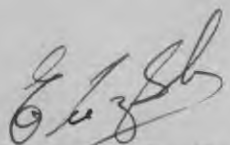
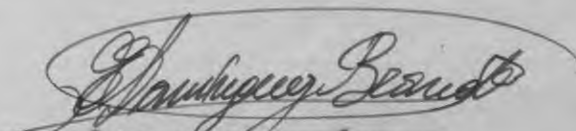


Tesis presentada a la Facultad de Agronomía para la
obtención del título de Ingeniero Agrónomo


Egidio Lasbal

-


José Enrique Domínguez

FACULTAD DE AGRONOMIA



DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

	<u>Pag.</u>
I.- INTRODUCCION	1
II.- REVISION BIBLIOGRAFICA	6
A. Funciones de las raíces	6
B. Factores ambientales que afectan el crecimiento de las raíces	6
B.1.- Factores químicos	6
B.1.1.- Reacción del suelo	6
B.1.2.- Nutrición mineral	8
B.2.- Factores físicos	11
B.2.1.- Resistencia a la penetración y aeres- ción	12
C. Efecto de las propiedades físicas del suelo sobre el crecimiento de la papa	14
D. Manejo del suelo	22
D.1.- Rotaciones	24
D.2.- Laboreo	27
III.- MATERIALES Y METODOS	32
A. Tratamientos de laboreo	34
B. Tratamientos de fertilización	35
C. Medidas realizadas	36
IV.- RESULTADOS Y DISCUSION	39
IV.1. Efecto de los tratamientos sobre los rendimientos de papa	39
IV.2. Medidas de las propiedades físicas del suelo	45

IV.2.1.Relación entre los tratamientos y las pro-	
piedades físicas del suelo	45
IV.2.2.Relación entre las medidas de propiedades fí-	
sicas y los rendimientos	48
IV.2.3.Análisis estadístico del muestreo para densidad	
aparente y macroporosidad	51
V.- RESUMEN Y CONCLUSIONES FINALES	61
VI.- BIBLIOGRAFIA	65

I.- INTRODUCCION

El suelo como medio de crecimiento de las plantas proporciona ambiente para la germinación de las semillas, la emergencia de las plántulas y la formación y funcionamiento del sistema de raíces de la planta. El suelo, no sólo debe suministrar los nutrientes necesarios para los procesos metabólicos sino que también debe proveer un régimen favorable de aire y agua para el correcto funcionamiento de la planta. En muchos casos la absorción de nutrientes del suelo está limitada por falta o por exceso de agua, deficiencia de oxígeno o insuficiente proliferación de las raíces, debido a impedimentos mecánicos a su crecimiento. El efecto combinado de aumentar la resistencia mecánica y disminuir la aereación no sólo restringe la proliferación de las raíces y su absorción normal de nutrientes y agua, sino que también impide la actividad microbiológica.

Las propiedades físicas desfavorables son por lo tanto, un factor limitante de la producción agrícola y se deben considerar como parámetros de la productividad del suelo.

En el caso particular del cultivo de papa, las propiedades físicas del suelo juegan un rol muy importante en la determinación de los rendimientos. Esto se debe a que el producto es un tallo subterráneo modificado, y a que el sistema radicular es relativamente reducido.

4) Los niveles de máximo rendimiento nunca superaron rendimientos de 15 tt/há, aún en años favorables, siendo para el promedio de todos los ensayos, el rendimiento máximo, sensiblemente menor a éste.

Es bien sabido, que el potencial genético de producción de éste cultivo, le permite llegar a rendimientos aproximadamente cuatro veces mayores, por lo tanto es obvio que eliminada la limitante de nutrición mineral existen otros factores que limitan la expresión de la potencialidad productiva del cultivo.

Entre los factores que se puede pensar que limitan la producción de papa en el Departamento de San José se encuentran las propiedades físicas de los suelos mencionados arriba.

Esto se basa en el hecho de que los rendimientos obtenidos en otras zonas del país (departamentos de Cerro Largo, Rocha y Tacuarembó), sobre suelos cuyas propiedades físicas son mejores que las de los suelos de San José, con manejo de cultivo semejante, alcanzan comúnmente el doble del máximo obtenido a nivel experimental en este departamento. La calidad del producto obtenido además, aparece como superior al logrado en la zona de San José.

Lo anterior ha sido estudiado por García y Canale (1975) para el mismo período de crecimiento de cultivo en que se realizó el presente trabajo (ver Cuadro I.1)

Cuadro I.1: Diferencias en propiedades físicas, rendimiento máximo en tt/há y distribución por tamaño en las zonas de San José y Rocha.

<u>Zona</u>	<u>San José</u>	<u>Rocha</u>
Rendimiento máximo *	7.836	14.187
% de papa mayor a 4.5 cm de diámetro	34.68	63.86
% de papa entre 2 cm y 4.5 cm	58.76	29.08
% de papa menor a 2 cm de diámetro	6.56	7.06
% de macroporos en el horizonte A	13.00	20.00

* Promedio de los rendimientos máximos obtenidos en cada ensayo, que se supone son los menos limitados por la nutrición mineral como factor de crecimiento.

Por otra parte la información experimental obtenida en la Estación Experimental del Norte del Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" para ensayos de fertilidad, indica rendimientos de 25 tt/há (Márquez, 1974).

En base a lo expresado anteriormente surge la necesidad de investigar diferentes alternativas para mejorar las propiedades físicas de los suelos de San José.

La selección de las alternativas probadas en este trabajo se han basado en las condicionantes agroeconómicas que se dan actualmente en la zona. El tamaño de los predios impide un aumento en la extensividad de la producción, que surgiría de la utilización de años de pastura en la rotación; sin embargo

esta alternativa podría funcionar en los predios de mayor tamaño, especialmente los que incluyen lechería entre los rubros de producción. La utilización de abonos orgánicos de origen animal presenta los inconvenientes de obtención y transporte.

El presente trabajo significa una primera aproximación al problema. Se utilizan dos alternativas, arada profunda y enterrado de avena como abono verde, que aparecen como las más factibles de ser aplicadas por la mayoría de los productores de la zona. Por tratarse de datos de un solo año y de un sólo período de crecimiento no permiten más que despejar incógnitas muy grandes en el sentido de cuales deben ser las futuras líneas de investigación en este problema.

Los efectos de los tratamientos sobre las propiedades físicas se trataron de evaluar a través de medidas de macroporosidad y densidad aparente en el suelo. Todas las prácticas de manejo, excepto las experimentadas, fueron realizadas por el productor en cuya chacra se realizó el ensayo, utilizando su propia maquinaria en la forma que es tradicional para la zona. Esto, si bien conspira contra la precisión del ensayo a través de un mayor error experimental, permite la inmediata extensión de los resultados, en caso de tener significación estadística.

II.- REVISION BIBLIOGRAFICA.-

A.- Funciones de las raíces.

El sistema radicular cumple las siguientes funciones: absorción, sostén, almacenamiento y síntesis de compuestos orgánicos.

El que las raíces cumplan efectivamente estas cuatro funciones depende de su extensión y de la eficiencia de las raíces individuales. Estas dos características van a depender del genotipo de la planta, del ambiente en el que se desarrolla y además de la interacción de ambos (Kramer, 1969).

B.- Factores ambientales que afectan el crecimiento de las raíces.

Se pueden agrupar en factores edáficos y no edáficos. Dentro de los segundos, se pueden citar algunos efectos de la luz y la competencia e interacción entre las raíces (Kramer, 1969). A los efectos del presente trabajo se analizarán los primeros, y en particular los factores físicos del suelo.

B.1.- Factores químicos.-

Dentro de los factores químicos que afectan el crecimiento de las raíces tenemos la reacción del suelo y la nutrición mineral.

B.1.1.- Reacción del suelo.-

La reacción del suelo puede afectar las raíces de dos formas diferentes:

1. Efectos directos. En los rangos de pH bajo está demostrado

que existen efectos directos de los iones hidrógeno. Moore (1974) indica que la alta concentración de iones hidrógeno compite con otros cationes por sitios de absorción en las raíces. Respecto a esto último, Pearson (1974) dice que el efecto de un bajo pH puede ser contrarrestado por un aumento en la concentración de calcio, lo cual indicaría que a bajos pH se vería disminuida la absorción de este nutrientes. Tanto Pearson (1974) como Moore (1974) señalan que los efectos directos de los iones hidrógeno en el crecimiento de las raíces no son importantes si hay suficiente calcio presente en el medio radicular.

A pH alcalino, Moor (1974) indica que existe competencia en la absorción entre los aniones y el anión oxhidrilo. Pearson (1974) señala el caso particular del fósforo, cuya absorción decrece algo entre pH 7 y 8 y es bruscamente reducida entre 8 y 9.

A pesar de que se le ha dado mucha importancia a los efectos directos de la reacción del suelo parece existir suficiente evidencia como para pensar de que estos son bastante menos importantes frente a los efectos indirectos (Kramer, 1969).

ii. Efectos indirectos. Se dan a través del aumento en solubilidad de elementos tóxicos como el aluminio y el manganeso a pH bajo y a la solubilidad de nutrientes, como el fósforo, tanto a pH bajo como alto (Pearson, 1974)(Kramer, 1969).

B.1.2.- Nutrición mineral.

Calcio. La deficiencia de calcio es potencialmente un factor limitante en el desarrollo de las raíces en los suelos y subsuelos ácidos debido a la poca cantidad presente y al efecto del bajo pH en la absorción (Pearson, 1974). Según Foy (1974), esto puede ser debido además a la alta concentración de aluminio en la solución del suelo.

Jackson (1967), citado por Foy (1974), dice que una deficiencia de calcio, reduce el crecimiento del ápice radicular de las raíces laterales y de los pelos absorbentes.

Pearson (1974) cita como efectos de una deficiencia de calcio, la pérdida de semipermeabilidad, descenso de la ramificación de raíces, detención del crecimiento y descenso de la resistencia al ataque de bacterias.

Otros nutrientes. Excepto para el calcio, no existe evidencia clara de que sea necesario la presencia de otros nutrientes en el lugar donde se produce el crecimiento de las raíces (Pearson, 1974).

Se sabe que el nitrógeno aumenta la ramificación de las raíces, pero no es claro si se necesita o no vecino a la zona de crecimiento.

El fósforo puede ser traslocado hacia la zona meristemática de la raíz, por lo tanto fertilizaciones superficiales permitirían un buen suministro de fósforo a la raíz. Sin embargo, la absorción de fósforo es muy sensible a la falta de

agua. Por esta razón es que es necesario fertilizar en profundidad, para evitar la deficiencia de fósforo cuando la superficie del suelo se seca, (Pearson, 1974), (Black, 1967). El suministro adecuado de fósforo aumenta la ramificación pero en menor grado que el nitrógeno. El fósforo y el nitrógeno a su vez interactúan. Miller (1974), dice que la absorción de fósforo aumenta con el nivel de nitrógeno y que este efecto es más pronunciado cuando el nitrógeno está bajo forma de amonio y es aplicado en íntima asociación con el fertilizante fosfatado. Varios serían los mecanismos responsables:

- i. Incremento en el crecimiento radicular en el volumen fertilizado.
- ii. Incremento en la capacidad fisiológica de la raíz para absorber fósforo.
- iii. Una alteración del pH en la interfase raíz-suelo.

Con respecto al potasio, se sabe que afecta el crecimiento radicular, y que una deficiencia del mismo lo disminuye, pero en menor grado que el fósforo y el nitrógeno (Pearson, 1974).

Efectos tóxicos:

Aluminio. La existencia de niveles de aluminio soluble en los suelos ácidos y la toxicidad del mismo para las raíces es un hecho bien comprobado (Pearson, 1974). Los niveles tóxicos de aluminio para una misma especie dependen de la mineralogía de la fracción arcilla. Foy (1974), cita experimentos de Adams y Lund (1966), que encontraron que en suelos con arcillas predominantemente caoliniticas la toxicidad del aluminio se presentaba a niveles más altos de pH y más bajos de concentración

de aluminio que en los suelos con arcillas predominantemente montmorilloníticas.

Según Foy (1974), los efectos tóxicos del aluminio se dan a nivel celular a través de la aparición de cromosomas aberrantes y detención de mitosis. A nivel fisiológico provoca aumento en la viscosidad del protoplasma, disminuyendo su permeabilidad a las sales y al agua, interfiriendo en la actividad enzimática al producir anomalías en las moléculas proteicas y a nivel del metabolismo general provocando interferencias en la síntesis del almidón y proteínas y reduciendo la traslocación de azúcares.

Muchos investigadores han asociado la toxicidad del aluminio con la disminución de la absorción de varios elementos nutritivos por las plantas especialmente calcio y fósforo. Sin embargo no se ha logrado dilucidar si esos efectos están directamente relacionados con un efecto tóxico del aluminio o son una consecuencia indirecta de las alteraciones que provoca a nivel celular y fisiológico (Foy, 1974).

Manganeso. El manganeso también puede ser tóxico en suelos ácidos y según Pearson (1974), el nivel que las plantas pueden tolerar es de alrededor de 10 ppm. Su efecto sobre las raíces, contrariamente al del aluminio, se debe fundamentalmente a una disminución de crecimiento de la parte aérea, lo cual a su vez limita el crecimiento de las raíces, (Pearson, 1974), (Bennett 1974).

Se ha encontrado que altas concentraciones de boro producen efectos similares que las altas concentraciones de manganeso (Bennett, 1974). También pueden llegar a ser tóxicos el amonio hidratado, el cobre, el zinc, y el plomo, produciendo efecto directo sobre las raíces, y no sobre la parte aérea, es decir, a la inversa que el manganeso y el boro (Bennett, 1974).

Altas concentraciones salinas. Uno de los principales efectos de las altas concentraciones salinas es la de disminuir la disponibilidad de agua para las plantas, pero se han observado ciertos efectos de las altas concentraciones salinas sobre el crecimiento de las raíces que no son atribuibles a la baja disponibilidad de agua (Kramer, 1969). Se ha observado que las altas concentraciones salinas tienden a enlentecer y aún detener el crecimiento radicular, y acelerar la suberización.

B.2.- Factores físicos.

El buen crecimiento de las raíces y su función como superficie de absorción depende de muchos factores ambientales, del suelo; especialmente aquellos que afectan la resistencia mecánica a la extensión de las raíces, la aereación del suelo y el suministro de agua.

El análisis de las dos propiedades que en este trabajo más interesan, resistencia a la penetración de raíces y aereación, no debe hacerse en forma separada, ya que ambas en forma

conjunta interactúan en la determinación del desarrollo radicular.

B.2.1.- Resistencia a la penetración y aireación.

Bertrand y Kohuke (1957) citados por Bayer et al. (1972) demostraron una íntima relación entre el "índice de difusión del oxígeno" y el crecimiento de plantas de maíz en un suelo compactado y concluyeron que la restricción en el desarrollo de las raíces se debe primariamente a la deficiencia en la aireación.

Taylor y Gardner (1963) evaluaron el efecto de la densidad aparente en la penetración de las raíces. Encontraron que a medida que aumentaba la densidad aparente disminuía la penetración de raíces. Paralelamente analizaron para cada valor de densidad aparente, cuatro niveles de humedad, encontrando que a una densidad aparente determinada, la penetración de raíces se veía aumentada al aumentar el contenido de agua, (fig. II.1). El aumento de penetración a mayores contenidos de humedad se debe a una variación en la consistencia del suelo que facilita el desplazamiento de partículas por la presión ejercida por las raíces.

Taylor et al. (1966) encontraron una alta correlación negativa para cuatro suelos, entre la penetración radicular y la resistencia al penetrómetro, haciendo variar ésta con el contenido de agua y la densidad aparente.

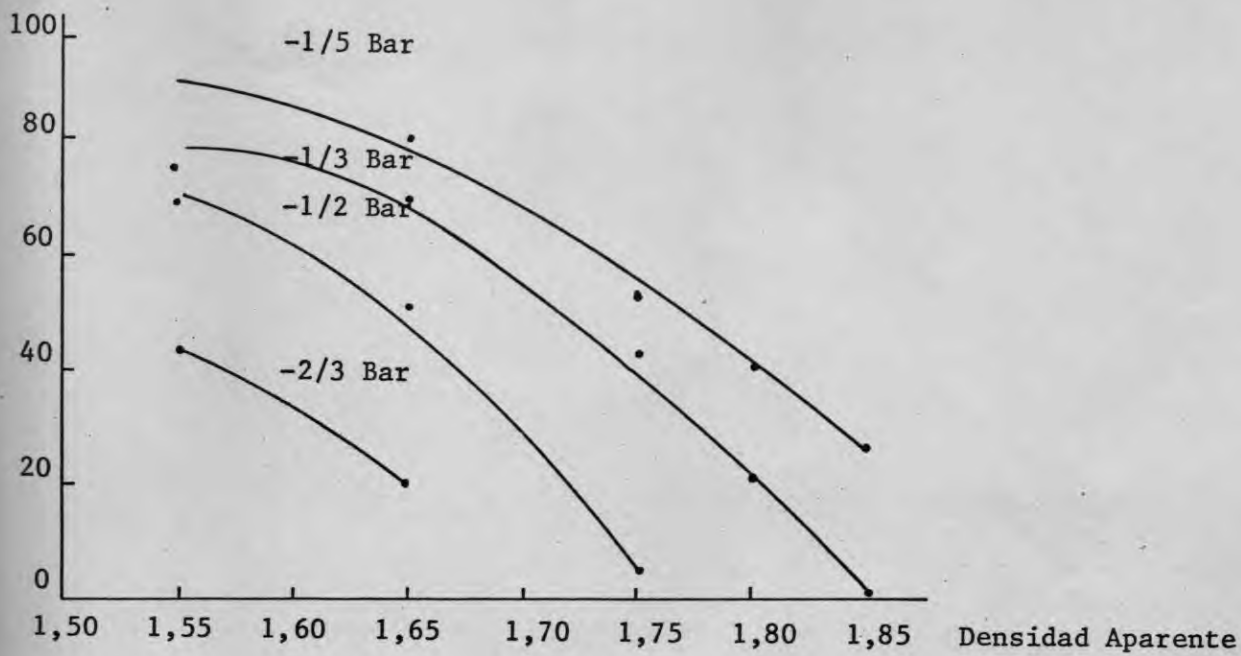


Figura II.1. Penetración de raíces de algodón a través de bloques de un suelo franco arenoso fino, en función de la densidad aparente y del potencial del agua (Taylor y Gardner, 1963).

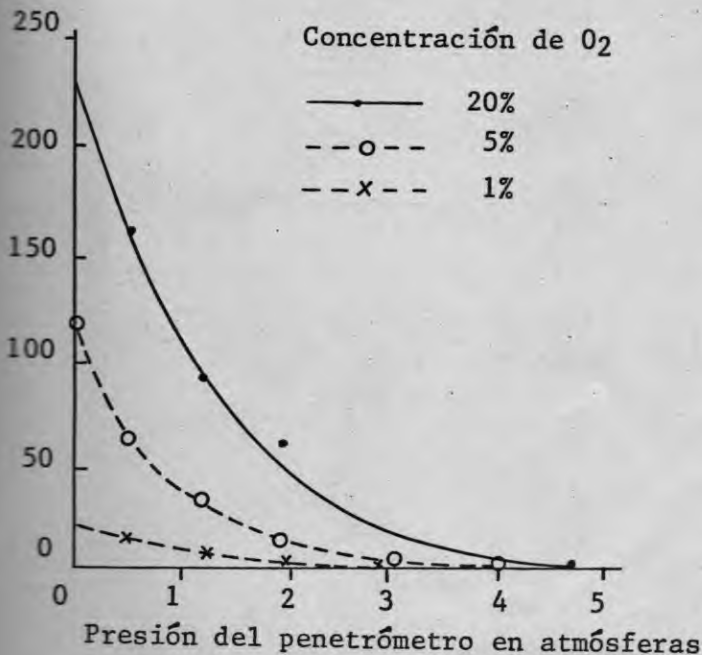


Figura II.2. Efecto de la resistencia a la penetración y de la concentración de oxígeno en el crecimiento de las raíces de maíz (Barley, 1962, citado por Baver, 1974).

Hoptkins y Patrick (1970) citados por Taylor (1974) investigaron las relaciones que existen entre la compactación y aereación del suelo y crecimiento de las raíces. A bajos niveles de compactación el crecimiento de las raíces se incrementó con la concentración de oxígeno, mientras que a altos niveles, el crecimiento fue poco afectado por el nivel de oxígeno; esto probablemente debido, a que el crecimiento estaba controlado por la resistencia del suelo.

Barley (1962) citado por Bever et al. (1972) obtuvo resultados similares que se expresan en la figura II.2. Los resultados de Barley señalan varios hechos significativos concernientes al crecimiento de raíces:

- i. Cuando la resistencia mecánica es baja, la concentración de oxígeno determina el grado de crecimiento de las raíces.

- ii. Las raíces no se alargan cuando la resistencia mecánica es grande, cualquiera sea el nivel de oxígeno.

- iii. Para una concentración de oxígeno dada, el alargamiento de las raíces decrece en proporción logarítmica con el aumento de la resistencia mecánica.

C. Efecto de las propiedades físicas del suelo sobre el crecimiento de la papa.

Como ya se expresó anteriormente la papa es una planta particularmente exigente en lo que a buenas propiedades físicas del suelo se refiere.

Por las características propias de la planta, las exigencias en propiedades físicas del suelo adecuadas, es mucho mayor que las exigencias que presentan las plantas con raíces no cosechables.

Bushnell (1955), buscando encontrar una razón fisiológica que explicase la sensibilidad de la papa a la porosidad del suelo, determinó tasas de consumo de oxígeno de raíces de papa. Los datos fueron obtenidos de plantas jóvenes y en un estadio temprano de tuberización. Los valores encontrados oscilaron entre 6.7 y 12 ml/hora/gramo de peso seco. El promedio, de 8 ml/hora/gr. de peso seco, llevado a días, da un consumo de 192 ml/día/gr. de peso seco. Si se compara este volumen de consumo de oxígeno con el encontrado para otros cultivos representados en la tabla del cuadro II.2, se podrá apreciar la alta exigencia del cultivo de papa en un buen suministro de oxígeno para lograr un óptimo desarrollo, y con él, la manifestación del potencial genético de producción.

Cuadro II.2. Volúmen de oxígeno respirado por las raíces de diferentes cultivos.

Cultivo	Peso seco de raíces en grs.	Oxígeno respirado por día y por gr. de raíz en ml.
Trigo	1.56	4.703
Cebada	2.44	2.545
Guisantes	2.59	2.70
Nabo silvestre	2.35	3.91
Vicia	0.34	2.85
Trigo negro	0.40	4.43
Alfalfa	5.48	4.06
Trébol dulce	10.12	2.93
Girasol	0.60	30.6

Blake et al. (1960), en un suelo franco arcillo limoso y trabajando a dos niveles de compactación, evaluados a través de la macroporosidad, estudió durante tres años y para dos variedades, cómo eran afectados los diferentes componentes del rendimiento.

La emergencia en las parcelas compactadas fue mucho más lenta, a la vez que el vigor de las plantas marcadamente reducido. El rendimiento fue menor en las parcelas compactadas en dos de los tres años (cuadro II.3), El hecho de que hayan habido diferencias significativas sólo en el año 1958, puede deberse, según los autores, a un efecto año, en el sentido de que las condiciones que limitan los rendimientos en un año no ne-

cesariamente son las que los limitan todos los años.

Cuadro II.3.

a. Porcentaje de poros que dejan drenar agua a 60 cm. de succión, medidos en superficie.

Año	Compactado	No compactado
1957	8.4	14.9 **
1958	9.4	13.6 **

b. Rendimiento de papa en hectolitros por hectárea.

Año	Compactado	No compactado
1957.Pontiac	142.64	160.79
1958.Pontiac	164.84	295.66 **
1958.Early green	44.95	189.32 **

** Diferencias altamente significativas. ($P \leq 0.01$)

En las parcelas compactadas, los tubérculos, se desarrollaron unos tres centímetros más próximos a la superficie del suelo, que en las parcelas no compactadas.

Flocker, Timm y Vomocil (1960) estudiaron el efecto de la compactación del suelo en papa y en tomate. La variación fue creada con diferentes pasajes de maquinaria. No hubo diferencias de rendimiento para tomate pero en la papa la reducción de rendimientos fue del orden del 40% para la variedad Kennebeck y del 32%

cesariamente son las que los limitan todos los años.

Cuadro II.3.

a. Porcentaje de poros que dejan drenar agua a 60 cm. de succión, medidos en superficie.

Año	Compactado	No compactado
1957	8.4	14.9 * *
1958	9.4	13.6 * *

b. Rendimiento de papa en hectolitros por hectárea.

Año	Compactado	No compactado
1957.Pontiac	142.64	160.79
1958.Pontiac	164.84	295.66 * *
1958.Early green	44.95	189.32 * *

* * Diferencias altamente significativas. ($P \leq 0.01$)

En las parcelas compactadas, los tubérculos, se desarrollaron unos tres centímetros más próximos a la superficie del suelo, que en las parcelas no compactadas.

Flocker, Timm y Vomocil (1960) estudiaron el efecto de la compactación del suelo en papa y en tomate. La variación fue creada con diferentes pasajes de maquinaria. No hubo diferencias de rendimiento para tomate pero en la papa la reducción de rendimientos fue del orden del 40% para la variedad Kennebeck y del 32%

para la White Rose como se ve en el cuadro II.4. La calidad de ambas fue reducida en más de un 50% en el suelo compactado.

Cuadro II.4. Rendimiento de dos variedades de papa, discriminadas por tamaño, creciendo sobre un suelo compactado, franco arenoso fino, (Flocker, et al. 1960). El rendimiento está expresado en kg. /há.

Tratamiento	Total	US 1	Pequeñas	Deformadas
Variedad Kennebec				
No compactado	32967	16416.8	2045.16	2389.7
Comp. moderada	34801	21185.1	2167.4	2789.8
Comp. severa	19473.5	9203.2	2256.3	2300.8
DMS $p < 0.05$	4134.8	2845.44	NS	NS
DMS $p < 0.01$	6857.9	4723.8	NS	NS
Variedad White Rose				
No compactado	40925.4	26842.7	6502.2	5301.85
Comp. moderada	40302.9	25675.6	6824.6	5568.6
Comp. severa	27798.6	11426.22	7358.1	7380.3
DMS $p < 0.05$	8114.12	4979.5	NS	1600.5
DMS $p < 0.01$	NS	8992.0	NS	NS

El grado de diferencia en cuanto a la respuesta de las dos especies estaría dado por la mayor eficiencia del sistema radicular del tomate con respecto al de la papa, en la exploración de volúmenes de suelo. Parte de la reducción en los rendimientos, pue-

de deberse a que en las parcelas compactadas fue menor la emergencia, (Cuadro II.5).

Cuadro II.5. Emergencia de la papa, cuatro semanas después de la siembra, (Flocker et al. 1960).

Tratamiento	V. Kennebec Emergencia de plantas cada 9 m de surco	% del total	V. White Rose Emergencia cada 9 m de surco	% del total
No compactado	18.1	60.3	29.1	80.8
Comp. moderada	21.1	70.3	29.2	81.1
Comp. severa	13.1	43.7	22.8	63.3
DMS $p < 0.05$	1.9		5.1	
$p < 0.01$	3.1		NS	

Gaussman, Neilsen y Struchtemeyer (1950) buscaron una interacción entre varios tratamientos de fertilizantes y la aereación. Encontraron que el fósforo en exceso disminuía algunos de los efectos negativos de la mala aereación pero sin llegar a explicar las posibles causas de esta interacción.

Struchtemeyer et al. (1963) en un experimento de compactación del suelo, llevado a cabo durante 4 años, encontraron que la compactación producida por un excesivo pasaje de maquinaria, reducía los rendimientos desde un 8 a un 31%, como se observa en la tabla II.6.

Cuadro II.6. Efecto del pasaje de maquinaria en los rendimientos de papa, (Struchtemeyer et al., 1963). Rendimientos en Hl/há.

Año	1959	1960	1961	1962
<u>Tratamientos</u>				
Compactado	266.63	234.88	322.71	442.36
No compactado	393.77	254.16	378.39	512.90

$p < 0.05\%$

$p < 0.01\%$

El excesivo pasaje de maquinaria, llevó a un aumento en el grado de compactación y a una disminución en la velocidad de infiltración. Lo primero fue evidenciado mediante un penetrómetro de impacto, mientras que con estudios de infiltración se encontraron velocidades de tres a treinta veces mayores en las parcelas sin pasaje de maquinaria.

Theron et al. (1968) encontraron que una aereación deficiente afectaba tanto la tuberización como el número de tubérculos formados. Dentro de ciertos límites, pudieron comprobar que el efecto de una pobre aereación se traducía en un incremento en el número de tubérculos formados por planta.

Por su parte Blake et al. (1960) ya citado anteriormente, no encontró diferencias en el número de tubérculos para los diferentes tratamientos de compactación.

Estos resultados estarían indicando que la falta de aire durante el desarrollo de los cultivos, tiene una influencia negativa

más marcada en el crecimiento de los tubérculos que en el número formado de los mismos.

Bushnell (1955), había demostrado que se podía inducir una marcada disminución en el crecimiento de los tubérculos mediante una reducción en la disponibilidad de oxígeno a las raíces. Si esa deficiencia se mantenía durante 20 días, se observaba como único síntoma subterráneo, un incremento en la producción de estolones.

Naka (1950), citado por Bushnell (1955), encontró que la disminución en la respiración que se produce bajo déficit de oxígeno, producía una acumulación de azúcares, sustratos de la respiración, y como consecuencia de esto, un aumento en la producción de estolones. En este mismo trabajo, Bushnell, encontró que aquellas plantas que habían recibido una mezcla de gases con 15,3% de oxígeno, absorbían una mayor cantidad de solución nutritiva que las que recibían una composición de aire normal (20,4%). A su vez, presentaban en la parte aérea, un mayor contenido de materia seca, mientras que los tubérculos se presentaban de menor tamaño, sugiriendo alguna interferencia en la translocación de materiales orgánicos de la parte aérea hacia los tubérculos. La interferencia en la translocación de azúcares, se encontró asociada con deficiencias en potasio, Watson (1936), citado por Bushnell (1956). A su vez la deficiencia en potasio puede ser producida por una aereación deficiente.

Lawton (1946), citado por Black (1968), encontró efectos inhibitorios de la absorción de potasio con deficiencia de oxígeno. El cuadro II.7, muestra los resultados de un experimento de Lawton sobre maíz que ilustra el contraste entre la absorción de potasio en relación a otros nutrientes.

Cuadro II. 7: Rendimiento relativo de nutrientes en relación a la aereación del suelo.

No aereado/ aereado	
K	0.3
N	0.7
P	1.3
Ca	0.9
Mg	0.8
Materia Seca	0.6

Grimes y Bishop (1971) cuantificaron la reducción en rendimiento y en calidad asociada a la compactación del suelo. Los rendimientos tuvieron una correlación positiva con la permeabilidad al aire del suelo y negativa con la densidad aparente, mientras que con la producción de tubérculos deformados fue a la inversa. Por su parte, la producción total de tubérculos, tuvo una correlación muy baja con los factores físicos estudiados. (Figs II.3 y II.4).

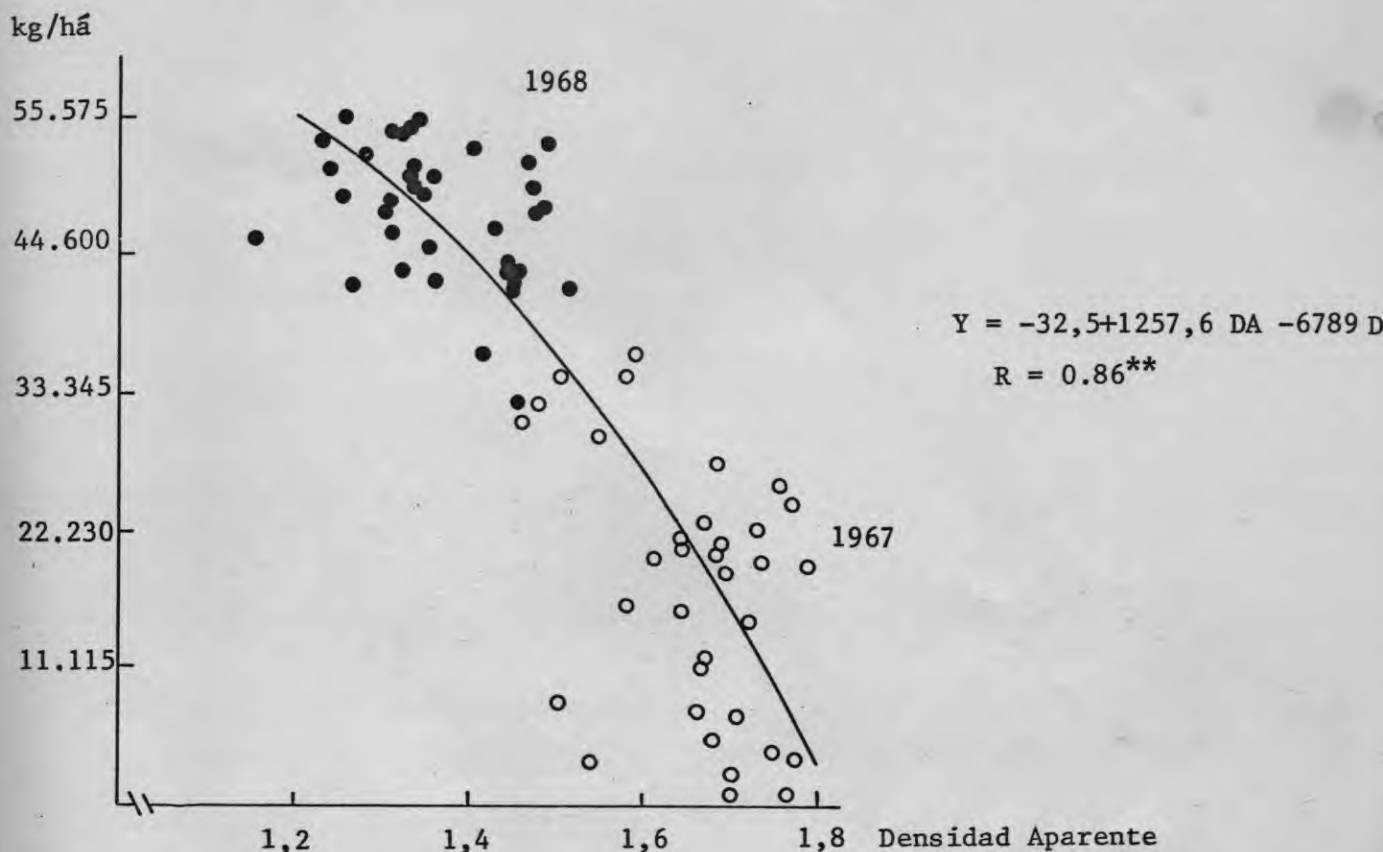


Figura II.3. Relación entre rendimiento total de tubérculos y densidad aparente medida a la profundidad de 10-20 cm (Grimes y Bishop, 1971).

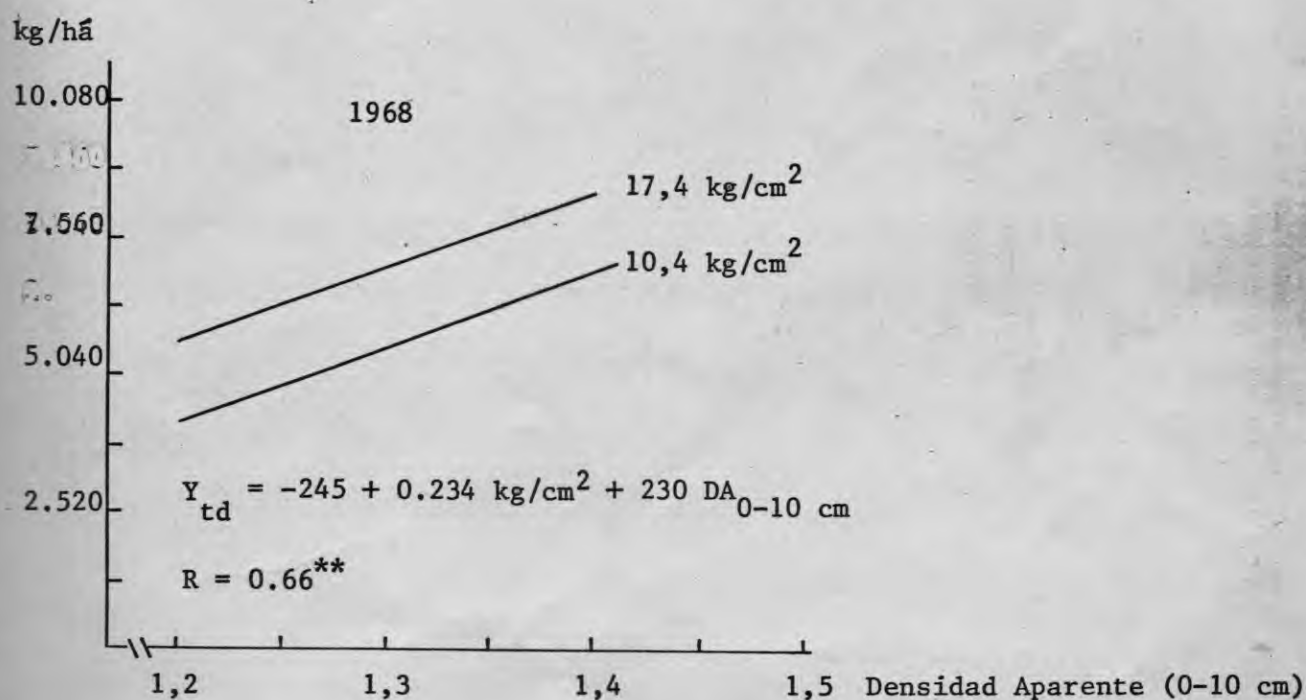


Figura II.4. Producción de tubérculos deformados en relación a la densidad aparente y a la resistencia del suelo (Grimes y Bishop, 1971).

II.- Manejo del suelo.

La elección de un suelo y el posterior manejo del mismo, para el cultivo comercial de papa debe hacerse de manera que se satisfaga sus requerimientos de buena aereación y de almacenamiento de agua.

El crecimiento radicular y la dinámica del aire y del agua en los suelos, están regulados por la magnitud y el tipo de porosidad que poseen, así como por la variación de estas propiedades físicas en el perfil. Dentro del volumen poroso del suelo se pueden distinguir los macro y microporos. Los primeros son incapaces de retener agua, dejándola drenar libremente por la fuerza de la gravedad. Son por lo tanto los responsables del drenaje y la aereación, constituyendo además el principal espacio por el que crecen las raíces. Los segundos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas.

El balance macro/microporosidad va a depender en un suelo, fundamentalmente de su textura así como de su estructura. A medida que la textura se hace más gruesa aumenta la relación macro/microporos y viceversa. La estructura, que es la forma como se arreglan las partículas primarias en un suelo, va a estar determinando esta relación a través de la forma y tamaño de los agregados estructurales. La estructura del suelo cobra mayor importancia pues, en aquellos suelos de texturas finas donde de no

D.1.- Rotaciones.

El cultivo continuo de papa en un mismo suelo durante varios años provoca una disminución en los rendimientos que es bien conocida por los productores. Las razones de esta disminución son debidas a una mayor incidencia de enfermedades, así como a un deterioro de las propiedades físicas del suelo y descenso de la fertilidad.

Se hace necesario entonces, pensar en intercalar entre cultivos de papa, cultivos que no favorezcan la propagación de las enfermedades y que a su vez produzcan una restauración de las propiedades del suelo, perdidas a causa del laboreo intensivo a que es sometido durante todo el desarrollo del cultivo, desde la primera arada hasta la cosecha.

Se puede establecer a este fin sobre un mismo suelo una sucesión de cultivos, lo que origina un sistema de producción. Esto se conoce con el nombre de rotación.

La primera pregunta a formular es cual o cuales son los cultivos que producirán el efecto deseado. La segunda se refiere al tiempo en que se debe tardar para comenzar nuevamente con el cultivo de papa dentro de la rotación.

En Rhode Island (Odland y Sheehan, 1957) los sembradores de papa, siembran raigras luego de la cosecha y lo entierran como abono verde, antes de la siembra de primavera. Según estos autores, esta práctica, si bien contribuye a mantener condiciones

del suelo favorables, no provee suficiente cantidad de materia orgánica, como para compensar las pérdidas que ocurren durante la estación de crecimiento.

Ternan (1949), citado por Odland y Sheehan (1957), comparó cultivos de papa creciendo sobre un mismo suelo en forma continua con cultivos de papa creciendo en forma alternada con un año de pastura para ser enterrada como abono verde. Encontró incrementos promedio por encima de 35 hl/há de los segundos con respecto a los primeros.

Odland y Sheehan (1957), citados por Odland y Sheehan (1957), encontraron que un *Agrostis* era la mejor pastura, precediendo a la papa en una rotación. En ese experimento el cultivo de papa continuo rindió 33,46 hl/há, mientras que el cultivo en rotación rindió 40.6 hl/há.

Los mismos autores citados arriba, mantuvieron un experimento durante cuatro años de rotación de diversos cultivos con papa. Los cultivos fueron: trébol rojo, *agrostis*, *trifolium híbridum* y timoty. Estos cultivos se desarrollaban durante dos años y posteriormente dos años de papa. Los resultados de este experimento se observan en la tabla.

Cuadro II.8. Rendimiento de papa luego de dos años de pastura en una rotación de 4 años. Los rendimientos están expresados en hl/há.

Pasturas	año				Promedio
	1953	1954	1955	1956	
Agrostis	430.86	386.14	495.36	584.8	474.72
Agrostis/Timoty	419.68	379.26	467.84	589.10	464.40
Agrostis/Trif. Hibridum	375.82	375.82	476.44	528.9	439.46
Timoty/Trif. Hibridum	356.9	366.36	438.60	532.34	423.98
Timoty/Tr. Rojo	352.6	368.08	421.40	534.92	419.68
Timoty	313.04	347.44	444.62	538.36	411.08
Promedio	374.96	370.66	457.52	551.26	438.60
DMS ($p < 0.05\%$)	53.32	NS	48.16	NS	27.52

El promedio de rendimientos de papa entre los años 1953 y 1956 fue desde 411.08 hl/há cuando el cultivo precedente era timoty, hasta 474.72 hl/há, cuando el cultivo precedente era agrostis. El agrostis cuando se usaba en combinación con otros cultivos, era más efectivo que el timoty.

Rowberry y Johnston (1963), probaron distintos manejos de la pastura previo al cultivo de papa. No encontraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos. Sin embargo, sobre la base de tendencias sugieren que una práctica agronómica conveniente sería, arar la pastura a fines de Verano y sembrar avena precediendo a la papa de Primavera.

D.2.- Laboreo.

El laboreo consiste en las diversas manipulaciones mecánicas del suelo para hacerlo más apto para el crecimiento de las plantas cultivadas.

El laboreo es importante desde el punto de vista económico ya que es una de las operaciones más costosas de la agricultura. Por lo tanto el ajustar el número y la intensidad de los trabajos realizados para preparar la tierra al mínimo compatible con buenos rendimientos, resulta en una reducción importante de los costos de instalación de los cultivos.

La preparación del suelo tiene tres propósitos fundamentales:

- i. Aflojar la capa superior para permitir un buen contacto entre la semilla y el suelo al mismo tiempo que favorecer el crecimiento de las raíces.
- ii. Destruir la vegetación existente para eliminar la competencia entre ella y las plantas sembradas.
- iii. Mezclar los residuos vegetales existentes en el suelo para favorecer su descomposición e integración al mismo. (Marchesi, 1970)

Los efectos del laboreo sobre las propiedades del suelo son diferentes, según se efectúe su análisis a corto o a largo plazo.

El laboreo producido por el arado a través del suelo, consiste en el corte, soltura, granulación e inversión de un prisma de tierra y el volteo y enterrado de residuos. Todo esto lleva a que, a corto plazo, se logre en el suelo una disminución de

la densidad aparente y un aumento del espacio poroso, fundamentalmente el correspondiente a macroporos. Esto permite que la infiltración y almacenamiento de agua, la dinámica del aire, la temperatura y la resistencia a la penetración de raíces sean mejorados del punto de vista de los requerimientos de las plantas.

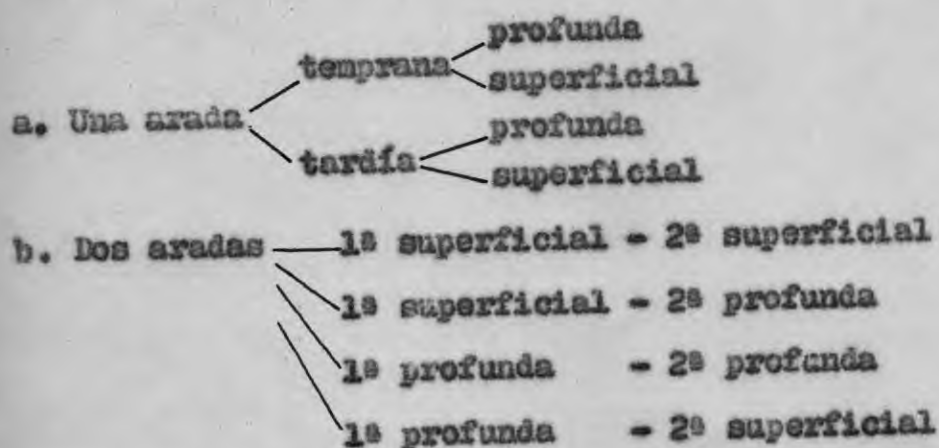
A largo plazo en cambio, los efectos son distintos, ya que el laboreo produce además, una destrucción de la agregación natural del suelo, que junto con la pérdida de materia orgánica por oxidación, extracción de nutrientes por el cultivo, y alteración del ecosistema microbiano, lleva a un deterioro progresivo del suelo como ambiente físico para el crecimiento de las plantas.

Sin embargo, el laboreo es una operación que no puede ser eliminada al encarar la producción intensiva de la tierra, de manera que es necesario estudiar la forma de disminuir sus efectos desfavorables a un mínimo compatible con la obtención de buenos rendimientos de cosechas.

La investigación nacional sobre preparación de tierras y labores de cultivo es muy escasa.

Marchesi (1970), realizó dos ensayos sobre preparación de tierra para trigo en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni. Uno de ellos se realizó sobre rastrojo de trigo, y el otro sobre una pradera vieja de alfalfa, donde la vegetación existente era prácticamente *Cynodon dactylon*. Ambos ensayos se realizaron sobre un suelo de Pradera Parda sobre la formación Fray Bentos. Los tratamientos de laboreo que se utilizaron se sintetizan en

el siguiente esquema.



De este trabajo se sacaron las siguientes conclusiones:

- i. La arada temprana apareció como fundamental para la preparación del suelo, sobre todo cuando se enterró abundante vegetación y/o residuos orgánicos. En estos casos, y en relación a la arada tardía, la arada temprana equivalió a una fertilización con nitrógeno. (Figura II.5)
- ii. En suelos previamente cultivados, suelos sueltos, el arar dos veces no es necesario ya que no produce mayor rendimiento.
- iii. En suelos compactados, la doble arada, sobre todo la superficial - profunda, produjo rendimientos superiores a la arada simple temprana. (Figura II.6)

Labella (1972), revisando los datos de cinco ensayos de laboratorio para trigo realizados en el Centro de Investigaciones Agrícolas, durante los años 1963, 64 y 71 presenta conclusiones similares a las del trabajo anterior. En general en chacras viejas

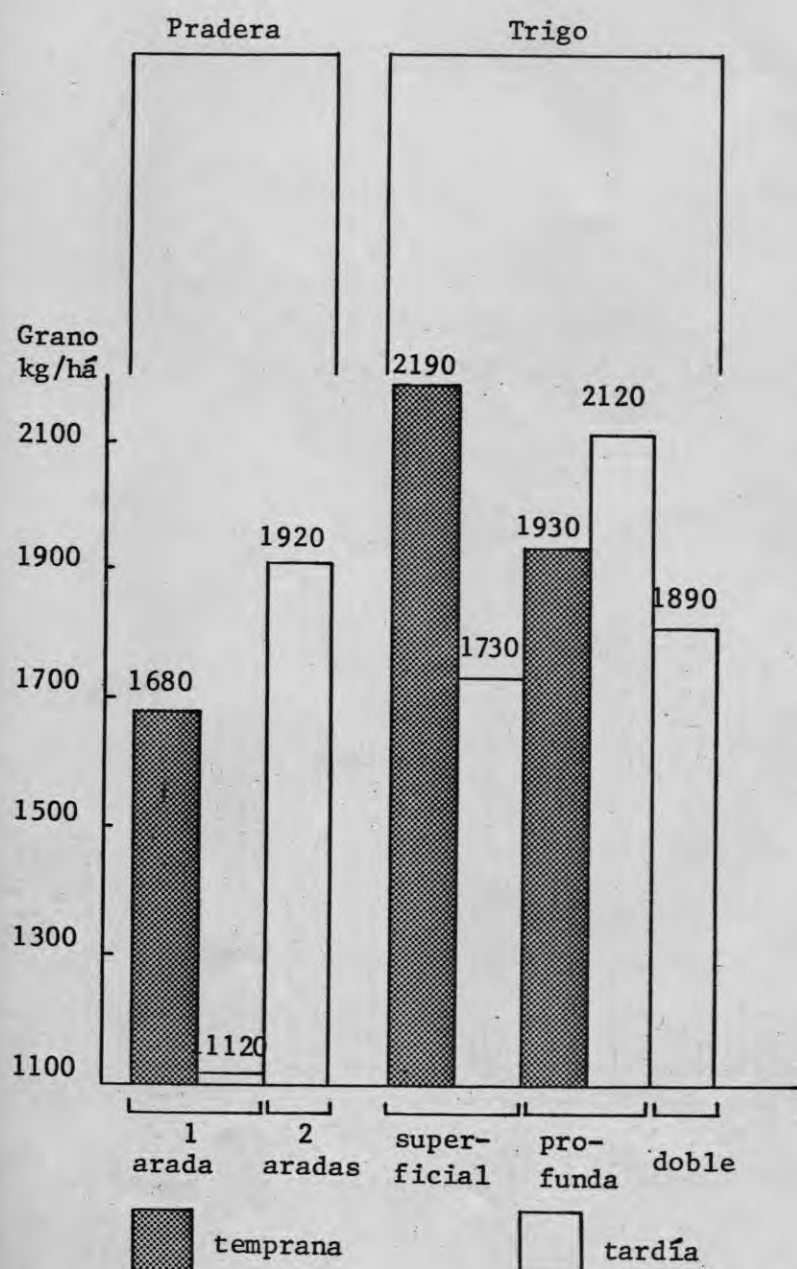


Figura II.6. Comparaciones de aradas simples y dobles sobre pradera y sobre rastrojo de trigo (Marchesi, 1971).

las aradas de más de 15 cm de profundidad no eran necesarias aunque sí eran ventajosas cuando existía una suela de arado.

En lo que respecta al cultivo de la papa no existen datos cuantificados estadísticamente a nivel nacional sobre la influencia que sobre el rendimiento tienen las diferentes formas de manejar las labores mecánicas, siendo el presente trabajo la primera experiencia que se realiza en ese sentido.

Girard A. (1916), citado por Henin (1969), investigando sobre el efecto de la profundidad de la labor sobre los rendimientos de papa encontró que a medida que se aumentaba la profundidad de arada aumentaban los rendimientos del cultivo, (Cuadro II.9).

Cuadro II.9. Efecto de tres profundidades de arada sobre el rendimiento de tres variedades de papa. Profundidad expresado en cm. y rendimiento en kg/há. (Girard, 1916)

Variedades	Profundidad de arada		
	15	40	75
Red Skinned	35200	36800	38250
Chardon	24050	26450	27850
Richter's Imperator	48900	50000	52000

Apais, J. (1935), citado por Henin (1969), obtuvo resultados algo diferentes a los de Giscard con el aumento en la profundidad de labor, (Cuadro II.10).

Cuadro II.10. Efecto de la profundidad de arada sobre el rendimiento de papa. (Apsits, 1935)

Profundidad de arada (cm)	10	15	20	25	30	25 5 (subsolación)
Rendimiento (índices)	100	103	106	110	104	103

Candura (1956) citado por Henin (1969), comparó profundidades de arada de 25, 35, 45, y 65 cm y obtuvo variaciones en los rendimientos muy irregulares, encontrando incluso una disminución de los rendimientos en función del aumento de profundidad de labor.

Henin (1955) citado por Henin (1969), llegó a conclusiones similares que los autores citados anteriormente.

De manera general, se puede concluir que las labores profundas no presentan ventajas en forma sistemática. Se ha notado que los rendimientos disminuyen cuando el laboreo profundo trae a la superficie del suelo, tierra químicamente pobre, con bajo tenor en materia orgánica y/o con alto tenor en arcilla formando agregados compactos.

III.- MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó sobre un suelo que se clasifica a nivel de Gran Grupo como Planosol. Se corresponde con la Unidad de Suelos Kiyú del mapa de suelos a escala 1:1.000.000 que próximamente publicará la Dirección de Suelos y Fertilizantes.

El uso del suelo durante los cinco años anteriores había sido en cultivo de papa, habiéndose realizado el último, en la primavera del año anterior al del presente ensayo.

A continuación se presenta la descripción morfológica del suelo:

0-7 cm. Color pardo grisáceo muy oscuro, 10YR 3/2; franco pesado, friable, estructura en bloques subangulares chicos, débiles, transición gradual.

pHc 6

7-27 cm. Color pardo grisáceo muy oscuro y pardo oscuro, 10YR 3/2 y 10YR 3/3, franco, con concreciones de Fe y Mn, pequeñas, comunes y friables, friable, estructura en bloques subangulares, chicos, débiles; transición gradual.

pHc 6

27-35 cm. Color pardo y pardo grisáceo muy oscuro, 10YR 4/3 y 10YR 3/2; franco; con concreciones de Fe y Mn pequeñas, comunes y friables; friable; estructura en bloques subangulares, chicos, débiles; transición clara.

pHc 6

35-38 cm. Color pardo, 10YR 4/3; con moteados color gris muy
A2 oscuro, 10YR 3/1, comunes, 1-2 mm, contraste tenue,
franco liviano; con concreciones de Fe y Mn abundan-
tes, 2-3 mm, friables; estructura masiva; transición
abrupta.

pHc 5.8

38-53 cm. Color pardo oscuro, 10YR 3/3, con moteados de color
B21t pardo fuerte, 7.5 YR 5/6, comunes, 2 mm., de contras-
te tenue; arcillo limoso; plástico y pegajoso; con
concreciones de Fe y Mn, abundantes, 1-2 mm, friables;
estructura en bloques angulares medios y moderados;
películas de arcilla abundantes y continuas; transi-
ción gradual.

pHc 6.2

53-66 cm. Color pardo grisáceo oscuro, 10YR 4/2; con moteados
de color pardo fuerte, 7.5YR 5/6, comunes, 1-2 mm,
de contraste tenue; arcilloso; con concreciones de
Fe y Mn, abundantes, de tamaño 2-3 mm, duras; plás-
tico y pegajoso; estructura en bloques angulares me-
dios, moderados; películas de arcilla abundantes y
continuas; transición gradual.

pHc 6.4

66-90 cm. Color pardo y pardo grisáceo oscuro, 7.5YR 5/6, po-
cos, 1-2 mm, de contraste tenue; arcilloso; plástico
y pegajoso; con concreciones de Fe y Mn, pocas, 1-2 mm.
friables; estructura en bloques angulares gruesos,

moderados; pocas películas de arcilla, discontinuas;
transición gradual.

pHc 6.6

90 cm. Color pardo fuerte, 7.5YR 5/6; arcillo limoso, plás-
tico y pegajoso; estructura en bloques angulares
gruesos, débiles.

pHc 6.8

La densidad aparente del suelo antes de comenzar los tra-
tamientos era:

Horizonte A: 1.33

Horizonte B: 1.46

P Bray: 40 ppm

Materia Orgánica: 3.7%

II.1.- Tratamientos y Diseño Experimental

Se probaron tres formas diferentes de preparar el suelo bajo
seis tratamientos de fertilización.

A. Los tratamientos de laboreo fueron:

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción del tratamiento</u>
S	Una arada superficial
P	Una arada profunda
A	Enterrado de avena con arada superficial.

La avena fue sembrada el 16 de marzo de 1974 y las aradas se realizaron el 29 de julio del mismo año. La elección de la avena como abono verde, se hizo en base a:

i. Factible de ser aplicado por un productor promedio de la zona, pudiendo aprovecharse en pastoreos livianos, cosa que se realizó en este trabajo.

ii. Efecto favorable sobre las propiedades físicas al aumentar la agregación del suelo.

La arada profunda se tuvo entre 27 y 32 cm de profundidad, mientras que la superficial varió entre 20 y 24 cm. El resto del laboreo consistió en el número de disquedadas y rastreadas necesarias para obtener una buena sementera; las labores de cultivo también fueron iguales para todas las parcelas.

B. Los tratamientos de fertilización fueron:

0. Sin fertilizar

1.	30	40	10 kg/há de N, P_2O_5 y K_2O respectivamente
2.	60	80	20 " " " "
3.	90	120	30 " " " "
4.	120	160	40 " " " "
5.	150	200	60 " " " "

Se eligió una relación constante entre los tres nutrientes, dado que la inclusión de tratamientos de fertilidad en este ensayo tiene como objetivo determinar si existe alguna interacción entre los tratamientos de laboreo y la fertilidad considera-

da globalmente.

La elección de una relación 3:4:1, se basó en que demostró ser la más adecuada para el cultivo en las condiciones de suelo del ensayo por las anteriores experiencias de las Cátedras de Horticultura y Fertilidad y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía.

Se usó un diseño en parcelas divididas con tres repeticiones agrupadas en tres bloques. Las parcelas grandes correspondieron a los tratamientos de laboreo y las chicas a los de fertilización. El tamaño de éstas últimas fue de 4 mt. de ancho por 5mt de largo.

El ensayo se sembró el 10 de setiembre de 1974 con semilla comercial de la Variedad Kennebec a razón de 1.500 kg/há con una distancia entre surcos de 0.80 mt.

C. Medidas realizadas.

1. Emergencia de plantas por parcela. A fin de evaluar posibles efectos del laboreo a través de su efecto sobre la implantación del cultivo, se determinó el número de plantas en cada uno de los tratamientos de fertilización. Esta determinación se realizó el 3 de noviembre cuando se suponía que se había completado la emergencia de las plantas.

2. Rendimiento de tubérculos. Se determinó el rendimiento en cada parcela chica, considerando solamente los 3 camellones centrales de los cinco que las componen. Los dos camellones de

borde, se desprecian para eliminar posibles errores en la aplicación de los fertilizantes. Los rendimientos de las parcelas grandes, se determinaron como el promedio de las parcelas chicas que las componen.

3. Densidad aparente y macroporosidad por parcela. A los efectos de poder determinar la influencia de los distintos tratamientos en las propiedades físicas del suelo, se hicieron medidas de densidad aparente y macroporosidad en cada uno de los tratamientos de laboreo. La densidad aparente y la macroporosidad, se determinaron en muestras de suelo no perturbadas de 68.7 cm^3 de volumen, tomadas en el momento de la floración.

Cada muestra en el laboratorio, fue completamente saturada de agua. En los casos en que se observó expansión, se eliminó el volumen de suelo que excedió a los $68,7 \text{ cm}^3$ de los anillos de bronce que contenían las muestras. La macroporosidad se determinó, como el porcentaje en volumen de agua desalojada de la muestra saturada por una presión de 0.1 atmósfera. La densidad aparente, se determinó como el cociente entre el peso de cada muestra secada a estufa en 105° C , luego de corregido su volumen en caso de expansión, y el volumen standard de $68,7 \text{ cm}^3$.

Se tomaron ocho muestras por parcela grande distribuidas en dos profundidades. Cuatro de ellas a una profundidad entre

10 y 20 cm, y cuatro entre 25 y 35 cm. Con esto se pretendió determinar si existía alguna diferencia importante en las propiedades físicas, determinada por las profundidades de arada. Las muestras se tomaron en la zona del camellón ya que en ella es donde se desarrolla la mayor parte del sistema radicular del cultivo y los tubérculos del mismo. Por esta razón es lógico esperar en esta zona las más altas correlaciones entre propiedades físicas y rendimiento. Resultados posteriores (García y Canale, 1975) confirmaron esta suposición, al no encontrarse correlación significativa entre las propiedades físicas de los surcos y los rendimientos.

Para las muestras superficiales se decidió eliminar los primeros 10 cm del camellón por dos razones: 1) Se supone que en esta zona las propiedades físicas no son limitantes, y 2) el suelo en esta parte del perfil queda tan suelto que impide tomar muestras imperturbadas sin introducir un error experimental muy alto.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSION

IV.1.- Efecto de los tratamientos sobre los rendimientos.

En el cuadro IV.11, se observan los rendimientos promedios de las tres repeticiones de los diferentes tratamientos.

Cuadro IV.11: Rendimientos corregidos por número de plantas y expresados en kg./há.

<u>Niveles de fertilización codificados</u>	<u>Manejo anterior</u>			<u>Promedio</u>
	<u>Arada profunda</u>	<u>Arada superficial</u>	<u>Avena</u>	
0	4112.70	3486.53	4971.72	4190.31
1	3666.10	3804.82	4496.88	3989.26
2	5644.68	3884.30	4335.98	4621.65
3	5097.49	4430.23	4704.47	4744.06
4	4708.41	3484.24	4886.33	4359.66
5	4645.80	3814.76	5406.06	4622.06
Promedio	4645.80	3810.81	4800.24	

Dado que los diferentes tratamientos presentaban un número muy variable de plantas por parcela se estudió como paso previo al análisis estadístico de los rendimientos por hectárea el efecto de los tratamientos sobre el número de plantas. A continuación se presenta en el cuadro IV.12 el análisis de varianza para número de plantas por parcela.

Cuadro IV.12: Análisis de varianza para número de plantas por parcela.

<u>Causa de Variación</u>	<u>grados de libertad</u>	<u>Suma cuadrados</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>F</u>
Bloques	2	0.360	0.180	NS
Preparación del suelo	2	31.442	15.721	NS
Error 1	4	51.929	12.982	
Fertilización	5	39.375	7.875	NS
Interacción	10	73.786	7.378	NS
Error 2	30	222.650	6.565	

Es de hacer notar que se trabajó con un alto error experimental debido fundamentalmente a la mala distribución de plantas que se obtuvo.

Dado que los tratamientos no afectaron el número de plantas por parcela y teniendo en cuenta que la variación en el número de plantas aumentaba enormemente el error experimental es que el análisis estadístico de los rendimientos se realizó sobre los datos corregidos por número de plantas, como se expone en el cuadro IV.13.

Cuadro IV.13: Análisis de varianza para los rendimientos por parcela.

Causa de variación	grados de libertad	Suma cuadrados	Cuadrado F medio	F	F(p<0.1)
Preparación del suelo	2	12065.59	6032.79	3.81	4.30
Bloques	2	24660.31	12330.15	7.80	4.30
Error 1	4	6321.37	1580.35		
Fertilización	5	4145.15	829.03	<1	
Interacción	10	5741.91	574.19	<1	
Error 2	30	65612.82	2187.09		

Del análisis de varianza se desprende:

No hubo efecto significativo de los niveles de fertilizante agregados, ni interacción entre niveles de fertilizante y manejo previo. El hecho de que no existiera respuesta al agregado de fertilizante puede deberse a varias causas.

En primer lugar el nivel de rendimientos generales del cultivo en ese año fue muy bajo debido a un factor limitante que fue la falta de agua en momentos críticos del crecimiento del cultivo. De acuerdo a la "ley del mínimo", la cual se cumple para el caso del agua, éste factor pasa a ser prácticamente el

único limitante, no permitiendo reflejar efectos de otros factores.

En segundo lugar, el nivel inicial de nutrientes de este suelo era alto, como consecuencia de intensas fertilizaciones anteriores. Para el caso del fósforo por ejemplo el análisis Bray N°1 daba un nivel de 40 ppm., lo cual lleva a una menor respuesta a nuevos agregados del nutriente.

En tercer lugar, el ensayo en general tuvo un alto error experimental reflejado en los altos valores encontrados para las suma cuadrado de error del análisis de varianza. Esto impide que pequeñas diferencias entre tratamientos ^{/no}aparezcan como significativas estadísticamente.

En cuanto al efecto de las propiedades físicas del suelo derivado del manejo anterior, se puede asegurar que tuvo una influencia sobre el rendimiento con nivel de seguridad de aproximadamente el 90%. El hecho de que los resultados no fueran más concluyentes puede explicarse por algunas de las razones expuestas en relación a los tratamientos de fertilizante, vg. bajos rendimientos generales, existencia de otro factor limitante (falta de agua en momentos críticos) y alto error experimental. Con respecto a éste último, su efecto es más grave, dada la gran variabilidad que introducen los diferentes tratamientos de manejo, especialmente aquellos referidos a la diferente profundidad de arada.

Evidentemente los efectos de los tratamientos, profundidad de arada y avena previa influyeron en los rendimientos a través de su efecto sobre las propiedades físicas. Se puede asegurar esto porque no existe respuesta a la fertilización, ni interacción entre ésta y manejo previo.

Un mejoramiento de las propiedades físicas puede haber influido en los rendimientos tanto a través de una mejora en la aereación del suelo como de un mejor aprovechamiento del agua recibida por las lluvias, factor éste último especialmente limitante para ese año.

El que el tratamiento con avena fuera superior a la arada profunda puede explicarse por el hecho de que las mejoras en las propiedades físicas originadas por la incorporación de materia orgánica son más perdurables que las originadas por el laboreo. En este caso esto sería especialmente cierto teniendo en cuenta los grandes volúmenes de agua caídos en forma concentrada en el momento de la siembra. Probablemente esto no se reflejó en el número de plantas debido al alto error experimental introducido en la distribución de las mismas.

La avena se considera como elemento mejorador de las propiedades físicas del suelo fundamentalmente por un efecto sobre la estructura del mismo. A igualdad de las otras características físicas del suelo, es la estructura la que determina la capacidad del mismo para el suministro de agua y la aereación.

Este mejoramiento en la estructura por la incorporación de avena permite que el aflojamiento de la capa superficial del suelo luego de la arada sea más perdurable en el tiempo ayudando a mantener durante todo el ciclo del cultivo las buenas propiedades físicas que se persiguen con el laboreo. Esto es particularmente importante para aquellos suelos que como el del ensayo presentan un grado de estructura débil, que no va a impedir que una vez arado y rastreado, las partículas se vuelvan a acomodar rápidamente de forma simple, perdiéndose de esta manera a muy corto plazo el aflojamiento del suelo logrado a través de las labores primarias. Probablemente sea ésta además la razón de la no existencia de diferencias significativas entre las dos profundidades de labor, ya que lo que se pretende mejorar con una mayor profundidad de arada, o sea, mayor capacidad de almacenar agua y mayor volumen de suelo con adecuada aereación, debido a la pobre estructura del mismo, no durase lo suficiente como para que se reflejara en un aumento de los rendimientos.

IV.2.- Medidas de las propiedades físicas del suelo.

IV.2.1.- Relación entre los tratamientos y las propiedades físicas de los suelos.

En los cuadros IV.14 y IV.15, se observan los resultados de las medidas de densidad aparente y macroporosidad realizadas de acuerdo a la técnica antes explicada. Las medidas son promedio de cuatro muestras por parcela grande. Se exponen separadamente los resultados para las profundidades 10-20 cm y 25-35 cm.

Cuadro IV.14: Valores promedio de densidad aparente para cada tratamiento.

<u>Manejo anterior</u>	<u>Profundidad de muestreo</u>	
	<u>10 - 20 cm</u>	<u>25 - 35 cm</u>
Arada profunda	1.24	1.39
Arada superficial	1.22	1.32
Avena	1.25	1.30

Cuadro IV.15: Valores promedio de macroporosidad para cada tratamiento.

<u>Manejo anterior</u>	<u>Profundidad de muestreo</u>	
	<u>10 - 20 cm</u>	<u>25 - 35 cm</u>
Arada profunda	13.97	10.48
Arada superficial	13.58	9.83
Avena	13.76	10.41

En base a los datos de las medidas de propiedades físicas cuyos promedios se expresaron en los cuadros anteriormente expuestos se efectuó el análisis de varianza a efectos de detectar si existió un efecto significativo de los tratamientos sobre las medidas de propiedades físicas. Los resultados de dichos análisis de varianza se presentan en los cuadros IV.16, IV 17, IV.18, IV.19.

Cuadro IV.16: Análisis de varianza para densidad aparente en la profundidad de 10 - 20 cm.

<u>Causa de Variación</u>	<u>grados de libertad</u>	<u>Suma Cuadrados</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>F</u>
Tratamientos	2	0.001	0.0005	<1
Bloques	2	0.006	0.003	3 NS
Error	4	0.005	0.001	

Cuadro IV.17: Análisis de varianza para densidad aparente en la profundidad de 25 - 35 cm.

<u>Causa de Variación</u>	<u>grados de libertad</u>	<u>Suma Cuadrados</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>F</u>
Tratamientos	2	0.002	0.001	<1
Bloques	2	0.005	0.0025	1.6 NS
Error	4	0.006	0.0015	

Cuadro IV.18: Análisis de varianza para macroporosidad en la profundidad de 10 - 25 cm

<u>Causa de variación</u>	<u>grados de libertad</u>	<u>Suma Cuadrados</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>F</u>
Tratamientos	2	22.81	11.40	1.25 NS
Bloques	2	5.78	2.89	
Error	4	36.23	9.05	

Cuadro IV.19: Análisis de varianza para macroporosidad en la profundidad de 25 - 35 cm

<u>Causa de variación</u>	<u>grados de libertad</u>	<u>Suma Cuadrados</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>F</u>
Tratamientos	2	1.322	0.661	
Bloques	2	21.32	10.66	3.67 NS
Error	4	11.604	2.901	

El hecho de que no apareciera una influencia significativa de los tratamientos sobre las medidas de propiedades físicas se puede deber a dos causas: 1) que los tratamientos no afectaron a las propiedades físicas del suelo; 2) que el método utilizado para evaluar dichas propiedades físicas no fue lo suficientemente exacto para evaluar las diferencias creadas por el manejo con la intensidad de muestreo utilizada.

Teniendo en cuenta la influencia observada de los tratamientos sobre el rendimiento es de suponer que la causa principal fue la segunda. Algunos aspectos de esta segunda causa serán discutidos con más detalle en el punto IV.3.

IV.2.2.- Relación entre las medidas de propiedades físicas y rendimientos.

Con el objeto de estudiar la influencia de las propiedades físicas de los suelos evaluados por medidas de laboratorio sobre el rendimiento, se calcularon coeficientes de correlación simples entre ambas variables.

Cada observación utilizada a los efectos de calcular la correlación corresponde al promedio de las cuatro medidas realizadas en una parcela grande y al rendimiento de dicha parcela.

Se encontraron coeficientes de correlación significativos para densidad aparente al 95% y macroporosidad al 99% en las profundidades de 25 - 35 cm. Se calcularon además para esta profundidad los coeficientes de regresión lineales, todo lo cual se expone en las figuras IV.7 y IV.8.

No se encontraron coeficientes de correlación significativos ni para densidad aparente, ni para macroporosidad con los datos obtenidos en la profundidad de 10 - 20 cm.

El primer aspecto que llama la atención de estos resultados es el hecho de que aparezcan correlaciones significativas estadísticamente, lo cual indica influencia de las propiedades

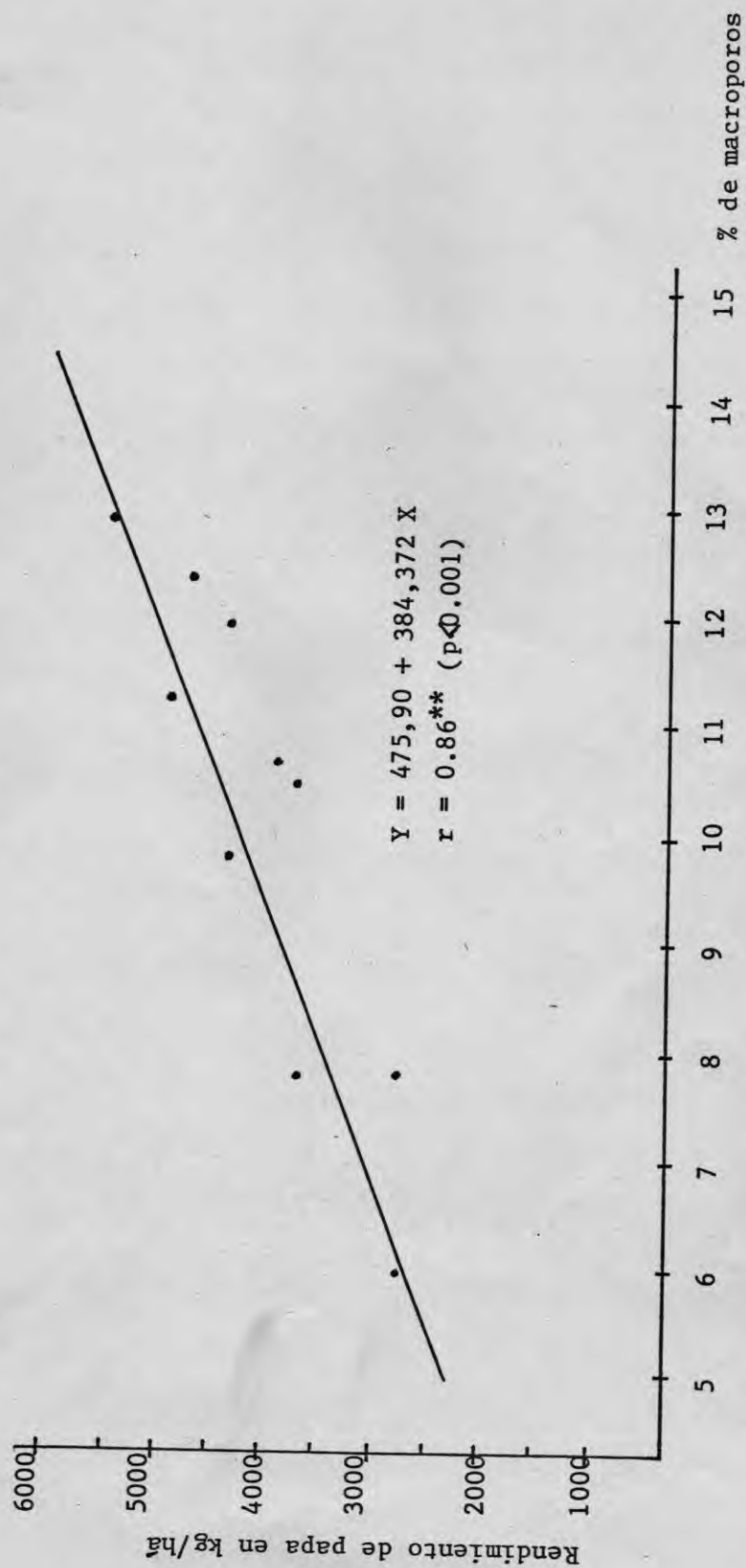


Figura IV.7. Recta de regresión entre macroporosidad, medida en la profundidad de 25 - 35 cm y rendimiento de papa.

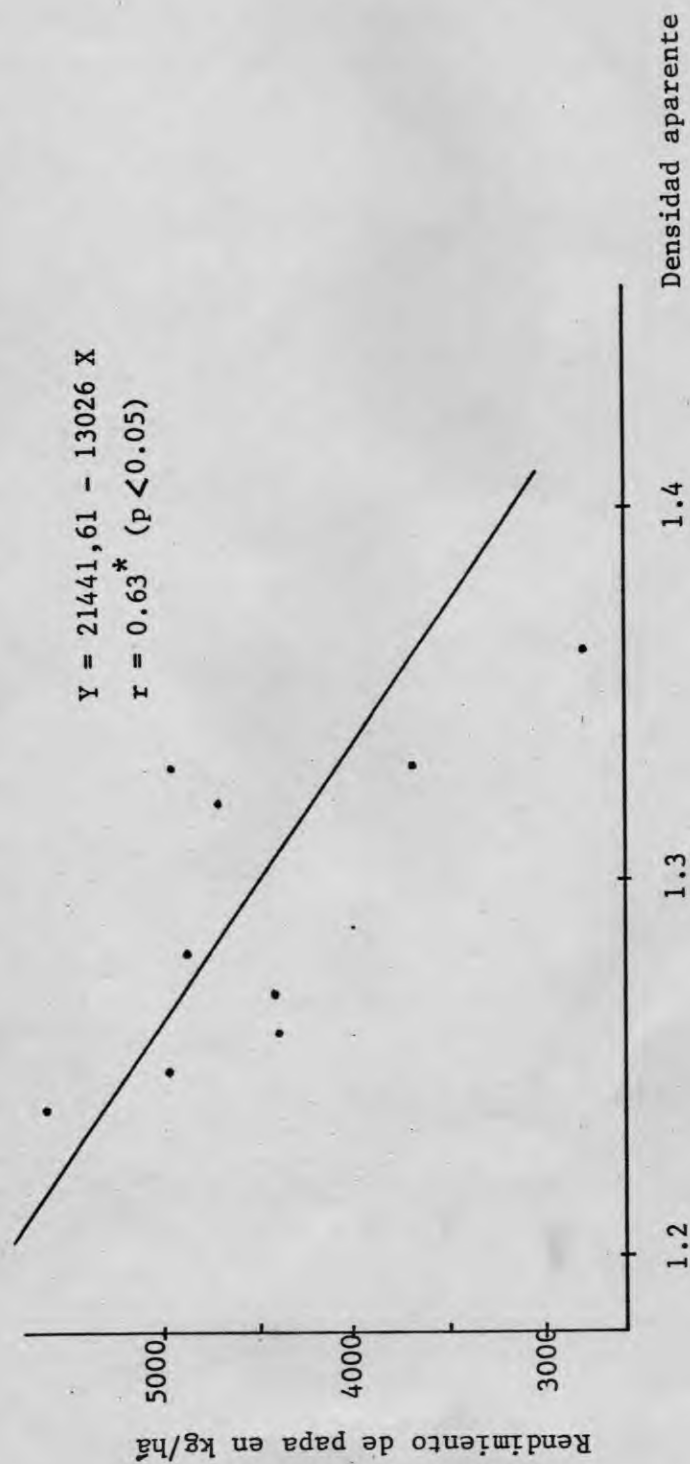


Figura IV.8. Recta de regresión entre densidad aparente, medida en la profundidad de 25-35 cm y rendimiento de papa.

físicas sobre rendimientos, mientras que no se detectó una influencia significativa de los tratamientos sobre las propiedades físicas, todo evaluado a través de las mismas técnicas de medida. Esto puede llevar a una única conclusión, y es de que además de la variación de las propiedades físicas inducidas por el manejo (no detectadas por la técnica de medida), existió otra variación entre parcelas en sus propiedades físicas. La causa de esta otra fuente de variación puede estar dada por diferencias naturales en el suelo que no fueron eliminadas por el efecto bloque, o por variaciones involuntarias introducidas en el laboreo. Estas segundas fuentes de variación por sí solas o sumadas a las creadas por el manejo hicieron que apareciera una significación estadística. Lo anterior confirma la influencia de las propiedades físicas sobre el rendimiento y la validez de las medidas de laboratorio usada para evaluarlo.

De las dos medidas de propiedades físicas realizadas, la que da mejores coeficientes de correlación con rendimientos es la macroporosidad. Esto indicaría que dicha técnica es una mejor caracterización del suelo desde el punto de vista de sus condiciones para el crecimiento vegetal, o bien que implica menores errores en la medida.

El primer aspecto parece bastante obvio, pues macroporosidad es una medida directa de lo que realmente limita el crecimiento vegetal, o sea el volumen de suelo que permite el in-

físicas sobre rendimientos, mientras que no se detectó una influencia significativa de los tratamientos sobre las propiedades físicas, todo evaluado a través de las mismas técnicas de medida. Esto puede llevar a una única conclusión, y es de que además de la variación de las propiedades físicas inducidas por el manejo (no detectadas por la técnica de medida), existió otra variación entre parcelas en sus propiedades físicas. La causa de esta otra fuente de variación puede estar dada por diferencias naturales en el suelo que no fueron eliminadas por el efecto bloque, o por variaciones involuntarias introducidas en el laboreo. Estas segundas fuentes de variación por sí solas o sumadas a las creadas por el manejo hicieron que apareciera una significación estadística. Lo anterior confirma la influencia de las propiedades físicas sobre el rendimiento y la validez de las medidas de laboratorio usada para evaluarlo.

De las dos medidas de propiedades físicas realizadas, la que da mejores coeficientes de correlación con rendimientos es la macroporosidad. Esto indicaría que dicha técnica es una mejor caracterización del suelo desde el punto de vista de sus condiciones para el crecimiento vegetal, o bien que implica menores errores en la medida.

El primer aspecto parece bastante obvio, pues macroporosidad es una medida directa de lo que realmente limita el crecimiento vegetal, o sea el volumen de suelo que permite el in-

tercambio gaseoso y el rápido drenaje, además de la resistencia mecánica al crecimiento de órganos subterráneos y raíces. En cambio la medida de densidad aparente es una medida indirecta, influida por la macroporosidad y otras variables.

Otro aspecto a analizar es el hecho de que las medidas realizadas con muestras de 25 - 35 cm dieron correlaciones significativas, mientras que las de 10 - 20 cm no las dieron. Esto puede deberse a dos causas: 1) Teniendo en cuenta que las profundidades se tomaron desde el punto más alto del camellón, es posible suponer que en los segundos 10 cm, al igual que en los 10 cm primeros no haya existido en ningún caso grandes limitantes físicas. 2) Esta primer capa de 20 cm. presenta una gran variación natural por estar muy expuesta a factores externos y se encuentra en un estado muy suelto, llevando estas dos causas a ser muy difícil el obtener muestras representativas de las parcelas.

La gran importancia de este segundo factor se puede confirmar por el alto error de muestreo detectado en el análisis de varianza, aspecto éste que se desarrollará en la sección IV.3.

IV.2.3.- Análisis estadístico del muestreo para densidad aparente y macroporosidad.

Teniendo en cuenta de que se disponía de medidas de propiedades físicas de una población de muestras de suelo tomadas al azar, se utilizó como base para un estudio de muestreo para futuros trabajos.

A efectos de realizar esto, es necesario separar los diferentes componentes que incluyen la variación total entre medidas individuales de muestras analizadas para propiedades físicas.

Dichos componentes son:

- Variación entre tratamientos.
- Variación entre repeticiones de un mismo tratamiento.
- Variación entre muestras de una misma parcela.

Los estimadores de los componentes individuales de la variación total, se pueden obtener despejando del valor esperado del cuadrado medio, como se muestra en el esquema siguiente. (Reed et al. 1947)

<u>Causa de Variación</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>Valor esperado del cuadrado medio</u>
Tratamientos	T	$np\sigma_{tr}^2 + p\sigma_e^2 + \sigma_{m.v.}^2$
Repeticiones/Tratamiento	E	$p\sigma_e^2 + \sigma_{m.v.}^2$
Muestras/parcela	Mv	$\sigma_{m.v.}^2$

n = N° de repeticiones por tratamiento

p = N° de muestras por parcela

Del esquema se desprende que M_v (cuadrado medio de la micro-variación) es un buen estimador de σ_{mv}^2 ; por lo cual se puede escribir:

$$s_{mv}^2 = M_v$$

Si substraemos M_v de E , y al resultado lo dividimos por p , obtenemos una buena estimación de σ_e^2 , como se demuestra a continuación:

$$\sigma_{mv}^2 + p\sigma_e^2 - \sigma_{mv}^2 = p\sigma_e^2$$

$$s_e^2 = \frac{E - M_v}{p}$$

De la misma manera, la diferencia entre el cuadrado medio de tratamientos (T) y el cuadrado medio de las repeticiones por tratamiento (E) va a tener como valor esperado a $np\sigma_{tr}^2$; porque:

$$np\sigma_{tr}^2 + p\sigma_e^2 + \sigma_{mv}^2 - p\sigma_e^2 - \sigma_{mv}^2 = np\sigma_{tr}^2$$

de donde se deduce que:

$$s_r^2 = \frac{T - E}{np}$$

será un buen estimador de σ_{tr}^2 .

Los análisis de varianza, incluyendo los estimadores de los componentes individuales de la variación total calculados de la manera arriba indicada, se presentan en los cuadros IV. 20, 21, 22 y 23. Incluyen macroporosidad, y densidad aparente, en las dos profundidades de muestreo.

Cuadro IV.20: Análisis de varianza para macroporosidad en la profundidad de 10-20 cm.

<u>Causa de Variación</u>	<u>G. l.</u>	<u>S. C.</u>	<u>C. M.</u>	<u>S²</u>	<u>F</u>
Tratamientos	2	0.939	0.4695		NS
Rep./Trat.	6	175.837	29.3060	4.631	2.71 ($p < 0.05$)
Muestras/par-cela	27	291.056	10.7790	10.779	

Cuadro IV.21: Análisis de varianza para macroporosidad en la profundidad de 25 - 35 cm.

<u>Causa de Variación</u>	<u>G. l.</u>	<u>S. C.</u>	<u>C. M.</u>	<u>S²</u>	<u>F</u>
Tratamientos	2	12.512	6.256		NS
Rep./Trat.	6	98.578	16.430	2.240	2.19 ($p < 0.10$)
Muestras/par-cela	27	201.631	7.469	7.469	

Cuadro IV.22: Análisis de varianza para densidad aparente en la profundidad de 10 - 20 cm.

<u>Causa de Variación</u>	<u>G. l.</u>	<u>S. C.</u>	<u>C. M.</u>	<u>S²</u>	<u>F</u>
Tratamientos	2	0.0035	0.00150		NS
Rep./Trat.	6	0.0440	0.00718	0.000032	NS
Muestras/par-cela	27	0.1705	0.00705	0.007050	

Cuadro IV.23: Análisis de varianza para densidad aparente en la profundidad de 25 - 35 cm.

Causa de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	S^2	F
Tratamientos	2	0.0104	0.0052		NS
Rep/Trat.	6	0.0395	0.0066	0.000475	NS
Muestras/parcela	27	0.1268	0.0047	0.004700	

Al separar los componentes de variación de error en dos partes, microvariación y variación entre parcelas del mismo tratamiento, se observa que siempre el componente más importante es el de la microvariación.

Si testamos por prueba F la relación entre cuadrado medio de repeticiones por tratamiento contra microvariación, observamos que en algunos casos se observa un valor de F significativo. Esto significa que existió una variación significativa entre parcelas en sus valores de propiedades físicas, originada fundamentalmente por variaciones naturales del terreno. Esto confirmaría la explicación dada al hecho de que aparecieran correlaciones significativas entre propiedades físicas y rendimiento a pesar de no haber existido un efecto tan evidente de los tratamientos sobre los rendimientos.

De la comparación de los valores de variación entre muestras de una misma parcela, surge que un mismo número de muestras tomadas

en la profundidad de 25 - 35 cm, caracterizan mejor la propiedad que se quiere medir que cuando se toman en la profundidad de 10 - 20 cm.

Una vez obtenidos los estimadores de la variación dentro de la parcela, y entre parcelas de un mismo tratamiento, es posible calcular el error total que se comete cuando fijamos un determinado número de muestras y repeticiones, a través de la fórmula

$$\sigma_{et}^2 = \frac{\sigma_{mv}^2}{p} + \frac{\sigma_e^2}{n}$$

Esto fue calculado para diferentes combinaciones de número de repeticiones del tratamiento y número de muestras por parcela, lo cual se expone en los cuadros IV. 24, 25, 26, y 27.

Cuadro IV.24: Variación del error, de acuerdo al número de repeticiones y muestras por parcela para caracterizar macroporosidad en la profundidad de 10 - 20 cm.

<u>Nº de rep.</u>	<u>Nº de muestras</u>				
	4	5	6	7	8
3	4.238	3.699	3.340	3.083	2.891
4	3.852	3.313	2.954	2.697	2.505
5	3.620	3.082	2.722	2.466	2.273
6	3.466	2.927	2.568	2.311	2.119
7	3.356	2.817	2.458	2.201	2.008
8	3.270	2.734	2.375	2.118	1.926

Cuadro IV.25: Variación del error, de acuerdo al número de repeticiones y muestras por parcela para caracterizar macroporosidad en la profundidad de 25 - 35 cm.

Nº de rep.	Nº de muestras				
	4	5	6	7	8
3	2.613	2.240	1.991	1.813	1.680
4	2.427	2.053	1.804	1.627	1.493
5	2.315	1.941	1.692	1.515	1.381
6	2.240	1.867	1.618	1.440	1.306
7	2.187	1.813	1.564	1.387	1.253

Cuadro IV.26: Variación del error, de acuerdo al número de repeticiones y muestras por parcela para caracterizar densidad aparente en la profundidad de 10 - 20 cm.

Nº de rep.	Nº de muestras				
	4	5	6	7	8
3	0.00177	0.00142	0.00118	0.00101	0.000892
4	0.00177	0.00141	0.00118	0.00101	0.000890
5	0.00177	0.00141	0.00118	0.00101	0.000880
6	0.00176	0.00141	0.00118	0.00101	0.000880
7	0.00176	0.00141	0.00118	0.00101	0.000880

Cuadro IV.27: Variación del error, de acuerdo al número de repeticiones y muestras por parcela para caracterizar densidad aparente en la profundidad de 10 - 20 cm.

<u>Nº de rep</u>	<u>Nº de muestras</u>				
	4	5	6	7	8
3	0.00133	0.00109	0.000941	0.000829	0.000746
4	0.00129	0.00105	0.000902	0.000780	0.000707
5	0.001270	0.00103	0.000878	0.000766	0.000683
6	0.00125	0.00101	0.000862	0.000750	0.000667
7	0.00124	0.00100	0.000851	0.000739	0.000656

Por otra parte, es posible calcular el número de muestras a tomar por parcela y el número de repeticiones de tratamientos a emplear para un nivel dado de error. Esto lo calculamos en base a que: $n = \frac{t^2 s^2}{d^2}$, siendo n el número de repeticiones a emplear,

t el valor de tabla de la distribución t , s el estimador de σ y d el nivel de error aceptado. De esta manera, es posible llegar a la siguiente igualdad:

$$\frac{d^2}{t^2} = \frac{s_{mv}^2}{p} + \frac{s_e^2}{n} ; \text{ donde } s_{mv} \text{ es el estimador de } \sigma_{mv}^2, s_e \text{ es el estimador de } \sigma_e^2, d \text{ el nivel de error aceptado, } n \text{ el número de repeticiones, } p \text{ el número de muestras por parcela, y } t \text{ es el valor de tabla de la distribución } t. \text{ En este sentido, } t$$

se tomó con los grados de libertad con que se calculó el estimador de la variancia de las muestras por parcela cuando la incógnita era el número de muestras, o con los grados de libertad con que se calculó el estimador de la variancia de las repeticiones de un mismo tratamiento cuando la incógnita fue número de repeticiones. Los resultados se expresan en el cuadro IV.28. Para los cálculos se tomó en cuenta solamente los datos de macroporosidad y densidad aparente obtenidos en la profundidad de 25 a 35 cm., por haberse demostrado anteriormente que en las condiciones del ensayo, la variación en propiedades físicas a esta profundidad era la que mejor explicaba la variación en rendimientos.

Cuadro IV.28: Número de muestras a tomar según las repeticiones, para cuatro niveles de error aceptado y dos niveles de significación

MACROPOROSIDAD (25 - 35 cm)

Probabilidad = 95%

<u>Nº de repeticiones</u>	<u>Error aceptado</u>			
	1%	2%	2.5%	3%
3	-	25	8	4
4	-	15	7	4
5	-	12	6	4
6	-	11	6	4

Probabilidad = 90%

<u>Nº de repeticiones</u>	<u>Error aceptado</u>			
	1%	2%	2.5%	3%
3	-	10	5	3
4	-	8	4	3
5	-	7	4	3
6	-	7	4	3

DENSIDAD APARENTE (25 - 35 cm)

Probabilidad = 95%

<u>Nº de repeticiones</u>	<u>Error aceptado</u>			
	0.02	0.04	0.08	0.1
3	-	20	3	2
4	-	17	3	2
5	-	16	3	2
6	261	15	3	2

Probabilidad = 90%

<u>Nº de repeticiones</u>	<u>Error aceptado</u>			
	0.02	0.04	0.08	0.1
3	-	11	2	1
4	195	10	2	1
5	49	10	2	1
6	42	9	2	1

De lo observado en los cuadros surge la necesidad para futuros trabajos de aumentar en forma importante el número de muestras por parcela para disminuir el error experimental de tal forma que permita resaltar las diferencias entre tratamientos. El aumentar el número de repeticiones a pesar de que también disminuiría el error experimental, no sería de una forma tan importante como el anterior. De acuerdo entonces con los datos, parece conveniente en el futuro trabajar con niveles de significación del 10%, realizando 4 repeticiones y tomando 8 muestras por parcela, para estudiar macroporosidad; pudiendo llegar a 10 el número de muestras si además se quiere estudiar densidad aparente.

V.- RESUMEN Y CONCLUSIONES FINALES

A los efectos de buscar un manejo al alcance del productor tendiente a restituir las propiedades físicas de los suelos bajo cultivo continuo de papa, se probó la inclusión de avena como cultivo anterior a la papa de primavera y el efecto de dos profundidades de arada.

El ensayo de campo se realizó en el predio de un productor, utilizando para ello su propia maquinaria. Se instaló sobre un suelo representativo de la zona papera de San José, clasificado a nivel de Gran Grupo como Planosol, integrando la unidad Kiyú del mapa 1:1.000.000 de suelos, de la Dirección de Suelos y Fertilizantes del Ministerio de Agricultura y Pesca, en publicación.

Se midió el efecto que sobre las propiedades físicas, macroporosidad y densidad aparente del suelo tuvo el manejo anterior ensayado. Las medidas de macroporosidad y densidad aparente se efectuaron a dos profundidades tomadas a partir del camellón, de 10 a 20 cm y de 25 a 35 cm.

Se observó efecto de los tratamientos sobre los rendimientos de papa con una probabilidad cercana al 90%, apareciendo como mejor la práctica de enterrar avena previo al cultivo de papa de primavera, no habiendo diferencias entre las dos profundidades de arada. Si bien los datos se corresponden a un año solo, y las condiciones en que se realizó el ensayo no fueron del todo satis-

factorias, se puede en principio aconsejar como una buena práctica de manejo el enterrado de avena previo al cultivo de primavera de papa. En este sentido surge la interrogante de estudiar esta práctica en el cultivo de otoño, introduciendo riegrás además, junto con la avena. Teóricamente es dable esperar una mayor diferencia cuando se considere avena en mezcla con riegrás en forma previa al cultivo de papa de otoño. Las razones serían un mayor período de crecimiento de la mezcla. De esta manera, el aporte de materia orgánica va a ser mayor, además de ser mayor también la relación C/N de los residuos enterrados, lo cual también incide en un residuo neto mayor. Sin embargo esta práctica puede tener inconvenientes en la reserva del agua del suelo y la preparación del mismo. Desde el punto de vista económico, la práctica de enterrado de avena ofrece ventajas, ya que la posibilidad de ser pastoreada, permite pagar sus costos, dejando la ganancia en el aumento en los rendimientos de papa. Cuando se considere el cultivo de papa de otoño, la avena, cuya mezcla con riegrás aparece todavía como más conveniente, dejará ganancia por sí sola ya que se la podrá pastorear durante todo el ciclo.

De acuerdo entonces con estas consideraciones, y a la información obtenida del ensayo, surge clara la necesidad de continuar las investigaciones, orientadas hacia la recuperación y mantenimiento de las propiedades físicas de los suelos del área papera de San José.

No se encontró efecto de los tratamientos sobre las medidas de macroporosidad y densidad aparente. Sin embargo, se encontraron correlaciones muy altas entre densidad aparente y macroporosidad en la profundidad de 25 a 35 cms. con los rendimientos, tomando el promedio de las cuatro medidas realizadas en una parcela grande y el rendimiento de dicha parcela. Las conclusiones de estas correlaciones encontradas, se pueden resumir de la siguiente forma:

i. Se comprueba la limitante de índole física en el suelo del ensayo, ya que la variación natural en macroporosidad y densidad aparente del terreno, explica perfectamente la variación encontrada para los rendimientos.

ii. La variación que introduce el método de medida de densidad aparente y macroporosidad, es mayor que la que introdujeron los tratamientos en la densidad aparente y macroporosidad del suelo.

iii. La variación del suelo en macroporosidad y densidad aparente es mayor que la introducida en los tratamientos.

iv. Que se encuentren correlaciones significativas con las medidas de 25 a 35 cm y no de 10 a 20 cm., se debe a dos causas, cuya importancia relativa de una con respecto a la otra es difícil de cuantificar. Ellas son:

a) En la profundidad de 0 a 20 cm las propiedades físicas del suelo no son limitantes.

b) El error de muestreo en esta profundidad es muy alto.

Con los datos obtenidos del muestreo, se construyeron cuadros de errores, donde se calculó en cuanto contribuía a la variación total, la variación entre parcelas con el mismo tratamiento y la variación dentro de la parcela, a la cual se le llamó microvariación. Se calcularon también número de muestras y repeticiones necesarias para un determinado valor de error y un cierto nivel de significación.

Las conclusiones de estos estudios se resumen de la siguiente forma:

i. De los dos componentes de la variación total, el mayor fue el de variación de muestras dentro de la parcela.

ii. La variación de muestras dentro de la parcela fue a su vez, mayor en la profundidad de 10 a 20 cms para las dos propiedades físicas medidas (densidad aparente y macroporosidad), siendo también mayor la variación total.

iii. Dado que la microvariación es el principal componente en la variación total se concluye que para la disminución de ésta es más importante aumentar el número de muestras por parcela, que el número de repeticiones. Esta conclusión se cuantifica en los cuadros de errores.

iv. Se aconseja para el futuro, entrabajos de similares características, en los cuales se pretenda caracterizar el efecto del manejo del suelo sobre las propiedades físicas, trabajar con un nivel de significación del 10%, aumentando a 4 las repeticiones y a 10 el n° de muestras pudiendo quedar éste en 8 si sólo se quiere caracterizar macroporosidad.

VI.- BIBLIOGRAFIA

- Baver, L. D.; Gardner, W. H. y Gardner W. R. 1973. Física de Suelos, editado por U.T.E.H.A.
- Bennett, A.C. 1974. Toxic Effects of Aqueous Ammonia, Cooper, Zinc, Lead, Boron and Manganese on Root Growth en "The Plant Root and Its Environment", editado por E.W. Carson, University Press of Virginia.
- Blake, G.R.; Boelter, D.H.; Adams, E.P. y Aase J.K. 1960. Soil Compaction and Potatoe Growth. Am. Pot. Jour. Vol 37 Nº 12.
- Bushnell, John. 1955. Exploratory Study of the Rate of Oxygen Consumption by Potatoe Roots. Am. Pot. Jour. Vol 33 Nº7.
- Bushnell, John. 1955. Growth Response from Restricting Oxygen at Roots of Young Potatoe Plants. Am. Pot. Jour. Vol 33 Nº 8.
- Flocker, W.J.; Tim H. y Vomocil, J.A. 1960. Effect of Soil Compaction on Tomatoe and Potatoe Yields. Agr. Jour. Vol 52 Nº6.
- Foy, Charles D. 1974. Effects of Soil Calcium Availability on Plant Growth en "The Plant Root and Its Enviroment", editado por E.W. Carson, University Press of Virginia.
- Foy, Charles D. 1974. Effects of Aluminum on Plant Growth, en "The Plant Root and Its Enviroment", editado por E.W. Carson, University Press of Virginia.
- García, F.; Canale F. 1975. Importancia de algunas propiedades físicas del suelo en los rendimientos y calidad del cultivo de papa. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos; Segunda Etapa Nº 2.

- Pearson, Robert W. 1974. Significance of Rooting Pattern to Crop Production and Some Problems of Root Research, en "The Plant Root and Its Environment", editado por E.W. Carson, University Press of Virginia.
- Reed, J. Fielding y Rigney, J.A. 1947. Soil Sampling from Fields of Uniform and Nonuniform Appearance and Soil Types. Am. Soc. of Agr. Vol 39 Nº 1.
- Rowberry, R. G. y Johnston G.R. 1963. Effect of Treatment of Previous Sod Crops on Yield and Specific Gravity of Sebago Potatoes. Am. Pot. Jour. Vol 40 Nº 4.
- Struchtemeyer, Epttein y Grand. 1963. Some effects of irrigation and soil compaction on potatoes. Am. Pot. Jour. Vol 40 Nº 8.
- Theron G.; Sommerfeldt y Kenneth W. Knutson. 1968. Greenhouse Study of Early Potatoe Growth Response to Soil Temperature, Bulk Density and N Fertilizer. Am. Pot. Jour. Vol 45 Nº 7.
- Theron G.; Sommerfeldt y Kenneth W. Knutson. 1968. Effects of Soil Conditions in the Field on Growth of Russet Burbank Potatoes in Southerstern Idaho. Am. Pot. Jour. Vol 45 Nº 7.
- Taylor, Howard M. 1974. Root Behavior as Affected by Soil Structure and Strength, en "The Plant Root and Its Environment", editado por E.W. Carson, University Press of Virginia .
- Taylor, H.M., y Gardner, H.R. 1963. Penetration of Cotton Seedling Taproots as influenced by Bulk Density, Moisture Content and Strength of Soil. Soil Sci. 96: 153 - 56.

AGRADECIMIENTO

Los autores quieren señalar su agradecimiento a las siguientes personas:

- Ings. Agrs. José P. Zamalvide, Profesor Adjunto de la Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes y Fernando García, Asistente de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía por la participación en la obtención y discusión de los resultados.

- Sr. Francisco Tona, en cuyo predio se realizó el ensayo, por la colaboración prestada durante todas las etapas que abarcó el mismo.