

DUPLICADO

9-3

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

REVISTA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

(TERCERA EPOCA)

DIRECTOR AD-HONOREM : ENRIQUE C. CLOS

Tomo XXVII

La Plata, diciembre de 1949

Entrega 1ª

LA VARIABILIDAD DE LA REACCION

DE

UN SUELO EN LA PLATA DURANTE EL SEPTENIO 1940-1946

Y EL PROBLEMA DEL NUMERO DE MUESTRAS ¹

BIBLIOTECA DE LA FACULTAD
de Ciencias Agrarias y Forestales
LA PLATA (PROV. DE BS. AS.) R. ARGENTINA

Por RUBEN H. MOLFINO

COLECCION
DUPLICADO

I. INTRODUCCIÓN

A. *Objeto del trabajo.* — En dos trabajos anteriores (Molfino, 1943 y 1948), se analizó, detalladamente, frente a la reacción del suelo, el rendimiento de un ensayo ecológico de linos oleaginosos. Dicho ensayo, de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, viene siendo conducido anualmente, desde 1938, en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Plata (República Argentina), comenzando en 1940 las determinaciones metódicas de reacción (pH) del suelo donde se cultiva el ensayo.

En el presente trabajo, con el objeto de aprovechar las determinaciones correspondientes a un conjunto ya relativamente numeroso y continuado de años, como lo es el del septenio 1940-1946, y, por consiguiente, de datos, se analizará, minuciosamente, la variabilidad de tal factor en el espacio y en el tiempo de los ensayos; análisis que se extenderá a los factores determinantes de tal variabilidad, haciendo algunas consideraciones agrotécnicas relativas al rendimiento cuantitativo de aquellos ensayos.

Concluirá el trabajo, un estudio estadístico, como el anterior, del problema del número de muestras de suelo, basado, siempre, en las determinaciones y análisis que dieron origen al presente.

¹ Segundo trabajo de adscripción a la Cátedra de Agrología y Complementos de Mineralogía y Geología (Profesor: Ing. Agr. César Ferri), 1947.

² Ingeniero Agrónomo.

BIBLIOTECA de la FACULTAD
DE AGRONOMIA
LA PLATA

B. *Colaboración recibida.* — Tal como se hiciera en este mismo lugar de los trabajos anteriores precitados, es necesario hacer pública la expresión de mi más sincero agradecimiento, a los señores profesores titulares de la Facultad mencionada, Ingenieros Agrónomos Armando L. De Fina y César Ferri, porque, gracias a su tesonera labor y constante generosidad, fué dable tener el privilegio poco frecuente de interpretar estadísticamente un conjunto de datos tan numeroso como variado y metódico en experiencias de esta naturaleza. Como siempre, el primero concedió la utilización del ensayo por él planeado y dirigido, dió los datos de rendimiento y las normas para realizar dicha interpretación. El segundo, tuvo a su cargo las determinaciones sistemáticas de reacción del suelo y la investigación del estado de saturación e insaturación del mismo con bases intercambiables.

Esta mención no sería válida si no se hace extensiva al Jefe de Trabajos Prácticos de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Ingeniero Agrónomo Rafael Castells, quien, con constancia ejemplar, condujo el ensayo durante los nueve años que lleva de duración.

El preparador y operador analítico, señor Carmelo P. Molinari, es también acreedor a nuestra gratitud.

II. REVISTA DE LA BIBLIOGRAFÍA

En la revisión bibliográfica correspondiente a los temas que ahora nos ocupan, se hace necesario distinguir los trabajos relativos a: 1º) estudios sobre variabilidad en suelos y, luego, a su más notable y lógica consecuencia, cual es 2º) el problema del número de muestras.

Respecto del primero, debe hacerse una división en el sentido de diferenciar la «macrovariabilidad», o variación en las unidades categóricas (tipos de suelos), de la «microvariabilidad», o variación en los elementos químicos y humedad del suelo, con su resultante, la fertilidad.

La primera ocurre, generalmente, en grandes extensiones de terreno, mientras que la segunda es propia de pequeñas superficies, como son las de los campos y parcelas experimentales. Siendo de esta última naturaleza el presente trabajo, a ella se referirá en especial la reseña bibliográfica que sigue.

Romero (1945) en una breve monografía sobre el tema genérico de variación en suelos, hace en sucesivos capítulos someras consideraciones de la expresión cuantitativa de la variación del suelo (aplica-

ción del cálculo estadístico), del cómputo de errores y de las indicaciones sobre estudios de variaciones en suelos, capítulo este último de muy plausible inclusión, pues en él se formula un exhaustivo plan de trabajo, digno de ser seguido por los autores que le sucedan. Pero, el más interesante de sus capítulos resulta, sin duda alguna, el que se refiere a la revisión de la bibliografía, bastante completa y que comprende 40 consultas, lo que exime de repetir las aquí, remitiendo, por consiguiente, las citas que de él se tomen, al trabajo original del autor venezolano.

De entre ellas, sólo se destacarán, por su importancia, las contribuciones de Harris, verdadero iniciador de los trabajos de esta naturaleza y cuyo « coeficiente de heterogeneidad » del substrato — bien conocido por todos los fitotecnistas — precisa cabalmente, por medio del cálculo de correlación entre el rendimiento de parcelas adyacentes, esto es, en forma indirecta y global, la irregularidad del suelo usado, supuesto a veces como muy uniforme, en los campos experimentales. Las investigaciones de Harris y sus colaboradores, abarcaron los años 1913 a 1928, fueron realizadas a grandes escalas, para tal época, y aún hoy son citadas como clásicas en obras de mejoramiento de plantas cultivadas como la tan difundida de Hayes e Immer (1943) y, entre nosotros, por Remussi (1937). Consecuencia de los trabajos de Harris, son los de Waynek y colaboradores, quienes, por primera vez, plantean el problema del número de muestras necesarias para obtener cualquier grado de precisión deseado, por medio de métodos estadísticos, para que, así, la toma de muestras de suelo sea verdaderamente representativa de la superficie en estudio; como su predecesor, demuestran que la heterogeneidad del suelo, es la fuente más frecuente de error en los ensayos comparativos de rendimiento. Sin embargo, este último autor, no valora la heterogeneidad por medios indirectos, es decir, por el rendimiento parcelario, sino por determinaciones elementales directamente sobre muestras de suelo (v. g. de nitrógeno y carbono). En tal sentido, sus dos contribuciones son precursoras y de profunda significación en la evolución de la investigación edafológica.

Sobre la variación del factor reacción del suelo en particular y sus causas, en Arena (1934) se encontrará una síntesis de los más conocidos trabajos hasta entonces realizados, referentes a la variación estacional y en el espacio (hasta 0,6 pH en una fracción de suelo, según Arrhenius). El conocimiento de aquélla es muy importante cuando se quiere calcular con precisión las fechas oportunas para la

toma periódica de muestras de un suelo. También se dan interesantes referencias de la influencia del tratamiento previo de la muestra sobre la determinación de tal factor. Swanback y Morgan (1930), no citados en el anterior, estudian dicha variación estacional en suelos tabacaleros, abonados y no, de Windsor (Connecticut, U. S. A.), hallando los siguientes valores extremos: máxima variación en 20 días, + 0,4 pH (mayo) y máxima variación en primavera y verano, - 0,2 pH (diciembre); concluyendo que es el contenido en nitrógeno el factor de la fluctuación. Por otra parte, el tema ha sido aludido pasajeramente o en los capítulos respectivos de los tratados usuales de Demolon, Russell, etc. Jenny (1941) estudia la edad aproximada de las dunas citadas por Salisbury (Gran Bretaña), en función del contenido en carbonato de calcio y de la concentración hidrogeniónica (variación secular).

Como más reciente contribución, Camp *et al.* (1945) estudian la variación de composición del suelo en Florida (U. S. A.), utilizando un monte de naranjos donde el suelo parecía uniforme y tomando muestras a 0,60 m de distancia entre sí. Cinco muestras consecutivas acusaron las siguientes oscilaciones:

Reacción.....	6,8 a 7,9 pH
Calcio asimilable (Morgan)....	621 a 759 lb/acre
Magnesio asimilable (Morgan).	126 a 784 lb/acre
Potasio asimilable (Morgan)...	5 a 38 lb/acre
Manganeso asimilable (Morgan)	2,5 a 6 lb/acre

Concluyen manifestando que, para obtener un tipo medio hace falta mezclar de 15 a 20 muestras de suelo y que para bien conocer la variación estacional en su composición, es necesario tomar, por lo menos, ocho muestras por año. Se hacen también consideraciones acerca del « lavado » de los elementos fertilizantes por la acción de las lluvias.

De la bibliografía rioplatense, sólo se destacan los trabajos de Fischer *et al.* (1937) y De Fina-Sordelli (1943). El primero versa sobre ensayos de avena para forraje verde y fué realizado en La Estanzuela (Colonia, Uruguay) en 1934, sobre un lote de un cuarto de hectárea. Se hicieron 336 pruebas de Comber, para valorar la intensidad de la reacción del suelo del ensayo, representándose su topografía por medio de un original estereograma, que reemplaza con ventaja, como expresión de la heterogeneidad, las cotas de fertilidad, indirectamente expresada por el rendimiento, de otros autores, v. g. Hayes e

Immer (1943). Insinúa, tal como lo afirman estos últimos, la existencia, en la pequeña superficie de un campo experimental, de una «irregularidad regular» en su fertilidad, la cual tiene una tendencia a repetirse en la misma forma de año en año, pasando revista de 28 citas bibliográficas, algunas de evidente conexión con el tema presente. De Fina y Sordelli, analizan un año (1937), meteorológicamente normal, de determinaciones hebdomadarias de un factor físico, la humedad del suelo y subsuelo, en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria (Buenos Aires, República Argentina). Al comentar la desconsoladora escasez de trabajos de esa índole, citan, entre otros 37, uno de Volk (Alabama, U. S. A.), muy interesante por su afinidad con éste y recomiendan a la consideración de las autoridades nacionales la larga serie — nueve años — de determinaciones similares, llevadas en Pico (La Pampa) por Williamson y que consideran la más prolongada y constante del mundo.

Respecto de la representación gráfica de la heterogeneidad del suelo, por medio de planos acotados de campos de cultivo o experimentales, en base a determinaciones físicas y químicas directamente sobre muestras tomadas especialmente, Eden-Maskell, Hossack y Collins-Hodgen, mencionados por Romero (1945), presentan ejemplos de esta clase. El de los primeros, se refiere a las isodinas de resistencia de un suelo a ser arado, el del segundo a superficies con bajo, medio y alto contenido en potasio de un cultivo de caña de azúcar en Hawai, abarcando el de los últimos, además de dicho elemento, magnesio, calcio, fósforo y reacción (pH) del suelo de un campo experimental, con idéntica expresión.

Por último, cabe mencionar la más notable bibliografía en el problema del número de muestras, que tampoco ha sido descuidado por los autores norteamericanos en especial, y que va desde Waynick, precitado, en 1918, hasta Cline en 1944, de sostenida y autorizada dedicación a tal tema, y cuya revisión se encuentra también en Romero (1945). De la misma es muy oportuno destacar la publicación de Robinson y Lloyd, hecha en 1915, sobre el error probable del muestreo en los «Soils Surveys» (reconocimientos edafológicos integrales), quienes concluyen afirmando que, en tales levantamientos, para lograr una precisión del 5% en el análisis mecánico y una probabilidad de 4:1, es necesario, por lo menos, el análisis, por duplicado, de 6 muestras individuales. También es interesante señalar el trabajo de Volk y Peech, realizado en un monte de citros (Florida, U. S. A.), donde analizan la variabilidad de la reacción (pH) y composición química del suelo, en

función de la distancia del punto de toma de la muestra al tronco del árbol y su incidencia sobre la precisión de los resultados.

Burd y Martín (1931), estudiaron en California (U. S. A.), durante 11 años, 30 parcelas sometidas, sistemáticamente, a cultivo continuado y barbecho, considerando su influencia sobre la variación de composición de la fase líquida (solución de suelo) y del rendimiento, arribando a conclusiones que son señeras en tal aspecto de la fertilidad del suelo y nutrición vegetal.

En curso de elaboración del presente trabajo, apareció el artículo de Reed y Rigney (1947), donde se hace un estudio de la toma de muestras en un campo aparentemente uniforme y en otro bastante variable por su aspecto y tipo de suelo (3/4 de acre). La parte medular del trabajo la constituye el aislamiento y medición de: *a*) la variabilidad de las muestras individuales, *b*) la variabilidad de las submuestras de cada muestra individual, y *c*) la variabilidad de las partes alícuotas de las submuestras en el proceso de laboratorio. El estudio se extendió al fósforo soluble, potasio y calcio de cambio, materia orgánica y reacción (pH) de cada unidad; dándose, finalmente, sendas tablas que indican el número de posiciones (muestras individuales) requeridas para conseguir en los resultados límites dados de seguridad para cada una de las propiedades estudiadas, y, respectivamente, el número de submuestras requeridas para distintos límites de seguridad, cuando se toman 10 ó 30 posiciones en el campo a muestrear. El procedimiento estadístico desarrollado, aparece, teóricamente, como sumamente complejo y difícil en su aplicación práctica, concluyendo los autores con la acertada observación de que, *la variación de campo constituye el factor limitante de la precisión analítica — aún cuando se tome un número razonable de muestras —* y de que, *el refinamiento de los métodos de laboratorio es ineficaz, bajo tales condiciones.* La cita bibliográfica comprende 12 autores, destacándose los ya invocados aquí, en especial Cline, que debe ser considerado como el más especializado en tal tema ¹.

¹ Redactado este trabajo, fué dable consultar la edición española del conocido texto de Gain (*Comp. Quím. Agríc. ; Bare., Salvat, 1921*), quien en p. 325 introduce un subcapítulo titulado « Error probable en la toma de muestras para el análisis de los suelos » ; y el artículo del antropólogo Manuila, *Quel est le nombre nécessaire et suffisant d'examen dans les recherches biologiques ? Expériences et calculs. Arch. Suisses Anthrop. Gén., 1946, 46 pp.*

El primero es un buen índice de la importancia que — aunque rudimentaria — ya entonces se daba al tema en libros escolares ; y el segundo lo es de la extensión de este problema a otros campos de la investigación biológica.

III. MÉTODOS DE EXPERIMENTACIÓN

A. *Determinaciones de reacción del suelo* (Cuadro I y figura 1):

1. *Toma de las muestras.* — Se tomó una muestra de suelo en el centro de cada parcela (figura 1), empleándose para ello un cilindro de acero, de 5 cm de diámetro interior, construido en el taller de la Facultad. La fecha y profundidad de toma, y el subperíodo en que se encontraban entonces los linos del ensayo, están reunidos en el Cuadro I, para todos los años (1940-1946) que comprendieron las determinaciones.

2. *Procesos de laboratorio.* — El aparato empleado en la determinación de pH, fué el potenciómetro «Simplex» de Hellige, con una apreciación de 0,1 pH y electrodo de quinhidrona. Las lecturas se hicieron dentro de los 60 segundos de haber introducido el electrodo en una suspensión, cuya relación suelo-agua destilada y tiempo de contacto, también están indicados en el Cuadro I, al igual que la fecha de las determinaciones para todos los años, que fueron realizadas en el Laboratorio de Edafología de la misma Facultad, a cargo del Profesor Ferri.

B. *Investigación del estado de saturación e insaturación del suelo de los ensayos y su contenido en calcio y potasio de cambio* (Cuadro I y figura 1):

1. *Toma de las muestras.* — En la misma forma descripta precedentemente, se tomó una muestra de suelo de los caminos entre parcelas y en los lugares señalados en el plano de la figura 1. Las fechas de toma, que abarcaron los ensayos de los años de 1942 a 1945, van indicadas en el Cuadro I.

2. *Procesos de laboratorio.* — La determinación de los valores globales (S y T) para calcular la fórmula de Hissink (Ve I), se hizo aplicando el método que utiliza la solución normal neutra de acetato de amonio y la de las bases calcio y potasio de cambio según los procedimientos volumétricos clásicos. El tratamiento previo de la muestra está descripto en Molfino (1943) y en el Cuadro I las fechas de las determinaciones respectivas, hechas en el mismo Laboratorio.

C. *Descripción de los ensayos de lino, sobre los cuales se realizaron las experiencias* (figura 1).

La *técnica experimental* (fecha y densidad de siembra, fecha de

CUADRO I

Toma de las muestras de suelo y procesos de laboratorio, correspondientes a los ensayos del septenio 1940-1946

Años	Toma de las muestras de suelo			Determinaciones analíticas				
	Profundidad	Fecha	Subperíodo del lino	Reacción (pH) del suelo			Bases intercambiables	
				Fecha	Rel. suelo : agua	Tiempo contacto	Fecha	Método
1940.....	30 cm	7-28/11/40	Floración- Madurez	12/40	1 : 2,5	24 h	—	—
1941.....	15 cm	2-4/12/41	»	3-5/12/41	»	»	—	—
1942.....	»	1-2/12/42	»	4-5/12/42	»	»	7/12/42-1/43	CH ₃ . COO . NH ₄ N . pH 7
1943.....	»	15-16/11/43	»	17-20/11/43	»	»	21/11-9/12/43	»
1944.....	»	15-16/11/44	»	22-24/11/44	»	»	19/11-15/12/44	»
1945.....	»	13-17/12/45	Madurez- Cosecha	27-29/12/45	»	»	17-29/12/45	»
1946.....	»	25/11-27/12/46	Floración- Madurez	22-23/3/47	»	»	15/3-29/4/47	»

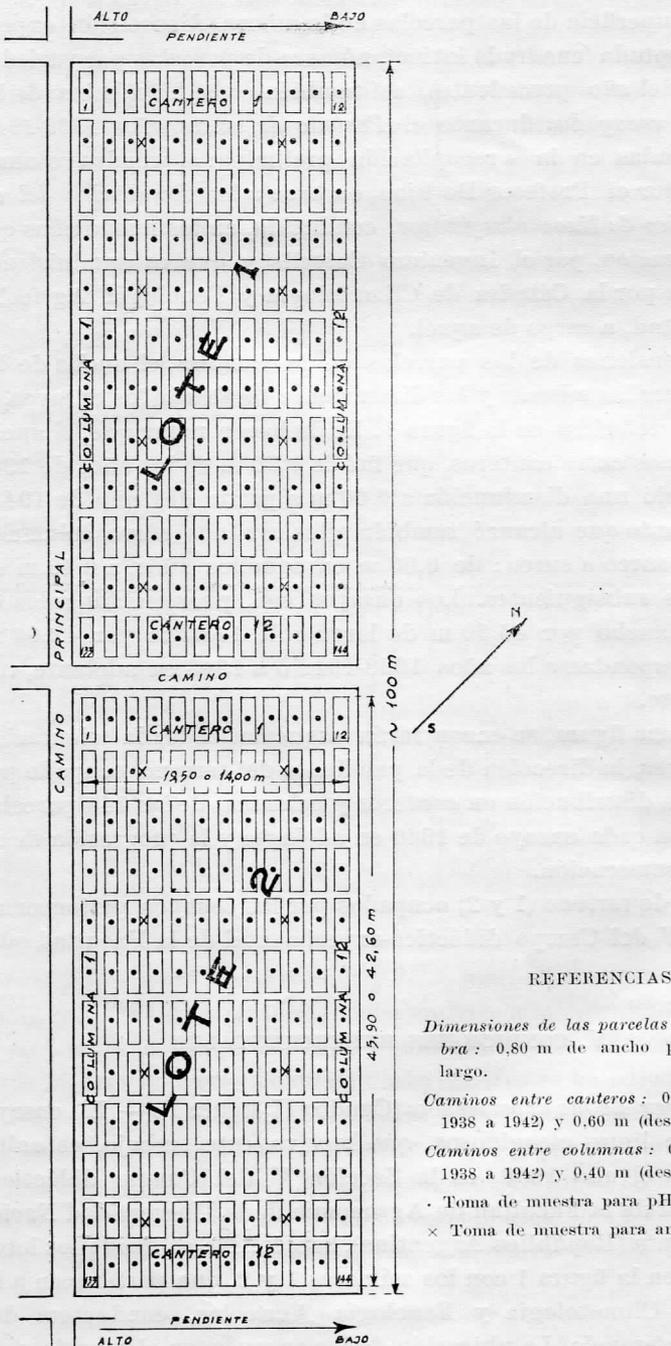


Fig. 1. — Plano que indica la distribución topográfica de las muestras de suelo tomadas

cosecha y superficie de las parcelas en la misma, disposición experimental adoptada (cuadrado latino), número de parcelas por variedad y cultivo del año precedente), así también como la nómina de las *Variedades ensayadas* durante el *Período de nueve años 1938-1946*, están indicadas en la «recopilación preliminar», cuadro-resumen preparado por el Profesor De Fina, en base a los *Resultados del ensayo ecológico de linos oleaginosos*, conducido, en los nueve años que lleva de duración, por el Ingeniero Castells y que es suministrado anualmente por la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad, a cargo de aquél.

Las dimensiones de las parcelas en la siembra, el ancho de los caminos entre las mismas y las dimensiones totales de los ensayos, se encuentran referidas en la figura 1. Es de hacer notar que, el ancho de los caminos entre canteros, que fué de 0,90 m en los años de 1938 a 1942, sufrió una disminución a 0,60 m a partir del año de 1943; estrechamiento que alcanzó también a los caminos entre columnas, medidos de surco a surco: de 0,90 m en aquellos años, a 0,40 m en 1943 y años subsiguientes. Los ensayos son, pues, rectángulos de 19,50 m de ancho por 45,90 m de largo o de 14,00 m por 42,60 m, según correspondan a los años 1938-1942 ó a 1943 en adelante, respectivamente.

En la misma figura, se encontrarán esquematizadas la orientación de los ensayos, la dirección de la pendiente del terreno ocupado por los lotes y la distribución en canteros y columnas de las 144 parcelas que formaron cada ensayo de 1940 en adelante y la progresión de su respectiva numeración.

Los lotes de terreno (1 y 2) ocupados por los ensayos, pertenecen a la Sección V del Campo didáctico-experimental de la Facultad platense.

IV. CONDICIONES EXPERIMENTALES

A. *El lugar de las experiencias* (Cuadro II, figura 1). — El ensayo ecológico de linos oleaginosos, que motiva este trabajo, es cultivado, desde el año 1938, en la Sección V del Campo didáctico-experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Plata (República Argentina), habiéndose utilizado los lotes designados en la figura 1 con los números 1 y 2, que pertenecen a la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, conductora del ensayo de referencia. La ubicación de los ensayos, en el espacio y en

el tiempo, en lotes-series de terreno, va en la cuarta y quinta columnas del Cuadro II. Se designa con el nombre de «serie», el período, de tres años de duración, en que se reitera el cultivo del ensayo sobre cada lote de terreno.

La descripción detallada del lugar — *corografía, datos climáticos, coordenadas geográficas, altura sobre el nivel del mar y duración del día* — se encuentra en nuestro trabajo anterior (Molfino, 1943, Cuadro I).

CUADRO II

Reacción (pH) del suelo, valores V (%), rendimiento (kg/ha), lote-serie de terreno y variedades correspondientes a los ensayos del nonenio 1938-1946

Año	Reacción del suelo pH ¹	Valores V % ²	Rendimiento kg/ha ³	Lote-serie de terreno		Variedades ensayadas todos los años
				Lote	Serie	
1938.....	—	—	1148	1	1 ^a	1 ^a Población Facultad » 2 ^a P. 330 M. A.
1939.....	—	—	1529	»	»	
1940.....	6,15	—	558	»	»	
1941.....	7,10	—	856	2	1 ^a	3 ^a Buck 113
1942.....	6,06	89,00	846	»	»	4 ^a Lineta Buck 114
1943.....	6,85	85,73	1272	»	»	5 ^a Buck 3
1944.....	7,15	90,64	1107	1	2 ^a	6 ^a La Previsión 18
1945.....	6,68	93,26	845	»	»	7 ^a Klein 11
1946.....	6,97	—	212	»	»	

Igualmente, se encuentra en el mismo trabajo (Cuadro II) la *composición física y química del suelo y del subsuelo* del ensayo año 1940 (lote 1), con una interpretación hecha en base a los resultados analíticos de 6 muestras de cada capa analizada, correspondiente a otros tantos lugares de toma. Como en dicho cuadro se ha calculado, para cada uno de los componentes físicos y químicos, y separadamente para suelo y subsuelo, los valores por ciento y por mil, medio, máximo y mínimo, que resumen los seis lugares de toma, se tiene la *medida de la variabilidad* de dichos componentes en el suelo y en el subsuelo del ensayo de tal año, o sea, una *representación cabal* de su

¹ Valores promedios anuales de los 144 datos parcelarios.

² Promedios anuales de las 8 muestras tomadas sobre el ensayo.

³ Promedios de las 7 variedades que se ensayaron todos los años.

heterogeneidad o *irregularidad*. Por otra parte, en el capítulo V. E. de dicho trabajo, se hacen interesantes consideraciones respecto de la *variabilidad en relación a la fertilidad* del suelo del ensayo. Además, en el Gráfico 1, siempre del mismo trabajo, se ha trazado la *curva de titulación* que representa el poder regulador del suelo en cuestión.

En cuanto al *estado de saturación e insaturación* del suelo del ensayo año 1942 y su contenido en las bases *calcio y potasio de cambio*, los resultados analíticos correspondientes a ocho lugares de toma de muestra, constituyen, con sus respectivas medias, el Cuadro I de una contribución posterior a aquélla (Molfino, 1948). El *cultivo del año precedente*, está expresado en la «recopilación preliminar» que se mencionó.

B. *Condiciones meteorológicas*. — La temperatura media (°C) y la lluvia (mm) registradas en el cuatrimestre julio-octubre, son computadas, a partir del año 1938, con sus respectivas medias y sumas. Los datos — que servirán para establecer la correlación con factores edáficos y el rendimiento — fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (Secretaría de Aeronáutica) y corresponden al Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata situado a unos 500 m del lugar de las experiencias.

La duración del día para el día 15 del mes, hállese en Molfino (1943).

V. LA VARIABILIDAD DE LA REACCIÓN DEL SUELO DATOS EXPERIMENTALES E INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA

A. *Frecuencia de los valores parcelarios de pH del suelo* (Figura 2). — Con el objeto de conocer la variabilidad, a través del espacio y del tiempo de los ensayos, del factor reacción del suelo, se construyeron los histogramas contenidos en la figura 2.

Para cada año, de 1940 a 1946, los valores de pH del suelo, correspondientes a cada una de las 144 parcelas que constituyen el ensayo desde aquel año, se agruparon en clases, de una amplitud de dos décimas de pH por clase; haciendo lo mismo con el conjunto de los datos del septenio 1940-1946. La escala de frecuencia se mantuvo constante en los histogramas anuales, amplificándose siete veces en el histograma del septenio, para lograr su exacta comparabilidad con aquéllos.

Facilita la observación e interpretación de los mismos el trazo discontinuo que atraviesa longitudinalmente la figura y que, pasando por el punto teórico de la neutralidad (pH 7,0), la divide en dos zonas: la de acidez y la de alcalinidad. La observación individual y colectiva de los ocho histogramas, puede concretarse así:

1° La mayor variación en un ensayo, ocurrió en el año 1946 (lote 1), de pH 6,0 (reacción medianamente ácida, según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos: Molfino, 1943) a pH 7,9 (reacción suavemente alcalina).

2° En el conjunto de los ensayos del septenio, la reacción del suelo varió de pH 5,4 (fuertemente ácida) a pH 7,9 (suavemente alcalina).

3° Es notable el desplazamiento de las clases de pH de un año a otro, cuyas modas (clase más frecuente) varían según la siguiente tabla:

Clase modal, pH	Año	Lote de terreno
6,0-6,1.....	1940	1
7,0-7,1.....	1941	2
6,4-6,5.....	1942	2
6,6-6,7.....	1943	2
7,2-7,3.....	1944	1
6,8-6,9.....	1945	1
7,0-7-1.....	1946	1

Dicha variación a través de los años, es más notable de 1940, a 1941 y 1942, años donde las clases de pH del suelo se ubican netamente a un lado u otro de la línea que delimita las zonas ácida y alcalina.

4° La curva de frecuencia del septenio acusa una pendiente más suave y de mayor amplitud en la rama ascendente, ubicada en la zona ácida, que la rama descendente, ubicada en la zona alcalina; alcanzando la moda a pH 7,0-7,1 (muy suavemente alcalina). Esto debe interpretarse como una tendencia a variar la reacción del suelo del ensayo, mejor en el sentido de la acidez que en el de la alcalinidad. Dicha curva es la resultante de la suma de todos los datos parcelarios de reacción, registrados durante los años de 1940 a 1946, con un parcial de 144 datos por año, lo que hace un total de 1008 valores presentados; conjunto que da extraordinaria solidez a las conclusiones que de los mismos se obtenga.

La variabilidad espacial (entre las parcelas de un ensayo) e interanual (a través de los años de ensayos), establecida precedentemente,

importa un *fenómeno comúnmente insospechado, no obstante su magnitud, grande para una superficie reducida*, y muy digno de ser conocido y valorado, por su incidencia sobre los resultados de los ensayos cultivados en campos experimentales, como el que nos ocupa.

Se construyeron, además, sendos histogramas agrupando la serie de tres años correspondientes a cada lote y otro con el conjunto de ambos lotes. No habiéndose presentado una sensible variación de lote a lote, se los eliminó de este trabajo, hecho que comprobará posteriormente el análisis de la variancia entre lotes de terreno (Cuadro V a).

B. *Análisis de la variancia de los valores parcelarios de pH del suelo* (Cuadro III). — Los datos parcelarios de reacción (pH) del suelo se tabularon, año por año, por canteros y por columnas, calculando las respectivas sumas y medias y la media general. Por razón de brevedad, no se incluyen aquí los cuadros numéricos correspondientes, encontrándose en la segunda columna del Cuadro II el valor medio de pH para cada uno de los ensayos.

Sobre las determinaciones de pH del suelo, así tabuladas, se practicó el análisis de la variancia siguiendo siempre a Remussi (1937), salvo en la forma de establecer el « error experimental », pues se trabajó con los grados de libertad del « remainder » (Hayes e Immer, 1943 : 384 y 394).

En el Cuadro III se ha tabulado un resumen de los cálculos necesarios para el análisis de la variancia de los valores parcelarios de pH del suelo, pertenecientes a los ensayos de los años de 1940 a 1946. Los valores de F que son necesarios para alcanzar la significancia que se indica al pie del cuadro, fueron obtenidos de la tabla de Snedecor, contenida en la publicación de Remussi antes citada.

Del análisis practicado resulta que, los « canteros », como fuente de variación, han sido *altamente significativos casi todos los años y lotes* ; no así las « columnas », que sólo fueron *altamente significativas*, como fuente de variación, en la serie de años correspondientes al *lote 1*, siendo *no significativas* en la serie del *lote 2*. En consecuencia, el lote 1 de terreno, presenta *heterogeneidad*, entre los « canteros » y entre las « columnas » ; mientras que el lote 2, adyacente a aquél, es sólo *heterogéneo* entre los « canteros », siempre hablando respecto del factor reacción del suelo.

CUADRO III

Resumen del análisis de la variancia para los valores parcelarios de pH correspondientes a los ensayos de los años de 1940 a 1946

Fuente de variación	Grados de libertad	Años	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valores de F	Significancia ¹	Lote de terreno
Total	143	1940	12,74	0,0891	—	—	1 ⁴
		1941	6,52	0,0456	—	—	
		1942	21,24	0,1485	—	—	2
		1943	8,60	0,0601	—	—	
		1944	18,76	0,1312	—	—	
		1945	19,37	0,1355	—	—	1
		1946	18,38	0,1285	—	—	
Entre medias de canteros	11	1940	4,18	0,3800	8,5393	Alt. significativo	1
		1941	0,79	0,0718	1,6355	No significativo ³	
		1942	5,01	0,4555	3,6557	Alt. significativo	2
		1943	1,44	0,1309	2,4241	Alt. significativo	
		1944	8,13	0,7391	16,4244	Alt. significativo	
		1945	3,93	0,3573	5,7722	Alt. significativo	1
		1946	1,16	0,1055	2,2985	significativo	
Entre medias de columnas	11	1940	3,18	0,2891	6,4966	Alt. significativo	1
		1941	0,42	0,0382	0,8702	No significativo ²	
		1942	1,15	0,1045	0,8387	No significativo ²	2
		1943	0,63	0,0573	1,0611	No significativo	
		1944	5,18	0,4709	10,4646	Alt. significativo	
		1945	7,95	0,7227	11,6753	Alt. significativo	1
		1946	11,67	1,0609	23,1133	Alt. significativo	
«Remainder» o resto	121	1940	5,38	0,0445	—	—	1
		1941	5,31	0,0439	—	—	
		1942	15,08	0,1246	—	—	2
		1943	6,53	0,0540	—	—	
		1944	5,45	0,0450	—	—	
		1945	7,49	0,0619	—	—	1
		1946	5,55	0,0459	—	—	

¹ « Altamente significativo »: F necesita 2,33 (99 %); « Significativo »: F necesita 1,83 (95 %); para 12 y 125 grados de libertad.

² F necesita para ∞ y 11 grados de libertad, 3,60 (99 %): « Altamente significativo » y 2,40 (95 %): « Significativo ».

³ Prácticamente, « casi » significativo (95 %).

⁴ Último año, de la serie de tres, comenzada en 1938, sobre el Lote 1.

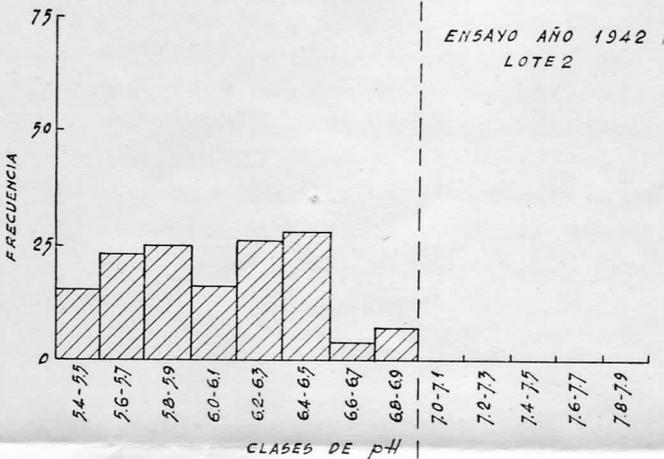
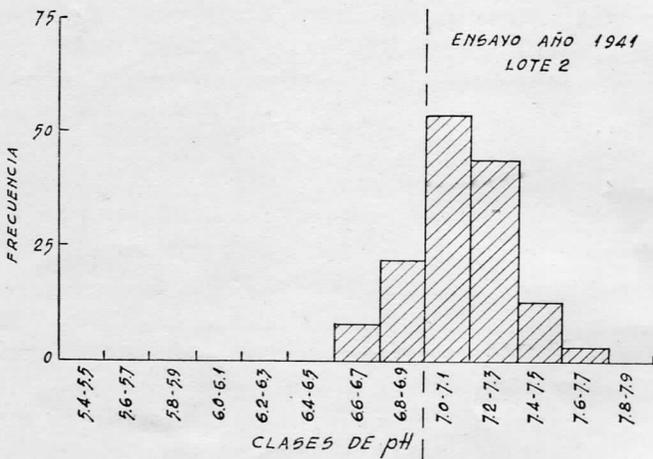
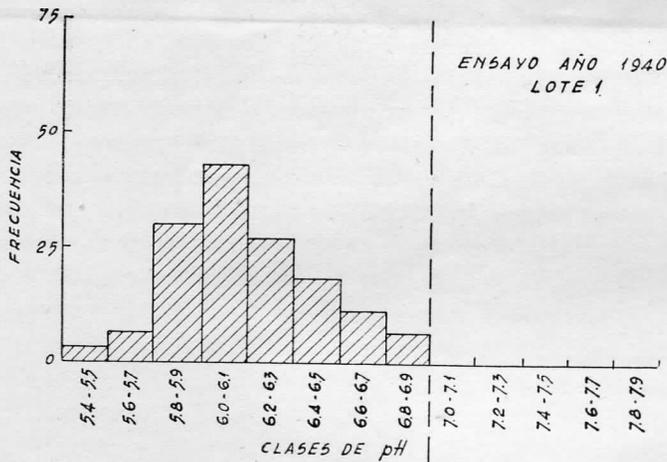
C. *Análisis de la variancia del grado de saturación (valores V%) del suelo de los ensayos* (Cuadro IV). — Habiéndose considerado de interés hacer extensivo el análisis de la variancia, a los *elementos potenciales que regulan la acidez* del suelo, se tabularon las determinaciones analíticas de los valores S, T y T-S, que expresan, globalmente las bases de cambio, la máxima capacidad adsorbente y la deficiencia de saturación o hidrógeno de cambio, respectivamente; y que sirven para calcular la conocida fórmula de Hissink, que da, en por ciento, el *valor V (grado de saturación)* y el *valor I (grado de insaturación)*. Se determinaron, además, las bases calcio y potasio de cambio, expresándose todos los resultados en miliequivalentes. Los cuadros numéricos respectivos, que abarcan los ensayos de los años 1942 a 1945, no se incluyen en este trabajo, por razones de brevedad.

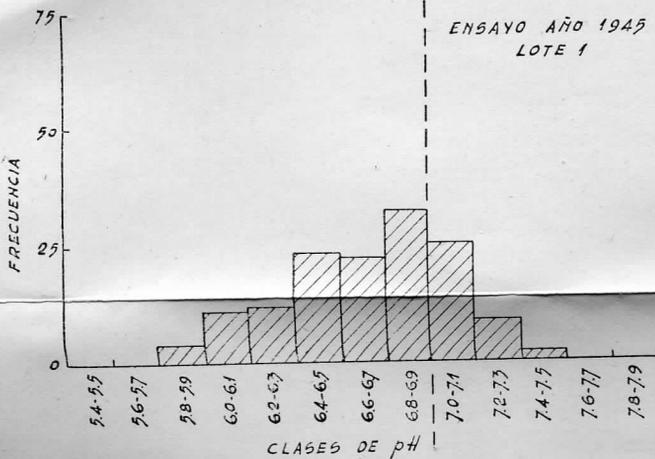
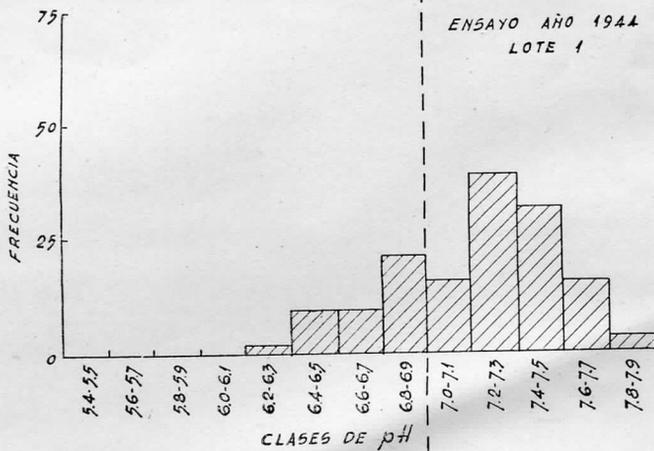
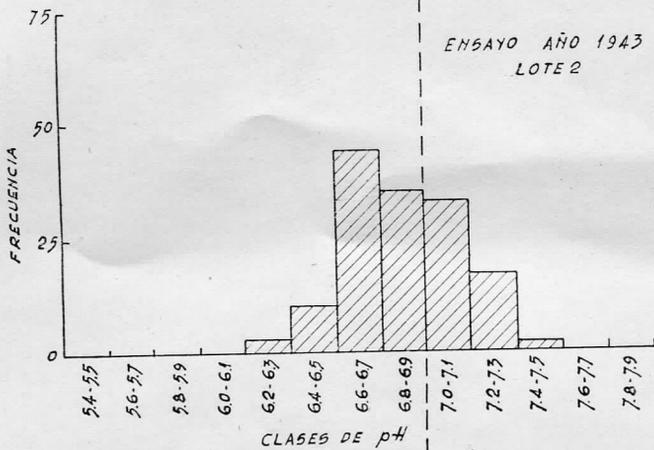
CUADRO IV

Resumen del análisis de la variancia para los valores V (%) correspondientes a los ensayos de los años 1942 a 1945

Fuente de variación	Grados de libertad	Años	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valores de F	Significancia ¹	Lote de terreno
Total	7	1942	72,5104	10,3586	—	—	1
		1943	425,1113	60,7302	—	—	
		1944	150,4173	21,4882	—	—	
		1945	219,8811	31,4116	—	—	
En el sentido de los canteros	3	1942	51,8324	17,2775	2,5851	No significativo	2
		1943	184,3025	61,4342	0,7816	No significativo	
		1944	48,5120	16,1707	0,4777	No significativo	1
		1945	27,1586	9,0527	0,1520	No significativo	
En el sentido de las columnas	1	1942	0,6272	0,6272	0,0938	No significativo	2
		1943	4,9928	4,9928	0,0635	No significativo	
		1944	0,3570	0,3570	0,0105	No significativo	1
		1945	14,0980	14,0980	0,2368	No significativo	
« Remainder » o resto	3	1942	20,0508	6,6836	—	—	2
		1943	235,8160	78,6053	—	—	
		1944	101,5483	33,8494	—	—	1
		1945	178,6245	59,5415	—	—	

¹ F necesita, para 3 y 3 grados de libertad, 29,46 (99%) y 9,28 (95%); para 3 y 1 grados de libertad, 5403,49 (99%) y 215,72 (95%).





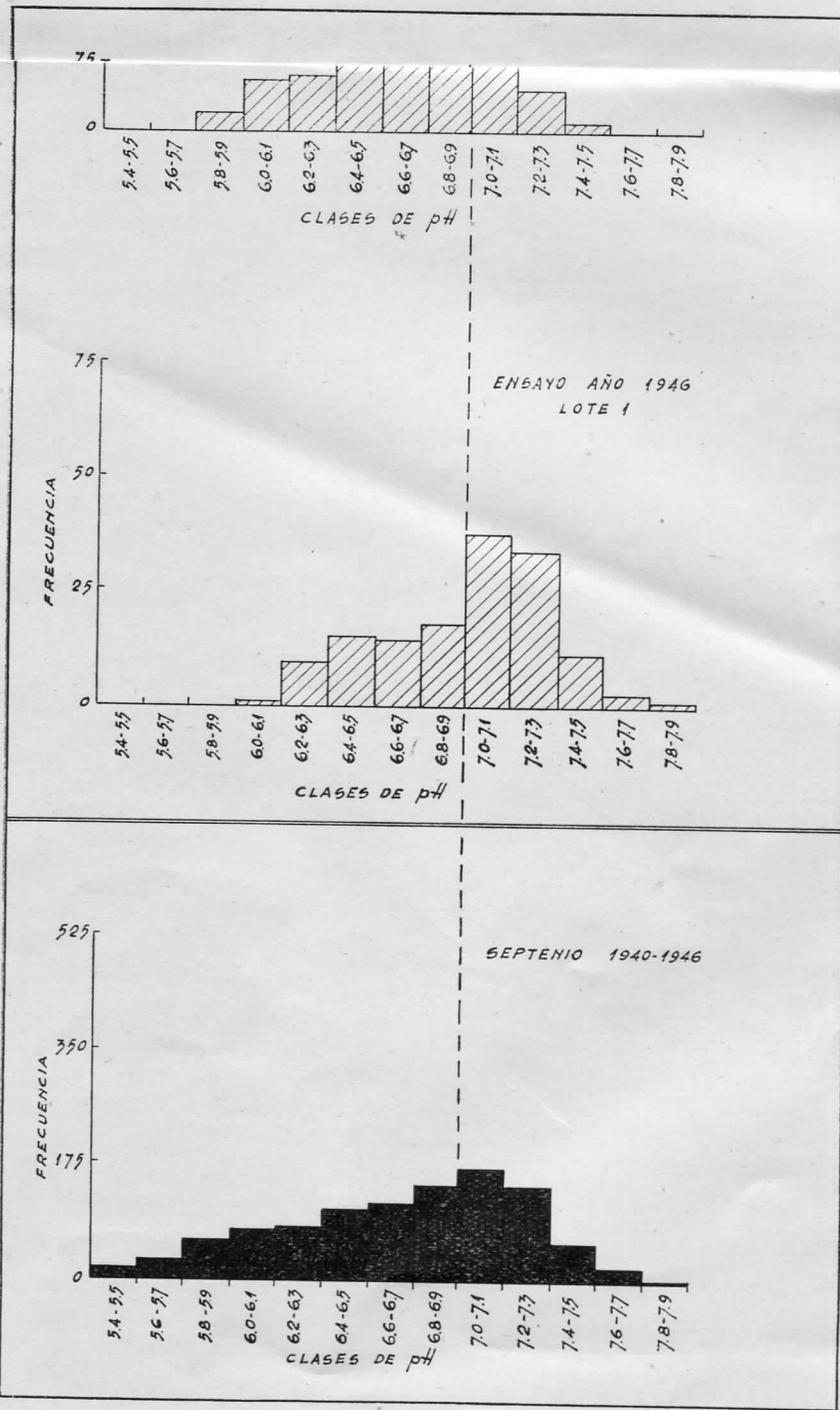


Fig. 2. — Frecuencia de los valores parcelarios de pH. Histogramas correspondientes a los ensayos de los años 1940 a 1946 y al conjunto del septenio 1940-1946

De las determinaciones y valores registrados, se estimaron como los más representativos del estado de saturación e insaturación del complejo adsorbente del suelo de las experiencias, a los valores V (%), aplicándoseles, por lo tanto, el análisis de la variancia. Dichos valores, en número de ocho por año, correspondientes a otras tantas muestras, se tabularon, año por año, de acuerdo con la ubicación del lugar de toma de las ocho muestras en el suelo de los ensayos (figura 1), en el sentido de los « canteros » y en el sentido de las « columnas », calculándose las sumas y las medias para ambos sentidos y la media general. Tampoco se incluyen los cuadros pertinentes, que, abarcando los años de 1942 a 1945, comprenden por lo tanto un total de 32 valores analizados.

Las operaciones efectuadas para el cálculo de la variancia, siguiendo el procedimiento anterior, se encuentran resumidas en el Cuadro IV, donde se comprueba que, la *variación del grado de saturación del suelo, no ha sido significativa*, tanto en el sentido de los « canteros », como en el de las « columnas » del ensayo de todos los años analizados. Por consiguiente, para tal factor y en los sentidos establecidos como fuente de variación (« canteros y columnas »), los lotes no mostraron una variación definida.

VI. LA VARIACIÓN DE LA REACCIÓN DEL SUELO Y DEL RENDIMIENTO DE LOS LINOS SEGÚN LA REPETICIÓN DEL CULTIVO Y LOS LOTES DE TERRENO OCUPADOS POR LOS ENSAYOS

A. *Análisis de la variancia de la reacción del suelo entre años de repetición del cultivo y lotes de terreno* (Cuadro V a). — Determinada la variabilidad de la reacción del suelo en el espacio del ensayo de cada año, corresponde hacer ahora el análisis de la variancia considerando como fuentes de variación los años de repetición del cultivo y los lotes de terreno ocupados por los ensayos.

Para ello, se tabularon los valores de pH del suelo en la forma indicada por el Cuadro V a. Cada valor de pH es el promedio anual de los 144 datos parcelarios de reacción. El año de 1940, que marca el comienzo de tales determinaciones, no se incluyó en el cuadro, por ser el último y único de la serie de tres, comenzada con los ensayos en 1938, sobre el lote 1.

De los resultados obtenidos con el cálculo de la variancia, resumido en el mismo cuadro, se desprende que es no significativa la

influencia de la repetición del cultivo y la de los lotes de terreno cultivados, lo que importa una conclusión sumamente interesante, en el sentido de que *la repetición del cultivo y el lote de terreno ocupado por los ensayos — en las condiciones de nuestra experiencia — no tuvieron una influencia significativa sobre la determinación de la variabilidad interanual del factor reacción del suelo*, tal como se anticipara al finalizar el comentario de los histogramas de frecuencia. En el capítulo VII se hará el análisis de los factores causales de tal variación.

CUADRO V a

Resumen del análisis de la variancia entre años de repetición del cultivo y entre lotes-series de terreno; para (a) pH del suelo y (b) rendimiento

a. pH del suelo (valores promedios anuales)

Años de repetición del cultivo	Lote de terreno		Sumas	Medias
	1	2		
Primer año de lino (1944 y 1941)...	7,15	7,10	14,25	7,13
Segundo año de lino (1945 y 1942)...	6,68	6,06	12,74	6,37
Tercer año de lino (1946 y 1943)...	6,97	6,85	13,82	6,91
Sumas	20,80	20,01	40,81	
Medias	6,93	6,67		6,80

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valores de F	Significancia
Total	5	0,8059	0,1612	—	—
Entre medias de años.	2	0,6053	0,3027	6,2671	No significativo ¹
Entre medias de lotes.	1	0,1040	0,1040	2,1532	No significativo ²
« Remainder »	2	0,0966	0,0483	—	—

B. *Análisis de la variancia del rendimiento de los linos entre años de repetición del cultivo y lotes de terreno* (Cuadro V b). — Con idéntico objeto y proceder, se tabularon en el Cuadro V b los rendi-

¹ F necesita, para 2 y 2 grados de libertad, 99,01 (99 %) y 19,00 (95 %).

² F necesita, para 1 y 2 grados de libertad, 98,49 (99 %) y 18,51 (95 %).

mientos de granos de las siete variedades que se ensayaron todos los años, desde el comienzo de los ensayos en 1938, a 1946. Cada valor de rendimiento es, pues, el promedio anual de los 84 datos parcelarios correspondientes a esas variedades, expresado en kilogramos de granos por hectárea. Se computaron solamente esos siete lino oleaginosos, para eliminar el factor varietal como causa probable de variación en el rendimiento, quedando, así, todos los valores analizados en estricta igualdad de condiciones, en tal sentido. En la última columna del Cuadro II se encuentra la nómina respectiva.

CUADRO V b

b. Rendimiento en kg/ha (promedios anuales de las 7 variedades que se ensayaron todos los años)

Años de repetición del cultivo	Lote-serie de terreno			Sumas	Medias
	1 (1ª serie)	2 (1ª serie)	1 (2ª serie)		
Primer año de lino (1938, 1941 y 1944).....	1148	856	1107	3111	1037
Segundo año de lino (1939, 1942 y 1945).....	1529	846	845	3220	1073
Tercer año de lino (1940, 1943 y 1946).....	558	1272	212	2042	681
Sumas.....	3235	2974	2164	8273	
Medias.....	1078	991	721		930

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valores de F	Significancia ¹
Total.....	8	1.228.282	153.535	—	—
Entre medias de años.	2	282.481	141.241	0,7657	No significativo
Entre medias de lotes-series.....	2	207.918	103.959	0,5636	No significativo
« Remainder ».....	4	737.883	184.471	—	—

El análisis de la variancia, así dispuesto (Cuadro V b) arrojó un resultado *no significativo* para ambas fuentes de variación, lo cual equivale a afirmar que — siempre dentro de las condiciones de nues-

¹ F necesita, para 4 y 2 grados de libertad, 99,25 (99 %) y 19,25 (95 %).

tra experiencia — *los años de repetición del cultivo* y *los lotes de terreno* sobre los cuales se han cultivado los ensayos, *no ejercieron influencia significativa sobre la determinación del rendimiento de granos de los linos ensayados*. Entiéndese por «lote», el terreno en que se reitera el cultivo del ensayo durante tres años. El procedimiento seguido en el cálculo de la variancia, así también como el origen de los límites de seguridad aplicados, es el mismo empleado en los análisis precedentes. Las operaciones realizadas se han resumido, en igual forma, en el mismo cuadro.

En consecuencia, *ni la repetición*, hasta de tres años sobre un mismo lote, *ni el traslado* del cultivo a un lote de terreno vecino, *han tenido influencia significativa sobre el rendimiento cuantitativo de los linos* objeto de ensayo durante los años 1938 a 1946. La traslación del cultivo de lote a lote, se hizo cada tres años, habiendo quedado el lote momentáneamente no ocupado durante ese período, en barbecho o con cereales de invierno, según se indica en el renglón «cultivo del año precedente» de la *Recopilación preliminar* ya mentada.

La «repetibilidad» y el «cansancio» de las tierras para el lino, son dos aspectos frecuentemente señalados por la bibliografía agronómica como integrantes del complejo problema de orden fitopatológico cultural que plantea el cultivo repetido de esta oleaginosa; a este respecto las siete variedades estudiadas se comportaron muy satisfactoriamente.

C. *La variación del grado medio de saturación del suelo entre años de repetición del cultivo y lotes de terreno* (Cuadro II). — Con el mismo criterio sustentado para la aplicación del análisis de la variancia a los valores medios anuales de reacción y de rendimiento, se quiso llevar ese procedimiento al análisis del grado medio de saturación del suelo de los ensayos, a través de los años y de los lotes.

Al no poderse disponer los valores V , promedios anuales de ocho lugares del ensayo, en la forma expuesta para los casos anteriores, por cuanto, comenzando la investigación de este factor en el año de 1942, no se pudo formar una serie completa de años con tal valor, fué inadaptable el análisis de la variancia.

No obstante ello, se juzga de interés dar a conocer un breve comentario sobre la variación del estado de saturación del suelo de los ensayos, a través de los años de repetición del cultivo y de los lotes de terreno, teniendo a la vista los valores V (%) medios, contenidos en la tercera columna del ya citado Cuadro II.

El grado medio de saturación, de un valor V de 89 % en el año 1942 (segundo año de lino sobre el lote 2) disminuyó algo en 1943 (86 %, tercer año sobre el mismo lote), mientras que, de el primer año (1944) al segundo (1945) sobre el lote 1, tendió a aumentar de 91 % a 93 %, aproximadamente. En suma, no se observa, aparentemente, una variación significativa entre los valores V (%) medios, indicando, en conjunto, un grado medio de saturación relativamente alto para el suelo de los ensayos de 1942 a 1945, estando ello en correspondencia con las características físico-químicas del suelo en cuestión (Molfino, 1943 y 1948).

VII. LA REACCIÓN DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO DEL LINO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA Y DE LA LLUVIA

A. *La reacción (pH) del suelo* (Figura 3). — El análisis de la variancia practicado en el capítulo anterior, demostró que los factores de origen edáfico y agrotécnico allí analizados (años de repetición del cultivo y lotes de terrenos cultivados) no ejercieron una acción significativa sobre la determinación de los valores medios anuales de pH del suelo y de rendimiento (kg/ha) del lino. Además, la variabilidad de los elementos potenciales que regulan la acidez (valores V) no fué significativa al análisis de los valores individuales y tampoco, aparentemente, al de los valores medios, por lo que se buscó una expresión de los mismos en función de factores de origen meteórico.

Para ello, se tabularon las observaciones meteorológicas mensuales registradas durante la evolución completa (julio-diciembre) de los ensayos de los años de 1938 a 1946, siguiendo la disposición adoptada en nuestros trabajos anteriores (Molfino, 1943 y 1948: Cuadro III y Cuadro II), calculando las respectivas sumas y medias de tal semestre, para cada uno de los años de ensayo.

Con los valores meteorológicos así calculados, se construyeron diagramas de puntos, tomando como coordenadas los siguientes factores que se combinaron dos a dos: temperatura media, lluvia, temperatura máxima media, humedad relativa media, días con precipitación observada, producto de milímetros de lluvia por días con precipitación observada, cociente de los mismos, cuadrado de los milímetros de lluvia y logaritmo de los mismos; anotando al lado de cada punto resultante de la intersección de las coordenadas respectivas, el co-

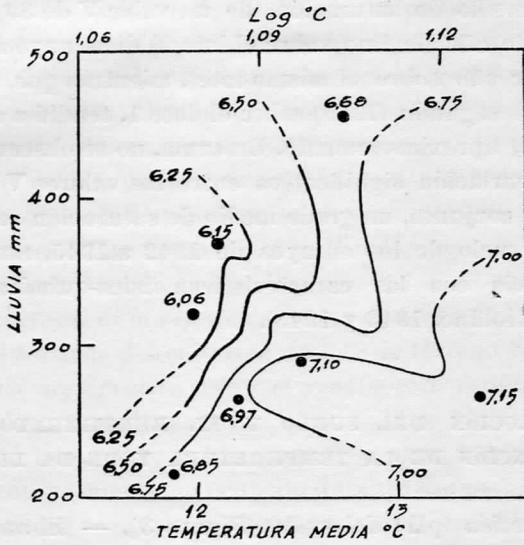


Fig. 3. — La reacción (pH) del suelo (valor promedio anual) en función de la temperatura media y lluvia del cuatrimestre julio-octubre. Valores de los siete años 1940-1946.

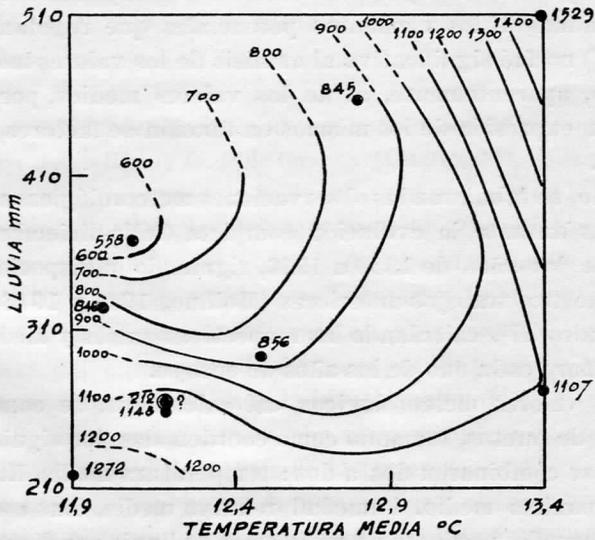


Fig. 4. — El rendimiento (kg/ha) en función de la temperatura media y lluvia del cuatrimestre julio-octubre. Valores de los nueve años 1933-1946; los rendimientos son promedios anuales de las siete variedades que se ensayaron todos los años.

respondiente valor de pH medio anual, con el objeto de trazar las líneas isopletras a él referentes. Al mismo tiempo, se probó construir tales diagramas, usando en lugar de los valores meteorológicos medios del semestre, los pertinentes al cuatrimestre julio-octubre de los mismos años, y, en un caso, los del mes de octubre solamente, trazando siempre las isopletras de pH.

Del examen detenido de todos los diagramas construídos, resultó como la de mayor significado, la representación gráfica *de la reacción del suelo en función de la temperatura media y lluvia del cuatrimestre julio-octubre* en el septenio 1940-1946, es decir, de los años con determinaciones de pH. Posteriormente, se mejoró dicha representación, utilizando una escala logarítmica para la temperatura.

El diagrama resultante, con las isopletras de la reacción del suelo del ensayo, constituye la figura 3. Cuando el trazo de la línea en la figura es discontinuo, se indica con ello que el recorrido debe entenderse sólo como probable. Los valores mensuales de temperatura media ($^{\circ}\text{C}$) y de lluvia (mm), corresponden al Observatorio de La Plata y provienen de las planillas tridiurnas del Archivo del Servicio Meteorológico Nacional, corregidas a 24 horas aquéllas.

Observando el trazado de las líneas isopletras de reacción del suelo, se nota la presencia de una « pendiente » cuyo ascenso se produce de la línea de pH 6,25 a la de pH 7,00, con una orientación diagonal; estableciéndose la conclusión de que *los valores alcalinos de pH tienden a ocurrir bajo condiciones de tiempo cálido y seco*, mientras que *los ácidos en tiempo frío y lluvioso*.

En consecuencia, *la variación de pH* observada de año a año, *estuvo determinada*, principalmente, *por los factores meteóricos* analizados.

En el próximo capítulo se medirá la correlación existente entre esos factores y la reacción, y la dependencia de ésta del grado de saturación del suelo.

B. *El rendimiento (kg/ha) del lino* (figura 4). — Siguiendo el mismo procedimiento, en el cálculo y en la representación gráfica, que para el caso anterior, se trazaron finalmente en la figura 4 las isopletras del rendimiento del lino, expresado en kilogramos por hectárea, en función de los mismos factores, temperatura media ($^{\circ}\text{C}$) y lluvia (mm) del cuatrimestre julio-octubre, desde la iniciación de los ensayos en 1938, a 1946. Los valores de rendimiento son promedios

anuales de las siete variedades que se ensayaron todos los años (Cuadro II), operación hecha con el objeto de eliminar el factor varietal como probable causa de variación en el rendimiento. Se utilizaron, tanto para la temperatura como para la lluvia, escalas de números naturales.

Las isopletras del rendimiento muestran un « anfiteatro » de suave ascensión y de definida orientación en sentido diagonal. Del trazado respectivo, que abarca las isopletras de 600 a 1.400 kg/ha, surge la tendencia del *rendimiento de dar sus valores más bajos con tiempo frío y lluvioso y de acrecentarlos con cualquier otra combinación de condiciones térmicas y pluviométricas.*

C. *El rendimiento excepcionalmente bajo del ensayo año 1946* (figura 7). — Hace una notoria excepción, por lo bajo, a la conclusión establecida precedentemente, el rendimiento medio correspondiente al ensayo del año de 1946: 212 kg/ha, señalado en la figura 4 con un círculo que rodea al punto respectivo y un signo de interrogación.

La explicación de este hecho, extraordinario en la marcha de los ensayos conducidos en los nueve años, debe hallarse, esta vez, entre los *factores bióticos*. En efecto, Castells (1946) asienta en el registro de campo las siguientes observaciones, que se toman textualmente:

« Debido al estado deficiente del ensayo, pues éste resultó sumamente ralo e invadido por las malezas, este año, la cosecha se efectuó sobre la totalidad de la parcela sembrada, es decir, sin eliminar las borduras ni las cabeceras. Además, el corte no se hizo a ras del suelo sino a la altura que lo permitía el colchón de malezas. El corte no se hizo con hoz sino con tijera de podar para facilitar la cosecha de las escasas bolillas ».

« El ensayo de este año (1946) se caracterizó por la gran invasión de malezas. Si bien se notó la presencia de las malezas comunes en otros años (enredadera, sanguinaria, manzanilla, etc.), en el presente llamó la atención la gran abundancia de *Medicago lupulina* y de *Melilotus indicus*, la primera más que la segunda ».

Las malezas mencionadas pertenecen a las siguientes especies: *Convolvulus arvensis* Linn., la « enredadera »; *Polygonum aviculare* Linn., la « sanguinaria » y *Matricaria Chamomilla* Linn., la « manzanilla »; *Medicago lupulina* Linn., se designa vulgarmente en la región con el mismo nombre específico y *Melilotus indicus* (Linn.) All. es el « trébol de olor amarillo ».

Las dos últimas especies, evidentemente causantes del escaso rendimiento, son bien conocidas por sus preferencias de suelos con valores de pH alcalinos, estando clasificadas, por sus tolerancias edáficas, entre el grupo de las especies *calcifilas*, pudiendo muy bien haber sido movilizado el calcio de la « conchilla » notoria en los caminos que bordean el ensayo.

Parece confirmar tal interpretación, el hecho de que los resultados analíticos correspondientes a las muestras de suelo de tal año — aún no comunicados —, acusan valores de *calcio* fácilmente soluble, sumamente altos, en relación con los ya registrados para los años anteriores. Por otra parte, el ensayo de 1946 tuvo una primavera lluviosa, que debe haber creado un ambiente de humedad propicio para el desarrollo de las malezas, además de su natural contribución en la solubilización de los elementos del suelo.

En *conclusión*, como lo esquematiza la pirámide de la figura 7, el rendimiento cuantitativo del lino oleaginoso, puede representarse como un punto de triple convergencia, sobre el cual inciden tres grupos de factores agroecológicos: 1°) los factores meteóricos, que a su vez inciden directamente sobre los edáficos y los bióticos; 2°) los factores edáficos, que asimismo influyen a los bióticos, siendo estos últimos los (3°) que actúan sobre el rendimiento.

El rendimiento es, pues, la resultante de los tres factores agroecológicos: meteóricos, edáficos y bióticos y de sus interacciones, destacándose, no obstante, por su predominio, los factores meteóricos.

VIII. CORRELACIÓN ENTRE LOS FACTORES METEÓRICOS ANALIZADOS Y LA REACCIÓN DEL SUELO

A. *Correlación entre temperatura media y pH del suelo* (Cuadro VI y figura 5). — Expresada la reacción del suelo en función de la temperatura media y lluvia del cuatrimestre julio-octubre, hace falta ahora medir la relación de dependencia existente entre esos factores, con el objeto de establecer precisamente su grado de significación.

El diagrama de puntos de la figura 5 ilustra respecto de esa correlación, que es positiva y bien definida. Cada valor de pH es el promedio de las doce parcelas de cada columna del ensayo en cada uno de los siete años 1940-1946. Previamente, se habían construido diagramas utilizando los promedios de pH por canteros y también por ensayo anual, resultando la adoptada, la representación más eficaz.

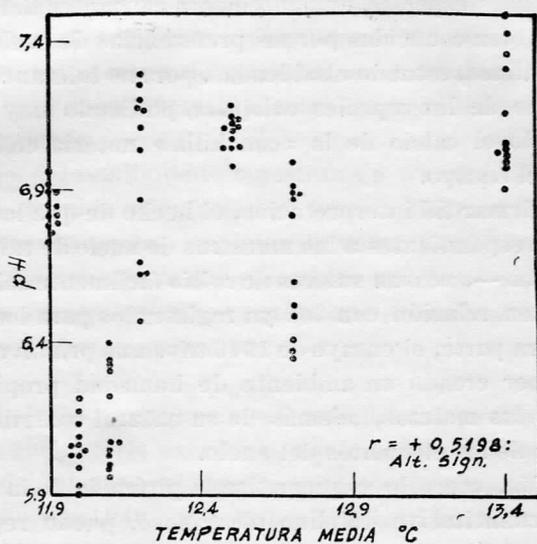


Fig. 5. — Correlación entre la temperatura media del cuatrimestre julio-octubre y el pH del suelo. Cada valor de pH es el promedio de las 12 parcelas de cada columna del ensayo en los años de 1940 a 1946.

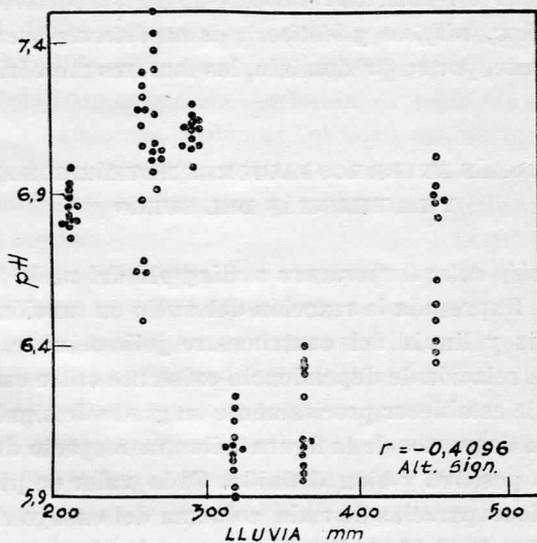


Fig. 6. — Correlación entre la lluvia del cuatrimestre julio-octubre y el pH del suelo. Cada valor de pH es el promedio de las 12 parcelas de cada columna del ensayo en los años de 1940 a 1946.

Aplicado el cálculo estadístico de correlación (De Fina, 1933) resultó un *coeficiente de correlación total positivo (+ 0,5198) y altamente significativo*, para los 84 pares de observaciones y un nivel de seguridad de 99 % (Fisher, 1936 : Tabla V a).

Posteriormente, es decir, una vez calculados los coeficientes de correlación total entre lluvia y pH, y entre temperatura y lluvia, en poder de los coeficientes de las tres combinaciones binarias posibles entre los factores en juego, se calculó el *coeficiente de correlación parcial entre temperatura media y pH del suelo, a constancia de lluvia, resultando positivo (+ 0,6426) y altamente significativo* y habiendo aumentado sensiblemente su valor absoluto con respecto al coeficiente de correlación total correspondiente.

En el Cuadro VI se encuentran resumidos todos los cálculos efectuados y tabulados los respectivos coeficientes de correlación, habiéndose operado, en la parcial, con arreglo a la fórmula general donde la letra a la derecha del punto indica el factor que se mantiene constante :

$$rab. c = \frac{rab - (rca. rcb)}{\sqrt{(1 - rca^2) \cdot (1 - rcb^2)}}$$

B. *Correlación entre lluvia y pH del suelo* (Cuadro VI y figura 6). — Con los valores medios de lluvia del cuatrimestre julio-octubre de los siete años de 1940-1946 y los valores de pH del suelo promedios de las 12 parcelas de cada columna del ensayo en dichos años, se preparó el diagrama de puntos de la figura 6, que también indica una correlación bien definida pero negativa.

Con el mismo número de pares de observaciones (84) y el mismo nivel de seguridad (99 %), el cálculo del coeficiente de correlación total resultó (— 0,4096) negativo e, igualmente, altamente significativo.

El coeficiente de correlación parcial entre lluvia y pH del suelo, a constancia de temperatura, fué negativo (— 0,5748) y altamente significativo, habiendo incrementado también su valor con respecto al coeficiente total (Cuadro VI).

C. *Correlación entre el grado de saturación y la reacción del suelo.* — Antes de finalizar el tratamiento de los factores determinantes de la variación de la reacción del suelo, se trató de establecer si existía correlación entre los valores V y el pH del suelo.

Con tal efecto, se construyó un diagrama de puntos utilizando los

CUADRO VI

Resumen del cálculo de los coeficientes de correlación total y parcial entre (a) la temperatura media del cuatrimestre julio-octubre, (b) el pH del suelo promedio de las 12 parcelas de cada columna del ensayo y (c) la lluvia en el mismo cuatrimestre de los años de 1940 a 1946.

Correlación total	$\frac{a}{\sqrt{1-r^2}}$	Producto	Numerador	Denominador	Correlación parcial ¹
$r_{ab} = + 0,5198 \dots\dots\dots$	—	-0,06004736	+0,5799	0,90240888940	$r_{ab.c} = + 0,6426$
$r_{ca} = + 0,1466 \dots\dots\dots$	0,989.196	—	—	—	= Altamente significativo
$r_{cb} = - 0,4096 \dots\dots\dots$	0,912.265	—	—	—	Necesita 0,2830 (99 %)
$r_{cb} = - 0,4096 \dots\dots\dots$	—	+0,07620268	-0,4858	0,845058272448	$r_{cb.a} = - 0,5748$
$r_{ab} = + 0,5198 \dots\dots\dots$	0,854.288	—	—	—	= Altamente significativo
$r_{ca} = + 0,1466 \dots\dots\dots$	0,989.196	—	—	—	Necesita 0,2830 (99 %)

¹ La letra a la derecha del punto indica el factor que se mantiene constante.

valores V determinados sobre cada ensayo de los años de 1942 a 1945. Los valores de pH correspondientes, se tomaron promediando los datos de las dos parcelas adyacentes a los ocho lugares de toma de muestras para análisis (figura 1).

El diagrama de los 32 pares de observaciones, arrojó una distribución de los puntos, con tendencia positiva, pero sumamente difusa, por lo cual no se lo incluyó en este trabajo.

Se ha confirmado analíticamente, pues, que el factor edáfico *reacción del suelo ha sido intensamente influenciado por los factores meteoricos, temperatura media y lluvia*, de acuerdo con el esquema de la figura 7.

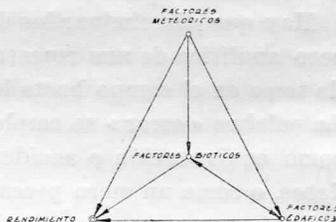


Fig. 7. — Esquema de la interacción de los factores agroecológicos que determinan el rendimiento del lino oleaginoso.

IX. EL PROBLEMA DEL NÚMERO DE MUESTRAS A TOMAR

A. *Planteamiento general.* — Al emprender la realización de este trabajo, se propuso el estudio estadístico de la variabilidad, en el espacio y en el tiempo, de un factor edáfico y el análisis de los elementos y factores que lo condicionan y determinan.

Realizado aquél, no pareció completo e integral su enfoque, si no era seguido por la consideración del problema que sirve de tema al presente capítulo y a cuya resolución se abocó luego, dándose finalmente un procedimiento estadístico de cálculo del número de muestras a tomar y unas tablas que orientan sobre su aplicación práctica.

Muchos autores — los más destacados de los cuales se han reseñado en la bibliografía revistada en el capítulo respectivo — han señalado, unos empírica, otros metódicamente, la gran importancia del problema que plantea en la investigación edafológica el *número de muestras de suelo que es necesario tomar para que los resultados analíticos que de ellas se obtengan, sean verdaderamente representativos del suelo bajo estudio.*

En tal sentido, se considera al suelo con el mismo criterio de biometría, es decir, como constituido por una *población de individuos* (muestras posibles). La consideración del problema que plantea el número de muestras, es, pues, una derivación natural y lógica de los estudios sobre variabilidad en suelos y es idéntico a cualquier otro problema de toma de muestras.

El procedimiento de cálculo que se propondrá, estará basado en el análisis estadístico de los datos experimentales que dieron origen a este trabajo.

La toma de una muestra de suelo está sujeta, en su exactitud, a la variabilidad específica del suelo y al procedimiento de toma.

Hay que discriminar los distintos errores que acompañan al proceso analítico de una muestra de suelo, desde la operación mecánica de toma en el campo hasta la de análisis en el laboratorio inclusive. La palabra « error » se emplea aquí con un sentido estadigráfico, no como equivocación o accidente, v. g. un mal cómputo o registro de datos, o como un mero percance de laboratorio.

Los errores que se suceden en tal proceso son los siguientes: 1° *Error de campo* o de *toma de la muestra*, y 2° *Error de laboratorio*. El primero ya se ha visto cómo se discrimina, mientras que el segundo se descompone en: a) *error de toma de la submuestra* o parte de la muestra originaria sobre la cual se realizará el análisis, y b) *error analítico* o *error de parte alícuota*, que depende de la precisión del método seguido en el análisis y de la idoneidad del operador.

El error de toma de la muestra es ordinariamente mayor que el error analítico. Romero (1945), ya citado y a quien se ha seguido en esta discriminación, cita el caso de un autor que señala errores de toma de tres a seis veces mayores que los de análisis, habiendo empleado un procedimiento de toma más exacto que los usados corrientemente y concluye con la siguiente afirmación, que concreta muy bien el planteamiento general de la cuestión, hecho en este trabajo.

No importa cuál es la precisión del método analítico que se usa en el laboratorio; los resultados de los análisis nunca se aproximarán a aquella precisión en la práctica, si las muestras de suelo con las cuales se realizaron las determinaciones, no se tomaron para representar, con un cierto grado de exactitud, el volumen del suelo al cual ellas pertenecen. *La precisión de los resultados de las determinaciones de laboratorio, está limitada más por la muestra de suelo analizada que por el análisis.*

B. *Procedimiento de cálculo.* — La solución del problema planteado debe hallarse, aplicando métodos estadísticos, en el cálculo exacto del número mínimo de muestras de suelo, tomadas al azar sobre una superficie, necesarias para afirmar que existió *realmente* una diferencia dada entre dos valores analíticos promedios.

El procedimiento de cálculo estadístico que aquí se propone, con-

sistirá, pues, en calcular el número mínimo de muestras de suelo requerido para formar cada uno de los valores promedios que se comparen y para determinadas diferencias entre dichos valores promedios del factor analizado, o sea, el *verdadero* grado de apreciación con el cual se desea obtener un resultado analítico. Dicho con otras palabras, se busca el número mínimo de muestras necesario para afirmar que es *significativa* la diferencia entre dos promedios cualesquiera.

El «error standard» (Es) de la diferencia entre cualquier par de promedios de valores

$$Es = \sqrt{\frac{Ee \cdot 2}{n}} \quad (I)$$

donde (Ee) es el error experimental, o sea, el cuadrado medio del «remainder» o resto del análisis de la variancia de los valores dados; (2) representa el par de promedios que se comparan y (n) es el número de variables que intervienen dentro de cada promedio, en este caso, el número de muestras.

Para (x) grados de libertad del «remainder» (Hayes e Immer, 1943: 384 y 394), corresponden en la tabla de Snedecor (Remussi, 1937) dos valores de *t*, uno para cada nivel de seguridad: 99% (altamente significativo) y 95% (significativo). El valor de *t* de Snedecor es

$$t = \frac{\text{Diferencia de promedio}}{\text{error standard}}$$

de donde

$$\text{Diferencia de promedio} = t \cdot \text{Error standard} \quad (II)$$

Con este sencillo planteo estadístico, nuestro procedimiento consistió en calcular el «error standard» de la diferencia para cada año de determinaciones de reacción del suelo, proviniendo su correspondiente error experimental del análisis de la variancia de los valores parcelarios de pH y dando a (n) en la fórmula (I) valores crecientes de 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10, n.

Calculados los respectivos errores «standard» de la diferencia para tales valores de (n), se calculó la diferencia de promedio exigible correspondiente a cada «error standard», para los dos niveles de seguridad 99% y 95%, según la fórmula (II). Este cálculo, como el anterior, se repitieron año por año.

Luego se buscó entre las diferencias de promedio así determinadas, a qué número de muestras (valores de n) correspondían los distintos

grados de apreciación de pH, tabulando los resultados en forma creciente de éstos, hasta llegar a la cantidad de una muestra para la seguridad de 95 %, es decir, la máxima precisión alcanzada con la toma de una sola muestra.

Este procedimiento se aplicó también al grado de saturación (valores V).

C. *Tablas usuales* (Cuadros VII, VIII y figura 8). — Los resultados obtenidos con la aplicación del procedimiento ideado, a los datos experimentales de pH, fueron resumidos en la figura 8, don-

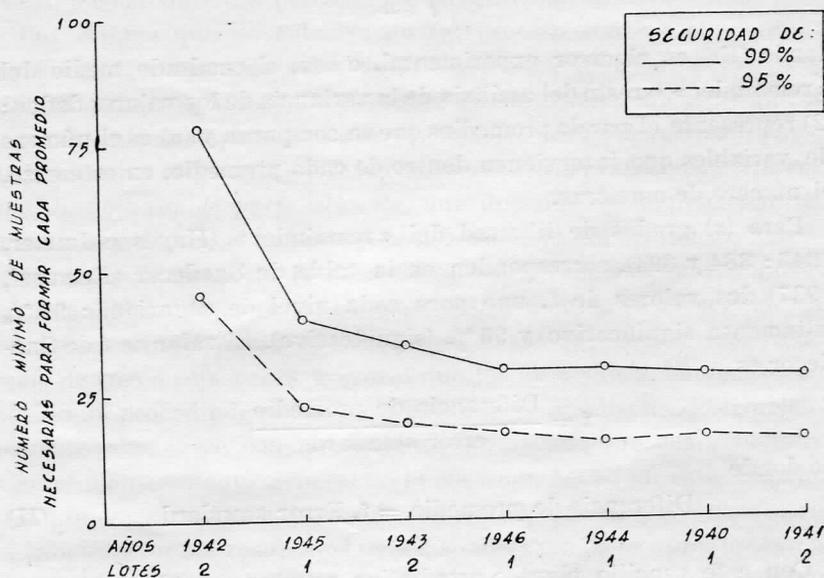


Fig. 8. — Número mínimo de muestras de suelo necesarias para afirmar que existió realmente una diferencia de 0,1 pH entre dos valores promedios.

de cada punto representa el número mínimo de muestras de suelo necesarias cada año para afirmar que existió realmente una diferencia de 0,1 pH entre dos valores promedios. Dicho número ha sido ordenado en forma decreciente, indicándose los años y lotes a que corresponde. El trazo continuo representa la seguridad de 99 % (admite 1 % de excepciones) y el rayado la de 95 % (admite 5 % de excepciones).

En la tabulación del Cuadro VII se han seleccionado, para cada lote, los cálculos correspondientes a los años con error experimental mayor o menor, es decir, se ha ubicado a cada lote de terreno culti-

vado con los ensayos, en el «peor» y en el «mejor» de los casos, respectivamente. De la consulta de la figura y del cuadro, se obtiene que, para el año 1942 (lote 2), con una seguridad de 99 %, son necesarias 78 *muestras* como mínimo para formar cada promedio y afirmar una diferencia de 0,1 pH, número que baja a 45 *muestras*, para una seguridad de 95 %. En los demás años, estos valores tienden a decrecer, hasta llegar al año 1941 (lote 2) con un mínimo de 27 *muestras* (99 %) y de 16 *muestras* (95 %), siempre para la misma diferencia de pH.

CUADRO VII

Tabla que indica el número mínimo de muestras de suelo necesarias para afirmar que existió realmente una diferencia de pH dada entre dos valores promedios

		Diferencia entre promedios de pH	Número de muestras mínimo para formar cada promedio			
			Seguridad 99 %		Seguridad 95 %	
			Lote 1	Lote 2	Lote 1	Lote 2
Años con «remainder»	mayor	0,1	39	78	22	45
		0,2	14	28	8	15
		0,3	7	14	4	8
		0,4	4	8	2	5
		0,5	3	6	2	3
		0,6	2	4	1	2
		0,7	2	3	1	2
		0,8	1	2	1	1
		0,9	—	2	—	1
		1,0	—	2	—	1
		1,1	—	1	—	1
menor		0,1	28	27	17	16
		0,2	10	10	6	6
		0,3	5	5	3	3
		0,4	3	3	2	2
		0,5	2	2	1	1
		0,6	2	2	1	1
		0,7	1	1	1	1

Aun en el mejor de los casos, considerando los valores en un justo término medio, la mayoría de los años fueron *necesarias no menos de unas 30 muestras*, para una seguridad de 99 %, y una diferencia entre promedios de 0,1 pH y *unas 15 muestras* para 95 % de seguridad y

la misma diferencia. Estas cantidades, altísimas para una superficie pequeña (20 m × 50 m), configuran un hecho sumamente importante, cual es el elevado número de muestras que es necesario tomar para lograr una precisión que esté a tono con la exactitud que impera, por regla general, en el proceso analítico del laboratorio. Este hecho se confirma ampliamente al observar que, con la toma de una sola muestra, se logró una grosera apreciación, que osciló, según los años, entre 1,1 pH y 0,7 pH para 99 % de seguridad, y entre 0,8 pH y 0,5 pH para 95 % de seguridad, o sea nunca *menor de media unidad de pH, apreciación considerada actualmente demasiado tosca.*

CUADRO VIII

Tabla que indica el número mínimo de muestras de suelo necesarias para afirmar que existió realmente una diferencia de valor V dada entre dos promedios

		Diferencia entre promedios de valores V %	Número mínimo de muestras necesarias para formar cada promedio	
			Seguridad 99 %	Seguridad 95 %
Años con « remainder »	mayor (1943 : Lote 2)	5	180	52
		10	49	15
		15	23	7
		20	13	4
		25	8	3
		30	6	2
		35	4	1
		40	3	1
		45	3	1
		50	2	1
	55	2	1	
	60	2	1	
	65	1	1	
	menor (1942 : Lote 2)	5	15	5
		10	4	1
		15	2	1
		20	1	1

Como ante el problema del número de muestras que necesita tomar, el operador no sabe por anticipado en cuál de los casos analizados anteriormente se encuentra, pues no puede predecir si se halla en el « peor » o en el « mejor » de los años, se da como tabla de orienta-

ción en la práctica de la toma de muestras de suelo, la del Cuadro VII, (parte superior) que por contener los valores del año 1942 (lote 1), que es el que presentó mayor «remainder» de todos los analizados, es la más exigente en cuanto al número de muestras, a tomar y, en consecuencia, la que ofrece mayores garantías para el trabajo.

Para el estado de saturación (valor V %) se concretan en el Cuadro VIII, en igual forma que para los valores de pH, los cálculos efectuados año por año, siguiendo el mismo procedimiento. Aquí las cantidades de muestras calculadas adquieren niveles mucho más altos que para el caso anterior. En efecto, para que sea significativa una diferencia de tan sólo 5 % entre promedios de valores V, hace falta tomar por lo menos 180 muestras, para una seguridad de 99 %, valor que decrece a 52 muestras, para 95 % de seguridad. Esto considerando el año «peor» (1943-lote 2), con mayor «remainder», pero si se toma el año «mejor», con menos «remainder», ya el número de muestras es sensiblemente menor: 15 y 5 muestras, respectivamente. Otra comprobación sorprendente consiste en observar que, con la toma de una sola muestra se logró, en aquel caso del año peor, 65 % de precisión para la máxima seguridad y 35 % conformándose con el nivel menor de seguridad. En el mejor de los años, la diferencia de promedio con una muestra, fué todavía de 10 a 20 %, precisión completamente inaceptable para el valor V.

Concluyendo, en la práctica edafológica, el problema del número de muestras tiene una importancia excepcional y una proyección de gran magnitud hacia el futuro de la investigación de los suelos. Se ha calculado el número, extraordinariamente elevado, de muestras de suelo que es necesario tomar sobre una superficie dada, para afirmar que realmente existe diferencia entre dos valores promedios cualesquiera. Sólo así se logrará el ideal de los análisis en el laboratorio, es decir, que los resultados sean realmente representativos del suelo de donde provienen las muestras, en el caso contrario se cae en la incertidumbre de las conclusiones.

Tal situación puede comprenderse con facilidad mediante el ejemplo siguiente: Si para uno cualquiera de los años del septenio (figura 2) se toma una muestra de suelo solamente, con la finalidad de caracterizar el suelo del ensayo del año en cuestión, el valor de pH que arroje su determinación, puede caer dentro de cualquiera de las clases del histograma correspondiente. Si ello ocurre en la clase que más frecuentemente se presentó ese año (clase modal), el valor hallado dará una idea relativamente buena acerca del valor de pH

que predomina en el terreno del ensayo. A la inversa, si el único valor cae en una de las clases extremas, puede hacer suponer erróneamente que toda o la mayoría de la superficie relevada posee tal condición extrema y, por consiguiente, de frecuencia excepcional.

Tomando el número conveniente de muestras al azar, los valores medios que arroje su análisis serán, sin duda, representativos del suelo bajo estudio.

En general, se puede afirmar que las conclusiones acerca de la reacción de un terreno (pH) son tanto más inseguras cuanto menor es el número de muestras tomadas, aun cuando las determinaciones se realicen con métodos e instrumentos exactísimos.

X. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El origen, finalidad y desarrollo del trabajo, de acuerdo con el plan trazado, puede concretarse en los siguientes puntos:

1° En la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Plata (República Argentina), la Cátedra de Climatología y Fisiología Agrícolas, conduce, desde 1938, un ensayo ecológico de lino oleaginosos. A partir de 1940, con la colaboración de la Cátedra de Agrología y Complementos de Mineralogía y Geología, se toma, metódicamente, en el centro de cada parcela, una muestra de suelo y determina la reacción (pH). A partir de 1942, se toma, además, una muestra de suelo en ocho lugares, estratégicamente ubicados sobre el ensayo, y determina el estado de saturación e insaturación y las bases calcio y potasio de cambio.

2° El ensayo es cultivado en dos lotes de terreno (1 y 2) rectangulares, con una superficie conjunta de 20 m por 100 m, aproximadamente. El sistema experimental adoptado es el del « cuadrado latino ». Siendo de doce el número de variedades que intervienen desde 1940, el ensayo de cada año está compuesto por 144 parcelas. Su cultivo se repite tres años consecutivos en un mismo lote, rotando luego al lote adjunto, donde después de otros tres años, vuelve al primero. El suelo del lote momentáneamente no ocupado, queda en barbecho o con cereales de invierno.

3° En poder de tal información, tan numerosa como variada y metódica, se planeó: a) analizarla estadísticamente, con el objeto de estudiar su variabilidad en función del espacio y del tiempo; b) determinar el origen de la variación y correlacionar entre sí los factores

causales y c) contribuir, sobre la base de los datos experimentales y su análisis estadístico, a la solución del problema del número de muestras. Además, se analizó, sumariamente, la interacción de los factores agroecológicos que determinan el rendimiento del lino, contando, para ello, con los datos de rendimiento de granos, promediados por variedad y por año.

4° Los datos parcelarios de reacción del suelo se agruparon, año por año, en clases con intervalos de 0,2 pH, representándose su frecuencia por medio de siete histogramas. El conjunto de datos del septenio 1940-1946, o sea, 1008 valores parcelarios de pH del suelo, distribuye su frecuencia en otro histograma.

5° La reacción parcelaria del suelo varió en el curso de los años, de pH 5,4 (fuertemente ácida) a pH 7,9 (suavemente alcalina). La máxima variación en un año se registró en 1946 para el lote 1, de pH 6,0 (medianamente ácida) a pH 7,9 (suavemente alcalina). La variación de la reacción entre los años, ha sido muy notable, particularmente de 1940 a 1941 y 1942, años donde las clases de pH se desplazan de un lado a otro de la línea que, pasando por el punto de pH 7,0 divide la zona ácida de la alcalina. La clase modal (más frecuente) del septenio, fué la de pH 7,0-7,1 (muy suavemente alcalina). Las clases modales fluctuaron, através de los años, de pH 6,0-6,1 a pH 7,2-7,3. Considerando los datos agrupados por lotes de terreno, no se observó variación sensible de un lote a otro.

6°. Con el objeto de interpretar estadísticamente la variabilidad representada por los histogramas, se tabularon, año por año, los datos parcelarios de pH del suelo, disponiéndolos para el análisis de la variancia. Éste arrojó valores de F altamente significativos para, prácticamente, todos los años y lotes, cuando la fuente de variación considerada fueron los « canteros ». Para las « columnas », los valores de F fueron altamente significativos en los años del lote 1, mientras que no alcanzaron significancia en los años del lote 2. La variabilidad de la reacción del suelo ha sido determinada dentro de los ensayos, pues, por los « canteros » (variabilidad en el sentido del largo del ensayo), y por las « columnas » (variabilidad en el sentido del ancho del ensayo) en el lote 1, mientras que en el lote 2 lo fué significativamente sólo por los « canteros ».

7° Los valores V — que expresan en por ciento el estado o grado de saturación del suelo con bases de cambio — se tabularon en la misma forma para el análisis de la variancia, que arrojó valores de F no significativos en todos los años y lotes. Por consiguiente, el suelo,

dentro de los ensayos, en ambos lotes de terreno, no mostró una variación definida en el sentido de los « canteros » o en el de las « columnas » con respecto a este factor.

8° Los datos parcelarios de pH del suelo y los de rendimiento de granos, se promediaron año por año, obteniéndose, así, los valores medios anuales correspondientes. Para el rendimiento, se siguió el criterio de promediar únicamente los datos pertenecientes a las siete variedades que se ensayaron todos los años (1938-1946), con el objeto de eliminar, como causa probable de variación en el rendimiento, el factor varietal. También se promediaron anualmente los valores V %.

9° Los valores promedios anuales así calculados, se dispusieron, para el análisis de la variancia, por « años de repetición del cultivo » y por « lotes de terreno ». Los valores de F del cálculo de la variancia estuvieron muy lejos de alcanzar significancia alguna, para ambas fuentes de variación y tanto para la reacción como para el rendimiento. Los valores V %, promedios anuales, no pudieron disponerse formando una serie completa de años, por lo cual no se hizo el análisis de la variancia. No obstante, estudiados objetivamente, no revelan variación sensible alguna, ni entre los años, ni entre los lotes, siendo siempre elevado el grado medio de saturación, de acuerdo con las características físico-químicas del suelo del ensayo.

10° Los resultados del análisis de la variancia coneretados en el punto noveno — equivalen a sostener que, en las condiciones de la experiencia, *ni la repetición del cultivo, hasta tres años en un mismo lote, ni el traslado del mismo a un lote de terreno vecino, han tenido influencia significativa alguna sobre la determinación de la variación del rendimiento del lino registrada de año a año.* Esta conclusión se hace extensiva también a la variación interanual de la reacción del suelo, e importa una comprobación sumamente importante para los trabajos de mejoramiento de la oleaginosa, de interés, en especial, para el problema de orden fitopatológico-cultural que plantean la « repetibilidad » del cultivo y el « cansancio » de las tierras para el lino. En efecto, púsose de manifiesto que las variedades estudiadas son muy resistentes a dichas adversidades.

11° Las causas de la variación, de la reacción y del rendimiento, se buscaron entre los factores meteóricos, llegándose, finalmente, a los diagramas de puntos que expresan *la reacción del suelo y el rendimiento del lino en función de la temperatura media y de la lluvia*, ambas del cuatrimestre julio-octubre, trazándose las líneas isopletras respectivas, que permiten poder *predecir la reacción o el rendimiento cono-*

ciendo tales condiciones meteóricas. Del recorrido de las líneas isople-tas se deduce que *la reacción alcalina del suelo ocurre con tiempo caluroso y seco y la ácida con tiempo frío y lluvioso, y que el rendimiento de granos descende con tiempo frío y lluvioso durante el citado cuatrimestre.*

12° La correlación con los factores meteóricos analizados se representó mediante los diagramas de puntos y midió con el cálculo de los coeficientes de correlación total y parcial. La correlación parcial entre temperatura media y pH del suelo, a constancia de lluvia, resultó ser positiva (+ 0,6426) y altamente significativa para los 84 pares de observaciones calculados, pues se utilizaron, para pH, los promedios de las doce parcelas de las columnas de los ensayos. La correlación parcial entre lluvia y pH del suelo, a constancia de temperatura, fué igualmente, altamente significativa, pero negativa (— 0,5748); concluyéndose que *la temperatura y la lluvia han tenido una intensa influencia sobre la variación de la reacción del suelo.* Los coeficientes de correlación total fueron, respectivamente +0,5198 y —0,4096, altamente significativos.

13°. El rendimiento excepcionalmente bajo de uno de los años (1946), se explica teniendo en cuenta la extraordinaria invasión de malezas acaecida tal año, en especial de dos especies calcífilas (*Medicago lupulina* y *Melilotus indicus*), que, al tiempo de la cosecha, habían dominado por completo los linos del ensayo. La abundancia y dominancia de dichas especies, se atribuye a que, la primavera lluviosa del mismo año y la movilización del calcio de la «conchilla» de los caminos circundantes del ensayo, crearon un medio muy favorable para su desarrollo. Parecen confirmar esta última posibilidad, los valores S y calcio de cambio, exageradamente altos, determinados para las muestras de suelo tomadas en 1946.

14°. *El rendimiento del lino oleaginoso es, pues, la resultante de la interacción, en el complejo agroecológico, de los grupos de factores de orden meteórico, edáfico y biótico.* La influencia de un factor edáfico — reacción (pH) — sobre el rendimiento del mismo ensayo, ha sido demostrada con anterioridad (Molfino, 1943 y 1948).

15°. *El problema del número de muestras de suelo,* así también como cualquier otro problema de toma de muestras, se considera una consecuencia de los estudios estadísticos de variabilidad. Las muestras de suelo, deben ser *verdaderamente representativas del mismo,* sólo así se logrará que los resultados del análisis en el laboratorio, reflejen *fielmente* las condiciones del suelo en el campo.

16°. Los errores que acompañan a una muestra en todo su proceso,

de campo y de laboratorio, son los siguientes: 1° Error de toma o de campo; 2° error de toma de la submuestra de la muestra original; y 3° error analítico o error de parte alícuota. Varios autores han determinado errores de campo mucho mayores que los de laboratorio y concluyen que *el refinamiento de la precisión y exactitud de los métodos analíticos es ineficaz* si no va precedido por idéntica perfección en el proceso de toma de muestras, perfección destinada, por sobre todo, a lograr que las muestras constituyan una cabal representación de las condiciones edáficas del suelo bajo estudio. *La precisión en el resultado de un análisis de laboratorio, por lo general está limitada por la muestra que se analiza y no por el análisis.*

17°. Planteado así el problema, se cree contribuir a su solución aplicando un procedimiento para calcular, estadísticamente, el *número mínimo de muestras de suelo necesarias para afirmar la existencia real de una diferencia dada entre dos valores promedios del factor determinado*. Dicho procedimiento de cálculo estadístico, sencillo y de fácil aplicación, está basado en el análisis de la variancia, ordenándose sus resultados, para los factores aquí estudiados, en tablas que permiten su práctica directa.

18°. En el septenio y suelo estudiados, del examen del número mínimo de muestras tomadas al azar y necesarias para formar cada promedio que se coteja, número calculado según el procedimiento referido, surgen cifras extraordinarias e insospechadas: *Para afirmar una diferencia de 0,1 pH con seguridad de 99%, en determinado año (1942) se necesitaron 78 (!) muestras en cada promedio*; número que en el mejor de los años no bajó de 27 para las mismas diferencia y seguridad. *Para una diferencia de 5% entre promedios de valores V e igual seguridad hacen falta 180 (!) muestras*; número que no baja de 15 en los años más favorables. *El grado de apreciación que se logra realmente con la toma de una sola muestra, es de solo 1,1 pH (!) y de 65% (!) de valor V, para 99% de seguridad*, en casos extremos. En el mejor de los casos, dicha precisión no baja de 0,7 pH y de 10% de valor V, precisión absolutamente inadmisibles en la moderna práctica edafológica.

19°. *Las cifras del punto décimo octavo demuestran acabadamente la importancia del problema estudiado y la necesidad, en toda investigación edafológica seria, de conceder la mayor atención al número de muestras a tomar.*

Summary and conclusions ¹. — The origin, finality and development of this report, according to its traced plan, is synthetized in the following points :

1st. In the Faculty of Agronomy of the National University of La Plata, the lecture of Agricultural Climatology and Fenology works out, since 1938, an ecological research of flax for oil production. From 1940 the soil samples are taken in the middle of each plot, in assistance with the Agro² logical and Mineralogical and Geological Complements lecture, to determine the soil reaction (pH). From 1942 there are taken futhermore eight samples from representative places of the field with the purpose to determine exchangeable bases, specially calcium and potassium.

2nd. The whole experimental field is cultivated in two rectangular blocks (1 and 2) which covers approximately an scope of 20 by 100 meters. The experimental sistem adopted is the « latin square ». The number of varieties tested since 1940 are twelve, and the whole trial counts, each year, with 144 plots. Each block is cultivated three years consecutively in the same place, and then moved to the adjacent one, and returns after three more years to its first place. The soil, when not occupied by the blocks, remains in fallow or is cultivated with some winter cereals.

3rd. This numerous, varied and methodical information was analyzed statistically with the purpose of a) studying the variability in function of the space and the time ; b) determining the origin of the variation and correlating the causal factors and c) contributing to solve the problem of number of samples in account of experimental figures and their statistical examination. Furthermore the interaction of agroecological factors were analized, which determine the yield of linessed in account of grain-yield figures averaged for varieties and years.

4th. The figures of soil reaction, were agrouped, year by year, in classes of 0,2 pH of interval and the frecuency was represented by seven histograms. The whole data of the seven years 1940-1946, 1008 pH values of soils, are represented in another histogram, showing the distribution of the frecuency.

5th. The variation of the soil reaction of the plots during the years of experimentation, was from pH 5,4 (strongly acid) to pH 7,9 (weakly alkaline). The greatest variation of the reaction in one year, was registered in 1946 in block 1, which ranged from pH 6,0 (acid) to pH 7,9 (weakly alkaline). The yearly variation of the reaction, has been very noticeable, particularly from 1940 to 1941 and 1942, years in which the pH classes passed the line of neutrallity (pH 7,0) and moved to the alkaline side. The modal class (the frecuentest) of seven years, was of pH 7,0-7,1 (very weakly alkaline). The fluctuation of modal classes through the years, was from pH

¹ Vertido al inglés por el Ingeniero Agrónomo Alfredo M. Offermann.

6,0-6,1 to pH 7,2-7,3. Considering the data grouped according to blocks 1 and 2, no sensible variation could be observed.

6th. With the purpose to work out statistically the variability represented in the histograms, the plot data of soil pH were tabulated year by year, for the variance analysis. The F values obtained were highly significant for the blocks and all the years if the variation considered follows the sense of the rows. Highly significant were the F values of the columns only in block 1 for the years, but not in block 2. The variability of soil reaction has been determined inside of the experimental field because, by the «rows» (variability in the sense of the long side of the field) and by the «columns» (variability in the sense of the broad side of the field) in block 1, since in block 2 the significance only responds to the «rows».

7th. The V values — which express the percentage of interchangeable bases — were tabulated in the same way for the analysis of variance, which gave off not significant F values in all the years and blocks. The variation of this factor was not significant in any arrangement of the block data.

8th. The soil pH data of the individual test plots and their grain yields, were promediated year by year, obtaining by this way the corresponding yearly medium values. To calculate the yield, only the data appertaining to the seven varieties tested during the years (1938-1946) with the object of eliminating the variety factor as a probable cause of variation in the yield, were promediated. Also annual V % values were promediated.

9th. The annual promedium values calculated in this way were arranged for the analysis of the variance in «years of repetition of the crop» and in «field blocks». The values from the variance calculation don't achieve any significance for both sources of variance, neither considering the soil reaction nor the yields. The annual average values of V % couldn't be arranged performing a complete series of years and therefore the analysis of variance was not calculated. But objectively studied they don't point out any sensible variation among the years nor among the blocks, remaining ever high the average degree of saturation, according to the physical and chemical characteristics of the experimental field soil.

10th. The results of the foregoing analysis of variance-ninth point-lead to the conclusion that neither *the repetition of the crop for three years in the same block, nor the moving to an adjacent one, had any significant influence upon the determination of the field variation of flax reported year by year.* This conclusion is also extensive to the annual variation of the soil reaction, and signifies an important comprobation for the improvement of oil seeds, and specially interesting in the phytopathological-cultural problem of the «repeatability» of the crop and «fatigue» of the flax soils. As a matter of fact, it was outlined that the varieties examined are very resistant to these adversities.

11th. The cause of variation, of the reaction and yield, were searched

among the meteoric factors, arriving finally at the « point diagrams » which express the soil reaction and the yield of flax in function of the average temperature and rainfall, both of the period of four months July-October, tracing the isopleth lines, that allows to predict the soil reaction or yield knowing such meteoric conditions. From the course of the isopleth lines it is deducible that the alkaline reaction of soils happens in warm and dry weather and the acid one in cold and rainy weather and that the yield of grains descends in cold and rainy weather within the quoted period of four months.

12th. The correlation with the analyzed meteoric factors, was represented by the diagrams of points and measured with the calculus of the total and partial correlation coefficients. The partial correlation between temperature and soil pH, at constancy of rainfall, resulted positive (+ 0,6426) and highly significant for the 84 couples of observations calculated, since, for the pH values, the averages of the twelve column plots of the experiments were used. The partial correlation between rainfall and soil pH, at constant temperature, was equally highly significant, but negative (- 0,5748); this leads to the conclusion that temperature and rainfall exerts an intense influence on the variation of soil reaction. The total correlation coefficients respectively were +0,5198 and -0,4096, highly significant.

13th. The yield exceptionally poor in one of the years (1946) is explained taking into account the extraordinary invasion of weeds occurred that year, specially two calcifilic species (*Medicago lupulina* and *Melilotus indicus*) which subdued completely the flax at harvest time. The great abundance and dominancy of this species is attributed to the rainy spring time and to the mobilization of the calcium arising from the small shells of the paths that surrounds the plots, and created an favorable medium for its development. This possibility seems to be confirmed by the high S values and also exchangeable calcium found in soil samples of 1946.

14th. The yield of oleaginous flax is, thus, the resultant of the interaction, in the agroecological complex, of the meteoric, edafic and biotic factor sets. The influence exerted by one edafic factor — the reaction (pH) — on the yield in the same experiment, has been demonstrated previously (Molfino, 1943 and 1948).

15th. The problem of soil sample number, like any other problem of sampling, is considered as a consequence of the statistic studies of variability. Soil samples have to be really representatives only thus the results of laboratory analysis represents truly the field conditions of the soil.

16th. The errors to which the samples are submitted in the field and laboratory, are the followings: (1st) Sampling errors in the field, (2nd) Subsampling errors in the laboratory, and (3rd) Errors of analysis or of the aliquot parts. Several authors found greater field errors than laboratory ones and states that the refinement of analytical methods, reaching extreme precision and exactitude, is ineffective, is not preceded by equally

perfect sampling proceeding, perfection, this, destined principally, to render an exact idea of the edafic conditions of the soil under examination. *The laboratory analysis precision is generally limited by the sample examined and not by the analytical proceeding.*

17th. Such stated, the problem, the use of statistical calculus to find the *smallest number of soil samples needed to confirm the existence of a real difference between two average values for one determinated factor*, seems to contribute to its solution. This proceeding of statistical calculus, easy and of simple application, is based on the variance analysis, tabulating their results, for the factors here considered, which permits its direct practise.

18th. In the period of seven years and the soil studied, the examination of the smallest number of samples taken by hazard and necessary to perform each promedium under comparison, calculated according to the just referred proceeding, outlines surprising and not suspected figures: *78 (!) samples were needed for each average in a given year (1942) to secure a real difference of 0,1 pH with a 99 % trueness*; in the most favorable year this number was not smaller than 27 for the same difference and exactitude. *For a difference of 5 % in average V values and also 99 % trueness 180 (!) samples are needed*; this figure couldn't be smaller than 15 in the best year. *The estimation degree reached by only one sample is only 1,1 pH and 65 % (!) of V value for a trueness of 99 %*, in extreme cases. In the best ones this precision couldn't be better than 0,7 pH and 10 % of V value, figures absolutely inadmissibles in modern edafological practise.

19th. *The figures of the foregoing appointment proves the importance of the studied problem and the necessity in every serious edafological research to pay the greatest attention to the number of samples to be taken.*

XI. BIBLIOGRAFIA CITADA

- ARENA, A. 1934. *La concentración de iones hidrógeno del suelo. Su origen, variación e influencia en los cultivos.* Continuación. *Rev. Centro Est. Agron. Bs. As.* 27 (148): 77-133.
- BURD, J. S. y J. C. MARTÍN. 1931. *Secular and seasonal changes in soils.* *Hilgardia* 5 (15): 455-509. California.
- CAMP, A. F. ET AL. 1945. *Variation de composition du sol.* Resumen, por P. LA., en *Ann. Agron.* 17 (3): 476, mayo-julio 1947; de Florida Agric. Exp. Station, *Ann. Rept.* 1945: 160-162.
- CASTELS, R. (Observador). 1946. *Registro del ensayo comparativo sobre linos.* Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Agronomía. La Plata. Cuaderno manuscrito.
- DE FINA, A. L. 1933. *Aplicación del cálculo estadístico de correlación para la predicción de cosechas.* 21 folios mimeografiados. Ed. Junta Nac. Algodón. Buenos Aires.

- DE FINA, A. L. y D. A. SORDELLI. 1943. *Un año (1937) de determinaciones semanales de la humedad del suelo y subsuelo en Buenos Aires.* — *Agronomía* (Rev. Centro Est. Agron. Bs. As.) 34 (162) = 31 (2): 127-160, 3 figs.
- FISCHER, G. J. ET AL. 1937. *Los ensayos de arena para forraje verde realizados en el año 1934.* — *Arch. Fit. Uruguay* 2: 483-529.
- FISHER, R. A. 1936. *Statistical methods for research workers.* 6ª ed. Un vol. 8º XIII más 339 pp., 6 tablas. Oliver and Boyd Ed., Edinburg.
- HAYES, H. K. y F. R. IMMER. 1943. *Métodos fitotécnicos. Procedimientos científicos para mejorar las plantas cultivadas.* Trad. A. E. Marino. Un vol. 8º, XXVIII más 521 pp. Acme Agency Ed. Buenos Aires.
- JENNY, H. 1941. *Factors of soil formation.* Un vol. 8º, 281 pp. McGraw-Hill Ed., New York.
- MOLFINO, R. H. E. 1943. *Influencia de la reacción del suelo sobre el rendimiento de un ensayo de linos oleaginosos.* — *Rev. Fac. Agron.* La Plata. 25 (1940): 141-174.
- MOLFINO, R. H. 1948. *Un bienio (1940-1941) de estudio de la influencia de la reacción del suelo sobre el rendimiento de un ensayo de linos oleaginosos.* *Rev. Fac. Agron.* La Plata 26 (2): 235-257.
- REED, J. F. y J. A. RIGNEY. 1947. *Soil sampling from fields of uniform and non uniform appearance and soil types.* — *J. Am. Soc. Agron.* 39 (1): 26-40.
- REMUSSI, C. 1937. *Aplicación del cuadrado latino en ensayos comparativos de rendimiento de lino.* *Trab. Lab. Agric. Esp. Bs. As.* 1 (11): 1-23 (mimeografía).
- ROMERO, S. A. 1945. *Estudios sobre variación en suelos.* III Conf. Interam. Agric., *Cuadernos Verdes*, n° 49, 43 pp. Caracas.
- SWANBACK, J. R. y M. F. MORGAN. 1930. *Seasonal fluctuations in soil reaction. Tobacco substitution at Windsord. Report for 1929.* *Conn. Agr. Exp. St.* 311: 264-268.

La Plata, diciembre de 1947.