



REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY  
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA

MISCELANEA 24

**CENTRO DE  
INVESTIGACIONES  
AGRICOLAS  
"ALBERTO BOERGER"**



SETIEMBRE, 1980



ESTACION EXPERIMENTAL "LA ESTANZUELA"

# ROTACIONES

## I. DINAMICA DE LA DISPONIBILIDAD DE NITROGENO Y LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO EN ROTACIONES DE PASTURAS Y CULTIVOS

*ROBERTO M. DIAZ* \*

*FERNANDO GARCIA* \*\*

*ASTUR BOZZANO* \*\*\*

## II. RESULTADOS FISICOS Y ECONOMICOS DE ROTACIONES DE PASTURAS Y CULTIVOS

*WALTER BAETHGEN* \*\*\*\*

*ROBERTO M. DIAZ* \*

*ASTUR BOZZANO* \*\*\*

---

\* Encargado del Proyecto Nacional de Suelos. C.I.A.A.B.

\*\* Técnico del Departamento de Suelos, Fac. Agronomía y D.U.M.A., M.A.P.

\*\*\* Auxiliar Técnico, del Proyecto Suelos. C.I.A.A.B.

\*\*\*\* Técnico del Proyecto Suelos. C.I.A.A.B.

## PROLOGO

*El propósito de esta publicación ha sido compendiar parcialmente resultados obtenidos en experimentos de rotación de pasturas y cultivos realizados en la Estación Experimental La Estanzuela. Esta actividad se inició en el año 1963 con la instalación de un ensayo que evalúa siete sistemas de rotación y que en la actualidad probablemente puede ser considerado como el experimento de rotaciones de mayor antigüedad en América Latina, por lo que al margen de la información ya generada se constituye en un patrimonio invaluable para la investigación agrícola de nuestro país.*

*Naturalmente, a lo largo de 18 años varios técnicos han participado directamente en esta actividad experimental. Por consiguiente, al capitalizar en esta publicación ese esfuerzo merece destacarse especialmente la actuación del Ing.Agr. José Lavalleja Castro en el planeamiento, diseño y ejecución de los experimentos y la contribución en diversas etapas de la investigación de los Ings.Agrs. Sergio Labella, Jorge Perez y Eduardo Capurro.*

*Corresponde puntualizar, que en este artículo se presentan algunos de los resultados analizados a la fecha que sirven para ilustrar los diferentes aspectos del tema, recurriendo a información bibliográfica cuando se analizan tópicos en que la información local es insuficiente. Sin embargo, no se agota la valiosa información disponible, parte de la cual no ha sido aún totalmente analizada.*

*Dentro de los objetivos perseguidos con este compendio de información sobre rotaciones, se entiende imprescindible, emplear la información y experiencia generadas para el desarrollo de nuevos proyectos de investigación que alcancen otras áreas de nuestro país con suelos que admiten una producción agrícola ganadera combinada, o desgastados por muchos años de agricultura continua.*

# **DINAMICA DE LA DISPONIBILIDAD DE NITROGENO Y LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO EN ROTACIONES DE PASTURAS Y CULTIVOS.**

Roberto M. Díaz

Fernando García

Astur Bozzano

## **INTRODUCCION**

Los cultivos de gramíneas y leguminosas en una rotación agrícola cumplen un doble objetivo: en primer lugar, obviamente, constituyen la base de la nutrición animal, pero desempeñan también el no menos importante papel de ser restauradores de las propiedades físicas y químicas del suelo, en síntesis su fertilidad, deterioradas en el ciclo de cultivos anuales, asegurando la productividad de todo el sistema de producción.

La comprensión conceptual de los diversos factores físicos y biológicos que determinan la producción global de una rotación, permitirá que la planificación de un sistema de producción maximice su rentabilidad y productividad en el corto y largo plazo.

El enfoque de la información experimental que aquí se presenta permite considerar los aspectos más importantes de la acción de las pasturas sobre la productividad del sistema de rotación, con especial énfasis en la dinámica del proceso.

Se consideran entonces, las dos fases o ciclos de una rotación de producción agrícola ganadera tratando de visualizar los procesos de recuperación de las propiedades físicas y químicas desde que se implanta la pastura hasta que se ara, y luego el deterioro de las mismas cuando se entra en el período de cultivos anuales.

Este estudio sirve de fundamento para la interpretación de los resultados físicos y económicos obtenidos en 17 años con siete sistemas de rotación diferentes.

## **II. DESCRIPCION DE LOS EXPERIMENTOS**

### **A. Experimento sobre 7 sistemas de rotación**

Este ensayo fue iniciado en 1963, sobre un Brunosol eútrico a subeútrico típico, que tenía alrededor de 60 años de agricultura., con un nivel de materia orgánica algo inferior a 3 o/o.

El ensayo consiste de 7 sistemas de rotación, (ver Cuadros 1a y 1b), con 3 repeticiones iniciadas cada una en un momento diferente de la rotación.

Cuadro 1 a: Esquema descriptivo de la secuencia de los siete sistemas de rotación iniciados en 1963.

## Sistemas

1	S	L	T	G	T	S	L	T	G	T
2	S	L	T	G	T	S	L	T	G	T
3	ALFALFA					S	L	T	G	T
4	RG TR	T	RG TR	G	T	S	RG TR	T	RG TR	G
5	PRADERA CONVENCIONAL					S	L	T	G	T
6	RG	G	T	S	SG	T	RG	G	T	S
7	S	L	T/TR	G	T/TR	S	L	T/TR	G	T/TR

RG: Raigrás; SG: Sudangrás; TR: Trébol rojo; T: trigo; L: lino; S: sorgo; G: girasol.

Cuadro 1 b: Principales características de los sistemas de rotación del experimento iniciado en 1963.

Sistemas	Ciclo de la Rotación (Años)	Tiempo Cultivos Agrícolas (o/o)	Tiempo Cultivos Forrajeros (o/o)	Tiempo Rastrojo o Tierra trabajada (o/o)	OBSERVACIONES
1	5	45	0	55	Rotación continua de cultivos sin fertilizar.
2	5	45	0	55	Rotación continua de cultivos con fertilización.
3	10	25	50	25	Rotación con alfalfa cosechada para heno.
4	5	40	30	30	Rotación corta con pasturas anuales de leguminosas y gramíneas.
5	10	25	50	25	Rotación con pradera bajo pastoreo.
6	5	40	30	30	Rotación corta con gramíneas anuales fertilizadas con nitrógeno.
7	5	45	30	25	Rotación continua de cultivos fertilizados con los trigos asociados con trébol rojo.

## B. Experimento sobre tipo y edad de pasturas

Este experimento está compuesto de 3 ensayos idénticos, iniciados en 1972, 1973 y 1974. Cada uno es un factorial con 3 repeticiones, siendo los tratamientos diferentes pasturas (festuca, festuca-trébol blanco, festuca-alfalfa, festuca-trébol rojo) por 3 tiempos de duración (2, 3 y 4 años), más una parcela en agricultura permanente sin fertilización. Al ararse las pasturas (todas al mismo tiempo), se plantó sobre ellas trigo a 4 niveles de agregado de nitrógeno, subdividiendo las parcelas.

El suelo en este experimento varía entre un Brunosol éútrico típico y un Brunosol subéútrico típico, de horizonte A Franco arcillo limoso, con muchos años de uso agrícola continuo al inicio del ensayo (3,3 o/o de materia orgánica y 1,36 gr/cm<sup>3</sup> de densidad aparente).

## C. Experimento sobre secuencia de cultivos y edad de la chacra

Este ensayo ocupó un área extensa, sobre un Brunosol subéútrico típico y un Brunosol subéútrico lúvico, que tenía instalada una pradera de alfalfa pastoreada desde hacía 6 años. Anteriormente había tenido 60 años de agricultura permanente. La textura del horizonte superficial es predominantemente Franco arcilloso limosa, de 22 cm de profundidad promedio. El contenido de materia orgánica promedio, al inicio del ensayo, era 4,2 o/o.

El diseño del ensayo es en parcelas divididas dispuestas en bloques al azar con 3 repeticiones. Los tratamientos mayores son edades de chacra (1 a 5 cultivos sucesivos), las parcelas medias contienen 8 secuencias de cultivos (combinaciones de trigo, lino, sorgo y girasol) y los tratamientos menores son 4 niveles de aplicación de nitrógeno a los cultivos.

## III. RESULTADOS Y DISCUSION

### A. Efectos y evolución de la materia orgánica

El mecanismo principal mediante el cual las pasturas afectan las propiedades físicas y químicas del suelo, es a través del crecimiento de raíces y la incorporación de residuos orgánicos al mismo. Esta materia orgánica es el producto de la muerte de raíces, residuos vegetales aéreos y de las deyecciones de los animales que pastorean.

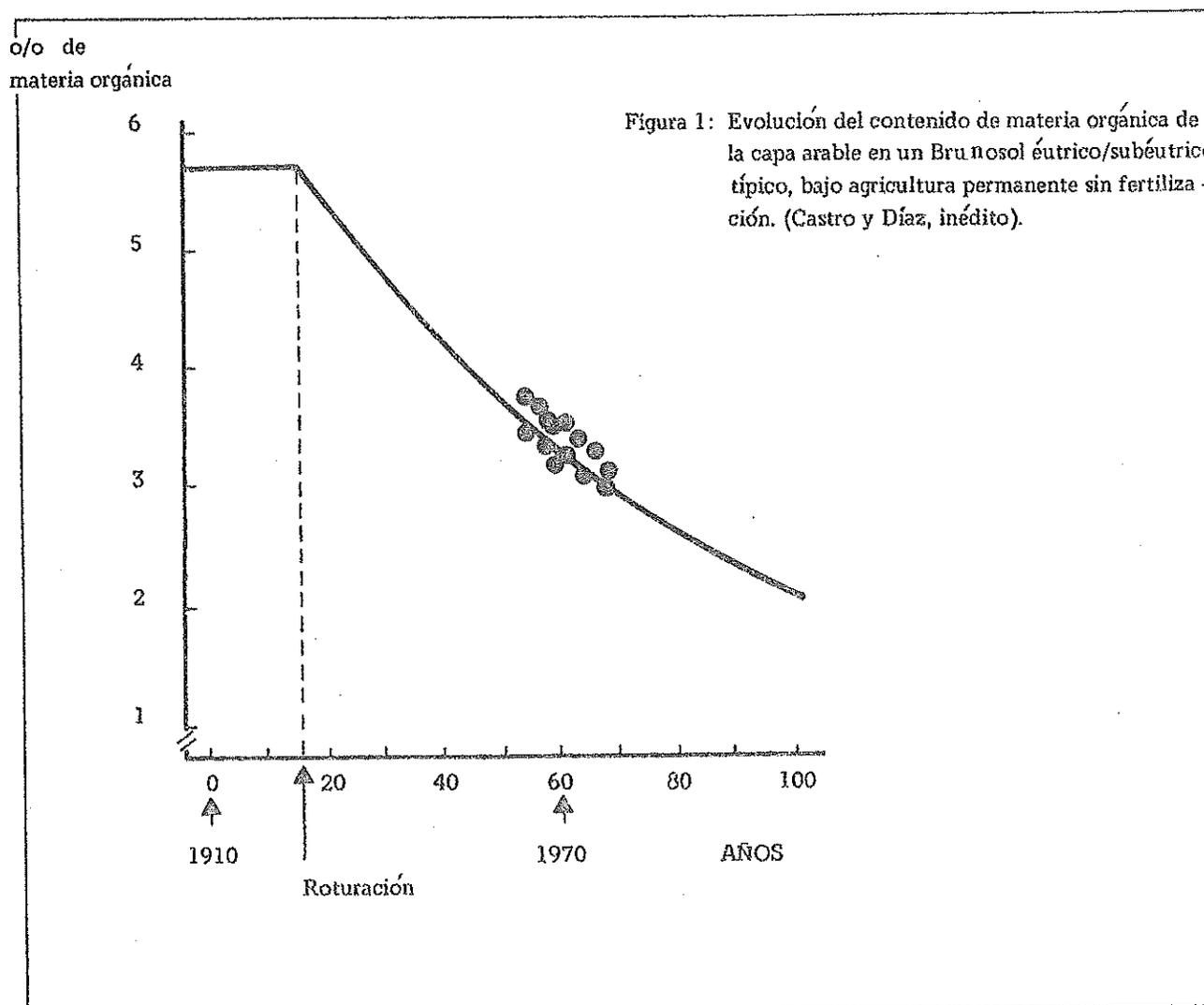
La materia orgánica funciona como un cemento de las partículas minerales, siendo en gran parte responsable de la agregación y aptitud de laboreo de los suelos productivos. Asimismo, la materia orgánica es la mayor fuente en el suelo de tres importantes nutrientes vegetales: el fósforo, el azufre y, esencialmente, la única fuente de nitrógeno.

El deterioro que se produce en las propiedades químicas y físicas de un suelo como resultado del laboreo y siembra continuada de cultivos anuales (cerealeros, oleaginosos o aún gramíneas forrajeras) es consecuencia principalmente de la mineralización de la materia orgánica, o su pérdida por erosión.

Esta mineralización conlleva una disminución en la concentración de la materia orgánica presente en el suelo, debido a su oxidación y pérdida como CO<sub>2</sub>.

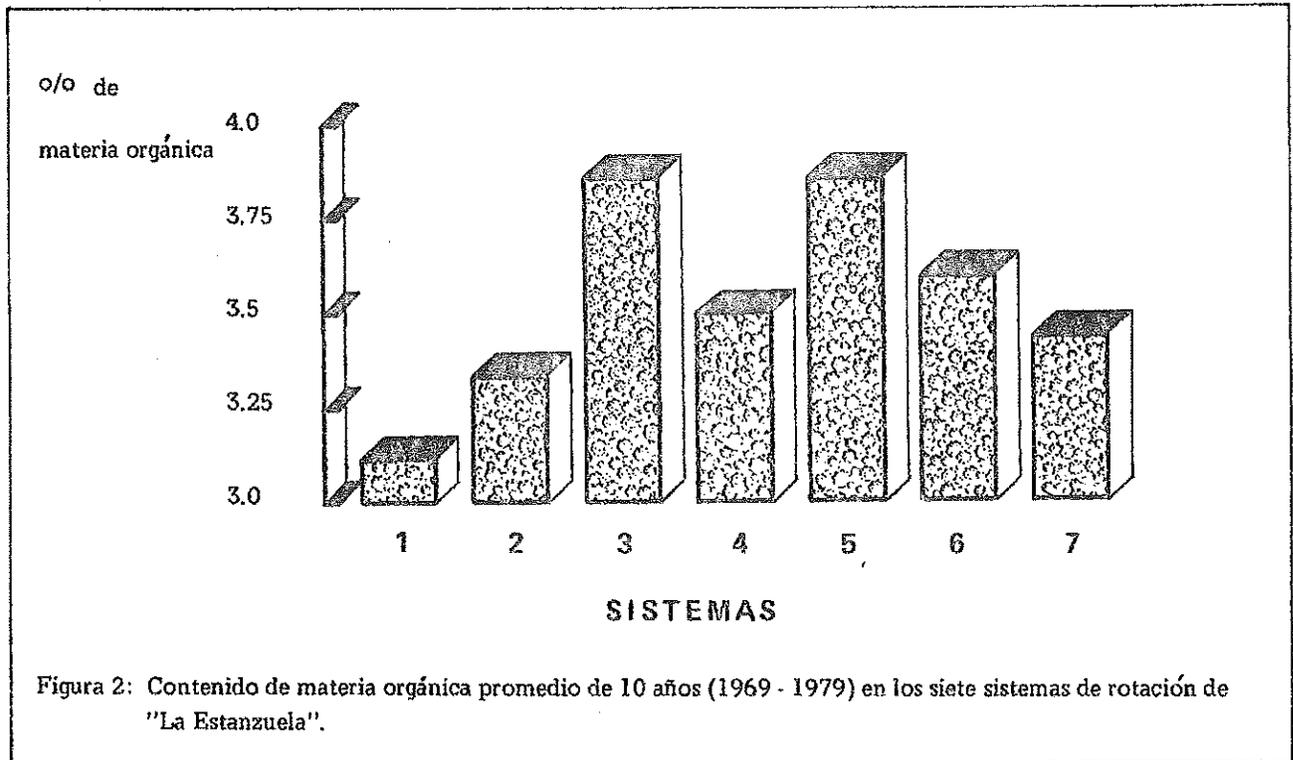
La disminución del contenido de materia orgánica, no es consecuencia solamente de que en general los cultivos anuales aportan menos materia orgánica que las pasturas naturales o artificiales, sino fundamentalmente de los procesos de oxidación acelerados por el laboreo en la preparación del suelo.

La Figura 1 muestra la evolución del contenido de materia orgánica del suelo del experimento sobre 7 sistemas de rotación desde su roturación y la predicción de su evolución futura extrapolada de los datos obtenidos, en el sistema 1, del experimento sobre siete sistemas de rotación.



Clement (5), estudió la evolución del porcentaje de carbono orgánico de la capa arable, en parcelas con cultivos anuales y con praderas pastoreadas entre 1954 y 1961, determinando las mismas tendencias que en el experimento de la Estanzuela.

La etapa bajo pasturas permanentes reviste el proceso ya que se eliminan los laboreos anuales reduciéndose la oxidación de la materia orgánica y sus pérdidas por erosión. Por otro lado, la pastura aporta materia orgánica y los cultivos que son sembrados luego de la misma por su mejor producción también indirectamente aportan cantidades mayores de residuos vegetales al suelo. En la Figura 2 vemos como el sistema 1, de rotación con agricultura continua es el que en un promedio de diez años presenta la menor concentración de materia orgánica. La fertilización de los cultivos en agricultura continua (sistema 2) aumenta el contenido de este elemento por la mayor producción de materia seca de los cultivos. La presencia de rastrojos de trigo con trébol rojo (sistema 7) conduciría a un mayor porcentaje. El sistema de rotación 6, que incluye pasturas con gramíneas muestra una ligera ventaja que aquel con gramíneas y leguminosas anuales quizás debido a una mejor estabilidad de la materia orgánica aportada por las gramíneas. Naturalmente, los sistemas con pasturas permanentes 3 y 5, son los de máxima concentración, presentando aproximadamente un 0.75 o/o más que el sistema de agricultura continua sin fertilizar (1).



En términos generales, la materia orgánica aportada por las gramíneas y las leguminosas constituyentes de una pastura presentan diferencias destacables.

Las gramíneas en general son especies de alta producción de materia seca aunque ésta tiene una relación carbono/nitrógeno alta. En consecuencia, es menos atacable por los microorganismos y su ritmo de mineralización es menor. Podríamos decir, en forma simplificada, que afecta más las propiedades físicas de la capa arable, del suelo. Mientras que las leguminosas presentan una menor producción de materia seca y también una menor relación carbono/nitrógeno debido a una alta proporción de nitrógeno en sus tejidos, por lo que sus residuos orgánicos tienen una tasa de mineralización mayor al ser más degradables por los microorganismos. La mineralización de estos residuos orgánicos libera cantidades importantes de nitrógeno y otros nutrientes que quedarán disponibles para el crecimiento vegetal; por lo que se afirma que las leguminosas afectan primordialmente las propiedades químicas de la fertilidad del suelo.

Según Tinsley (18), cabría distinguir dos fases en la materia orgánica: la activa y la pasiva. Aunque esta distinción es relativamente arbitraria y difusa, ayuda a comprender la naturaleza y actividad de los compuestos orgánicos del suelo.

Existe una fracción de la materia orgánica que tiene su origen en la génesis misma del suelo, que ha sido depositada en el transcurso de cientos de años, caracterizándose por su estabilidad y bajo ritmo de mineralización, fruto de su asociación con los otros coloides del suelo. La otra fracción de la materia orgánica sería aquella cuyo origen son los residuos orgánicos depositados recientemente, los que se caracterizan por su mayor tasa de mineralización o descomposición.

### B. Propiedades químicas

Dada la importancia relativa que tiene el nitrógeno en la producción y el papel que cumplen las pasturas con leguminosas en su fijación, se hará referencia exclusivamente a la dinámica de este nutriente.

### 1. Importancia económica

La fijación de nitrógeno simbióticamente por las leguminosas en una rotación de pasturas y cultivos, tiene un doble valor económico; por un lado, aumenta la producción de la pastura y mejora su calidad proteínica, y además, a través del efecto residual que tendrá el nitrógeno incorporado con la materia orgánica sobre los cultivos que se siembren luego de arar la pastura.

Este ahorro de fertilizante nitrogenado en los dos ciclos de la rotación, puede ser un determinante de primera magnitud en la rentabilidad de pasturas y cultivos, fundamentalmente en aquellas economías en que la síntesis de fertilizantes nitrogenados se hace en base a fuentes de energía importadas o importando directamente el fertilizante.

En la Figura 3 se ejemplifica cuanto significa en términos de costos la fertilización nitrogenada, en relación al total de costos variables para la implantación de varios cultivos en una chacra vieja. Estos costos de fertilizante nitrogenado serían promedialmente un 25 a 30 o/o del presupuesto de instalación de los cultivos. Trigo y sorgo son los que tienen más altas necesidades de nitrógeno y en consecuencia son los que presentan mayor incidencia en los costos. El girasol de segunda puede tener un alto porcentaje de sus costos causados por el valor del fertilizante nitrogenado, ya que los demás costos en relación a éste son mínimos.

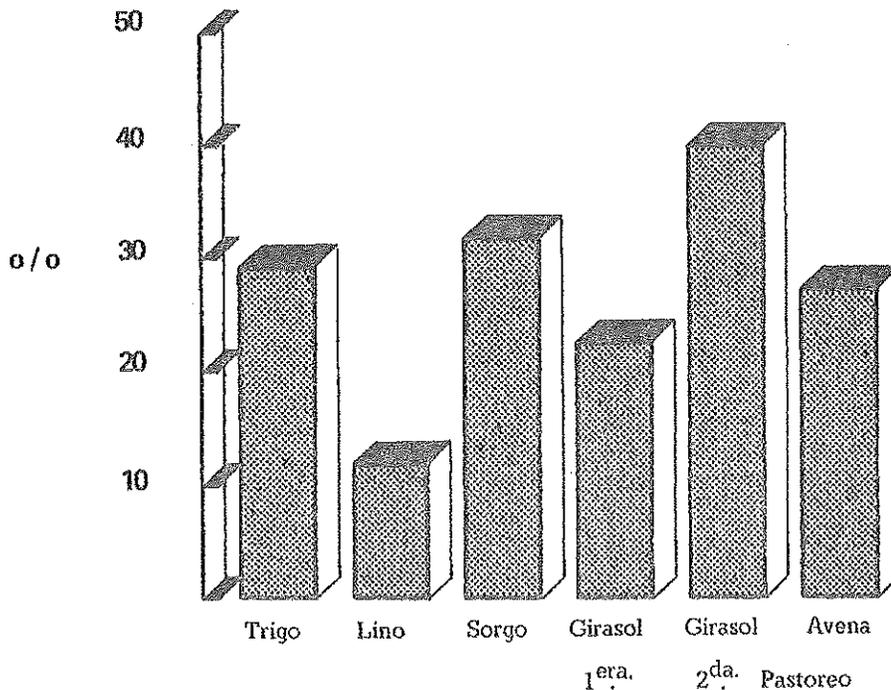


Figura 3: Porcentaje del presupuesto parcial debido a la fertilización nitrogenada en chacras viejas. (Díaz, 1980).

El planteamiento racional de la rotación permite maximizar el aprovechamiento del nitrógeno que fijan las leguminosas y, por lo tanto, aumentar la rentabilidad de la rotación que se proyecta. Para esto es necesario conocer los principales factores biológicos que gobiernan la fijación de nitrógeno y su residualidad para los cultivos.

## 2. Composición botánica, productividad y duración de la pastura

El porcentaje de leguminosas en la mezcla, las especies empleadas y su potencialidad productiva son factores que controlan la cantidad de nitrógeno que es capaz de fijar una pastura.

En el Cuadro 2 (Silva, 17), se observa la contribución relativa trébol blanco y trébol carretilla asociados con festuca con rendimientos anuales de materia seca que pueden ser considerados bajos. En este experimento el trébol blanco fijó más nitrógeno que el trébol carretilla.

Cuadro 2: Contribución del trébol blanco y trébol carretilla asociados a festuca. Materia seca.

	Rendimiento anual, t/ha			o/o Leguminosa	Nitrógeno fijado kg/ha
	Total	Festuca	Trébol		
Festuca/t. blanco	3,89	2,51	1,38	35	150
Festuca/t. carretilla	2,39	1,68	0,71	30	80
Festuca	--	0,82	--	--	--

La principal determinante de los kg de nitrógeno por ha fijados anualmente, es la productividad de la especie de leguminosa. Existe una asociación directa entre los quilos de materia seca producidos por una leguminosa y la cantidad de nitrógeno incorporada al suelo por la muerte de raíces de esa pastura y por el resto de residuos orgánicos que deja.

En el Cuadro 3 vemos tres estimaciones de la fijación total de diferentes tipos de leguminosas en tres experimentos diferentes, dos en el Uruguay y el tercero en Nueva Zelandia, donde los niveles de producción de materia seca de una pastura trébol blanco/ festuca llegaron hasta 16 t.(6.800 de trébol blanco) y la fijación de nitrógeno se estimó en alrededor de 500 kg.

Cuadro 3: Equivalente fertilizante nitrogenado del efecto total de la leguminosa sobre la producción de materia seca.

	Trébol blanco		Trébol carretilla		Trébol subterráneo		Lotus	
	N	M.S.	N	M.S.	N	M.S.	N	M.S.
Silva (1965) Uruguay.	150	1500	80	710	60	700	40	600
Blanchoud (1966) Uruguay.	70	1400	65	1100	30	400	30	200
Melville et al.(1965) N.Zelandia.	500	6800	--	--	--	--	--	--

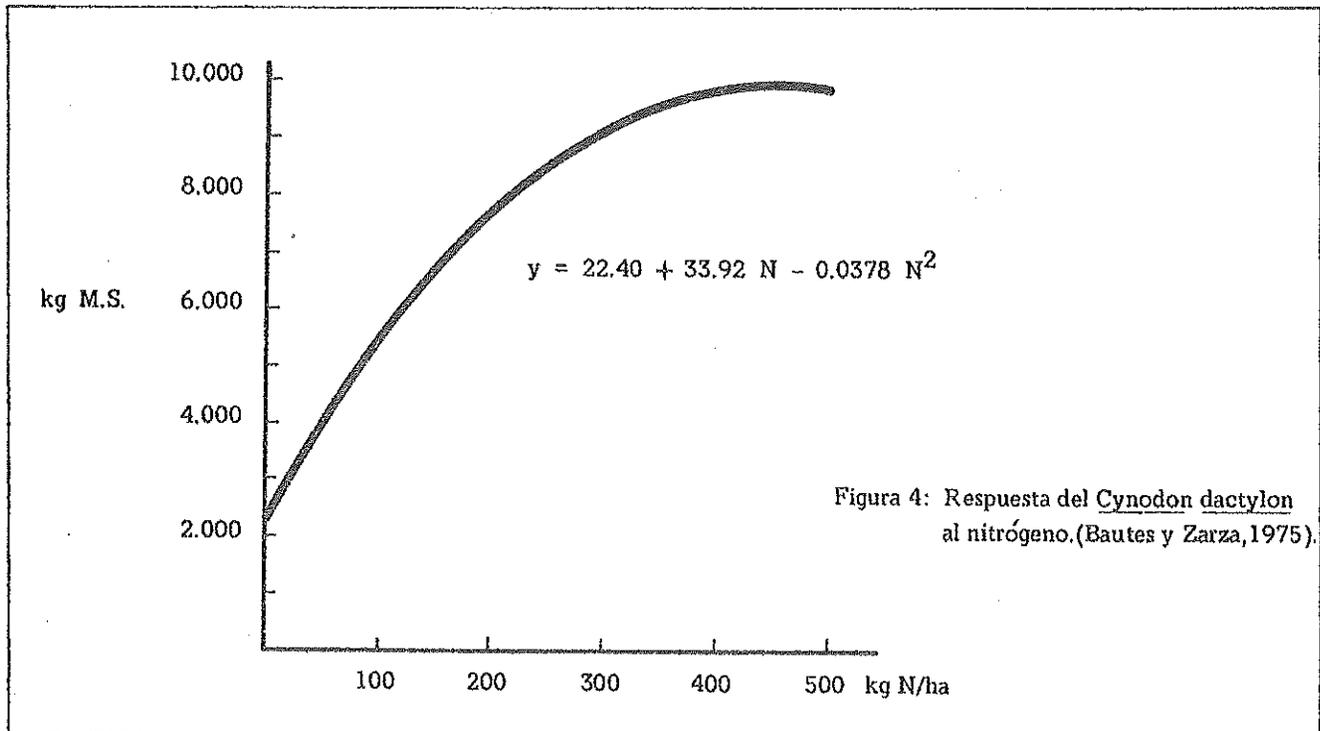
La productividad de una especie y la fijación de nitrógeno resultante no está pues determinada únicamente por el potencial genético de producción que esa especie tenga sino también por el ambiente en el que crece, el cual permitirá realizar en mayor o menor grado ese potencial.

Los resultados de Silva (17) y Blanchoud (4) fueron obtenidos con niveles de rendimiento en materia seca, bastante inferiores a los normales para esas mismas mezclas forrajeras en las condiciones de nuestro país. Por lo que las estimaciones del nitrógeno fijado simbióticamente estarían subvaloradas para los rendimientos promedio esperados.

Importa señalar, que la metodología utilizada en los trabajos citados, tiene limitaciones que llevan a dudar que las cantidades de nitrógeno fijado, representen los valores reales. A pesar de ello, si bien las cantidades de nitrógeno fijado así estimadas no son las reales, permiten comprender las diferencias que existen en términos relativos entre especies y entre niveles de producción de materia seca por esas leguminosas, determinadas por el ambiente en que crecieron.

Estas precisiones son importantes, pues en nuestro país los resultados experimentales citados muchas veces han sido mal interpretados, llevando a conclusiones excesivamente simplistas.

Con el correr de los años las pasturas permanentes decrecen su producción debido en muchos casos a la invasión de malezas de baja calidad o productividad y el porcentaje de leguminosas en la mezcla se reduce así drásticamente y por lo tanto, también lo hace el aporte de nitrógeno al suelo. En el Uruguay el envejecimiento de las pasturas permanentes se ve acompañado, muchas veces, por la invasión de gramilla (*Cynodon dactylon*), la cual hace usufructo del alto nivel de nitrógeno disponible dejado por la pradera pues, como muestra la Figura 4, es una especie con una altísima respuesta al agregado de este nutriente. La invasión de esta especie además de una disminución de la calidad y el consumo del forraje por el ganado, trae aparejado un pasaje del nitrógeno del suelo hacia formas de muy lenta descomposición en los tejidos de la gramilla, por lo que esa pastura no manifestará una alta residualidad para los cultivos cuando sea arada.



La duración del ciclo bajo pastura tendrá efectos importantes en la residualidad de nitrógeno, a medida que avance el ciclo de cultivos en la rotación. Se analizará esto en más detalle, cuando se discuta la residualidad de nitrógeno de las pasturas.

### 3. Residualidad de nitrógeno

Resultados obtenidos en el experimento sobre tipo y edad de pasturas, ya descrito, señalan que en el primer año después de las pasturas, los rendimientos de trigo no mostraron diferencias significativas ni entre edades ni entre especies de leguminosas. Aunque sí hubo diferencias significativas entre festuca pura, barbecho agrícola, y las leguminosas en su conjunto. La respuesta al nitrógeno fue altamente significativa en la festuca y el barbecho (Figura 5). Para el conjunto de trigos sembrados luego de pasturas con leguminosas, la respuesta fue relativamente pequeña.

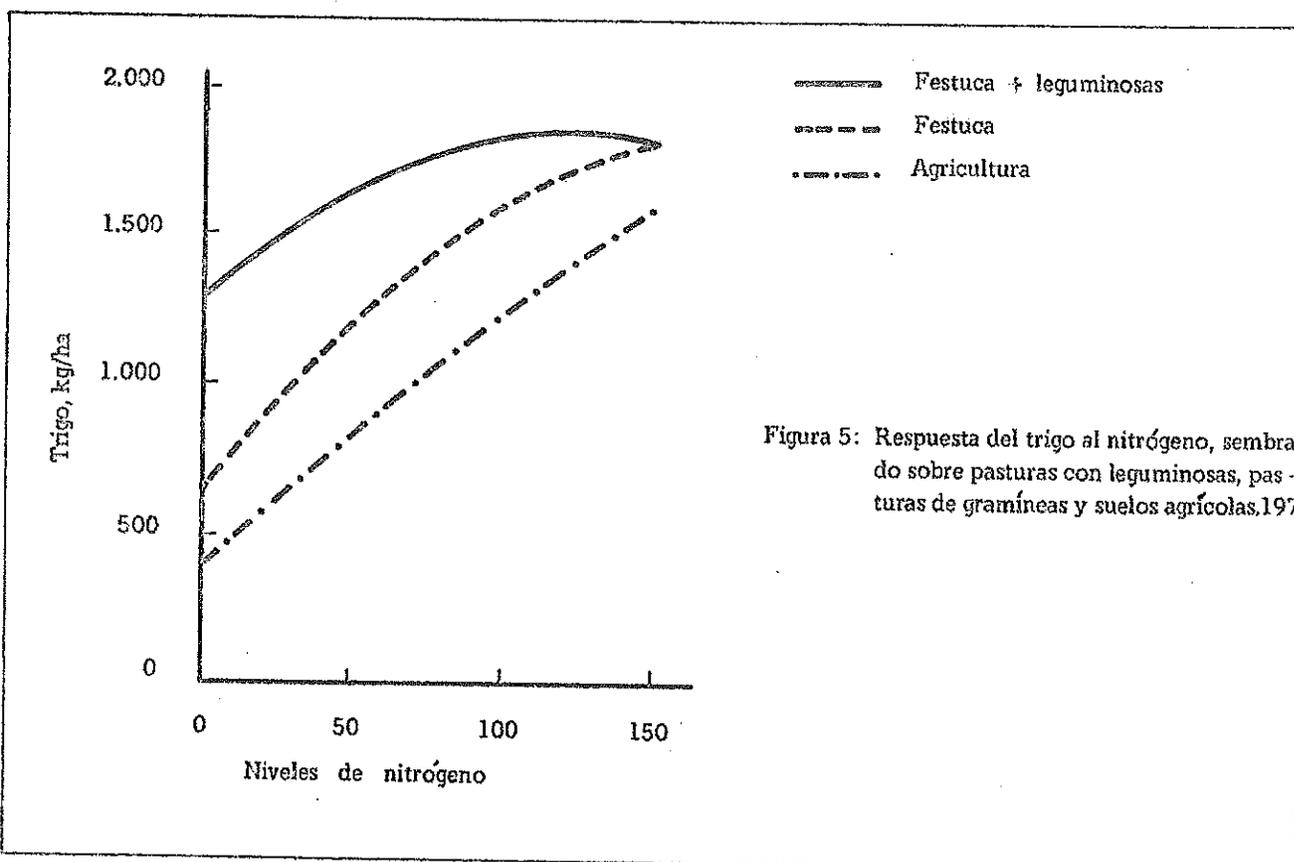


Figura 5: Respuesta del trigo al nitrógeno, sembrado sobre pasturas con leguminosas, pasturas de gramíneas y suelos agrícolas, 1976.

Una posible explicación de la ausencia de diferencias significativas entre la residualidad de pasturas de diferente edad puede encontrarse en la alta correlación existente entre los kilogramos de materia seca producidos por la pastura en el año anterior a la siembra del trigo y el rendimiento en grano de este cultivo (Figura 6). Una correlación de similar magnitud fue encontrada entre nitrógeno total producido por la pastura el último año y los rendimientos de trigo (Figura 7).

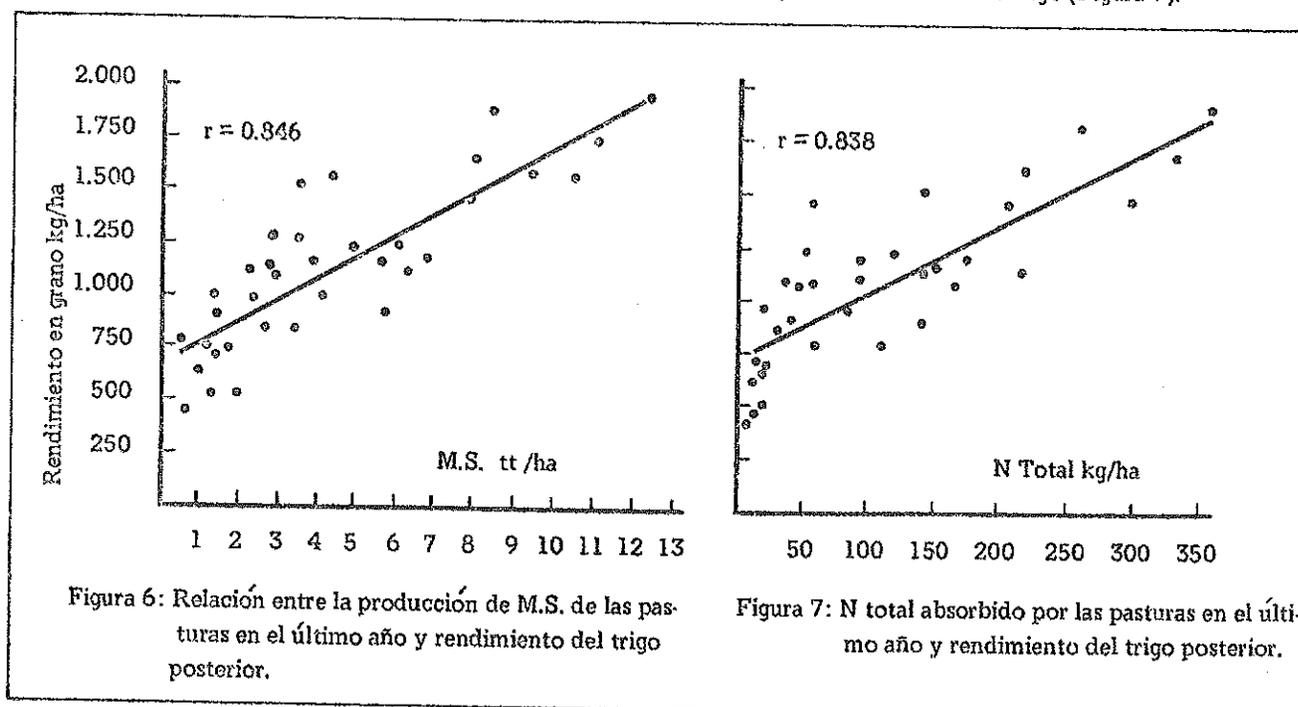
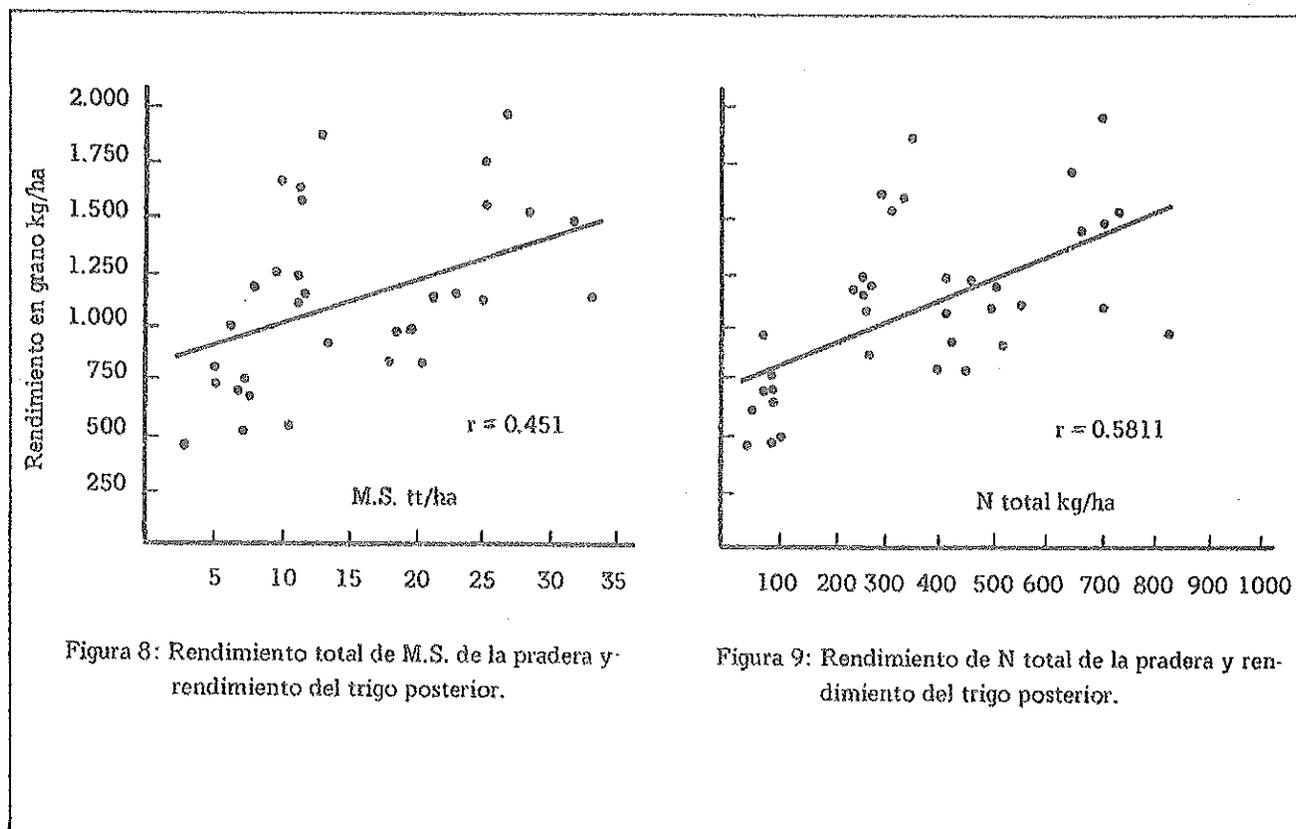


Figura 6: Relación entre la producción de M.S. de las pasturas en el último año y rendimiento del trigo posterior.

Figura 7: N total absorbido por las pasturas en el último año y rendimiento del trigo posterior.

Sin embargo, estas dos correlaciones descendieron mucho cuando se consideró el rendimiento total de la pastura y el rendimiento de trigo. (Figuras 8 y 9).



Obviamente, el rendimiento total de la pastura, ya sea en materia seca como en nitrógeno total, depende en este caso de los años de permanencia de la pastura.

El nitrógeno absorbido por el trigo parece provenir principalmente de la mineralización de la materia orgánica producida por la pastura en el último año antes de la siembra del cultivo; hipótesis lógica si se considera que es esta materia orgánica la que sufre el proceso de mineralización más importante en el total de la materia orgánica presente.

Si bien no hubo un efecto significativo del factor edad de la pastura en los rendimientos de trigo de primer año, resultados posteriores, parcialmente analizados, dan evidencia que trigos sembrados a continuación presentan diferencias en sus rendimientos y en su respuesta al nitrógeno, ya que cabe esperar que la persistencia de la residualidad de nitrógeno sea diferente según sea la cantidad total de materia orgánica acumulada en el período bajo pastura.

La ausencia de diferencias significativas entre diferentes especies de leguminosas puede explicarse en parte por un relativamente alto coeficiente de variación de este experimento, pero también hay que considerar que la fijación de nitrógeno por las distintas leguminosas y su posterior mineralización puede haber sido suficientemente alta como para superar las necesidades de nitrógeno del primer cultivo de trigo posterior y, por lo tanto, no manifestarse diferencias entre especies.

Casi seguramente no se deben esperar diferencias en la residualidad de nitrógeno para las especies de leguminosas consideradas, debidas a diferencias en la clase de residuos orgánicos dejados, sino que la principal diferencia entre especies se debe a diferencias en productividad.

#### 4. Efecto del manejo previo del suelo.

Dado que existen diferencias en las características de la materia orgánica de un suelo que nunca fue arado, y de un suelo sometido a cultivos arables durante muchos años, es de esperar que también existan diferencias importantes en el nitrógeno que potencialmente se puede mineralizar, desde esa materia orgánica, cuando ambos suelos son incluidos en una rotación con cultivos anuales.

Esto se puede visualizar analizando las dos situaciones siguientes:

- residualidad de una pastura natural en un suelo que es arado por primera vez en el que se siembran cultivos durante varios años;
- residualidad de una pradera sembrada en un suelo con muchos años de agricultura previa en el que también se siembran cultivos durante varios años.

En virtud de las características de la materia orgánica, la mineralización de nitrógeno en el campo natural va a ser mucho más persistente a medida que la chacra envejece, respecto a la mineralización de la materia orgánica de la pradera, la cual va a caer muy rápidamente en los años siguientes a la roturación.

Seguramente la mineralización de la materia orgánica incorporada por una pradera genere más nitrógeno disponible en el primer año, que la mineralización de la materia orgánica de un campo natural, ya que los residuos de la pradera tienen una gran cantidad de nitrógeno rápidamente mineralizable proveniente del alto porcentaje de leguminosas.

La mayor o menor residualidad de nitrógeno que genera una pastura natural va a ser función directa de su productividad y del porcentaje de leguminosas que naturalmente tenga, lo que en definitiva va a manifestarse en el contenido de materia orgánica que tiene ese suelo.

Con el propósito de cuantificar la residualidad de una pradera desde el momento en que es arada, se analizan resultados del ensayo ya descrito sobre secuencias de cultivos y edad de la chacra.

En la Figura 10 se presentan los rendimientos promedio de trigo para las cuatro edades de la chacra sin agregar nitrógeno, por consiguiente las variaciones en los mismos en un alto grado responden al suministro de nitrógeno por la materia orgánica del suelo.

La disminución en los rendimientos entre las edades 1 y 2 fue menor que entre las edades 2 y 3, lo que puede deberse a que la incidencia de vuelco y factores sanitarios impidió que los rendimientos de trigo en las siembras inmediatas a la pastura expresaran todo el potencial que el nitrógeno disponible permitía. De no haber influido el vuelco, los rendimientos de trigo quizás hubieran alcanzado valores de cuatro a cinco mil kilos por hectárea y la disminución más grande habría sido entre chacras de uno y dos años, como era lógico esperar.

Otro aspecto a resaltar de estos resultados es que fueron obtenidos en 1976, año que climáticamente determinó una eficiencia muy baja en la utilización del nitrógeno debido a una primavera muy lluviosa, por lo que en un año normal la disminución en la disponibilidad de nitrógeno con el aumento de la edad de la chacra, quizás no sea tan marcada.

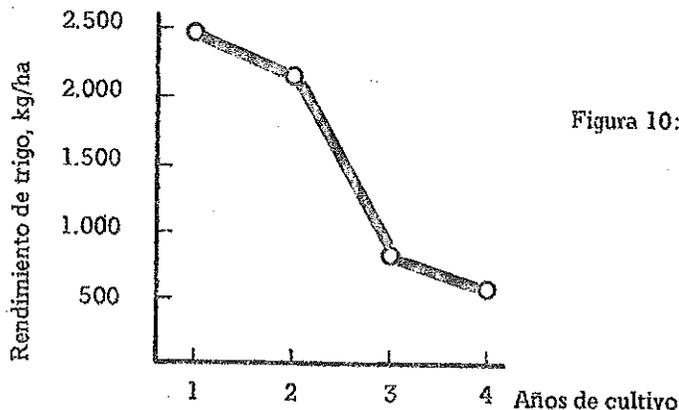


Figura 10: Disminución de los rendimientos de trigo debido al incremento de los años de cultivo.

La disminución de los rendimientos conviene describir más detalladamente. La caída en la disponibilidad de nitrógeno, y por lo tanto, disminuyen en forma constante al aumentar la edad al pasar de edad 1 a edad 2, que al hacerlo de edad 3 a edad 4 sería pequeña porque estaríamos en niveles de nitrógeno disponibles. Por lo tanto, la respuesta en rendimientos al pasaje de edad 3 a 4 sería alta por las condiciones físicas del suelo pobres. Por consiguiente, la caída en rendimientos a los factores señalados y del cambio de los mismos con la edad de la chacra.

Resultados obtenidos en el mismo ensayo con girasol, en el período 1977-78, muestran una producción esperada (Figura 11).

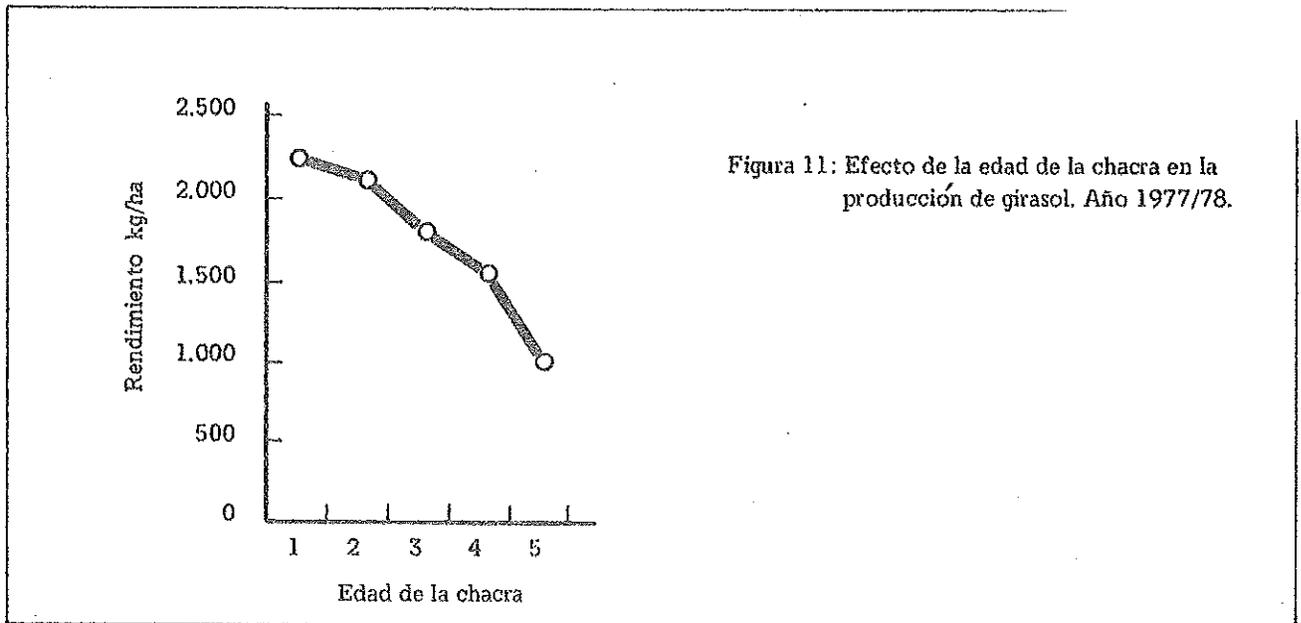


Figura 11: Efecto de la edad de la chacra en la producción de girasol. Año 1977/78.

Este año tuvo un régimen de lluvias muy alto, ya que en los seis meses de crecimiento llovió un 60% más que el promedio de 60 años (Figura 12), por lo que hubieron buenas condiciones de crecimiento y probablemente pérdidas importantes de nitrógeno por lavado que disminuyeron la eficiencia del aporte de este nutriente por el suelo.

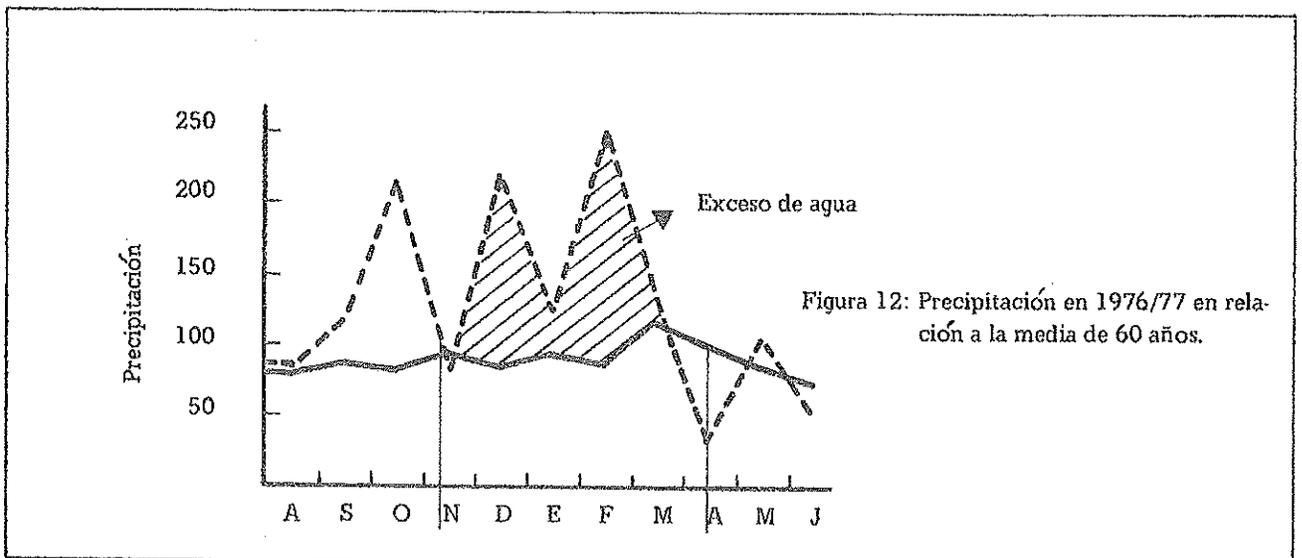


Figura 12: Precipitación en 1976/77 en relación a la media de 60 años.

La disminución del contenido de nitrógeno total en la capa arable del suelo (20 cm) puede atribuirse a cuatro factores: erosión, remoción por los cultivos, lixiviación, y denitrificación.

La Figura 13 ilustra estas pérdidas ocasionadas al aumentar los años de cultivo. Se observa como los cambios en el primer año luego de roturar son del orden de 190 kg/ha y al quinto año solo de 30. Esta estimación de las pérdidas de nitrógeno al aumentar la edad de la chacra tiene limitaciones. En primer lugar no son pérdidas totales ya que están referidas sólo a la capa arable, además la dispersión de los valores utilizados para su estimación es importante y por último una ecuación cuadrática no es el mejor tipo de función para expresar este comportamiento. Por lo tanto, la cuantificación de la disminución del contenido de nitrógeno total debe comprenderse con las limitaciones mencionadas.

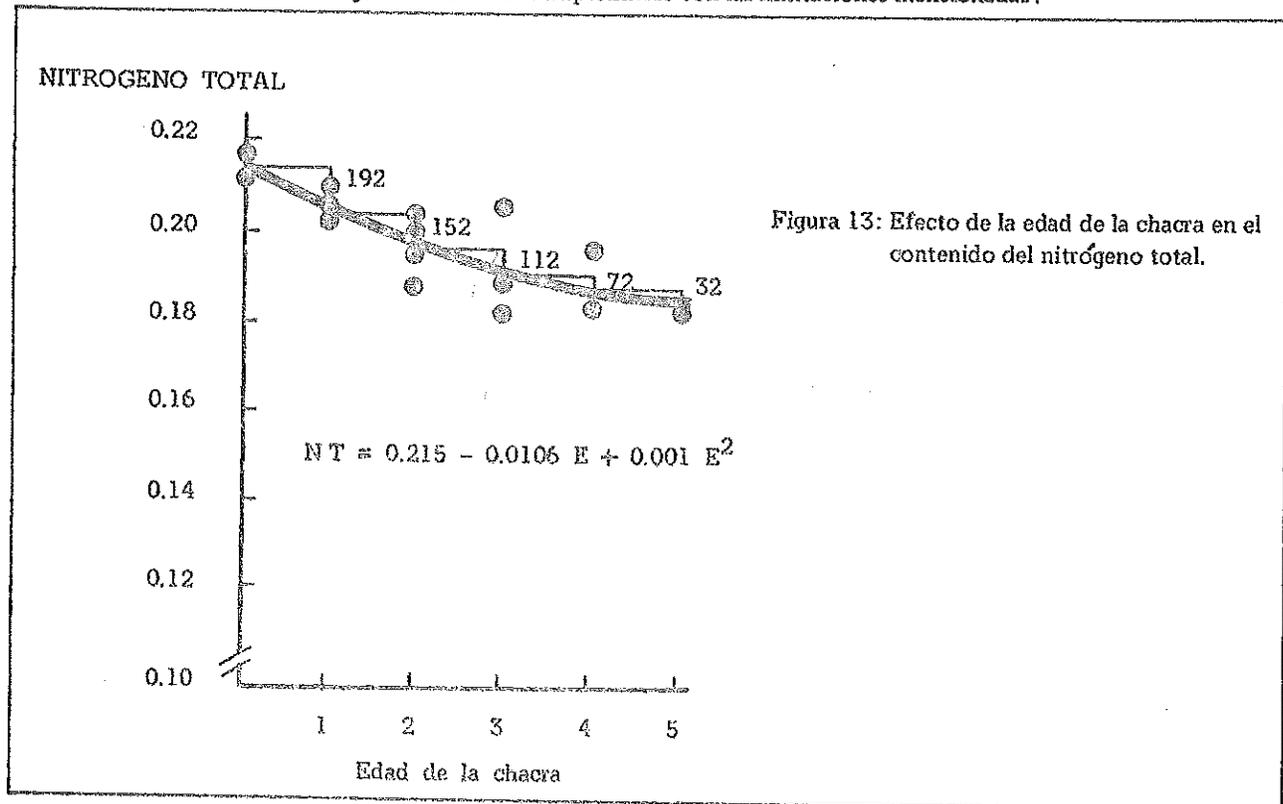


Figura 13: Efecto de la edad de la chacra en el contenido del nitrógeno total.

La diferente respuesta de los cultivos a la aplicación de nitrógeno, que no existe prácticamente de inmediato a la roturación y se hace evidente cuando avanza la edad de la chacra, tal como se observa en las Figuras 14 y 15, sirve para avalar el concepto ya manejado de que la residualidad de nitrógeno dejado por las pasturas desaparece al avanzar el ciclo de cultivos arados. Muestra también como la lixiviación puede haber sido un factor importante al reducir la eficiencia del nitrógeno agregado ya que la respuesta se prolonga hasta valores excepcionalmente altos.

De cualquier manera, puede afirmarse que la caída en los rendimientos provocada por una disminución del nitrógeno disponible al aumentar la edad de la chacra es más abrupta y anticipada de lo que en general se tiende a suponer.

Esta conclusión conduce directamente a valorar las ventajas de rotaciones de corta duración del ciclo agrícola en aquellos suelos degradados por muchos años de agricultura si es que se pretende hacer un eficiente uso del nitrógeno aportado por las leguminosas.

Considerando que inmediatamente de arar una pastura el contenido de nitrógeno disponible normalmente es muy alto los cultivos que harán un mejor uso de éste son aquellos que tienen una alta respuesta a este nutriente como maíz, sorgo o trigo, debiéndose postergar para etapas más tardías de la rotación cultivos tales como girasol, lino o soja.

Al elegir uno de los tres cultivos citados al principio, habrá que poner atención a la elección de variedades resistentes a vuelco y al control de larvas de coleópteros (isocas), cuyas poblaciones aumentan en los ciclos de pasturas.

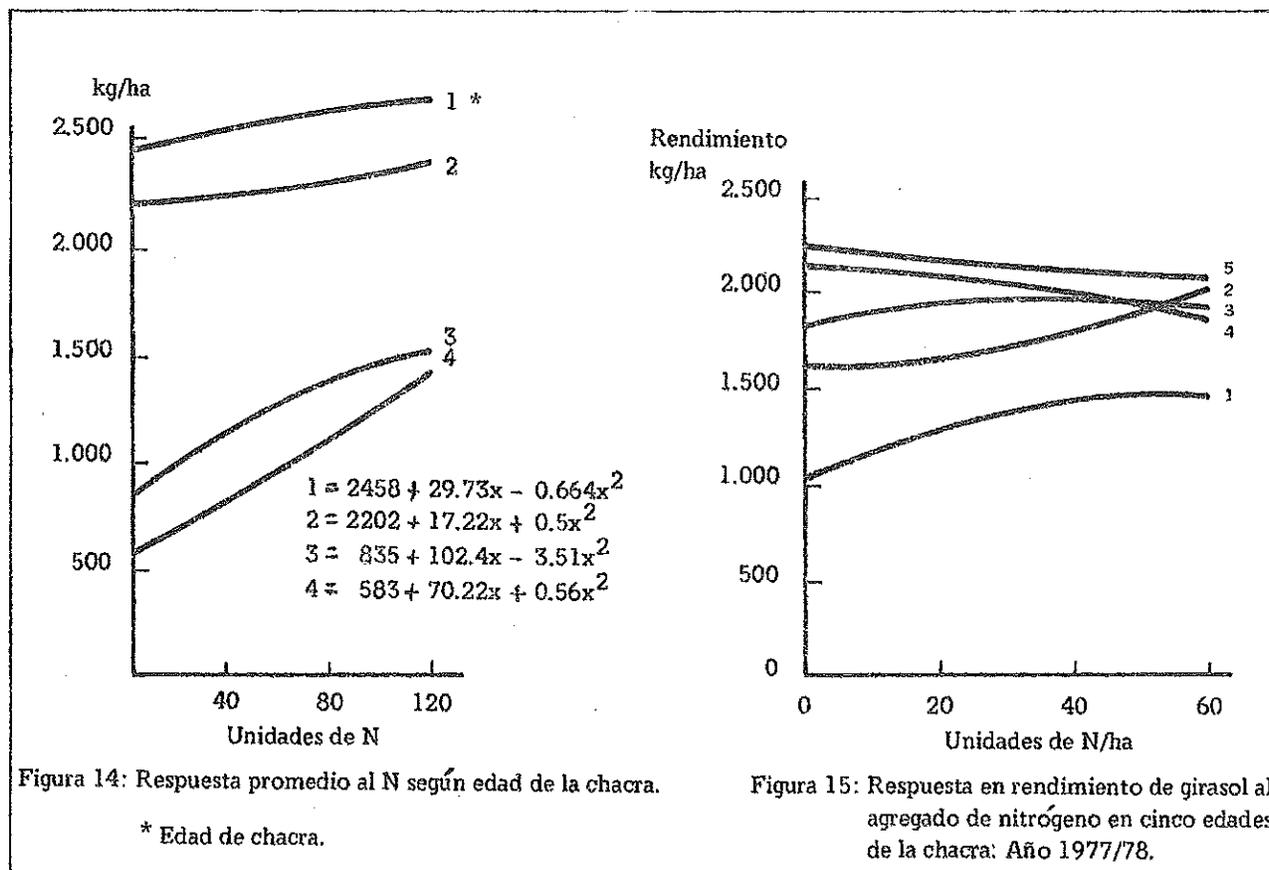


Figura 14: Respuesta promedio al N según edad de la chacra.

\* Edad de chacra.

Figura 15: Respuesta en rendimiento de girasol al agregado de nitrógeno en cinco edades de la chacra: Año 1977/78.

### 5. Efecto del tipo de suelo.

Otro factor que sin lugar a dudas afecta la dinámica de la disponibilidad de nitrógeno a lo largo de un ciclo de rotación es el tipo de suelo. Claramente se pueden establecer diferencias en la residualidad de nitrógeno entre suelos medios y pesados y suelos livianos, que se originan en el tipo y el grado de asociación de la materia orgánica a los otros coloides y la estabilidad que éste le confiere en los suelos más pesados; en la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo; y en el contenido porcentual de materia orgánica.

En términos generales, puede afirmarse que la tasa de mineralización de la materia orgánica y en consecuencia del nitrógeno orgánico, es mucho más rápida en un suelo arenoso que en uno pesado.

La velocidad de disminución del contenido de materia orgánica con cultivos arados, es mayor en los suelos livianos que en los pesados. La liberación de nitrógeno producida por su mineralización, sin embargo, puede ser muy importante, en particular cuando se considera el volumen de horizonte superficial explotado por las raíces de los cultivos. Efectivamente, ésta es mayor en los suelos arenosos, que poseen un horizonte A espeso, en contraste con los suelos medios y pesados del litoral y sur, que en general poseen el horizonte argilúvico a alrededor de 20 cm de la superficie. Por estas razones, en los suelos arenosos de nuestro país el volumen de nitrógeno mineralizado al comenzar la roturación puede ser muy importante, aunque poco persistente. La información obtenida por Labella (11), en Luvisoles y Acrisoles, de respuesta de maíz a la aplicación de nitrógeno soporta las especulaciones efectuadas. Este autor encontró entre los años 1973 a 1976, que el maíz no presentaba respuesta a nitrógeno suelos de primer a segundo año de roturados, cuyos niveles de materia orgánica no habían bajado de 1 o/o aproximadamente. En cambio, con niveles de materia orgánica inferiores, la respuesta era evidente.

El comportamiento de la materia orgánica nativa de los suelos arenosos puede compararse al de la que aporten las pasturas sembradas, sobre un suelo con muchos años de agricultura y pobre en materia orgánica, pensando que aún su residualidad debe ser más efímera. Por otra parte, en estos suelos debe resolverse la implantación de leguminosas de alta productividad, que no se adaptan a las condiciones de acidez y altos tenores de aluminio intercambiable. Actualmente, se poseen algunas evidencias de que la práctica del encalado puede ser una alternativa de solución a este problema (Zamalvi-de y Rabuffetti, com.pers.).

Finalmente, importa discriminar entre los suelos medios y pesados, ya que los que poseen menos materia orgánica, contenido de arcilla y bases intercambiables en la capa arable, ya sea por génesis o por erosión, deben presentar una residualidad de nitrógeno menor en cantidad y duración, además de limitar más el crecimiento de las pasturas.

Por consiguiente, los elementos que aportan el conocimiento actual de los suelos del país, sistematizados por su clasificación y cartografía, son un instrumento importante que debe agregarse a las consideraciones hechas sobre manejo, si se pretende hacer un uso eficiente del nitrógeno aportado por la materia orgánica del suelo en el planeamiento de los sistemas de rotación.

### C. Propiedades físicas

El principal efecto físico de las pasturas en el suelo se produce en el horizonte superficial, donde crece la gran mayoría de sus raíces y donde se produce el mayor aporte de materia orgánica a través de la muerte de esas raíces. Este crecimiento radicular y aporte de materia orgánica, son factores que favorecen la agregación de las partículas del suelo dispersas, en unidades estructurales (Baver, 3).

Sin embargo, en una rotación de cultivos arables y pasturas, el efecto mejorador de la estructura de la capa arable que genera las últimas, tiene una importante parte de su origen en la desaparición del laboreo. Ya se mencionó que el laboreo acelera la oxidación de la materia orgánica del suelo, pero debe considerarse además, la destrucción de agregados que produce la compactación del suelo por el pasaje de la maquinaria y de implementos a través del suelo.

La estructura tiene fundamental importancia en la dinámica del aire y el agua, crecimiento de raíces, emergencia de plántulas y resistencia a la erosión de los suelos medios y pesados. Todos esos procesos se dan más favorablemente cuando en el suelo existe un volumen importante de espacios gruesos o macroporos, que son los que quedan entre los agregados o unidades de estructura. También una buena estructura y nivel de materia orgánica, mejoran la aptitud de laboreo del suelo.

Estas propiedades se manifiestan, en general, en los suelos arenosos sin que exista una agregación apreciable, debido a que entre las partículas primarias de tamaño arena queda un gran volumen de poros gruesos.

Importa destacar que dentro de los suelos medios y pesados del Litoral, que poseen altos contenidos de limo, el nivel de la estructura fina es particularmente crítica por la tendencia al encostramiento, con lo que se ve limitado el intercambio gaseoso, la infiltración y la emergencia de plántulas.

#### 1. Determinaciones efectuadas.

Antes de pasar a exponer los principales resultados obtenidos en los experimentos de rotaciones de La Estanzuela, se enumerará y describirá brevemente los parámetros utilizados para evaluar la estructura y la metodología seguida en las determinaciones.

##### a. Densidad aparente.

Se utilizaron muestras imperturbadas de  $68.7 \text{ cm}^2$ . En ningún ensayo se tomaron menos de 3 repeticiones y en algunos se llegó a 6 por unidad experimental.

Se hicieron dos determinaciones independientes. Una con la humedad que las muestras tenían en el momento de ser tomadas (DAC) y otra a saturación total de agua (DAL). En este caso, se corrigió el volumen cuando ocurrió expansión.

b. Macroporosidad.

A las muestras en que se determinó DAL, se les aplicó 0,1 Atm de presión sobre platos de porcelana. La diferencia entre el contenido volumétrico de agua en el equilibrio y la porosidad total, se consideró como la macroporosidad de las muestras.

c. Resistencia mecánica a la penetración.

El aparato utilizado para tomar muestras imperturbadas, penetra al suelo impulsado por los golpes de una pesa que cae desde una altura constante. El número de golpes necesarios para introducir este aparato a través de la superficie, se tomó como estimador de la resistencia a la penetración.

d. Índice combinado del estado de la estructura.

Considerando que las medidas descriptas son estimadores independientes del estado de la estructura, se construyó un índice combinado de las cuatro. Se expresó cada una como porcentaje de su mejor valor en el ensayo y los cuatro porcentajes se promediaron, ponderados por el coeficiente de variación de cada propiedad física. De esta forma, se condensó en un valor la información aportada por las cuatro determinaciones.

2. Evolución física del suelo en el ciclo de cultivos arados.

En el ensayo sobre secuencia de cultivos y edad de la chacra, se encontró que todas las propiedades evaluadas empeoraban significativamente con la edad de la chacra (Cuadro 4). Luego del cuarto cultivo, el deterioro es significativo en todas las propiedades. Esto estaría indicando el límite del ciclo de cultivos arados en la rotación para este suelo, en lo referente a propiedades físicas.

Cuadro 4: Evolución de algunas propiedades físicas del horizonte A de un Grumosol subéutrico típico con el número de cultivos sucesivos (García y Belóqui, 7).

Propiedad física	Número de cultivos sucesivos				
	1	2	3	4	5
DAC	1,099 A*	1,12 AB	1,144 AB	1,181 BC	1,200 C
DAL	1,063 A	1,105 A	1,128 AB	1,187 B	1,188 B
Macroporosidad	22,91 A	21,35 AB	19,94 ABC	19,06 BC	17,21 C
Resistencia a la penetración	13,3 A	15,5 A	17,4 A	23,3 B	34 C
Índice Combinado	80,8 A	81,6 A	72,75 AB	56,9 B	37,36 C

\* Dentro de filas, los valores con igual letra no difieren significativamente al 5 o/o, según test de Duncan.

No se encontró efecto significativo del cultivo precedente en la secuencia, sobre las propiedades físicas medidas. Estos resultados tienen especial significación cuando el cultivo precedente era sorgo, ya que a pesar de que las medidas se hicieron en el cultivo de verano siguiente, resultan elementos que indican que el efecto depresivo del sorgo sobre los cultivos siguientes no sería debido a peor estado de la estructura del suelo.

### 3. Evolución física del suelo en el ciclo de pasturas.

En evaluaciones hechas a fin de 1977 y principio de 1978 en los ensayos iniciados en 1973 y 1974, del experimento sobre tipo y edad de pasturas, se encontró que, en general, las propiedades físicas medidas mejoraron con la duración de las pasturas (Cuadro 5). Se observa que, aún en los casos en que las diferencias no son significativas estadísticamente, la tendencia es a mejorar con la duración de las pasturas.

Cuadro 5: Evolución de algunas propiedades físicas del horizonte A de un Brunoso éútrico subéútrico típico, con diferente duración del ciclo de pasturas en la rotación (García, 7).

Propiedad física	Iniciación del ensayo	Años de duración de la pastura			
		2	3	4	
DAC	1973	1,401 A*	1,357 A	1,326 A	
	1974	1,306 A	1,29 AB	1,242 B	
DAL	1973	1,283 AB	1,235 A	1,201 A	
	1974	1,31 A	1,28 A	1,24 A	
Macroporosidad	1973	10,5 A	13,5 B	14,35 B	
	1974	12,76 A	13,28 A	22,29 B	
Resistencia a la Penetr.	1973	47 A	45 AB	41 B	
	1974	72 A	64 A	55 A	
Índice Combinado	1973	77 A	82 B	85 B	
	1974	39 A	46 AB	62 B	

\* Dentro de filas, los valores con igual letra no difieren significativamente al 5 o/o, según test de Duncan.

Si bien entre pasturas aparecieron algunas diferencias significativas, éstas no fueron en todas las medidas realizadas, ni tuvieron consistencia. En general, se observó que los mejores valores tendían a asociarse con la mayor producción de materia seca durante todo su ciclo, en particular la materia seca producida por la gramínea (Cuadro 6). Por lo que aparece como muy importante junto con la duración, la productividad de la pastura, especialmente de las gramíneas que la componen.

Cuadro 6: Coeficiente de correlación simple entre las propiedades físicas medidas y la materia seca total producida por la pastura (MST) o la materia seca producida por la gramínea de la pastura (MSG) (García, Robert y Romero, 8).

Propiedad física vs.	Ensayo iniciado en 1973		Ensayo iniciado en 1974	
	MST	MSG	MST	MSG
DAC	- 0,31 *	- 0,46 ***	- 0,42 **	- 0,48 ***
DAL	- 0,33 *	- 0,48 ***	- 0,16	- 0,10
Macroporosidad	0,0	0,06	0,50 ***	0,76 ***
Penetrabilidad	- 0,45 **	- 0,32 *	- 0,28	- 0,53 ***
Índice Combinado	0,44 **	0,40 **	0,33 *	0,58 ***

Significancia estadística : \* -- 10 o/o; \*\* -- 5 o/o; \*\*\* -- 1 o/o.

#### 4. Interacción del clima y el laboreo, con el efecto de las pasturas.

A fines de 1978 y principio de 1979, se repitieron las evaluaciones en el experimento discutido en el ítem anterior (García, Rovira y Uriarte, 9). En esta evaluación se consideraron los tres ensayos que lo componen, que ya habían ingresado en el ciclo agrícola y tenían 1, 2 y 3 cultivos de trigo consecutivos, respectivamente.

Si bien eran de esperar diferencias entre duración de las pasturas en el ensayo de primer año de uso agrícola, y que tendieran a desaparecer con más cultivos sucesivos, no se observaron en general diferencias significativas (Cuadro 7).

Propiedad física	Iniciación del ensayo	Años de duración de la pastura		
		2	3	4
DAC	1972	1,18 A*	1,179 A	1,17 A
	1973	1,22 A	1,20 A	1,21 A
	1974	1,21 AB	1,19 A	1,25 B
DAL	1972	1,16 A	1,16 A	1,12 A
	1973	---	---	---
	1974	1,111 A	1,117 A	1,121A
Macroporosidad	1972	20,06 A	20,32 A	21,82 A
	1973	---	---	---
	1974	22,97 A	22,15 A	21,82 A
Resistencia a la Penetr.	1972	37 A	42 A	41 A
	1973	62 A	63 A	55 A
	1974	44 A	38 A	46 A
Índice Combinado	1972	94 A	92 A	92 A
	1973	81 A	80 A	85 A
	1974	95 A	96 A	95 A

\* Dentro de filas, los valores con igual letra no difieren significativamente al 5 o/o, según Test de Duncan.

La única diferencia con significación estadística es en DAC, entre 3 y 4 años de duración de las pasturas, y en el ensayo iniciado en 1974 y es la inversa de lo esperado.

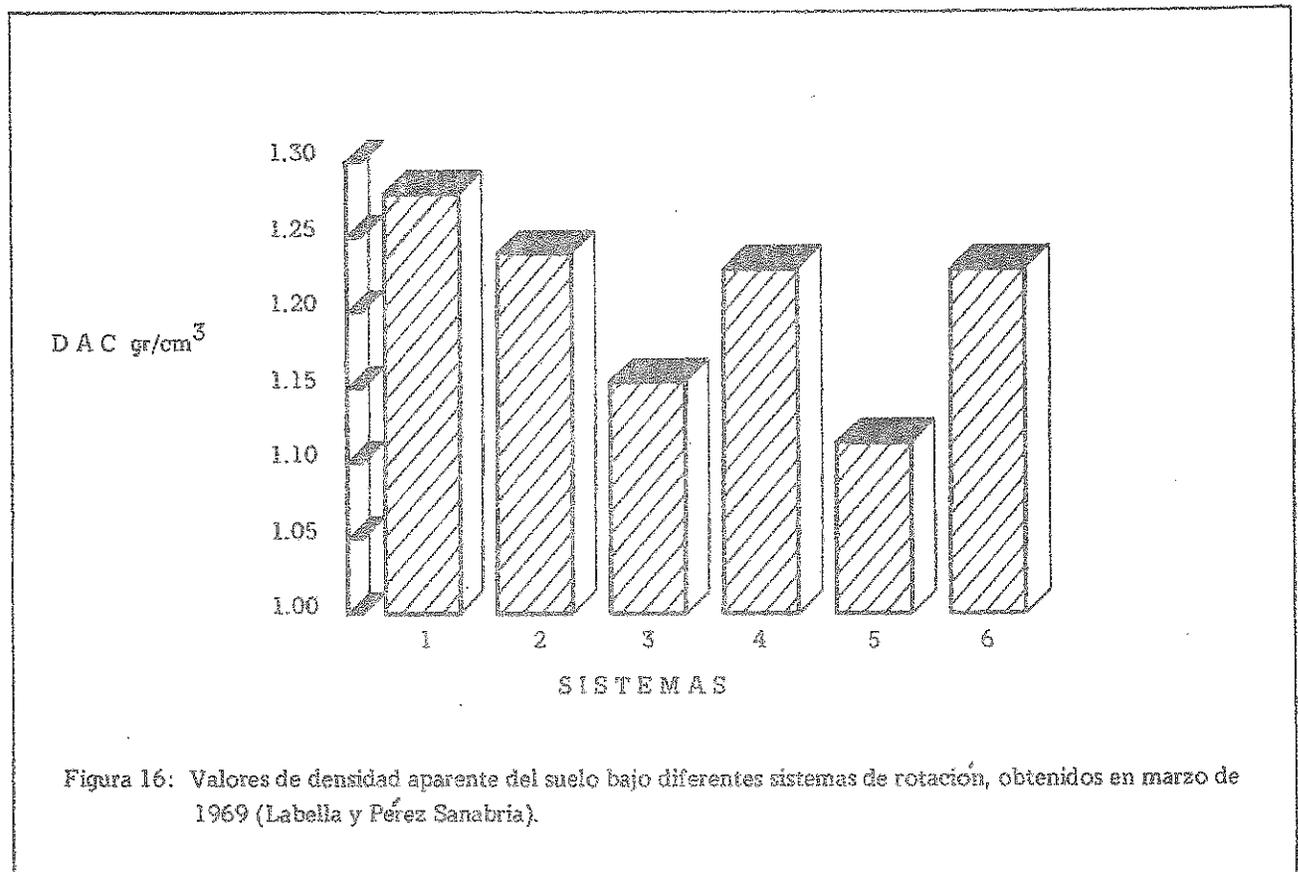
Esta desaparición del efecto de las pasturas, observada en este trabajo, hizo pensar en la intervención de otros factores sobre las propiedades físicas. Por otra parte, si se observan los valores de DAL y Macroporosidad, los únicos parcialmente comparables entre evaluaciones hechas en momentos distintos, por ser independientes del contenido de agua del suelo, se nota que estaban a un buen nivel en esta evaluación.

En la preparación de tierras en 1977, llovieron 40 mm desde la primera rastreada con dientes hasta la siembra del trigo, contra 280,6 mm (701,5 o/o más) en el mismo período en 1978. La energía cinética de la lluvia (calculada según Wischmeier y Smith, 21; citados por Bayer, 3), fue 281,72 tonelametros/ha en 1977, contra 3565,64 tonelametros/ha (1256,5 o/o más) en 1978. Además, en 1978 en cuatro días se terminó la tierra con varias pasadas de disquera, mientras en 1977 la tierra se terminó con dos pasadas de dientes separadas por 10 días.

Por lo tanto, se piensa que la diferencia en precipitaciones y quizás un sobrelaboreo de terminación en 1978, fueron la causa de que en este año no aparecieron diferencias debido a diferente duración de las pasturas (García, Rovira y Uriarte, 9), mientras éstas fueron evidentes el año anterior (García, Robert y Romero, 8).

##### 5. Evolución física del suelo en rotación de 17 años.

A continuación se presentarán valores de Densidad aparente de dos evaluaciones diferentes realizadas en el experimento sobre 7 sistemas de rotación, la primera realizada en marzo de 1969 (Labella, y Pérez Sanabria, inédito) y la segunda en marzo de 1979 (García, Beloqui y Labella, 10), sobre dos repeticiones de cada sistema de rotación que habían tenido trigo el año anterior (Figuras 16 y 17).



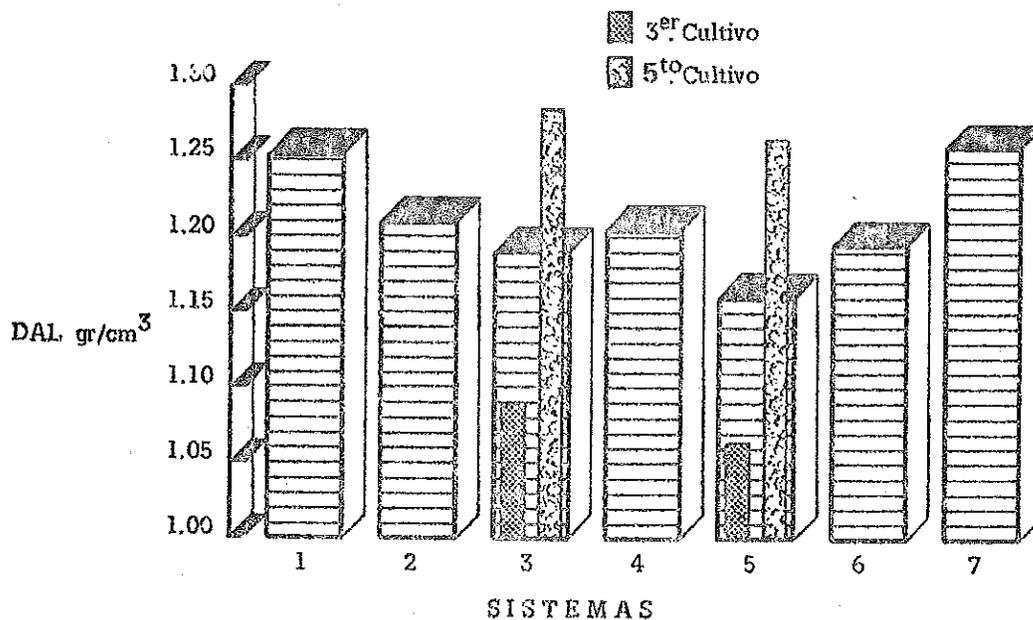


Figura 17: Valores de densidad aparente del suelo bajo diferentes sistemas de rotación, obtenidos en marzo de 1979. (García, Beloqui y Labella, 1979).

Comparando los resultados de las dos evaluaciones, lo primero destacable es que los sistemas se ordenan de la misma manera de acuerdo al valor de densidad aparente. Esto significa que esta propiedad física, y lo que ella evalúa en este caso, que es la estructura, ya estaban en equilibrio con los sistemas de rotación en 1969. Puesto que diez años después, en el mismo momento de los diferentes sistemas, los valores promedio se ordenan de la misma forma.

En segundo lugar, se observa que los sistemas con menor proporción de cultivos agrícolas y tierra en rastrojo o trabajada, que a su vez poseen el mayor porcentaje de tiempo en pasturas (sistemas 3 y 5), son los que presentan los valores de densidad aparente más bajos, que indican un mejor estado de la estructura. En los sistemas 1 y 2, donde no hay pasturas y se dan las mayores proporciones de cultivos agrícolas y tierra trabajada, ocurre lo contrario. En este caso, debe destacarse que cuando los cultivos crecieron más por efecto del uso de fertilizantes, y por lo tanto dejaron un rastrojo más abundante, los valores de densidad aparente en ambas evaluaciones, indican que la estructura está mejor,

En los sistemas que incluyen pasturas anuales de gramíneas (sistema 5) o de una gramínea y una leguminosa (sistema 4), los valores de densidad aparente son intermedios a los de los dos grupos de sistemas discutidos antes. Es de destacar que en los sistemas que se discuten, las gramíneas contaron con nitrógeno aplicado (sistema 6), y quizás algo aportado por el Trébol rojo (sistema 4), que es de rápido crecimiento.

En cambio, el sistema 7, con praderas anuales de trébol rojo y que no incluye gramíneas, en la evaluación de 1979, se muestra con un nivel de estructura similar al del sistema 1. Esto se puede deber en parte a que la proporción de cultivos agrícolas de ambos sistemas es la misma, ya que en el sistema 7, el 20 o/o de tiempo de trigo con trébol rojo consociado puede considerarse como tiempo bajo cultivo agrícola. Sin embargo, el 30 o/o del tiempo con Trébol rojo sólo, no produjo una recuperación sensible de la estructura. Estos resultados enfatizan la importancia de las gramíneas cuando su crecimiento no está limitado por falta de nitrógeno.

Por último, en los sistemas 3 y 5, se observa que dentro de la rotación, la estructura se deteriora sensiblemente al aumentar la duración del ciclo de cultivos arados. Debe aclararse, que el hecho de que los valores de las parcelas con cinco cultivos sean algo mayores al del sistema 1, debe provenir de un mayor error de determinación, ya que el número de muestras de la estimación de los primeros fue la mitad de la del segundo.

## 6. Efecto de las propiedades físicas sobre los cultivos.

Si se vuelve sobre las Figuras 12 y 13, se observa que los rendimientos tanto de trigo como de girasol a los más altos niveles de aplicación de nitrógeno, son mayores en las chacras con menos años de uso. A pesar de que en varias de las funciones de respuesta los rendimientos con 120 kg de nitrógeno aplicado por hectárea no son los máximos físicos, ello evidencia que a ese nivel tan alto de aplicación de nitrógeno, hay otros factores que están afectando los rendimientos además de la residualidad de nitrógeno de la pradera de alfalfa anterior. Estos factores deben ser fundamentalmente los derivados del estado de la estructura del suelo.

Cuando se obtuvieron los resultados que se expondrán a continuación, no se disponía de parámetros que pudieran estimar el aporte de nitrógeno por parte del suelo, por lo que no se pudieron establecer regresiones múltiples para ver en forma conjunta los efectos del nitrógeno aplicado, el que aporta el suelo, y la estructura y sus posibles interacciones sobre los rendimientos. Por esa razón, se recurrió a regresiones simples entre los estimadores del estado de la estructura y los rendimientos que en cada caso se entendieron menos limitados por nitrógeno.

García et al(8), correlacionaron los rendimientos mayores de cada parcela de los ensayos iniciados en 1973 y 1974, en el experimento sobre tipo y edad de pasturas, con los diferentes parámetros de estimación de estructura y encontraron los coeficientes siguientes: 0,81 \*\*\* con DAC; -0,66 \*\*\* con DAL; 0,31 \* con macroporosidad; -0,22 (no significativo) con resistencia a la penetrabilidad y con el índice combinado 0,48 \*\*\*. En el ciclo de este cultivo del año 1977, se produjeron serios problemas sanitarios ocasionados por fusariosis y septorioxis, y el máximo rendimiento observado fue 1350 kg/ha. Según la regresión, un 1 o/o de mejora en el índice combinado significó 11,61 kg/ha de aumento de rendimiento de trigo.

En el ciclo del cultivo de trigo de 1978, García, Rovira y Uriarte (9), no encontraron en general, ninguna correlación entre los rendimientos máximos de las funciones de respuesta a nitrógeno y los estimadores del estado de la estructura hallados. Como se vio, tampoco encontraron diferencias significativas entre los valores de estos estimadores en las diferentes pasturas y tiempos de duración de las mismas. Sólo en el ensayo iniciado en 1973, se encontró un coeficiente de +0,49 (sig. al 10 o/o) entre el índice combinado y los rendimientos máximos. En este ensayo la amplitud de variación de estos rendimientos fue 600 kg/ha, frente a 300 kg/ha en los otros ensayos; y la variación en los estimadores de estructura fue entre 250 y 490 o/o mayor.

Como se vio, hubo una gran diferencia en la energía que recibió el suelo por golpeteo de la lluvia en 1977 y 1978. Low et al (12), concluyeron que el mayor efecto de las praderas sobre los cultivos posteriores es a través de la residualidad de nitrógeno, pero que la mejora en las propiedades físicas puede tener influencia importante según el año. Low (13), señala que el efecto de las propiedades físicas, mejoradas por las pasturas, puede interaccionar con el efecto año (en particular lluvia), sobre el rendimiento de los cultivos posteriores, con efecto positivo en algunos años y sin efecto en otros.

García y Beloqui (7), correlacionaron los valores de los estimadores del estado de la estructura con los máximos de las funciones de respuesta al nitrógeno del cultivo de girasol del ciclo 1977/78, en el experimento sobre secuencia de cultivos y edad de la chacra. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Coeficientes de correlación y regresión lineal simple entre las propiedades físicas y los rendimientos de girasol, que se consideran no limitados por nitrógeno.

Propiedad física	Coefficiente de correlación	Regresión
DAC	-0,588 **	$y = 6046,65 - 3563,04 x$
DAL	-0,49 *	$y = 4913,81 - 2612,01 x$
Macroporosidad	0,55 **	$y = 939,62 + 57,12 x$
Penetrabilidad	-0,555 **	$y = 2439,58 - 20,78 x$
Índice Combinado	0,605 **	$y = 1280,95 + 10,57 x$

Significancia estadística: \* = 10 o/o; \*\* = 5 o/o

Se observa que existió correlación en las propiedades físicas del horizonte A y los rendimientos de girasol. En general, alrededor del 30 o/o de la variación de los rendimientos está explicada por las propiedades físicas. Según la regresión para el índice combinado, un 1 o/o de mejora del mismo, significa 10,57 kg/ha de mejora en la producción.

#### D. Efecto de las pasturas en la conservación del suelo.

Las ecuaciones desarrolladas para predecir las pérdidas de suelo por erosión, siempre consideraron el sistema de cultivo o la rotación y su nivel de productividad como uno de los factores, tal es el caso de la "ecuación universal de pérdida de suelo" desarrollada por Wischmeier y Smith (21). Sin embargo, en nuestro medio se tiene la tendencia a no manejar este importantísimo factor cuando se habla de conservación de suelo, relegándolo en importancia frente a las prácticas mecánicas de conservación de suelo. La explicación más probable de este hecho, debe ser la tendencia que se tiene a proyectar o programar el uso de la tierra a un plazo muy corto, en general para un cultivo.

Son abundantes en la bibliografía, las evidencias del marcado efecto que tiene un período bajo pasturas en disminuir las pérdidas por erosión del suelo, tanto en dicho período como en el que le sigue de cultivos arados en la rotación. Wilson y Browing (19) encontraron que las pérdidas de suelo en parcelas de maíz continuo, maíz en rotación con pasturas, avena en rotación con pasturas y de pasturas de la rotación, fueron: 38,3; 18,4; 10,1 y 0,3 t métricas/acre/año y que el parámetro del suelo de mayor correlación con estas pérdidas fue la estabilidad de la estructura de la capa arable.

Existen abundantes evidencias del efecto de las pasturas en reducir las pérdidas por erosión del primer cultivo de maíz que las sigue (Miller y Krusekopt, 1932, citado por Bayer (3); Moldenhauer y Wischmeier (16); Bartholomew (1)).

A su vez, el efecto de disminuir las pérdidas en el cultivo siguiente desaparece con el número de cultivos sucesivos luego de la pastura. Mannering (14), encontraron que la disminución de la erosión del suelo bajo maíz, luego de una pastura en relación a maíz continuo, fue 47, 17, 10 y 3 o/o, en el primero, segundo, tercero y cuarto maíz tras la pastura, respectivamente.

Wischmeier (20), estimó los valores que se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Pérdidas relativas de suelo bajo diferentes rotaciones (Wischmeier, 20).

Rotación	Pérdida relativa	
C - continuo	4,0	
C - C - D	3,0	C = Cultivo carpido (maíz)
C - C - D LAV	2,0	D = Cultivo denso (trigo)
C - D	2,0	LAV = Leguminosa para abono verde,
C - D - D LAV	1,5	P <sub>2</sub> = dos años de pradera,
C - D - D	1,0	P <sub>3</sub> = tres años de pradera,
C - C - D - P <sub>3</sub>	0,8	P <sub>4</sub> = cuatro años de pradera,
C - D - P <sub>3</sub>	0,4	P <sub>5</sub> = cinco años de pradera.
C - D - P <sub>4</sub>	0,3	
C - D - P <sub>5</sub>	0,2	

Se observa que la inclusión de pasturas reduce las pérdidas por erosión en relación directa a su duración. El efecto de las pasturas en la disminución de la erosión es a través de: a) mejor estado de la estructura que hace resistir más los golpes de lluvia, y mejora la infiltración en superficie, b) cobertura del suelo impidiendo que las gotas de lluvia lo golpeen directamente, c) retardo del escurrimiento al resultar las plantas barreras al mismo y d) eliminación del laboreo durante el período bajo pasturas permanentes. Los efectos b, c y d, desaparecen al ararse el suelo. Por lo tanto, la mayor duración de pasturas en la rotación significa más tiempo de acción de todos los efectos beneficios de las pasturas sobre la conservación del suelo.

#### IV. CONCLUSIONES

-- Cuando el suelo se utiliza con cultivos anuales, su contenido de materia orgánica disminuye lo que deteriora la capacidad de suministro de nitrógeno y la estructura del suelo. La inclusión de pasturas de gramíneas y leguminosas revierte la situación; sin embargo la persistencia de estos efectos es menos duradera que los que se originan en muchos años de crecimiento de las pasturas naturales.

-- La composición botánica de la pastura debe ser balanceada, no sólo por su producción y calidad para la nutrición animal, sino porque la residualidad de nitrógeno está relacionada con la producción de la leguminosa y la mejora de la estructura está determinada fundamentalmente por el crecimiento de la gramínea.

-- La disminución de los rendimientos al aumentar la edad de la chacra fue muy marcada a través de todas las edades lo que indica la importancia agronómica de esta variable. Dentro de este efecto puede considerarse que la residualidad de nitrógeno participó más afectando los rendimientos que la condición física del suelo. Ambos factores muestran una marcada interacción con las condiciones climáticas, en particular con el régimen de lluvias.

-- En suelos en condiciones similares a los estudiados en La Estanzuela, la disminución de la residualidad de nitrógeno indica que no convendría pasar de tres años de uso de cultivos arados. Esta duración del ciclo de cultivos también sería la mejor desde el punto de vista de la estructura, que con el cuarto cultivo se deteriora significativamente. Para la generalización de estas conclusiones en recomendaciones para otras situaciones es muy importante considerar el tipo de suelo y la intensidad de uso del mismo, adecuándolas al tipo de producción que se proyecte.

-- La especie de leguminosa, dentro del grupo de las más productivas (trébol blanco, trébol rojo, lotus, alfalfa) tiene menos importancia que el crecimiento que efectivamente pueda realizar en función de los factores ambientales, en cuanto a la fijación de nitrógeno del suelo.

-- Evidencias de experimentos aún no completamente analizados indican que cuanto más largo es el período bajo pasturas en alta producción, la residualidad de nitrógeno tiene más persistencia. Por consiguiente, en suelos desgastados por varios decenios de agricultura continua, el ciclo bajo pasturas debe prolongarse tantos años como la pastura se mantenga en alta producción y adecuadamente balanceada.

-- En el proceso de envejecimiento de las praderas permanentes la invasión de especies improductivas, tal el caso de la gramilla (*Cynodon dactylon*), no sólo disminuye la utilización del forraje al disminuir su calidad sino que el crecimiento de esta especie se hace a expensas del nitrógeno fijado por las leguminosas y en consecuencia pasa a sus tejidos que son de muy lenta descomposición luego de arar la pastura, por lo que puede reducirse la eficiencia de utilización de este nutriente por los cultivos sembrados a continuación.

-- El efecto de las pasturas disminuyendo la erosión, es una herramienta de primer orden en un programa de conservación de suelos. En este tema no se posee información que cuantifique las pérdidas potenciales de suelo en función del tipo de suelo manejo anterior y actual, por lo que habrá que desarrollar proyectos con este propósito.

## V. BIBLIOGRAFIA.

1. BARTHOLOMEW, R.P.D. et al. Influence of rainfall, cropping and cultural methods on soil and water losses. *Arkansas Agris. Exp. St. Bull.* 1939.
2. BAUTES, C. y ZARZA, A. Efecto de la fertilización nitrogenada y la frecuencia de cortes sobre el comportamiento productivo de dos pasturas de *Cynodon dactylon* (L). Pers. en la Estanzuela. Mimeo. Estación Experimental La Estanzuela. CIAAB/MAP. Colonia, Uruguay. 1974.
3. BAVER, L.D.; GARDNER W.H. y GARDNER W.R. Física de suelos. Ed. UTHEA, Mexico. 1973.
4. BLANCHOU, C. Contribución de diferentes especies de leguminosas y la influencia de la fertilización nitrogenada en la producción de una pradera de gramíneas. Estación Experimental La Estanzuela CIAAB/MAP. Colonia, Uruguay. Tesis Mag. Sc. IICA. (no publicada). 1968.
5. CLEMENT, C.R. and WILLIAMS, T.E. Leys and soil organic matter. I. The accumulation of organic carbon in soils under different leys. *J. Agric. Sci.* 63:377-383. 1964.
6. DIAZ, R. y BAETHGEN, W. Rotaciones de cultivos y pasturas. En Cultivos de Invierno.(mimeo). Estación Experimental La Estanzuela. CIAAB/MAP. Colonia, Uruguay. 1980.
7. GARCIA, F. y BELOQUI, C. Efecto de la edad de la chacra y el manejo anterior sobre algunas propiedades físicas del suelo. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, 1a. Reunión Técnica., II:126-130. Uruguay. 1978.
8. -----, ROBERT, M. y ROMERO, M. Evaluación del efecto de diferentes pasturas y su duración en las propiedades físicas del suelo y el primer cultivo posterior. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, 1a. Reunión Técnica, II:117-124. Uruguay. 1978.
9. GARCIA, F.; ROVIRA, L.A. y URIARTE, G. Efecto de diferentes pasturas y su duración sobre algunas propiedades físicas del suelo con 1, 2 y 3 cultivos de trigo posteriores. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, 2a. Reunión Técnica, S 5. Uruguay. 1979.
10. -----, BELOQUI, C. y LABELLA, S. Propiedades físicas del suelo en rotaciones de 16 años. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, 2a. Reunión Técnica, S 4. Uruguay. 1979.
11. LABELLA, S. Manejo del maíz en secano en el N.E. uruguayo. En Cultivos de Verano en el Noreste. Estación Experimental del Norte, CIAAB/MAP. Tacuarembó, Uruguay, 5-1 a 5-20. 1976.
12. LOW, A.J.; PIPER, F.J. and ROBERTS, P. Soil changes in leyrable experiments. *J. Agr. Sci.(Cambridge)* 60:238-299. 1963.
13. -----, Soil structure and crop yield. *J. Soil Sci.* 24 (2):249-259. 1973.
14. MANNERING, J.V.; MEYER, L.D. and JOHNSON, C.B. Effect of cropping intensity on erosion and infiltration. *Agr. J.* 60:206-209. 1968.
15. MELVILLE, J. and SEARS, P.D. Pasture growth and soil fertility. II. The influence of red and white clovers, superphosphate, lime, dung and urine on the chemical composition of the pasture. *New Zealand J. Sci. Tech.* 35A (suppl.) 1:30-41. 1953.
16. MOLDENHAUER, W.C. and WISCHMEIER, W.H. Soil and water losses and infiltration rates on Ida silt loam as influenced by cropping systems, tillage practices and rainfall characteristics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:409-413. 1960.
17. SILVA, M. Efecto de diferentes niveles de nitrógeno y leguminosas asociadas sobre la producción de una pradera. Estación Experimental La Estanzuela. CIAAB/MAP. Colonia, Uruguay. Tesis Mag. Sc. (no publicada). 1966.
18. TINSLEY, J. Nitrogen releasing properties of various types of organic matter, England Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Technical Bulletin 15. 1964.

19. WILSON, H.A. and BROWNING, G.M. Soil aggregation, yields, runoff and erosion as affected by cropping systems. *Soil Sci. Am. Proc.*; 10:51-57. 1945.
20. WISCHMEIER, W.H. Cropping-management factor evaluations for a universal-loss equation. *Soil Sci. Soc. of Am. Proc.* 24(4):322-326. 1960.
21. WISCHMEIER, W.H. and SMITH, D.D. A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. *Trans. 7th. Int. Cong. Soil Sci., Madison VI*:418-425. 1960.

# RESULTADOS FISICOS Y ECONOMICOS DE ROTACIONES DE PASTURAS Y CULTIVOS

Walter Baethgen

Roberto M. Díaz

Astur Bozzano

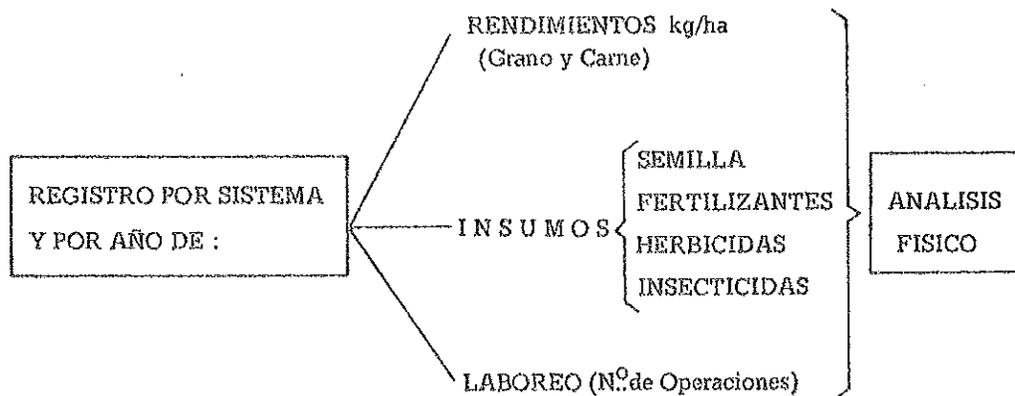
## INTRODUCCION

En el año 1963 se instaló en "La Estanzuela" un experimento con siete sistemas de rotaciones. Este experimento ha generado información durante un período de 16 años sobre los rendimientos de cultivos y pasturas. Asimismo, (Cuadro 10), el registro de operaciones de laboreo e insumos (fertilizantes, semillas, específicos, etc.), permitió el análisis físico y económico de estos sistemas, cuyos principales resultados se resumen en el presente trabajo.

El objetivo del análisis económico, ha sido completar la información agronómica generada a partir de las distintas alternativas de manejo del suelo sobre rendimientos, fertilidad del suelo, etc., para determinar en base a la rentabilidad de cada sistema su viabilidad a nivel de empresa agropecuaria.

La descripción de los sistemas evaluados en este experimento aparece en el primer capítulo de esta publicación (Cuadros 1 a. y 1 b.).

Cuadro 10: Metodología utilizada para el análisis físico.



## II. ANALISIS DE RENDIMIENTOS FISICOS.

### A. Rendimientos de los cultivos en cada sistema.

Los cuadros 11 y 12, muestran como los diferentes sistemas de rotaciones afectaron en forma similar a los rendimientos de los cuatro cultivos utilizados.

Las rotaciones que incluyen pasturas permanentes (sistemas 3 y 5) mostraron en todos los cultivos los más altos rendimientos. El sistema de menor producción fue el de rotación continua sin fertilizar (1), situándose en una posición intermedia los sistemas con cultivos continuos fertilizados (2 y 7), y los fertilizados que incluyen pasturas anuales (4 y 6).

Cabe señalar que el alto rendimiento del lino en el sistema 4 se puede deber a que dicho valor resultó del promedio de únicamente dos años, uno de los cuales fue excepcionalmente bueno para este cultivo.

Cuadro 11: Producción porcentual (Promedio de 16 años)

SISTEMAS	1	2	3	4	5	6	7
TRIGO ( 100 = 2134 kg/ha)	40	68	100	79	89	69	77
LINO ( 100 = 800 kg/ha)	37	51	100	105	103	85	64
GIRASOL ( 100 = 1342 kg/ha)	54	64	100	72	94	76	52
SORGO ( 100 = 4189 kg/ha)	47	65	100	77	90	67	79

Cuadro 12: Producción porcentual por tipo de rotación.

ROTACION	TRIGO	LINO	SORGO	GIRASOL
AGRICULTURA CONTINUA	65	50	67	59
ROTACIONES CON PASTURAS ANUALES	78	93	76	76
ROTACIONES CON PASTURAS PERMANENTES	100	100	100	100

### B. Producción total de grano y forraje.

Al analizar la producción acumulada de grano y forraje desde la instalación del experimento, hasta el año 1979 se observó que los rendimientos totales de grano fueron similares entre sistemas (Figura 18). Sin embargo, es importante destacar que los sistemas que incluyen pasturas permanentes (3 y 5) lograron esa misma producción acumulada de grano, en la mitad de años, ya que en estas rotaciones intervienen cinco años de pasturas y cinco años de cultivos.

El único sistema que presenta rendimientos sensiblemente inferiores es el de cultivos continuos sin fertilizar (sistema 1).

En los sistemas que incluyen pasturas la producción total de forraje varió entre 32 y 42 tt de Materia Seca por hectárea en el periodo evaluado.

Cabe destacar que, en la mayoría de los casos, esa producción de forraje se logró sin detrimento en la producción total de grano.

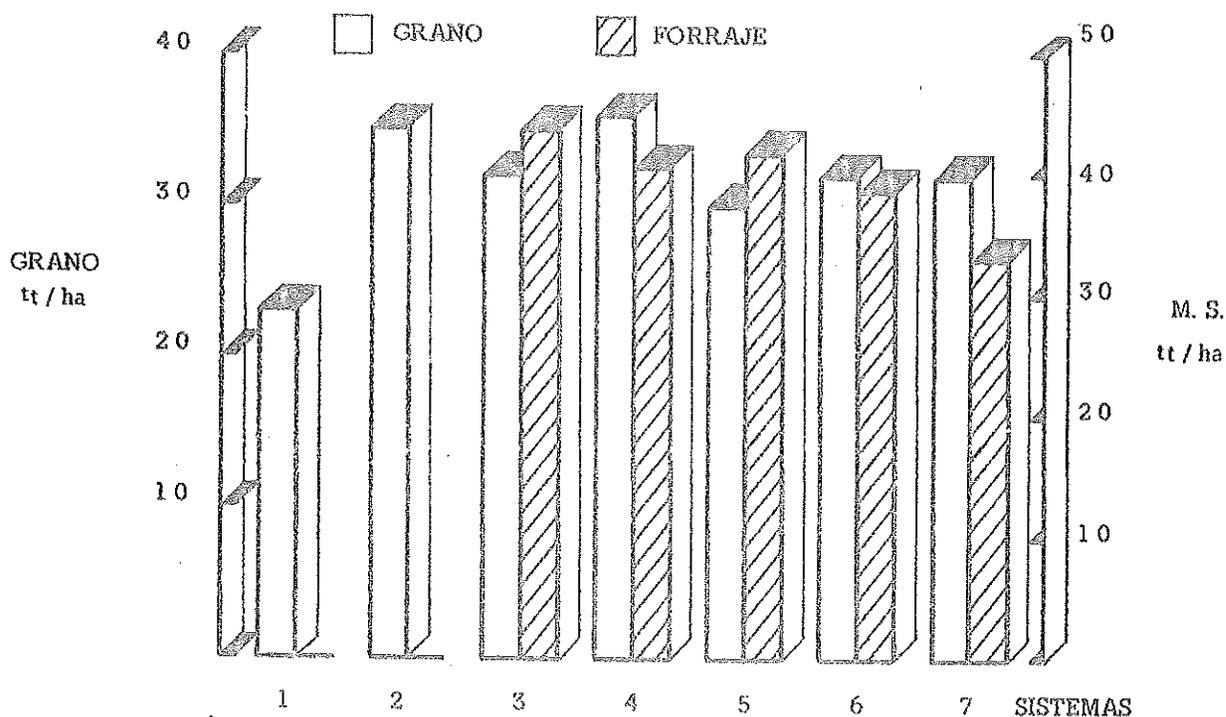


Figura 18: Producción acumulada de grano y forraje. (1963 - 1979).

### C. Efecto del cultivo anterior sobre el trigo.

Dada la importancia del trigo en la producción agrícola del país, pareció justificado analizar en particular el comportamiento de este cultivo y la influencia que tienen sobre el mismo, los cultivos que lo preceden en la rotación. Con este fin se calculó el rendimiento promedio del trigo en todos los sistemas, después de cada uno de los cultivos incluidos en ellos. Estos resultados se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13: Rendimientos de trigo después de diferentes cultivos.

TRIGO :	CULTIVO ANTERIOR				
	PASTURA *	GIRASOL	TRIGO **	LINO	SORGO ***
kg/ha	2640	1540	1497	1488	1109
o/o	171	100	97	97	72

\* La secuencia es en realidad: PASTURA - OTRO CULTIVO - TRIGO

\*\* Nunca se incluyen más de dos cultivos de trigo consecutivos.

\*\*\* Estos datos son adaptados de los resultados obtenidos en experimentos del CIAAB (1).

#### D. Propiedades físicas.

Si bien el efecto de las pasturas sobre los rendimientos de los cultivos posteriores se debe fundamentalmente a su residualidad de nitrógeno, su beneficio sobre las propiedades físicas del suelo, juegan un papel prioritario en la determinación de altos rendimientos.

La importancia del rol que desempeñan las pasturas en la conservación de las propiedades físicas de un suelo y los efectos que en particular demostraron en este experimento ya fueron presentados en la primera parte de esta publicación.

### III. EROSION.

A pesar de que hasta el momento no se han evaluado las pérdidas de suelo por erosión en los diferentes sistemas de rotaciones, existen elementos como para hacer una serie de consideraciones a este respecto.

En primer lugar, como ya se expresó, el suelo en los sistemas que incluyen pasturas permanentes, presenta propiedades físicas apreciablemente mejores que en las demás rotaciones.

En segundo término, existen grandes diferencias en cuanto al tiempo en que el suelo permanece sin ninguna cobertura en los distintos sistemas. Así, en la figura 20, se puede observar que en las rotaciones que incluyen pasturas permanentes (3 y 5), el suelo se encuentra desnudo la mitad del tiempo que en los sistemas de agricultura continua (sistemas 1 y 2).

Finalmente, incluso estando el suelo con cultivos, la cobertura de los mismos es sensiblemente diferente entre sistemas, siendo los de agricultura continua, los que presentan las menores densidades de plantas y por consiguiente una peor protección al impacto de las gotas de lluvia.

Por lo tanto, parece acertado suponer que las pérdidas de suelo por erosión hayan sido bastante más importantes en los sistemas de cultivos continuos que en los que incluyen pasturas permanentes.

La información sobre estos aspectos de erosión se espera se vea verificada y ampliada a través de un proyecto a iniciarse en 1981 que considera la instalación de parcelas de escurrimiento, en este experimento, para cuantificar la importancia del proceso erosivo en las diferentes rotaciones.

### IV. CONSUMO DE FERTILIZANTES.

Como era de esperar, el consumo de fertilizantes nitrogenados fue apreciablemente menor en los sistemas que incluyen praderas permanentes.

La figura 19 muestra que dichos sistemas (3 y 5) utilizaron entre un 40 y un 60 o/o menos de fertilizantes nitrogenados que el resto de las rotaciones, debido a que, por un lado, la mitad del tiempo el suelo estuvo bajo praderas permanentes y por otro lado, la fijación de nitrógeno de dichas pasturas hizo que los cultivos siguientes necesitaran una fertilización nitrogenada menor.

Por otra parte, las diferencias en el consumo de fertilizantes fosfatados de las diferentes rotaciones, fueron apreciablemente menores.

La figura 19 muestra que todos los sistemas consumieron entre 42 y 54 kg de  $P_2O_5$  por ha - año, siendo el 3 y el 5 los que presentaron los valores más altos. Sin embargo, es importante señalar que ese mayor consumo de fertilizante fosfatado se tradujo en un ahorro más proporcional en el consumo de fertilizante nitrogenado, debido a que la cantidad de nitrógeno fijado por las leguminosas, está estrechamente relacionado con el nivel de producción de la pastura, y éste a su vez depende en gran medida de la disponibilidad de fósforo en el suelo.

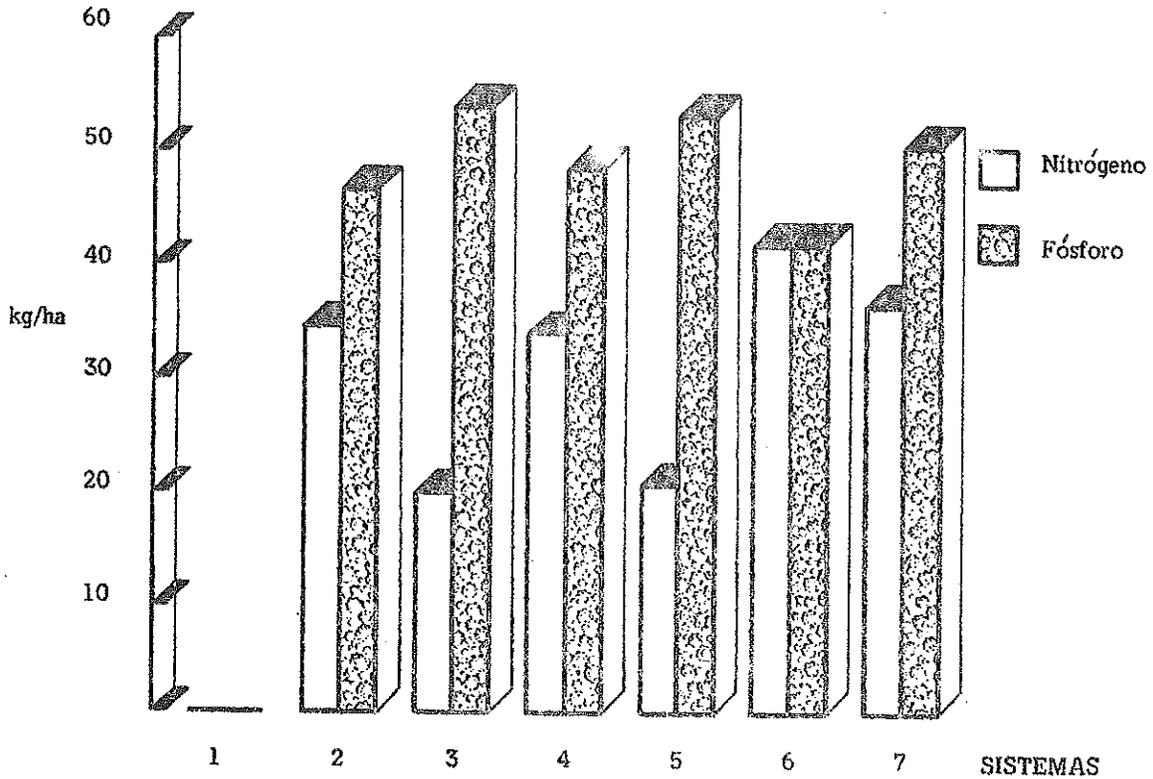


Figura 19: Consumo anual de nitrógeno y fósforo. (Promedio de 16 años).

### V. CONCLUSIONES SOBRE LOS RESULTADOS FISICOS.

- La producción anual de grano fue máxima en los sistemas que incluyeron pasturas permanentes y la acción restauradora de éstas sobre la fertilidad del suelo, no pudo ser sustituida únicamente con el agregado de fertilizantes.
- El aumento de la productividad por hectárea, de las rotaciones con pasturas permanentes, se debe principalmente a tres factores:
  - a. la fijación de nitrógeno por las leguminosas;
  - b. los efectos beneficiosos de las pasturas sobre las condiciones físicas del suelo;
  - c. el uso más eficiente del suelo, al reducirse los períodos inproductivos (Figura 20).

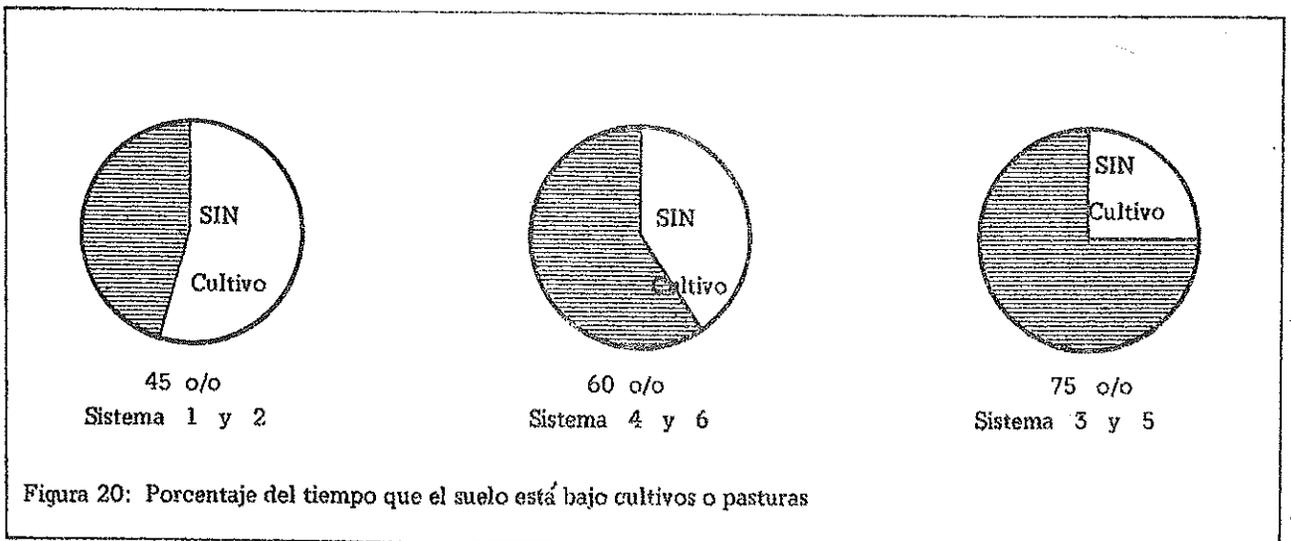


Figura 20: Porcentaje del tiempo que el suelo está bajo cultivos o pasturas

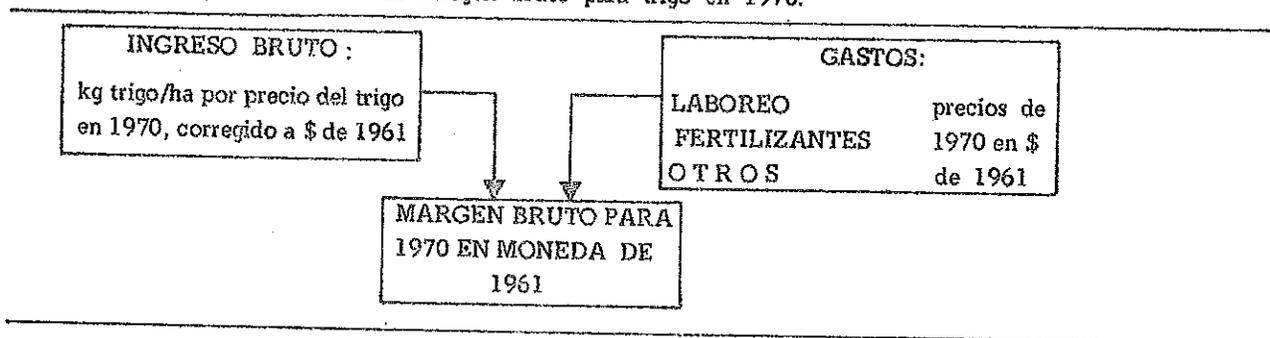
## VI. ANALISIS DE RENDIMIENTO ECONOMICO.

### A. Metodología.

1. Indices de precios. Para eliminar el efecto distorsionante de la inflación sobre los precios, el análisis económico de los 16 años de producción, se ha realizado en base a precios de productos e insumos en poder de compra constante (3)(4). Para ello, se trabajó con moneda constante en base al año 1961, de manera de que en la variación de precios no actúe el proceso inflacionario, sino solamente la variación real de los valores (Ver Cuadro 14).

Algunos resultados, sin embargo, se presentan en N\$ del año 1979, para poder dar una idea más tangible de los valores, pero la metodología utilizada en todos los casos fue la misma.

Cuadro 14: Ejemplo del cálculo de margen bruto para trigo en 1970.



2. Producción de carne. Al no haberse llevado registros de producción de carne, los datos presentados en este trabajo provienen de experimentos realizados en el CIAAB con el mismo tipo de pasturas y en condiciones similares (Ver Cuadros 15 a; 15 b y 15 c).

Cuadro 15: Producción de carne.

#### 15 a. PRADERA CONVENCIONAL. (Festuca + Trébol blanco)

	1 <sup>er</sup> AÑO	2 <sup>do</sup> AÑO	3 <sup>er</sup> AÑO	4 <sup>to</sup> AÑO
kg M. S. / ha	----	10.695	10.501	5.588
kg CARNE/ ha	----	406	350	287

(Cibils, R., 1980, Com.pers.)

#### 15 b. RAIGRAS + TEBOL ROJO.

	OTOÑO + INVIERNO	INV. + PRIM. + VER.
kg M. S. / ha	4.778	6.822
kg CARNE/ ha	87	253

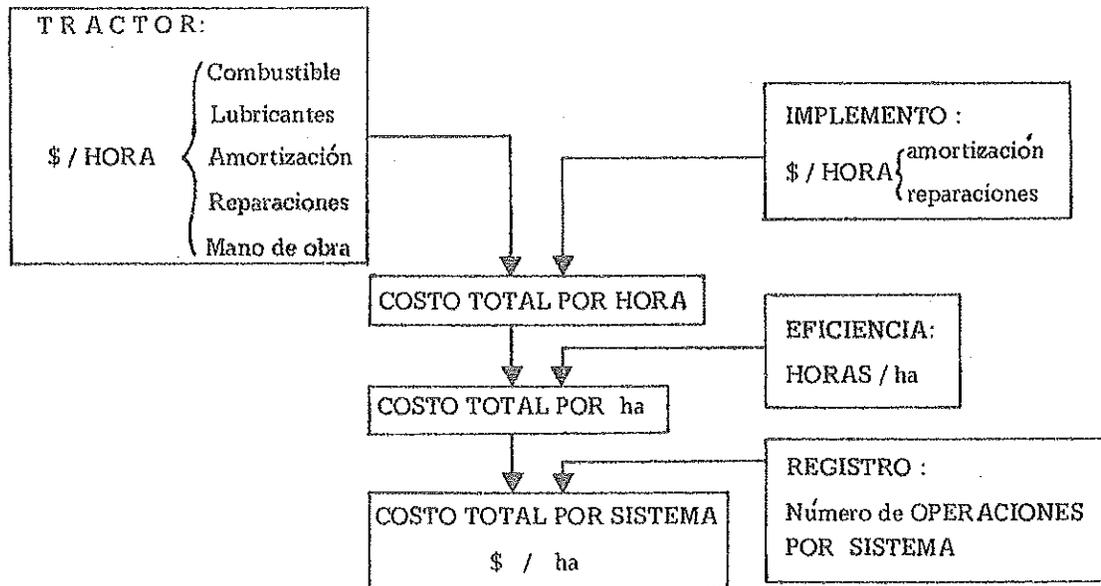
(Cibils, R., 1980, Com.pers.)

#### 15 c.

PASTURA	kg CARNE/ ha	REFERENCIA
Trébol rojo (Trigo asociado)	84	(Cibils, R., 1980, Com.pers.)
Raigrás (otoño + invierno)	263	(Pittaluga, O., et al, (6))
Sudan (100 días de pastoreo)	464	(Vaz Martins, D., et al, (7))

3. Costos de laboreo. La metodología empleada para el cálculo de los costos de laboreo aparece en cuadro 16. (5)

Cuadro 16: Costos de laboreo.



4. Margen Bruto. La evaluación económica de los 7 sistemas de rotaciones está basada en sus márgenes brutos (Ingreso bruto - costos variables). Es decir que no se incluyen costos indirectos (como impuestos fijos, remuneración del capital, etc.), ya que éstos no dependen del tipo de actividad de la empresa, que es justamente lo que se pretende evaluar en el presente análisis económico (2).

**B. Resultados.**

1. Margen bruto promedio para cada sistema. Los resultados del análisis físico, coinciden parcialmente, en este aspecto, con los del análisis económico. La figura 21 muestra que los sistemas 3 y 5 fueron los que presentaron los mayores márgenes brutos por hectárea.

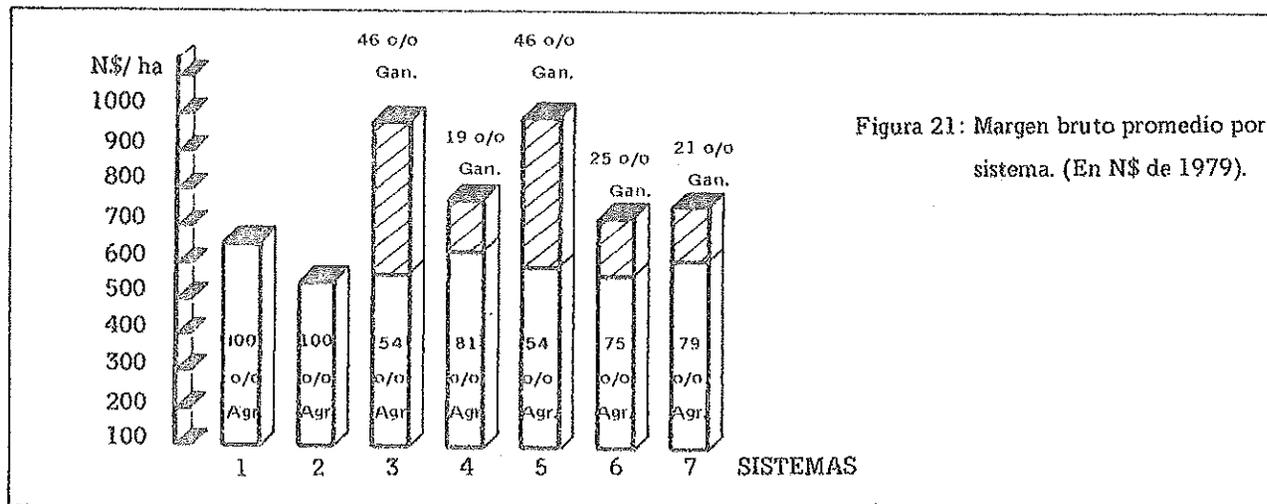


Figura 21: Margen bruto promedio por sistema. (En N\$ de 1979).

Sin embargo, surgen diferencias importantes entre los resultados físicos y económicos de algunos sistemas. De esta forma, la agricultura continua sin fertilizantes resultó más rentable que la fertilizada (sistemas 1 y 2 respectivamente).

Es muy probable, que esta ausencia de respuesta económica a la fertilización, se deba a que los problemas de propiedades físicas que presentó el suelo para el crecimiento de los cultivos hayan sido más limitantes que el nivel de nutrientes, debido al uso extremadamente intensivo del suelo desde muchos años antes de instalado el ensayo.

Por otro lado, los sistemas con pasturas anuales (4 y 6), con niveles de rendimientos físicos similares a aquellos con praderas permanentes, revelaron en el análisis económico una rentabilidad apreciablemente menor.

La información presentada en la figura 22, permite explicar los resultados obtenidos en márgenes brutos.

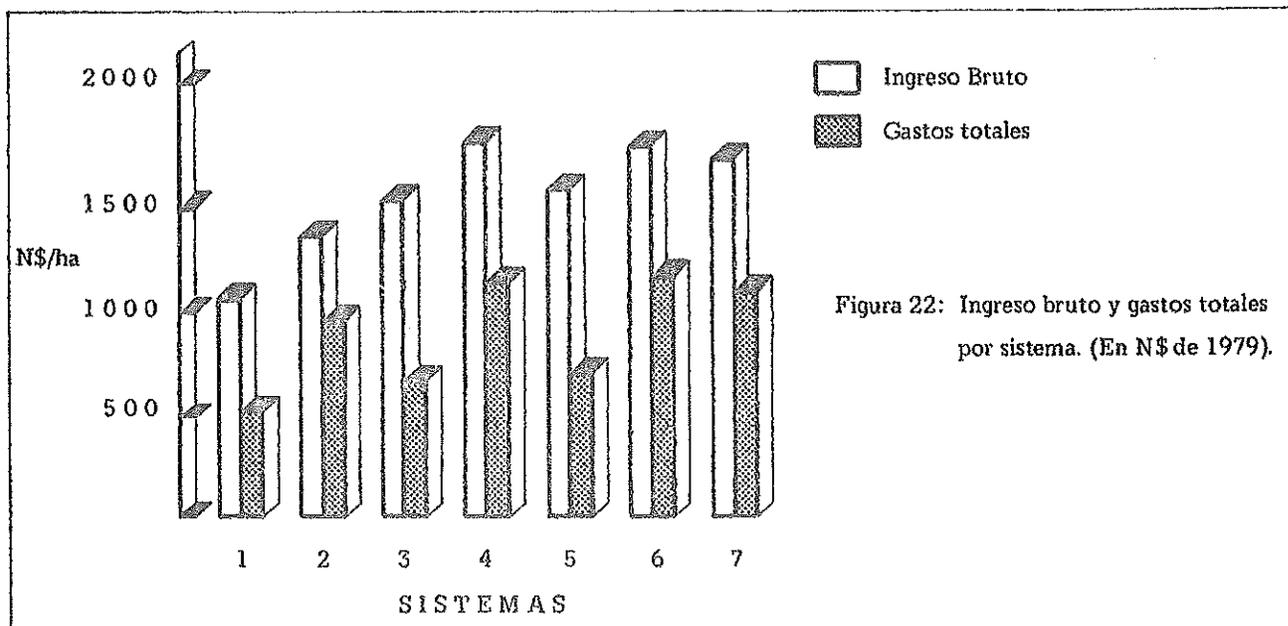


Figura 22: Ingreso bruto y gastos totales por sistema. (En N\$ de 1979).

A pesar de que los sistemas con pasturas anuales (4 y 6) presentan ingresos brutos más altos que aquellos con praderas permanentes, (3 y 5) sus gastos totales son tan altos que determinan un margen bruto menor.

Del mismo modo, los altos gastos totales del sistema 2 (agricultura continua con fertilizantes) determinan un margen bruto menor que el sistema 1, a pesar de que el ingreso bruto de aquel resultó mayor. Por otro lado, el sistema 7, con un nivel de gastos totales similar al sistema 2, presenta un mayor margen bruto originado en la producción forrajera de las siembras asociadas que posibilitan un mayor ingreso bruto a través de la producción de carne.

Finalmente, la figura 23 evidencia la importancia relativa de los diferentes tipos de gastos para cada rotación.

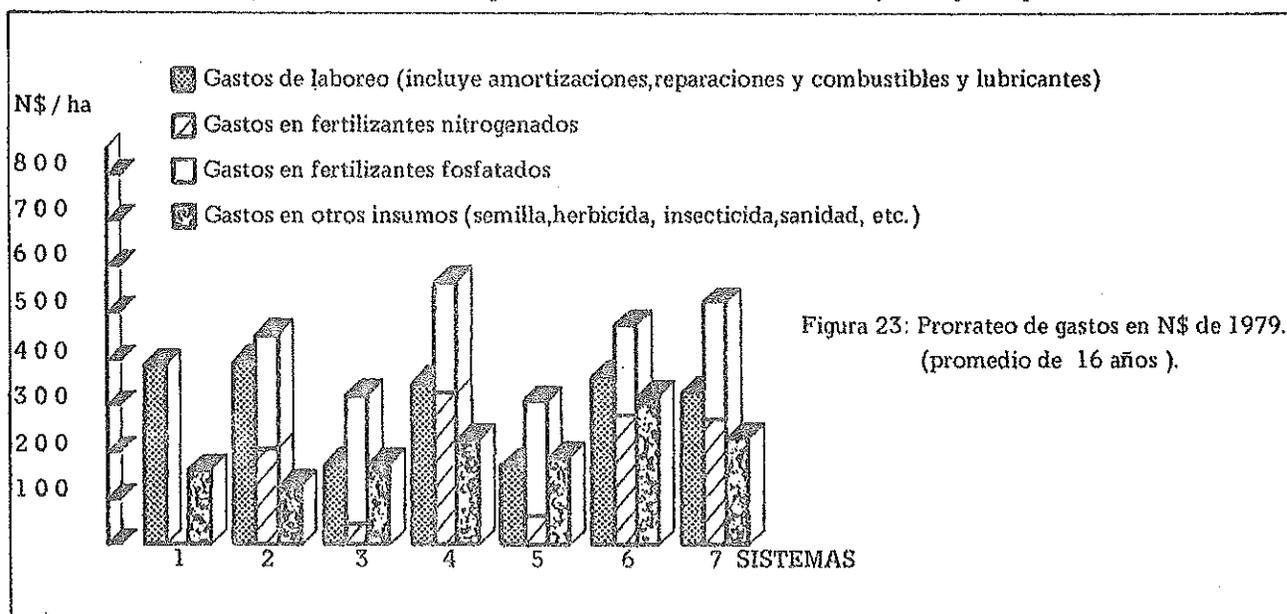
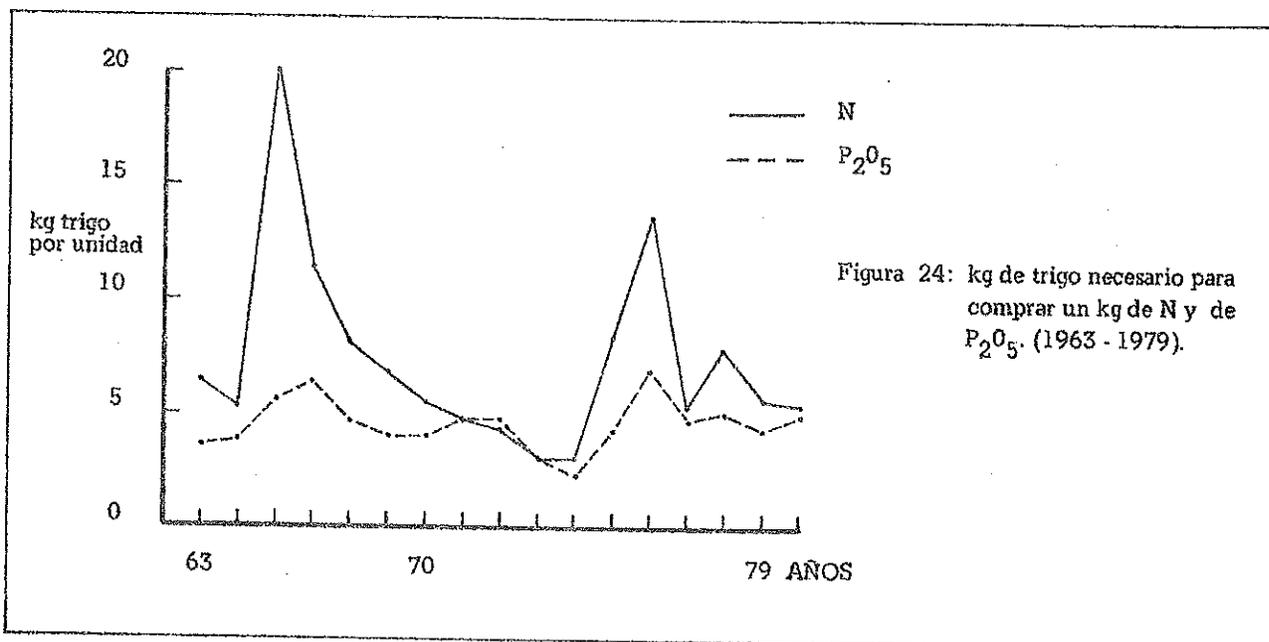


Figura 23: Prorrato de gastos en N\$ de 1979. (promedio de 16 años).

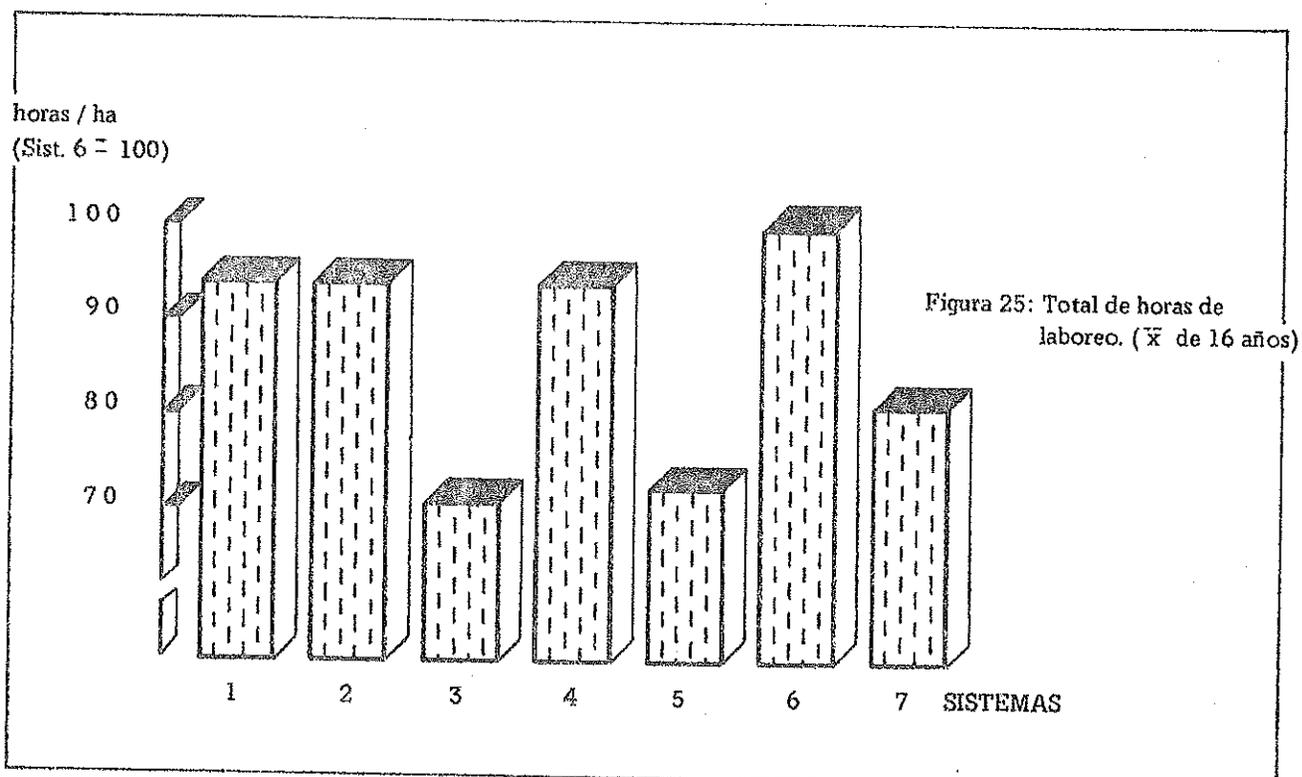
Lo más relevante de dicha figura es que para todos los sistemas, el gasto en fertilizantes resultó ser aproximadamente un 50 o/o de los gastos totales.

La importancia de los costos de los fertilizantes se evidencia en la figura 24, en la que se puede observar como el valor de la unidad de fósforo y de nitrógeno, si bien presentó grandes variaciones, fue siempre alta en relación a los precios del trigo.



Por el contrario los costos de laboreo muestran una gran variación entre sistemas.

La figura 25 muestra que los sistemas con pasturas permanentes presentan costos de laboreo marcadamente inferiores que el resto de los sistemas.



La excepción la constituye el sistema 7 que con la misma secuencia de cultivos que el sistema 2, requiere un menor número de horas de laboreo, debido a la sustitución de períodos de barbecho por trébol rojo.

2. Evolución de márgenes brutos por sistema. Una característica deseable de un sistema de producción, además de presentar márgenes brutos altos, es que éstos sean estables año a año.

La información presentada en la figura 26, permite caracterizar a los sistemas de rotaciones en tres grandes grupos: en primer lugar aparece el sistema 1, con márgenes brutos muy estables, pero siempre bajos. Es importante recordar además, que en este análisis no se incluyen costos indirectos, por lo que un sistema de producción como el 1, a nivel de empresa sería aún menos rentable.

En el otro extremo figuran los sistemas con pasturas anuales, con una marcada inestabilidad y picos importantes de márgenes brutos negativos. La mejor evolución de los márgenes brutos la presentan las rotaciones con pasturas permanentes (3 y 5) ya que muestran muy pocos picos negativos y de muy baja magnitud.

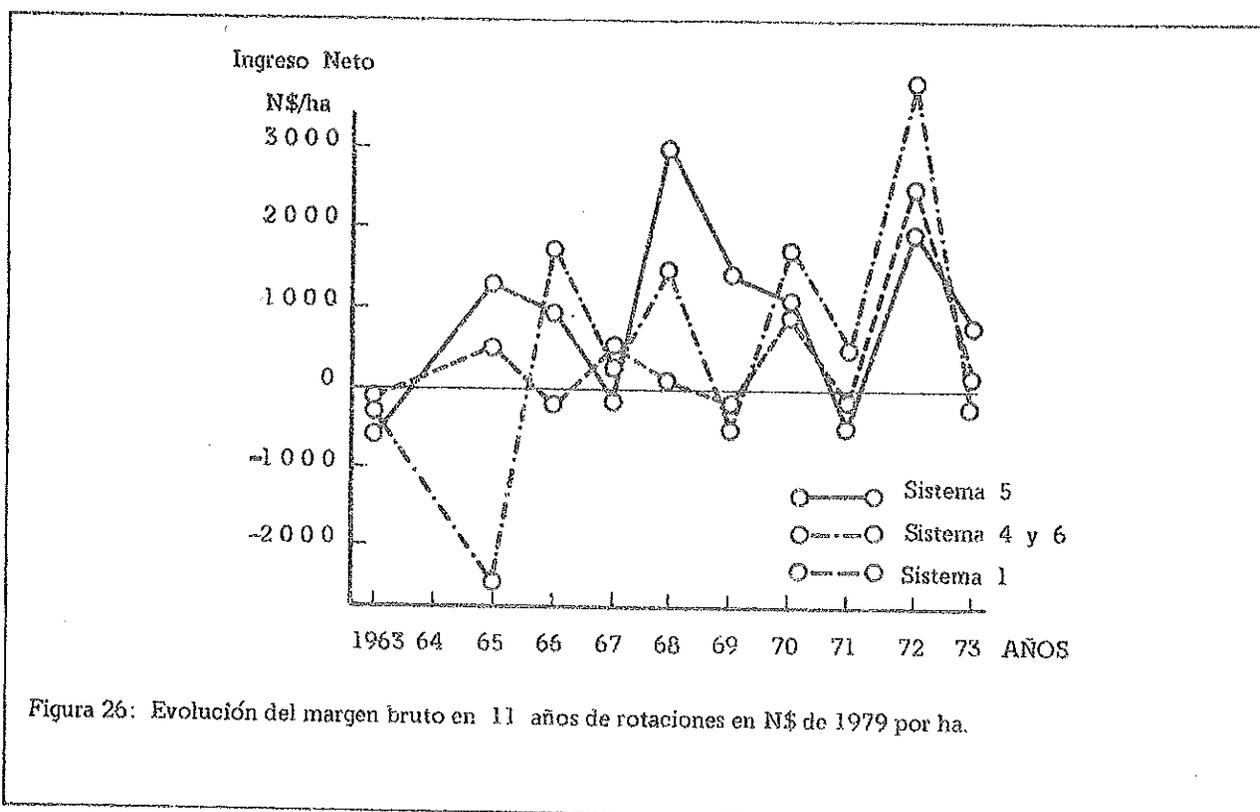


Figura 26: Evolución del margen bruto en 11 años de rotaciones en N\$ de 1979 por ha.

### 3. Resultados por cultivo.

Las ventajas relativas de los sistemas que incluyen pasturas permanentes en cuanto al margen bruto promedio respecto al resto de los sistemas, son aún mayores cuando se estudia el comportamiento individual de cada cultivo. Dos factores pueden ser considerados como causa fundamental de este hecho: en primer lugar los mayores ingresos brutos como consecuencia de los altos rendimientos obtenidos en los sistemas que incluyen pasturas permanentes, y en segundo término los menores gastos de dichos sistemas, debido fundamentalmente al ahorro de fertilizantes nitrogenados.

En los cuadros 17a; 17b; 17c y 17d, se presentan los datos resultantes del análisis económico de cada cultivo en particular.

Si bien los cuatro cultivos presentan tendencias muy parecidas, es importante hacer una serie de comentarios sobre los resultados obtenidos.

Cuadro 17: Resultados de los cuatro cultivos estudiados ( $\bar{x}$  de 1963 a 1979 expresados en N\$ de 1979).

## 17 a: TRIGO

SIST.	I.BRUTO	LAB.	INSUMOS			M.BRUTO
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	OTROS	
1	1.140	447	---	---	246	447
2	1.548	440	298	241	246	323
3	2.286	398	219	157	246	1.266
4	2.040	390	258	194	271	927
5	2.094	398	219	157	246	1.074
6	1.565	398	353	194	256	364
7	1.729	395	378	253	248	455

## 17 b: LINO

SIST.	I.BRUTO	LAB.	INSUMOS			M.BRUTO
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	OTROS	
1	557	261	---	---	184	112
2	701	273	104	303	184	-163
3	1.789	313	97	338	306	735
4	1.645	258	194	94	288	811
5	2.072	313	97	338	306	1.018
6	1.111	323	---	209	94	485
7	815	293	104	311	181	-74

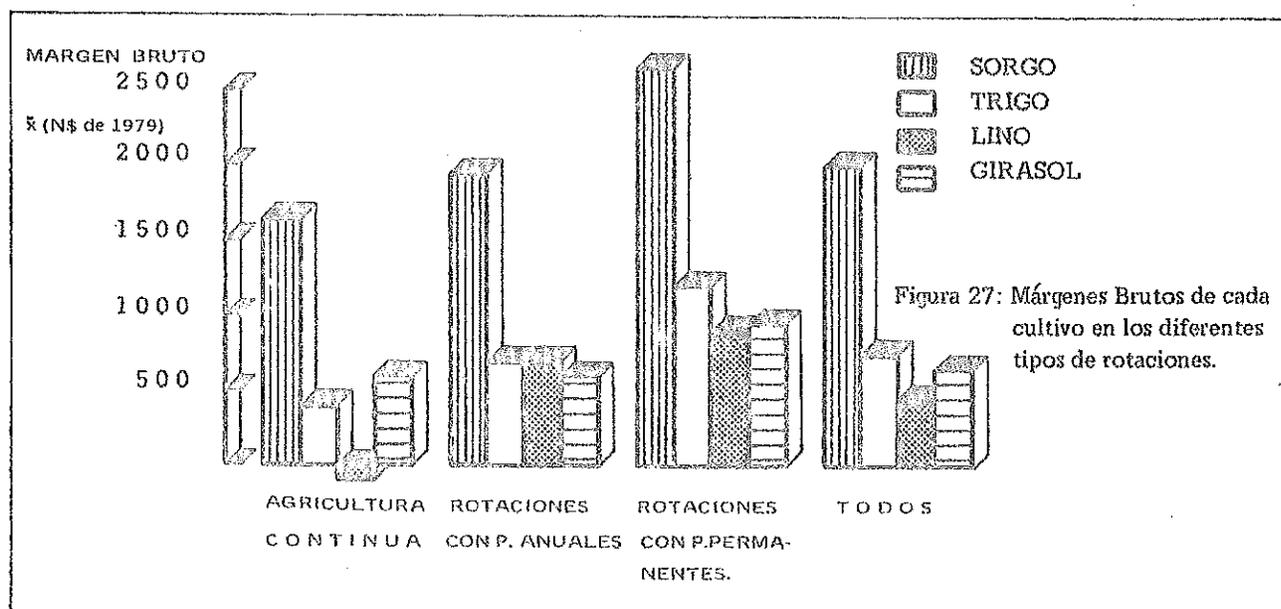
## 17 c: SORGO

SIST.	I.BRUTO	LAB.	INSUMOS			M.BRUTO
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	OTROS	
1	2.035	547	---	---	124	1.364
2	2.815	547	263	271	124	1.610
3	4.020	629	0	447	144	2.800
4	3.300	547	258	296	124	2.075
5	3.702	666	0	417	144	2.475
6	2.952	567	258	251	124	1.762
7	3.149	482	258	333	124	1.952

## 17 d: GIRASOL

SIST.	I.BRUTO	LAB.	INSUMOS			M.BRUTO
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	OTROS	
1	1.247	527	---	---	102	618
2	1.498	509	166	206	97	520
3	1.995	532	152	186	122	1.003
4	1.657	467	323	226	92	549
5	1.876	547	152	263	122	792
6	1.667	564	159	181	99	664
7	1.431	460	147	209	97	518

En primer lugar llama la atención, la alta rentabilidad del cultivo de sorgo en relación a los otros tres cultivos. Como muestra la figura 27, el sorgo presentó un margen bruto promedio para todos los sistemas, que fue un 60 o/o superior que el de trigo y girasol, y un 80 o/o mayor que el de lino.



Estas diferencias fueron aún más acentuadas en los sistemas de agricultura continúa (Cuadro 18), especialmente para los cultivos de trigo y lino.

El cultivo de lino en cambio, presentó un margen bruto promedio para todos los sistemas, sensiblemente inferior a los demás cultivos, siendo el único que presentó valores negativos de márgenes brutos en las rotaciones de agricultura continúa. Uno de los factores que puede haber influido más en esos márgenes negativos, es la baja respuesta que presenta este cultivo a la fertilización.

Cuadro 18: Márgenes brutos de cada cultivo en los diferentes tipos de rotaciones. (Sorgo = 100).

	TRIGO	LINO	SORGO	GIRASOL
AGRICOLAS CONTINUAS	25	- 3	100	34
ROTACIONES con PAST. ANUALES	34	34	100	32
ROTACIONES con P.PERMANENTES	44	33	100	34
TODOS LOS SISTEMAS	35	21	100	33

Otra observación remarcable que resulta del análisis económico de cada cultivo, es la gran respuesta económica que presenta la inclusión de pasturas permanentes en una rotación en que intervienen el trigo o el lino y que es menos acentuada para sorgo y girasol. Sin embargo, en el análisis físico del experimento, ya se señaló que los 4 cultivos presentaban las mismas tendencias al incluir pasturas permanentes en la rotación (Cuadro 11). Por lo tanto, es muy posible que en esos resultados del análisis económico, estén influyendo variaciones del precio real de los cultivos, que pueden haber alterado las relaciones de los ingresos brutos con los rendimientos.

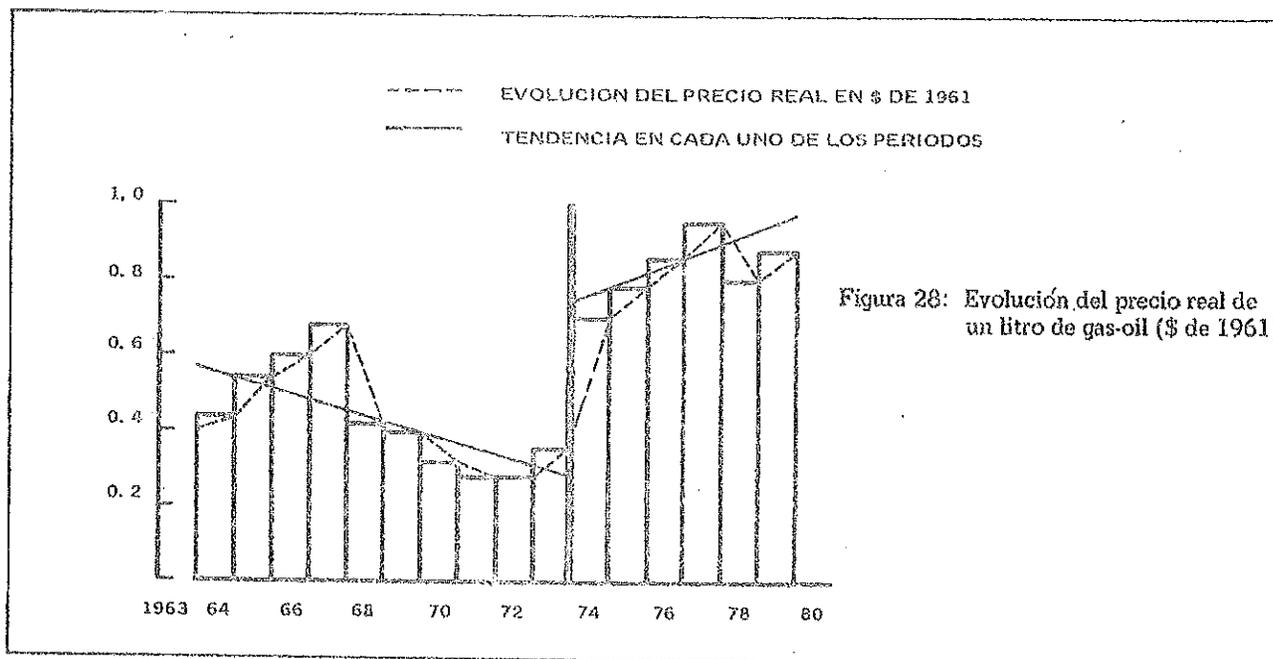
#### 4. Evolución de los costos de laboreo.

Un aspecto que conviene resaltar es el importante aumento en el costo de laboreo de todos los cultivos que existe a partir del año 1974, para todos los sistemas. En el cuadro 19 se presentan los resultados de ese incremento en el costo de laboreo para el caso particular del trigo, pero es muy probable que el resto de los cultivos muestren la misma tendencia.

Cuadro 19: Evolución del costo real de laboreo para el trigo (en \$ de 1961).

1a. etapa - 1963 - 1973		2da. etapa - 1974 - 1978	
Sistema	\$/ha laboreo	\$/ha laboreo	o/o
1	131.41	228.87	+ 74.16
2	132.16	221.60	+ 67.68
3	97.04	223.90	+130.73
4	105.60	209.19	+ 98.10
5	97.04	223.74	+130.56
6	105.47	213.66	+102.58
7	96.40	222.54	+130.85
	$\bar{x} = 109.31$	$\bar{x} = 220.50$	$\bar{x} = + 102 \text{ o/o}$

Como lo muestra la figura 28, la razón fundamental de este hecho es el considerable aumento del precio real que presentó el gas-oil a partir del año 1974, como consecuencia de la crisis internacional del petróleo.



##### 5. Efecto del cultivo anterior sobre el resultado del trigo.

Complementando la información de secuencias de cultivos presentado en la primera parte, el cuadro 20 muestra la suma de los ingresos brutos de trigo más su cultivo antecesor. Si bien se ha demostrado una depresión de los rendimientos de trigo luego de sorgo, que puede llegar al 30 o/o, es esta secuencia de cultivos la que presenta los mayores ingresos brutos totales debido a los altos rendimientos del sorgo en las rotaciones. Esto demostraría que a pesar de los problemas agronómicos de la rotación sorgo-trigo, económicamente ésta es factible.

Cuadro 20: Ingresos brutos totales. (en N\$ de 1979).

Secuencia	Girasol-trigo	Trigo-trigo	Lino-trigo	Sorgo-trigo
IB por cultivo anterior	1.582	1.858	1.114	2.585
IB por el trigo	1.756	1.707	1.696	1.264
IB total	3.338	3.565	2.810	3.849
o/o	100	107	84	115

## VII. CONCLUSIONES SOBRE LOS RESULTADOS ECONOMICOS.

-- En primer lugar, es importante destacar las ventajas de un estudio de este tipo, que analiza la rentabilidad a largo plazo de diferentes sistemas de producción, ya que por un lado permite estudiar la estabilidad económica de las distintas rotaciones y por otro suministra una valiosa información sobre los flujos de capitales, destino de inversiones, etc. fundamental en la toma de decisiones a nivel de establecimientos agropecuarios.

-- En segundo término, aparece claramente la importancia de la planificación de la producción a mediano y largo plazo, buscando sistemas que presenten una mayor elasticidad y evitando la producción de rubros únicamente en función de una expectativa inmediata de precios favorables, ya que en el largo plazo, esto puede traer como consecuencia una rentabilidad menor.

-- Por otro lado, de este análisis, surge la necesidad de intentar reducir los costos de laboreo, que como se pudo observar, tienden a intervenir cada vez con mas importancia en los costos totales de producción.

-- Finalmente, una vez más, se comprueba lo imperioso que significa en esta época, aprender a capitalizar y manejar la residualidad de las pasturas permanentes como uno de los mecanismos económicamente más viables de aumentar la rentabilidad de la empresa agropecuaria.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. CAPURRO, E. Cultivos de invierno después de sorgo. CIAAB. Estación Experimental La Estanzuela. Colonia, Uruguay (Mimeo). 1975.
2. CIAAB. Sistemas de producción. Unidad Experimental de Young. Miscelanea N° 13. Uruguay. 1975.
3. DIAZ, R. y BAETHGEN, W. Rotaciones de Cultivos y Pasturas. In. Cultivos de Invierno. MAP. CIAAB. (Mimeo). Uruguay. 1980.
4. DIEA. Información Historica de Precios Agrícolas. Serie Informativa N° 5. MAP. Uruguay. 1976.
5. DIEA. Información Historica de Precios Pecuarios. Serie Informativa N° 4. MAP. Uruguay. 1976.
6. DIEA. Coeficientes técnicos y presupuestos parciales para la agricultura en la zona agrícola-ganadera del litoral oeste. Serie Informativa N° 9. MAP. Uruguay. 1976.
7. PITTALUGA, O.; ALLEGRI, M. y FORMOSO, F. Utilización de pasturas con bovinos en la región noreste. CIAAB. Miscelanea N° 18. Uruguay. 1978.
8. VAZ MARTINS, D.; PITTALUGA, O. y SEIGAL, E. Producción de Carne con Sudangrass dulce, híbrido de sudangrass x sorgo granífero y sorgo doble propósito. In. 2da. Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. 1979.