.
38. — *La Dynamique du sol*, Paris, 1931, 263.
39. — (1926): *Theses p. a la Faculté des Sciences de Paris*, 48.
40. JORET y MALTERRE (1936): *Ann. Agr.*, 6, 260.
41. (1933): *Fertiliser and Freding Stuffs*, J., 18, 339.
42. CRAWTHER (1934): *R. of the Prog. of Apl. Chem.*, 18, 539.
43. DAS (1933): *Agric. Live Stock India*, 3, 166; B, 679.
44. ROSS (1932): *J. Assoc. of Agric. Chem.*, 15, 632; B, 1933, 35.
45. DULEY (1930): *Jour. Am. Soc. Agr.*, 22, 521.
46. GEDROIZ (1931): *Soil Sci.*, 32, 51, 64.
47. DÍAZ, J., y TAMÉS, C. (1936): *Bol. Soc. Geogr. Nac.*, 4, 195-221.
48. GEDROIZ (1923): *Soil Sci.*, 16, 473-474.
49. VOLK (1934): *Soil Sci.*, 37, 267-289.
50. BARBIER (1933): *Ann. Agron.*, 651-662.
51. ABEL y MAGISTAD y KHAINSKY (1935): *Jour. Am. Soc. Agr.*, 27, 437-446.
52. HOAGLAND y MARTÍN (1933): *Soil Sci.*, 36, 1-33.
53. ANTIPOV-KARATAEV (1935): *Ac. Sci. U. R. S. S., Inst. Sol Dokuchaiev*, 176-186.
54. CHAMINADE (1935): *Ann. Agron.*, 626-636, 781-792.
55. KERR (1928): *Soil Sci.*, 26, 385-398.
56. VENSELOW (1932): *Soil Sci.*, 33, 95-113.
57. VAGELER y WOLTERS DORF (1930): *Zeits. Pflanz. u. Düng. A*, 15, 329.
58. WIEGNER y MULLER (1929): *Zeits. Pflanz. u. Düng. A*, 14, 321.
59. WIEGNER (1912): *Jour. Landw.*, 60, 110-157.
60. DEMOLON y BARBIER (1927): *Ann. Sc. Agr.*, 341.

61. BERBIER (1932): *Ann. Agr.*, 628-653.
62. FUDGE (1935): *Soil Sci.*, 40, 269-284.
63. CSIKY (1932): *Soil Sci.*, 34, 269-279.
64. FURLANI (1933): *Chem. Abs.*, 52, 6, 117.
65. ALTEN (1933): Die Bestimmung von Wasserhaushalt, Nährstoffzustand und Düngungsbedürfnis der Mineralböden nach den Methoden der Versuchsstation Lichterfelde.
66. WIESSMANN (1934): *Zeits. f. Pflanz. A*, 35, 129-140.
67. MAGISTAD (1934): *Soil Sci.*, 37, 99-104.
68. JOFFE (1935): *Trans. 3<sup>th</sup> Int. Cong. Soil Sci.*, Vol. I, 66-67.
69. HOAGLAND y MARTÍN (1935): *Trans. 3<sup>th</sup> Int. Cong. Soil Sci.*, Vol. I, 99-103.
70. BARTHOLOMEW y JANSSEN (1929): *Soil Sci.*, 27, 189-205.
71. *Transactions of the II Commission of the International Society of Soil Science*, Groningen, 1926, y Budapest, 1929.
72. The determination of Exchangeable Bases in Soil, 1934, *Tech. Com.*, núm. 30.
73. WRIGHT: *Soil Analysis*, Londres, 1935.
74. LAMB (1935): *Soil Sci.*, 40, 365-383.
75. SALGADO (1934): *Soil Sci.*, 37, 39-49.
76. VOLK y TRUOG (1934): *Jour. Am. Soc. Agron.*, 26, 537-547.
77. SCHOLLENBERGER (1927): *Science*, 65, 552.
78. ARENA (1936): *Revista Argentina de Agronomía*, 2, 293-348.
79. GEHRING (1931): *Zeits. Pflanz. Düng.*, 20, 183-217.
80. EHRENBERG (1919): *Landw. Jahrb.*, 54, 1-159.
81. *Proc. of the II Intern. Congr. Soil Sci.*, Leningrad, 1930, *Com. I*, 17.
82. *Transactions of the first Commission of the International Society of Soil Science*, Versailles, 1934, 303-306.
83. ECKSTEIN, JACOB y ALTEN: *Arbeiten über Kalidüngung*, Berlín, 1931.
84. BOUYOUCOS (1935): *Jour. Am. Soc. Agron.*, 27, 222-227.
85. MITSCHERLICH: *Bodenkunde für Land-und Forstwirte*, Berlín, 1925.
86. MOSER, NEUMAYER y WINTER (1930): *Monatsh.*, 55, 85.
87. CHAPMAN (1928): *Soil Sci.*, 26, 479-486.
88. DEAN y TRUOG (1935): *Ind. Eng. Chem.*, 385.
89. PARK (1926): *Ind. Eng. Chem.*, 18-597.
90. LEMMERMANN: *Methoden für die Untersuchung des Bodens*, Berlín, 1934.
91. LAGATU y MAUME (1928): *Communication faite au Congrès Intern. du vin et du pin maritime*.
92. J. DÍAZ y C. TAMÉS (1935): *Bol. Ins. Inv. Agr.*, I, 67-95.

CUADRO I  
Composición mecánica (internacional A).

MUESTRAS	LAGUNA DE LA NAVA						BECERRIL	FUENTES DE NAVA			
	G-3	V-4	V-5	V-6	V-7	B-8		B-9	F-10	F-11	F-12
Elementos > 2 mm.	1,04	0,88	0,79	0,61	0,90	1,22	1,52	0,06	0,02	0,62	0,41
Arena gruesa (2-0,2 milímetros) .....	1,00	1,00	1,40	1,20	0,90	0,91	1,35	0,23	1,12	0,39	1,81
Arena fina (0,2-0,02 milímetros) .....	4,80	4,04	5,15	4,40	4,50	4,55	7,03	2,13	2,63	1,74	14,80
Limo (0,02-0,002 milímetros) .....	21,19	14,68	30,92	37,14	14,43	15,99	23,55	26,71	21,39	23,00	30,45
Arcilla < 0,002 mm.	52,28	64,17	53,06	44,87	69,87	72,34	61,12	61,44	70,03	67,33	44,56
Humedad .....	2,91	3,21	3,45	3,25	3,06	3,19	4,05	4,08	3,79	4,18	2,49
Materia orgánica oxidable .....	1,86	1,69	1,89	1,97	1,57	1,75	1,55	1,69	1,98	2,05	1,22
Pérdidas en solución (R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	0,73	0,93	0,80	0,79	1,06	0,25	1,11	0,65	0,86	1,11	0,57
Carbonatos equivalentes a CaCO <sub>3</sub> .....	16,74	11,92	2,32	2,96	6,34	4,15	2,48	4,65	1,43	3,04	2,08
Sulfatos equivalentes a CaSO <sub>4</sub> .....	1,22	0,68	1,80	1,37	0,83	0,31	0,79	0,39	0,45	0,27	0,27
	102,73	102,32	100,79	97,96	102,56	103,44	103,03	101,97	103,68	103,11	98,25

CUADRO II  
Estudios físico-mecánicos de estructura.

MUESTRAS	FACTOR DE ESTRUCTURA DE VAGELER Y ALTEN		EQUIVALENTE DE HUMEDAD DE BOUYOUCOS			VOLUMEN DE SEDIMENTACIÓN DE BOUYOUCOS			Ca++ SOLUBLE EN EL AGUA	CaSO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>
	Arcilla total.	Arcilla dispersa.	F. E.	H <sub>2</sub> O	KCl	Dif.	H <sub>2</sub> O	KCl			
	%	%	%	%	%	%	c. c.	c. c.	%	%	%
G-3	53,01	1,06	98,0	34,2	30,6	11,7	18,1	18,1	0,0	1,22	16,74
V-4	65,10	1,93	97,0	30,0	31,8	13,2	19,0	19,0	0,0	0,68	11,92
V-5	53,86	1,92	96,5	39,1	33,8	15,7	20,0	20,8	3,8	1,80	2,32
V-6	55,57	1,73	96,8	38,9	34,2	13,7	20,1	20,0	0,5	1,37	2,96
V-7	70,93	1,15	98,3	36,4	31,1	17,0	19,0	20,0	5,0	0,83	6,34
B-8	72,59	16,07	77,8	38,3	33,1	15,7	21,5	19,4	10,9	0,31	4,15
.....	62,23	2,24	96,4	32,2	30,1	7,0	18,5	18,5	0,0	0,79	4,18
F-10	62,09	25,87	58,3	35,4	31,9	10,9	22,1	17,5	26,3	0,39	2,45
F-11	70,89	35,36	50,1	38,0	35,0	10,3	23,8	20,5	16,1	1,33	1,43
F-12	68,44	31,02	54,6	39,6	33,6	17,8	30,9	22,3	38,5	1,00	3,04
F-13	45,13	17,08	62,1	27,5	23,3	18,0	19,0 (1)	15,6	> 21,8	0,27	2,08

(1) En esta muestra, el volumen de sedimentación es el correspondiente sólo a parte del material, pues no se efectuó totalmente en el tiempo de ensayo.

CUADRO III  
Estudio físico (relaciones tierra-agua-aire).

MUESTRAS	HIGROSCOPICIDAD .....	CAPACIDAD MÍNIMA PARA EL AGUA, %.....	ASCENSIÓN CAPILAR				ESPESOR DE LA CAPA CRÍTICA, MM. ....	CARACTERÍSTICAS DEDUCIDAS DE LA CONTRACCIÓN LINEAL				VOLUMEN MÍNIMO DE POROS .....
			A las 20 horas, milímetros ...	A las 100 horas, milímetros ...	Altura máxima, milímetros ...	1.000 q.....		Volumen % de tierra .....	Volumen % de agua .....	Volumen % de aire .....	Contracción lineal %.....	
G-3	12,49	34,2	152	238	278	59	54,5	42,4	3,1	7,5	18,2	
V-4	13,07	36,0	167	250	285	50	50,2	41,7	8,1	8,0	21,6	
V-5	14,42	39,1	112	220	294	109	49,0	43,9	7,1	9,0	21,1	
V-6	13,86	38,9	110	223	301	116	52,4	46,6	1,0	8,0	19,1	
V-7	12,89	36,4	160	274	340	66	50,6	42,8	6,6	8,0	21,2	
B-8	12,30	38,3	158	222	246	45	49,1	43,5	7,8	8,0	23,0	
B-9	9,59	32,2	98	195	263	130	53,0	39,8	7,2	8,5	17,5	
F-10	8,07	35,4	50	180	500	300	54,6	43,8	1,6	7,5	17,7	
F-11	9,47	38,6	51	155	303	310	54,0	44,2	1,8	7,5	18,3	
F-12	8,33	39,6	65	160	256	230	46,6	44,8	8,6	8,5	25,2	
F-13	4,88	27,5	167	310	397	70	58,9	36,2	4,9	7,8	13,2	

## CUADRO IV

Estudio químico: composición del extracto clorhídrico (internacional).

	LAGUNA DE LA NAVA				B-9	OBSERVACIONES
	V-6 %	V-7 %	B-8 %	%		
Na <sub>2</sub> O	0.46	0.41	0.44	0.48		
K <sub>2</sub> O	1.02	0.91	0.90	0.32		
MgO	1.55	1.55	1.26	1.39		
CaO	2.54	3.53	2.03	1.29		
MnO		0.01	0.01	0.04		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.54	6.87	7.47	6.55		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.44	6.96	6.16	5.41		
SO <sub>3</sub>	0.79	0.48	0.18	0.46		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.09	0.10	0.09		
CO <sub>2</sub>	1.30	2.79	1.83	1.09		
SiO <sub>2</sub>	13.36	13.79	15.53	12.39		
TiO <sub>2</sub>	0.48	0.35	0.43	0.29		
R. ign.	52.04	51.01	52.60	58.04		
P. ign.	7.77	6.41	6.01	8.00		
Humedad.	3.25	3.06	3.19	4.05		
Relación molecular: SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.52	3.37	4.28	3.89		Gasometría.

## CUADRO IV (BIS)

Estudio químico: composición del extracto clorhídrico (internacional).

MUESTRAS	Na <sub>2</sub> O — %	K <sub>2</sub> O — %	MgO — %	CdO — %	MnO — %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — %	SO <sub>3</sub> — %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> — %	CO <sub>2</sub> — %	HUMEDAD — %
Laguna de la Nava { G-3 V-4	0,48	1,07	1,58	8,85	0,025	7,93	5,38	0,72	0,07	7,36	2,91
		1,09	1,58	5,64	0,025	6,04	6,55	0,40	0,08	5,24	3,21
		1,13		2,34	0,025	8,62	6,71	1,06	0,10	1,02	3,45
Fuentes de Nava... { F-10 F-11 F-12 F-13	0,34	0,11	1,31	2,99	0,003	6,74	5,64	0,16	0,12	2,04	4,08
	0,29	0,40	1,38	1,37	0,004	7,18	6,62	0,19	0,14	0,63	3,79
	0,21	0,35	1,24	2,03	0,010	7,18	6,06	0,11	0,14	1,34	4,18
	0,23	0,28	0,86	1,65	indicios.	5,47	4,45	0,11	0,08	0,92	2,49



## CUADRO V

Estudio químico: carbono, nitrógeno y sales solubles en el agua.

MUESTRAS	C		N		C/N	SALES SOLUBLES EN EL AGUA EN M. E. %										
	-	%	-	%		Na +	K +	Mg ++	Ca + +	Suma de cationes solubles L	CO <sub>3</sub> --	SO <sub>4</sub> -- -- Cl -- etcétera.	$\frac{Ca + +}{L} \times 100$	$\frac{Ca + +}{Mg + +}$	$\frac{Ca + +}{K +}$	$\frac{Ca + +}{Na +}$
G-3	1,08	0,084	12,8	0,084	12,8	3,82	0,21	4,35	2,24	10,65	0,017	10,63	21,0	0,51	10,67	0,58
V-4	0,90	0,098	9,2	0,098	9,2	3,52	0,25	3,72	1,52	9,01	0,025	8,98	16,9	0,41	6,10	0,44
V-5	1,09	0,084	12,9	0,084	12,9	4,78	0,19	4,42	6,04	15,43	0,017	15,41	39,1	1,36	31,80	1,26
V-6	1,15	0,110	10,5	0,110	10,5	4,76	0,18	4,35	4,92	13,71	0,017	13,69	35,8	1,13	27,30	1,16
V-7	0,90	0,070	12,8	0,070	12,8	3,48	0,24	4,25	2,77	10,74	0,025	10,71	25,7	0,65	11,50	0,79
B-8	1,02	0,084	12,2	0,084	12,2	1,09	0,11	0,93	0,79	2,92	0,033	2,88	27,0	0,84	7,20	0,72
B-9	0,90	0,070	12,8	0,070	12,8	5,21	0,19	2,43	6,50	14,33	0,000	14,33	45,3	2,67	34,20	1,25
F-10	0,98	0,098	10,0	0,098	10,0	1,01	0,04	1,00	1,03	3,08	0,017	3,06	33,4	1,03	25,80	1,00
F-11	1,15	0,162	7,1	0,162	7,1	1,66	0,08	0,02	1,33	3,09	0,017	3,07	43,0	66,50	16,60	0,80
F-12	1,19	0,112	10,6	0,112	10,6	0,46	0,04	0,00	1,00	1,50	0,017	1,48	66,7	∞	25,00	2,17
F-13	0,70	0,070	10,0	0,070	10,0	0,03	0,02	0,01	0,40	0,46	0,017	0,44	86,9	40,00	20,00	13,30

CUADRO VI  
Estudio químico: (cationes de cambio y reacción).

MUESTRAS	M. E. %				COMPOSICIÓN CENTESIMAL				Indice de alcalización de Puri	$\frac{Ca}{Na}$	$\frac{Ca}{K}$	pH	
	Ca	Mg	K	Na	T	Ca	Mg	K				Na	H <sub>2</sub> O
G-3	23,32	0,01	1,59	0,68	25,60	91,09	0,04	6,21	2,66	8,8	14,6	7,95	
V-4	31,36	0,28	1,18	0,68	33,50	93,61	0,84	3,52	2,03	5,5	26,6	7,95	
V-6	37,55	0,07	1,18	0,10	38,90	96,53	0,18	3,03	0,26	3,3	31,8	7,76	
V-7	45,97	0,11	1,10	0,22	47,40	96,99	0,23	2,32	0,46	2,7	41,8	7,98	
B-8	31,10	3,78	0,96	7,31	43,17	72,10	8,75	2,22	16,93	19,1	32,4	7,80	7,80
B-9	10,13	9,63	2,64	1,20	23,60	42,93	40,80	11,19	5,08	16,2	3,8	7,60	7,45
F-10	18,32	8,34	0,75	1,79	29,20	62,74	28,56	2,57	6,13	8,7	24,4	7,85	7,70
F-11	19,04	8,23	0,70	1,23	29,20	65,21	28,18	2,40	4,21	6,6	27,2	7,85	7,70
F-12	16,49	7,42	1,20	1,39	26,50	62,23	28,00	4,53	5,24	9,7	13,7	7,85	7,70
F-13	15,20	2,69	0,07	0,54	18,50	82,16	14,54	0,38	2,92	3,3	2,17	7,95 <sup>(1)</sup>	7,60

(1) Determinado en el ultrafiltrado.

CUADRO VII  
Estudio químico: (fertilización fosfatada).

MUESTRAS	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> SOLUBLE EN EL				CONCENTRACIÓN CRÍTICA DE EQUILIBRIO — Mgs. % c. c.	Ca SOLUBLE EN EL AGUA — M. E. %	Ca DE CAMBIO — M. E. %	pH	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		SOLUB. RELATIVA DE LEMMERMANN — %
	HCl 20 % — Grs. %	Cit. 2 % HNO <sub>3</sub> 1 % — Grs. %	Acético 1 % — Mgs. %	Total. — %					Libre. — %		
G-3...	0,070	0,007	0,06	0,06	16,74	2,24	23,32	7,95	7,03	10	
V-4...	0,086	0,006	0,06	0,06	11,92	1,52	31,36	7,95	6,04	7	
V-5...	0,102	0,007	0,06	0,06	2,32	0,06	0,06	8,62	8,62	7	
V-6...	0,093	0,003	0,03	0,03	2,96	4,92	37,55	7,76	7,54	3	
V-7...	0,092	0,003	0,24	0,25	6,34	2,77	45,97	7,98	6,87	3	
B-8...	0,101	0,002	0,28	0,28	4,15	0,79	31,10	7,80	7,47	2	
B-9...	0,090	0,004	0,80	0,91	2,48	6,50	10,13	7,60	6,55	4	
F-10...	0,120	0,006	1,14	1,35	4,65	1,03	18,32	7,85	6,74	5	
F-11...	0,140	0,012	2,20	2,81	1,43	1,33	19,04	7,85	7,18	6	
F-12...	0,140	0,009	0,66	0,78	3,04	1,00	16,49	7,85	7,18	6	
F-13...	0,080	0,004	0,66	0,78	2,08	0,40	15,20	7,95	5,47	5	

CUADRO VIII  
Estudio químico: (fertilización potásica).

MUESTRAS	POTASIO SOLUBILIZADO POR EL				CALCIO SOLUBLE H <sub>2</sub> O EXPRESADO EN		K Ca en el H <sub>2</sub> O	K Ca + Mg en el H <sub>2</sub> O	K L en el H <sub>2</sub> O	SULFATOS EXPRESA- DOS EN CaSO <sub>4</sub> — %
	HCl al 20 % K <sub>2</sub> O total. %	NH <sub>4</sub> Cl en		H <sub>2</sub> O en		M. E. %				
		M. E. %	K <sub>2</sub> O %	M. E. %	K <sub>2</sub> O %					
G-3...	1,07	1,80	0,085	0,21	0,10	2,24	0,063	0,02	1,22	
V-4...	1,09	1,43	0,067	0,25	0,11	1,52	0,043	0,03	0,68	
V-6...	1,02	1,36	0,064	0,18	0,008	4,92	0,138	0,01	1,37	
V-7...	0,91	1,34	0,062	0,24	0,011	2,77	0,078	0,02	0,83	
B-8...	0,96	1,07	0,050	0,11	0,005	0,79	0,022	0,04	0,31	
B-9...	0,32	2,83	0,133	0,19	0,009	6,50	0,182	0,02	0,79	
F-10...	0,11	0,79	0,037	0,04	0,002	1,93	0,029	0,01	0,39	
F-11...	0,40	0,78	0,037	0,08	0,004	1,33	0,037	0,03	0,45	
F-12...	0,35	1,2	0,058	0,04	0,002	1,00	0,028	0,04	0,27	
F-13...	0,28	0,09	0,004	0,02	0,001	0,40	0,011	0,04	0,27	

LAGUNA  
DE NAYA  
Beaerri.  
FUENTES

CUADRO VIII (BIS)  
 Estudio químico: (fertilización potásica).

MUESTRAS	SALES SOLUBLES EN EL AGUA EN M. E. %				CATIONES DE CAMBIO EN M. E. % Y MÓDULOS DE ABSORCIÓN									
	Ca	Mg	K	Na	Ca	qCa	Mg	qMg	K	qK	Na	qNa	S	qS
Laguna de la Nava. } V- 4... } B- 8... }	1,52	3,72	0,25	3,52	31,36	2,95	0,28	4,80	1,18	17,2	0,68	5,8	33,5	1,3
B- 9... } F- 11... } F- 12... } F- 13... }	0,79	0,93	0,11	1,09	31,10	2,72	3,80	5,60	0,96	3,6	7,31	70,4	43,2	1,2
	6,50	2,43	0,19	5,21	10,13	10,42	9,63	2,53	2,64	185	1,20	211	23,6	2,0
	1,33	0,02	0,08	1,66	19,04	8,40	8,23	4,16	0,70	202	4,28	25	29,2	2,5
	1,00	0,00	0,04	0,43	16,49	8,00	7,42	4,04	1,20	116,7	1,39	3,9	26,5	1,6
	0,40	0,01	0,02	0,03	15,20	2,20	2,69	5,00	0,07	386,0	0,54	112	18,0	1,5

CUADRO IX  
Agua inerte.

MUESTRAS	T R I G O .				C E B A D A				
	MÁX. . . . .		MÍN. . . . .		MÁX. . . . .		MÍN. . . . .		
	(1) = 11,1 (2) = 2,1	Salini- dad	Agua inerte mínima	Higros- copic- dad	Salini- dad	Agua inerte máxima	Higros- copic- dad	Salini- dad	Agua inerte máxima
G-3	26,23	25,14	51,37	33,72	17,60	75,62	33,72	41,90	75,62
V-4	27,45	22,47	49,92	35,29	15,73	72,74	35,29	37,45	72,74
V-5	30,28	28,17	58,45	38,93	19,72	85,88	38,93	40,95	85,88
V-6	29,11	26,37	55,48	37,42	18,46	81,37	37,42	43,95	81,37
V-7	27,07	24,03	51,10	34,80	16,82	74,85	34,80	40,05	74,85
B-8	25,80	6,29	32,19	33,21	4,47	43,86	33,21	10,65	43,86
B-9	20,14	23,49	43,63	25,89	16,44	65,04	25,89	39,15	65,04
F-10	16,95	6,15	23,10	21,79	4,30	32,04	21,79	10,25	32,04
F-11	19,89	5,28	25,17	25,57	3,70	34,37	25,57	8,80	34,37
F-12	17,49	1,50	18,99	22,49	1,05	24,99	22,49	2,50	24,99
F-13	10,25	0,18	10,43	13,18	0,13	13,48	13,18	0,30	13,48

(1) Presión de succión en atmósferas.  
(2) Coeficiente higroscópico dependiente de (1).



## CUADRO X, 1.º

Trigo: (P = máxima) balance del agua.

MUESTRAS	K PARA = 40 CM.	CAPACIDAD PARA EL AGUA			AGUA ESTÁTICA DISPONIBLE			AGUA DINÁMI- CA DISPONIBLE Dy (1)	PESO EN TONELADAS DE UNA H. CM. DE TIERRA SECA — gr.
		W %	Por Ha. y cm. Mw m. <sup>3</sup>	En toda la capa. m. <sup>3</sup>	Agua estática. St %	Por Ha. y cm. Sw m. <sup>3</sup>	En toda la capa. m. <sup>3</sup>		
Laguna de la Nava.	G-3.....	30,2	45	1.800	4,00	6,00	240	143	
	V-4.....	32,4	46	1.840	5,00	7,00	280	140	
	V-5.....	34,6	48	1.920	4,30	6,00	240	135	
	V-6.....	34,0	47	1.880	4,90	7,00	280	138	
Becerril .....	V-7.....	32,6	46	1.840	5,50	8,00	320	140	
	B-8.....	34,5	48	1.920	8,70	12,00	480	135	
	B-9.....	28,5	43	1.720	8,40	13,00	520	148	
Fuentes de Nava...	F-10.....	31,0	45	1.800	8,30	12,00	480	143	
	F-11.....	33,5	47	1.880	7,90	11,00	440	138	
	F-12.....	36,0	49	1.960	17,00	23,00	920	133	
	F-13.....	23,9	39	1.560	13,50	22,00	880	159	

(1) Se considera la capa natural por ser inferior su espesor al doble de la capa crítica.

(2) En los suelos G-3, V-47 y B-8-9 se considera sólo al agua inerte debida a la higroscopicidad.



## CUADRO X, 2.º

Cebada: (P = máxima) balance del agua.

MUESTRAS	K PARA = 40 CM.	CAPACIDAD PARA EL AGUA			AGUA ESTÁTICA DISPONIBLE			AGUA DINÁMI- CA DISPONIBLE Dy (t)	PESO EN TONELADAS DE UNA H. CM. DE TIERRA SECA — gr.
		W %	Por Ha. y cm. M.w m.ª	En toda la capa. m.ª	Agua estática. St %	Por Ha. y cm. St.w m.ª	En toda la capa. m.ª		
Laguna de la Nava.	G-3.....	30,2	45	1.800	7,7	11,0	440	440	143
	V-4.....	32,4	46	1.840	8,9	13,0	520	520	140
	V-5.....	34,6	48	1.920	8,6	12,0	480	480	135
Becerril .....	V-6.....	34,0	47	1.830	9,0	12,0	480	480	138
	V-7.....	32,6	46	1.840	9,4	13,0	520	520	140
	B-8.....	34,5	48	1.920	12,4	17,0	680	680	135
Fuentes de Nava...	B-9.....	28,5	43	1.720	11,2	17,0	680	680	148
	F-10.....	31,0	45	1.800	12,2	18,0	720	720	143
	F-11.....	33,5	47	1.880	12,7	18,0	720	720	138
	F-12.....	36,0	49	1.960	20,0	27,0	1.080	1.080	133
	F-13.....	23,9	39	1.560	15,0	24,0	960	960	159

(1) Se considera la capa natural por ser inferior su espesor al doble de la capa crítica.

(2) En los suelos G-3, V-4-7 y B-8-9 se considera sólo al agua inerte debida a la higroscopicidad.

CUADRO X, 3.º  
Trigo egipcio: (P = máxima) balance del agua.

MUESTRAS	K PARA = 40 CM.	CAPACIDAD PARA EL AGUA			AGUA ESTÁTICA DISPONIBLE			AGUA DINAMI- CA DISPONIBLE Dy (1)	PESO EN TONELADAS DE UNA H. CM. DE TIERRA SECA — gr.
		W %	Por Ha. y cm. Mz m.º	En toda la capa. m.º	Agua estática. St %	Por Ha. y cm. Stw m.º	En toda la capa. m.º		
G-3.....	0,25	30,2	45	1.800	3,9	6,0	240	143	
V-4.....	0,25	32,4	46	1.840	6,4	8,0	320	140	
V-5.....	0,25	34,6	48	1.920	4,6	6,0	240	135	
V-6.....	0,25	34,0	47	1.880	5,4	8,0	320	138	
V-7.....	0,25	32,6	46	1.840	6,3	9,0	360	140	
B-8.....	0,25	34,5	48	1.920	15,9	22,0	880	135	
B-9.....	0,25	28,5	43	1.720	6,6	10,0	400	148	
F-10.....	0,25	31,0	45	1.800	18,0	27,0	1.080	143	
F-11.....	0,25	33,5	47	1.880	19,1	27,0	1.080	138	
F-12.....	0,25	36,0	49	1.960	24,6	34,0	1.360	133	
F-13.....	0,25	23,9	39	1.560	17,5	28,0	1.120	159	

(1) Se considera la capa natural por ser inferior su espesor al doble de la capa crítica.

## CUADRO X, 4.º

Plantas cultivadas en climas secos: (P = máxima) balance del agua.

MUESTRAS	K PARA = 40 cm.	CAPACIDAD PARA EL AGUA			AGUA ESTÁTICA DISPONIBLE			AGUÁ DINÁMI- CA DISPONIBLE Dy (1)	PESO EN TONELADAS DE UNA H. CM. DE TIERRA SECA — gr.
		W %	Por Ha. y cm. M <sup>2</sup> m. <sup>2</sup>	En toda la capa. m. <sup>2</sup>	Agua estática. St %	Por Ha. y cm. S <sup>2</sup> w m. <sup>2</sup>	En toda la capa. m. <sup>2</sup>		
G-3...	0,25	30,2	45	1.800	7,2	11	440	143	
V-4...	0,25	32,4	46	1.840	9,5	13	520	140	
V-5...	0,25	34,6	48	1.920	8,3	12	480	135	
V-6...	0,25	34,0	47	1.880	8,9	12	480	138	
V-7...	0,25	32,6	46	1.840	9,5	13	520	140	
B-8...	0,25	34,5	48	1.920	7,7	11	440	135	
B-9...	0,25	28,5	43	1.720	9,5	14	560	148	
F-10...	0,25	31,0	45	1.800	19,4	29	1.160	143	
F-11...	0,25	33,5	47	1.880	20,4	29	1.160	138	
F-12...	0,25	36,0	49	1.960	25,5	36	1.440	133	
F-13...	0,25	23,9	39	1.560	18,0	29	1.160	159	

(1) Se considera la capa natural por ser inferior su espesor al doble de la capa crítica.

## CUADRO XI

Trigo egipcio. . . . . { Presión de succión = 28 atmósferas.  
 H+ activados = 0,65 K. E. } Balance de cationes (K y Na).

MUESTRAS	m	Nv	K UTILIZABLE POR H. Y COSECHA				Mg UTILIZABLE POR H. Y COSECHA			
			De la so- lución K. E.	Del com- plejo K. E.	T O T A L		De la so- lución K. E.	Del com- plejo K. E.	T O T A L	
					K. E.	Kgs. K <sub>2</sub> O			K. E.	Kgs. Na <sub>2</sub> O
Laguna de la Nava. } V- 4 B- 8	56,0 54,0	1,29 1,20	14,00 5,94	0,09 0,43	14,09 6,37	197,12 58,86	0,28 0,02	197,40 58,88	6,119 1,823	
Becerril..... } B- 9 F-11	59,2 55,2	1,28 1,26	11,25 4,42	0,01 0,02	11,26 4,44	308,43 91,03	0,01 0,13	308,44 91,70	9,561 2,845	
Fuentes de Nava... } F-12 F-13	53,2 63,6	1,28 1,29	2,13 1,27	0,001 0,0005	2,13 1,27	22,88 1,91	0,52 0,01	23,40 1,92	725 59	

$m = Gtr \times \frac{40}{100}$  = peso en centenares de Tm. de la capa de tierra seca considerada.

Nv = suma de los cationes del complejo disponible en K. E. por Ha.

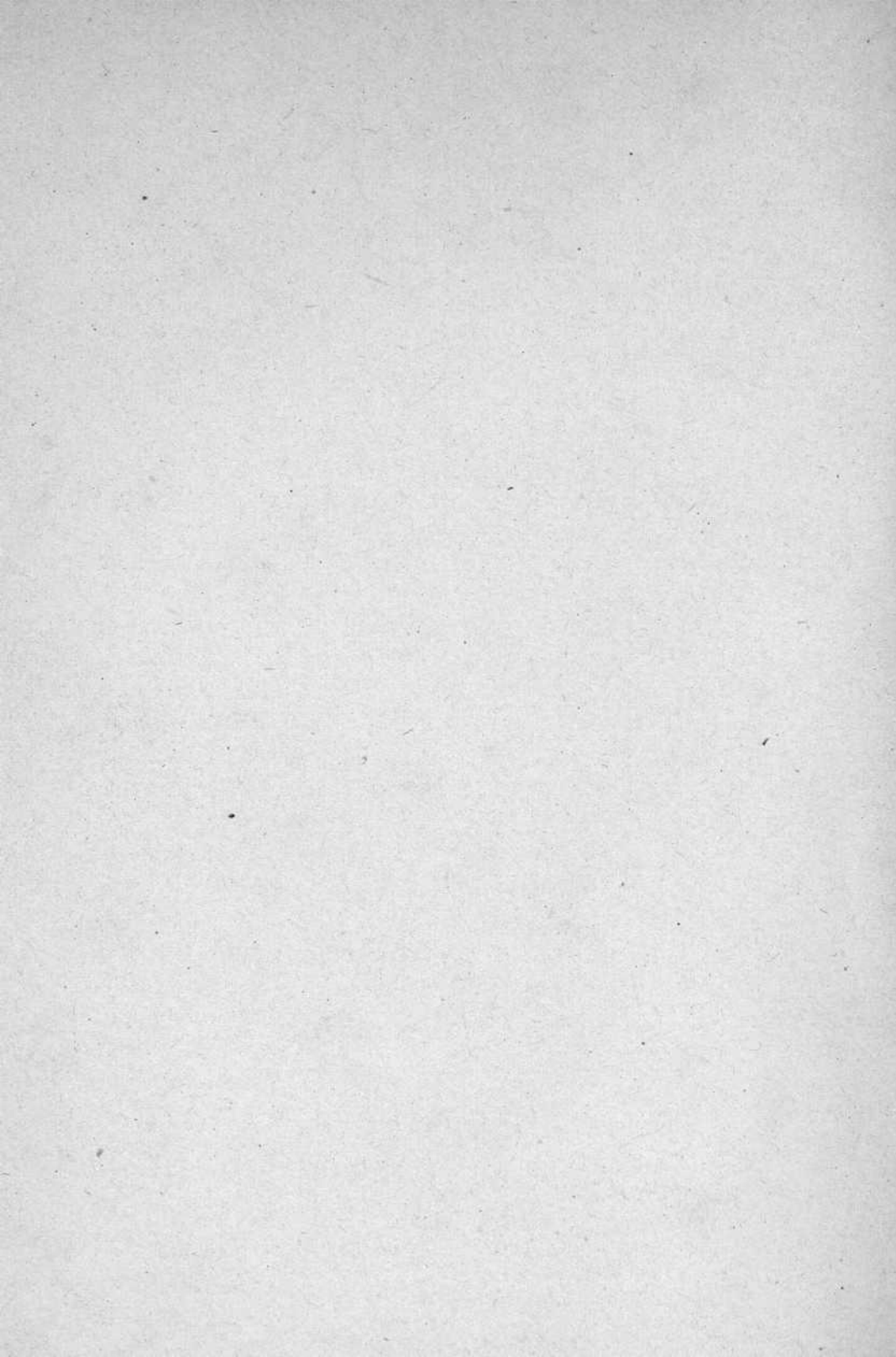
## CUADRO XI (BIS)

Trigo egipcio. } Presión de succión = 28 atmósferas.  
 H+ activados = 0,65 K. E. } Balance de cationes (Ca. y Mg.).

MUESTRAS	m	Nv	Ca UTILIZABLE POR H. Y COSECHA.			Mg UTILIZABLE POR H. Y COSECHA				
			De la so- lución K. E.	Del com- plejo K. E.	T O T A L		De la so- lución K. E.	Del com- plejo K. E.	T O T A L	
					K. E.	Kgs. CaO			K. E.	Kgs. MgO
Laguna de la Nava. } V-4 B-8	56,0	1,29	85,12	0,57	85,69	208,32	0,35	208,67	4,173	
Becerril ..... } B-9	54,0	1,20	42,66	0,57	43,23	50,22	0,27	50,49	1,010	
Fuentes de Nava... } F-11	59,2	1,28	384,80	0,24	385,04	143,86	1,01	144,87	2,897	
F-12	55,2	1,26	73,42	0,37	73,79	1,10	0,76	1,86	37	
F-13	53,2	1,28	53,20	0,26	53,40	0,00	0,51	0,51	10	
	63,6	1,29	25,44	0,88	26,32	0,64	0,39	1,03	21	

$m = \frac{Gr}{100} \times 40$  = peso en centenares de Tm. de la capa de tierra seca considerada.

Nv = suma de los cationes del complejo disponible en K. E. por Ha.





TIPOGRAFIA ARTISTICA  
ÁLAMEDA, 12. - MADRID