

**EFFECTO DE LA FERTILIZACION MINERAL NPK
EN LA PRODUCCION DE FORRAJE
DE ALGUNAS PASTURAS NATURALES DEL URUGUAY**

**Carlos Bottaro
Francisco Zavala**

TESIS

El presente trabajo se realizó en la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" y Escuela y Campo Experimental "San Antonio" y constituye el requisito final para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de la República Oriental del Uruguay, FACULTAD DE AGRONOMIA

Enrique C. Marden

Carlos Bottaro
Francisco Zavala

Diciembre, 1973

[Signature]

AGRADECIMIENTOS

La Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" y Escuela y Campo Experimental "San Antonio", pertenecientes a la Universidad de La República, por haber permitido la realización de este trabajo.

Al personal de campo experimental por su colaboración, y en forma especial a Luis Alberto Urroá, por sus aportes en el reconocimiento de especies nativas.

A los compañeros estudiantes por su colaboración en los trabajos de campo.

El presente trabajo se realizó en la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" y Escuela y Campo Experimental "San Antonio" y constituye el requisito final para la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo, orientación Agrícola-Ganadera, curriculum Investigación.

El autor agradece al Ing. Evaristo La...

14 JUL 1974

INDICE

I. INTRODUCCION

AGRADECIMIENTOS

II. OBJETIVOS

III. REVISION BIBLIOGRAFICA

A. Pasturas naturales del Uruguay

A la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" y Escuela y Campo Experimental "San Antonio", pertenecientes a la Universidad de la República, por haber permitido la realización de este trabajo.

B. Antecedentes de la fertilización mineral sobre campo

Al personal de campo experimental por su colaboración, y en forma especial a Luis Alberto Urroz, por sus aportes en el reconocimiento de especies nativas.

A los compañeros estudiantes por su colaboración en los trabajos de campo.

C. Factores que afectan la aplicación de la urea

A los integrantes de la Cátedra de Forrajeras y especialmente al Ing. Agr. Julio Elizondo y Diego Castells, por el asesoramiento proporcionado.

1. Factores que afectan las pérdidas de nitrógeno

A los Ings. Armando Rabuffetti y Enrique Marchesi por la conducción y corrección de este trabajo, así como al Ing. Evaristo Lasso por la corrección del mismo.

1.1. Efectos de la humedad y profundidad de aplicación

1.1.1. Efecto de la humedad y profundidad de aplicación

1.1.2. Efecto de la época de aplicación

1.2. Efectos de la temperatura y humedad

1.3. Efectos de la textura

1.3.1. Efecto de la humedad y donceamiento

1.3.2. Textura

1.3.3. pH

D. Eficiencia relativa de fosfatos solubles e insolubles

I N D I C E

1. Reacción suelo-fertilizante

1.1. Disolución del fertilizante

1.2. Reacción de la solución con el suelo

2. Comparación entre fuentes de fósforo

2.1. Resultados experimentales.

2.2. Validez de las comparaciones

I. INTRODUCCION

II. OBJETIVOS

III. REVISION BIBLIOGRAFICA

A. Pasturas naturales del Uruguay

1. Variabilidad en la composición de las praderas

2. Distribución estacional del forraje en nutrientes

3. Tipos vegetativos

4. Tipos productivos

5. Algunos tipos de campos.

1. Factoriales completos

B. Antecedentes de la fertilización mineral sobre campo natural

1. Respuesta a la fertilización

2. Efecto de la fertilización sobre la composición botánica.

C. Factores que afectan la aplicación de la urea

1. Factores que afectan las pérdidas de nitrógeno

1.1. Efecto de la temperatura y la dosis de aplicación.

1.1.1. Efectos de la humedad y profundidad de aplicación.

1.1.2. Efecto de la época de aplicación

1.2. Fraccionamiento de la aplicación

1.3. Factores inherentes al suelo

1.3.1. Temperatura

1.3.2. Humedecimiento y desecamiento

1.3.3. Textura

1.3.4. pH

D. Eficiencia relativa de fosfatos solubles e insolubles

1. Reacción suelo-fertilizante
- 1.1. Disolución del fertilizante
- 1.2. Reacción de la solución con el suelo
2. Comparación entre fuentes de fósforo

- C. 2.1. Resultados experimentales.
- 2.2. Validez de las comparaciones

E. Funciones de respuesta 62

1. Funciones de respuesta para un solo nutriente 62
2. Funciones de respuesta para más de un nutriente 7

F. Diseños experimentales 74

1. Factoriales completos
2. Factoriales parciales
3. Diseño compuesto

IV. MATERIALES Y METODOS

V. Resultados

A. Ensayo I p-84,99

1. Litosol sobre Basalto
- 1.1. Discusión
2. Pradera Negra sobre Basalto 102
- 2.1. Discusión
3. Pradera Arenosa sobre Cretáceo 109
- 3.1. Discusión
4. Pradera Parda sobre Fray Bentos 116
- 4.1. Discusión
5. Conclusiones generales 122

B. Ensayo II

88, 126 NP y N° de aglic. V

1. Análisis individual de los sitios experimentales
2. Conclusiones generales

C. Ensayo III

94/36 super/liger

1. Pradera arenosa sobre Cretáceo
2. Pradera Parda sobre Fray Bentos
3. Conclusiones

VI. BIBLIOGRAFIA CITADA

VII. APENDICE I

VIII. APENDICE II

CUADRO 1. Composición de la superficie de pastoreo. (Hde.)
(UIOS, 1967 - Censos 1966)

	Año 1962	Año 1966	% 1966
Herbe natural	14.110.000	13.156.194	90.21
Herbe natural fertilizado	26.000	160.036	0.96
Plantas en cobertura	2.000	65.848	0.40
Pantanos artificiales permanentes	93.000	313.667	1.90
Cultivos forrajeros anuales	480.000	489.649	2.96
Pantanos de pastoreo	215.000	295.420	1.79
Plantas naturales	456.000	419.527	2.54
TOTAL	15.383.000	14.901.111	100

I. INTRODUCCION Se han realizado por Galliani y otros (1938) un estudio que nos muestra que una pradera natural, aún no degradada por prácticas irracionales o por influencia de la agricultura, en la que predominan gramíneas estoloníferas, permite producir con mínimo costo, pasturas de buena calidad y cantidad. Este antecedente, fundamenta la necesidad de investigar las posibilidades de incrementar económicamente el rendimiento de las praderas naturales por prácticas adecuadas de manejo.

En el Uruguay existe gran diversidad de suelos que definen áreas ecológicas diferentes. Para obtener altos niveles de producción forrajera en cada uno de ellos se deben conocer los rendimientos potenciales de cada tipo de pastura y los factores limitantes fundamentales. De todos los cultivos forrajeros que se deben tener presentes, el campo natural constituye uno de ellos y parece lógico que sea contra quien deban compararse cuantitativamente los restantes.

Si bien es cierto que las pasturas naturales no son suficientes por sí solas, en la mayoría de los casos, para suministrar una alimentación intensiva durante todo el año a ovinos y vacunos, en la actualidad las mismas constituyen el principal sustento de la ganadería, ya que las praderas convencionales y los cultivos anuales, sólo representan un pequeño porcentaje del área dedicada a la ganadería.

CUADRO 1. Composición de la superficie de pastoreo. (Hás.)
(CIDE, 1967 - Censo 1966)

	Año 1962	Año 1966	% 1966
Campo natural	14.110.000	13.156.194	90.13
Campo natural fertilizado	26.000	160.036	0.96
Siembras en cobertura	2.000	65.848	0.40
Praderas artificiales			
permanentes	93.000	313.667	1.90
Cultivos forrajeros			
anuales	480.000	489.649	2.96
Tierras de rastrojo	215.000	295.420	1.79
Bosques naturales	456.000	419.527	2.54
TOTAL	15.383.000	14.901.111	100

Las experiencias realizadas por Gallinal y otros (1938) indican que una pradera natural, aún no degradada por prácticas irracionales o por influencia de la agricultura, en la que predominan gramíneas estoloníferas, permite producir con mínimo costo, pasturas de buena calidad y cantidad. Este antecedente, fundamenta la necesidad de investigar las posibilidades de incrementar económicamente el rendimiento de las praderas naturales por prácticas adecuadas de manejo.

Entre las posibles formas de mejoramiento se encuentra el uso de fertilizantes minerales. El presente estudio está dirigido a medir la respuesta de las pasturas naturales a la fertilización mineral.

El objetivo del presente trabajo es evaluar cualitativamente el efecto de la fertilización mineral NPK, en la producción anual y estacional de forraje, de campos naturales situados sobre los siguientes suelos del país:

- a) Litonal sobre Basalto.
- b) Pradera Negra sobre Basalto.
- c) Pradera Arenosa sobre Gneíscos.
- d) Pradera Parda sobre Limos de Fray Bentes.

Este estudio, se realiza teniendo en cuenta algunos de los aspectos más importantes de la fertilización, para lo cual se plantean tres ensayos diferentes.

Uno tiene por finalidad evaluar la respuesta inicial y residual a la fertilización NPK durante cada una de las etapas de crecimiento, siendo éstas coincidentes con las estaciones del calendario. A fin de mostrar los efectos climáticos se prevé una duración de tres años, instalándose cuatro ensayos por año, correspondiendo la iniciación de cada ensayo con una estación de crecimiento.

Un segundo aspecto de la fertilización mineral que interesa conocer, es el relativo al número de aplicaciones que se debe realizar con una dosis determinada de N al año. Este interrogante se pretende contestar por medio de un segundo ensayo, que tiene por objetivo determinar, bajo condiciones de respuesta a N y P, el número más adecuado de aplicaciones de N a lo largo del año. La duración prevista de este ensayo -

II. OBJETIVOS

de tres años, instalándose un ensayo cada año.

En el país las fuentes de fósforo más comúnmente utilizadas en la fertilización en cobertura de campo natural son: superfosfato de Ca $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e hiperfosfato de Ca $\text{Ca}(\text{CaPO}_4)_2$. Este hecho indica la importancia de conocer bajo condiciones de respuesta, la eficiencia relativa de estas dos fuentes de fósforo. Por este motivo se plantea un tercer ensayo destinado a estudiar el campo natural resulta tan importante considerar la producción global como estacional de forraje, ya que campos de alta producción global pueden presentar muy baja producción en los períodos críticos o viceversa. (Rosengurt, 1946).

Básicamente el objetivo del presente trabajo es evaluar cuantitativamente el efecto de la fertilización mineral NPK, en la producción anual y estacional de forraje, de campos naturales situados sobre los siguientes suelos del país:

- a) Litosol sobre Basalto.
- b) Pradera Negra sobre Basalto.
- c) Pradera Arenosa sobre Cretáceo.
- d) Pradera Parda sobre Limos de Fray Bentos.

Este estudio, se realiza teniendo en cuenta algunos de los aspectos más importantes de la fertilización, para lo cual se plantean tres ensayos diferentes.

Uno tiene por finalidad evaluar la respuesta inicial y residual a la fertilización NPK durante cada una de las estaciones de crecimiento, siendo éstas coincidentes con las estaciones del calendario. A fin de muestrear los efectos climáticos se prevee una duración de tres años, instalándose cuatro ensayos por año, correspondiendo la iniciación de cada ensayo con una estación de crecimiento.

Un segundo aspecto de la fertilización mineral que interesa conocer, es el relativo al número de aplicaciones que se deben realizar con una dosis determinada de N al cabo del año. Está interrogante se pretende contestar por medio de un segundo ensayo, que tiene por objetivo determinar, bajo condiciones de respuesta a N y P, el número más adecuado de aplicaciones de N a lo largo del año. La duración prevista de este ensayo -

es de tres años, instalándose un ensayo cada año.

En el país las fuentes de fósforo más comúnmente utilizadas en la fertilización en cobertura de campo natural son: superfosfato de Ca $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e hiperfosfato de Ca $(\text{CaPO}_4)_2$. Este hecho indica la importancia de conocer bajo condiciones de respuesta, la eficiencia relativa de estas dos fuentes de fósforo. Por este motivo se plantea un tercer ensayo destinado a estudiar este problema.

2. Praderas naturales del Uruguay

Dentro de los diferentes autores que han realizado investigaciones sobre la pradera natural del Uruguay, sin ninguna duda, el Ing. Agr. E. Rosengurt es el que más esfuerzos ha dedicado a su estudio y por lo tanto parece más que indiscutible que al iniciar esta revisión se tome de sus diferentes contribuciones algunos conceptos, definiciones y datos que permitirán una breve descripción de los posibles tipos de campo que existen en el país, de los diferentes tipos vegetativos de las praderas que componen el tapiz y de los diversos tipos producidos de las mismas.

1. Variabilidad en la composición de las praderas.

Una primera observación de un campo natural de tapiz presenta una sensación de homogeneidad, pero al analizar un poco más en detalle las comunidades vegetales que lo integran éstas presentan una clara heterogeneidad en su composición.

Según Rosengurt (1939) este elemento ha sido muy poco analizado hasta ahora, tanto en la composición botánica como en otros aspectos. En las generalizaciones realizadas con los datos experimentales suele tomarse en cuenta, aunque de un modo muy vago, lo que estaría indicando que los razonamientos se basan en la suposición implícita de que las comunidades vegetales son homogéneas.

La misma pradera, observada por los métodos corrientes de análisis botánico, basados en pequeñas fracciones de campo, presenta una heterogeneidad muy intensa. Para anular en parte

III. REVISION BIBLIOGRAFICA

quintuplicaron los análisis gravimétricos y parece interesante reproducir sus apreciaciones.

A pesar de esta precaución, en 1937 continúan la conveniencia de determinar el valor real de esas propiedades hipotéticas, sugeridas por diversas observaciones hechas sobre la constitución de los campos de praderas.

Examinando pequeñas superficies de un metro, cubiertas de

Arístidas, *Piptochaetium*, *A. Pasturas naturales del Uruguay* *gimata*, etc., se ve que las praderas son muy diversas, aunque dentro de ciertos límites para cada especie. Además las especies están sustratológicas en

Dentro de los diferentes autores que han realizado investigaciones sobre la pradera natural del Uruguay, sin ninguna duda, el Ing. Agr. B. Rosengurtt es el que más esfuerzos ha dedicado a su estudio y por lo tanto parece más que indiscutible que al iniciar esta revisión se tome de sus diferentes Contribuciones algunos conceptos, definiciones y datos que permitirán una breve descripción de los posibles tipos de campo que existen en el país, de los diferentes tipos vegetativos de las especies que componen el tapiz y de los diversos tipos productivos de las mismas.

La principal causa de variación, mencionada por los autores es la heterogeneidad del suelo, expresada a través de sus propiedades.

1. Variabilidad en la composición de las praderas.

Las praderas naturales, sometidas a las sucesiones secundarias de la flora, presentan una mayor variación que las que se observan en las praderas artificiales. Una primera observación de un campo natural de tapiz produce una sensación de homogeneidad, pero al analizar un poco más en detalle las comunidades vegetales que lo integran éstas presentan una clara heterogeneidad en su composición.

Según Rosengurtt (1939) este elemento ha sido muy poco analizado hasta ahora, tanto en la composición botánica como en otros aspectos. En las generalizaciones realizadas con los datos experimentales suele tomársele en cuenta, aunque de un modo muy vago, lo que estaría indicando que los razonamientos estarían basados en la suposición implícita de que las comunidades vegetales son homogéneas.

La misma pradera, observada por los métodos corrientes de análisis botánico, basados en pequeñas fracciones de campo, -- presenta una heterogeneidad muy intensa. Para anular en parte

la variabilidad, los autores quintuplicaron los análisis gravimétricos y parece interesando reproducir sus apreciaciones.

"A pesar de esta precaución, en 1937 sentimos la conveniencia de determinar el valor real de esos promedios hipotéticos, sugerida por diversas observaciones hechas sobre la constitución de los campos."

Examinando pequeñas superficies de un metro, cubiertas de *Aristidas*, *Piptochaetium*, *Paspalum dilatatum*, *Setaria vaginata*, etc., se ve que las matas cespitosas son de tamaño muy diverso, aunque dentro de ciertos límites para cada especie. Además las especies están entremezcladas en proporciones fluctuantes. Las anuales llenan los claros que dejan las perennes, en grupitos más o menos numerosos, según sean de extensos los claros que ocupen".

2. Distribución estacional de forraje.

Causas de la variabilidad. Entre las posibles causas de la variabilidad podrían distinguirse la heterogeneidad del suelo, la adaptabilidad de las especies y el manejo anterior.

La principal causa de variación, mencionada por los autores es la heterogeneidad del suelo, expresada a través de sus propiedades químicas y físicas. Los suelos vírgenes de las praderas naturales, sometidos a las reacciones seculares de la fluctuante vegetación que los cubre, deben poseer una mayor variación que los suelos agrícolas bajo cultivos.

La amplia capacidad de adaptación de las plantas y la lucha existente entre ellas, permite a la asociación modificarse centímetro a centímetro.

El ganado aumenta esa variación estimulando el vigor de algunas plantas por el abonado natural y el pastoreo selectivo. Además pisotea y ralea el tapiz en forma irregular.

Otro factor a tener en cuenta es el clima. Según los autores, los rendimientos globales de forraje en las diversas praderas observadas, muestran una variación periódica en los ciclos anuales como así también apreciables fluctuaciones en años sucesivos. También constataron variaciones pronunciadas y

definidas, en la composición botánica y bromatológica, en las diferentes épocas del año.

Otoño 4.081,4 Kgs. 1.726,8 Kgs.
El hecho de que las oscilaciones climáticas afectan en forma diferente a las distintas especies, sugiere que puedan haber fluctuaciones de un año a otro en la proporción de los constituyentes florísticos de la vegetación pratense. 6.306,4 "

Como conclusión muy general podría decirse entonces, que aunque la aparente homogeneidad que presenta el campo natural de tapiz se esconde una gran heterogeneidad en su composición y que ésta debe tenerse muy presente en aquellas investigaciones que se efectúen sobre campo natural.

La gráfica siguiente que muestra la distribución térmica de los rendimientos mensuales.

2. Distribución estacional de forraje.

En el trabajo realizado por Gallinal y otros (1938), se consideraron los rendimientos trimestrales de diez parcelas cuya ubicación no se cambió y a las cuales se les realizó trece cortes.

La observación de los promedios demuestra la existencia de una variación en los rendimientos a través de los trece cortes; como así también diferencias entre los promedios de las diferentes parcelas.

Puede admitirse en principio, que los distintos tipos de campos estudiados, presentan reacciones diferentes ante idénticas condiciones climáticas. Si todos los campos hubieran reaccionado en forma semejante, la variación de los rendimientos de las diez parcelas -cuya ubicación no se cambió, habría presentado coeficientes de variabilidad sensiblemente iguales, en los trece cortes.

Dejando de lado momentáneamente la gran variabilidad notada los autores obtuvieron los siguientes rendimientos promedios generales deducidos de los trece cortes:

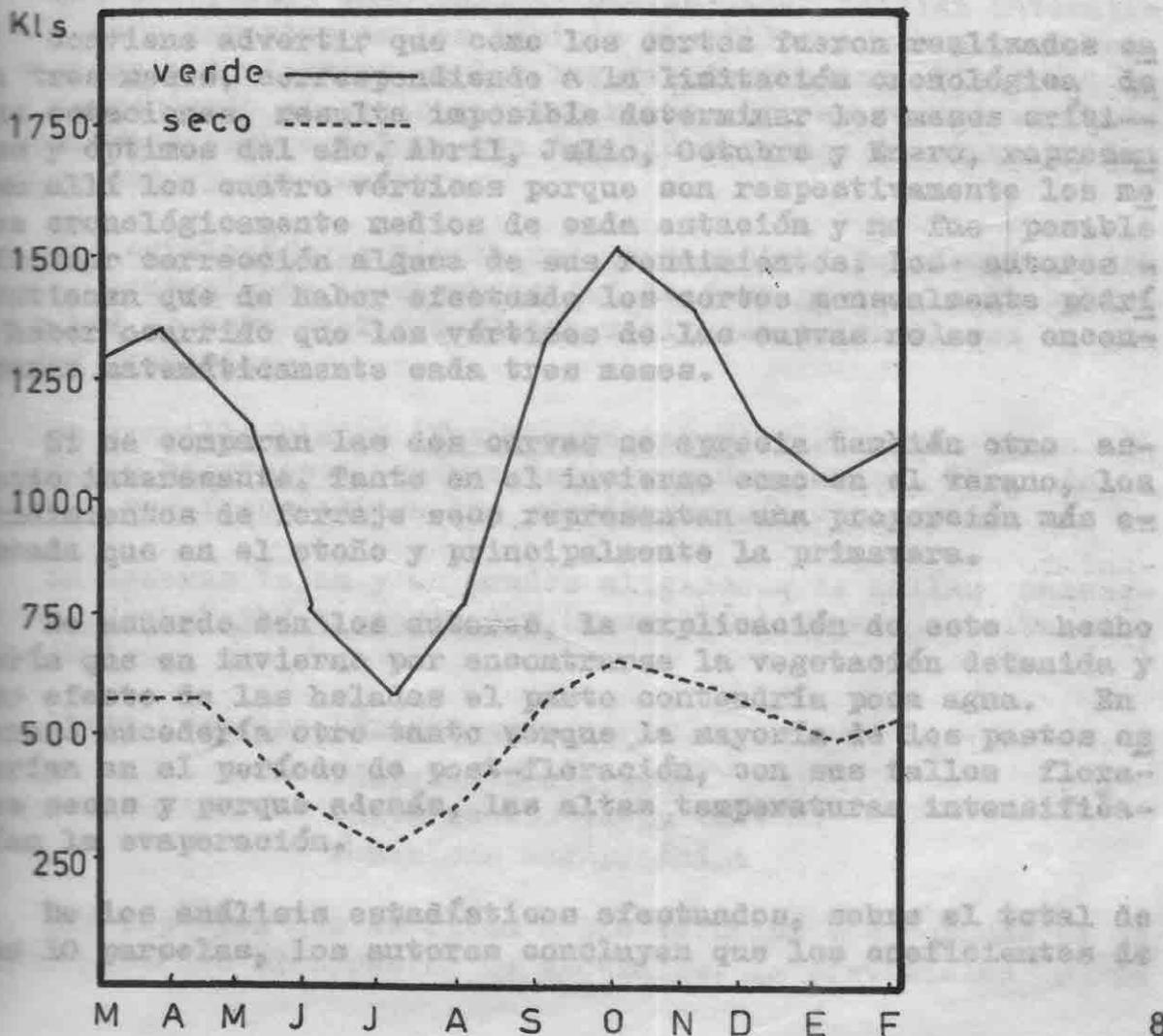
M A M J J A S O N D E F

Forraje Verde

Forraje Seco

	Forraje Verde	Forraje Seco
Otoño	4.061,4 kgs.	1.926,8 kgs.
Invierno	1.745,4 "	787,9 "
Primavera	4.587,0 "	2.000,0 "
Verano	3.167,5 "	1.591,7 "
TOTAL	13.561,3 "	6.306,4 "

Estos promedios si bien no pueden ser comparados dan una idea esquemática de la productividad de los campos, poniendo de manifiesto una vez más, la distribución estacional de los rendimientos de nuestras praderas. Más interesante resulta aún la gráfica siguiente que muestra la distribución teórica de los rendimientos mensuales.



Para confeccionarla los autores corrigieron los promedios mensuales. Esta corrección se hizo estableciendo la diferencia entre el promedio del último mes de un trimestre y el primero del siguiente que se dividió por cuatro. El cociente obtenido se sumó o se restó al promedio del último mes de cada trimestre y al primero del siguiente. De esta manera resultaron atenuadas las diferencias de un trimestre a otro.

Por tratarse de promedios de tres años y cuarto, para estudiar las dos curvas de la gráfica debe considerárselas como si formaran ciclos cerrados, es decir, que los rendimientos de febrero se continuarían en los de marzo.

Si bien las curvas de referencia representan rendimientos teóricos, pueden tomarse como una guía general de la distribución mensual de la producción de esos campos.

Conviene advertir que como los cortes fueron realizados cada tres meses, correspondiendo a la limitación cronológica de las estaciones, resulta imposible determinar los meses críticos y óptimos del año. Abril, Julio, Octubre y Enero, representan allí los cuatro vértices porque son respectivamente los meses cronológicamente medios de cada estación y no fue posible efectuar corrección alguna de sus rendimientos. Los autores sostienen que de haber efectuado los cortes mensualmente podría haber ocurrido que los vértices de las curvas no se encontraran matemáticamente cada tres meses.

Si se comparan las dos curvas se aprecia también otro aspecto interesante. Tanto en el invierno como en el verano, los rendimientos de forraje seco representan una proporción más elevada que en el otoño y principalmente la primavera.

De acuerdo con los autores, la explicación de este hecho sería que en invierno por encontrarse la vegetación detenida y por efecto de las heladas el pasto contendría poca agua. En verano sucedería otro tanto porque la mayoría de los pastos estarían en el período de post-floración, con sus tallos florales secos y porque además, las altas temperaturas intensificarían la evaporación.

De los análisis estadísticos efectuados, sobre el total de las 10 parcelas, los autores concluyen que los coeficientes de

pequeñas colonias diseminadas:

variabilidad denotan grandes diferencias, lo que pone de manifiesto características muy diversas de los distintos campos, - respecto de la forma como reaccionan ante los factores climáticos.

Verbena dissecta

Esto viene a demostrar, que para juzgar un campo por su rendimiento de forraje, no debe considerarse sólo la producción total, sino que además debe tenerse en cuenta la producción en las épocas críticas del año.

Luego de marcar la variabilidad y heterogeneidad del tapiz, como así también la estacionalidad de la producción del campo natural, parece necesario pasar a definir algunos tipos vegetativos y tipos productivos que luego nos permitirán determinar los diferentes tipos de campo existentes en algunas zonas del país.

Las arrosetadas son escasas en los tapices bien conservados, pero se tornan abundantes, llegando a dominar en extensas colonias en los lugares degradados. La disposición de sus hojas facilita el deslizamiento superficial del agua y el arrastre de suelo. Esto no ocurre cuando son escasas y diseminadas en una trama densa de sembrillones.

3. Tipos vegetativos.

Las funciones que desempeñan las plantas en el tapiz se describen de acuerdo al siguiente orden de tipos vegetativos:

Cespitosas	Rizomatosas
Estoloníferas	Tuberosas
Hierbas perennes	Bulbosas
Paquirizas	Anuales
Arrosetadas	Enanas

Las cespitosas establecen frecuentemente la base de la trama, son las gramíneas cuyos renuevos crecen junto a los tallos que los han producido, formando el conjunto, una mata. Cuando las matas están intrincadamente mezcladas, siendo difícil individualizarlas, constituyen un ambiente óptimo para la conservación del suelo y la producción de forraje. Se presentan dos tipos, decumbentes y fasciculadas.

Las cespitosas decumbentes tienen hojas horizontales y generalmente anchas, las matas presentan una base amplia, a ve-

es difusa, y con frecuencia adoptan aspecto arrosetado. Dentro de las especies más características se pueden citar:

Andropogon ternatus
Chloris bahiensis
Paspalum dilatatum
Setaria geniculata

Las cespitosas fasciculadas tienen las hojas erectas, generalmente angostas reunidas en haces densos y compactos. La mata tiene una base reducida y definida. Las especies más típicas son:

Aristida s.p. Piptochaetium panicoides
Eragrostis lugens Sporobolus indicus
Panicum bergii Stipa charruana

Las cespitosas fasciculadas suelen tener función intersticial, pero aumentan en los tapices sometidos a sobre-pastoreo, y se tornan dominantes en los lugares degradados. Tienen a dejar descubierto el suelo que las rodea, que se vuelve compacto, blanquecino y se erosiona con facilidad cuando disminuyen las decumbentes y estoloníferas.

Las estoloníferas tienen una gran aptitud conservadora del suelo, manteniendo la esponjosidad de éste gracias a la elástica red de estolones y rellenan rápidamente los claros que pueden producirse.

La gramilla blanca (Paspalum notatum) y el pasto chato (Axonopus compressus) se presentan muy densamente, llegando a excluir con frecuencia a las cespitosas más vigorosas.

En laderas bajas y en prados uliginosos se hallan manchones de Stenotaphrum secundatum (gramillón) formando entramados semejantes.

Otras especies típicas son:
Paspalum proliferum
Paspalum distichum
Bouteloua megapotámica

Las especies que se citan a continuación son comunes en el tapiz y tienen el carácter de asociadas, intersticiales o de

pequeñas colonias diseminadas:

Dichondra repens
Trifolium polymorphum
Verbena dissecta

Con la denominación de hierbas perennes se engloban las hemicitófitas que son las hierbas perennes cuyas yemas de renuevo se forman al nivel de la superficie del suelo y comprenden a las estoloníferas, paquirizas y otras.

Las geófitas forman las yemas profundamente y comprenden a tuberosas, rizomatosas y bulbosas.

Las paquirizas en la mayoría de los casos tienen sus raíces engrosadas, fibrosas o leñosas.

Las arrosietadas son escasas en los tapices bien conservados, pero se tornan abundantes, llegando a dominar en extensas colonias en los lugares degradados. La disposición de sus hojas facilita el escurrimiento superficial del agua y el arrastre de suelo. Esto no ocurre cuando son escasas y diseminadas en una trama densa de cespitosas, pero si abundan, favorecen la erosión y el empobrecimiento del suelo. Las hojas anchas y horizontales impiden el crecimiento de las plántulas de mejores especies, que germinan debajo de ellas, dificultando la repoblación del pasto.

Se consideran rizomatosas las plantas de tallos subterráneos cundidores, capaces de independizarse originando nuevas plantas alejadas de la primera y cuyas yemas de renuevo están profundamente enterradas. Ocupan un lugar accesorio en el tapiz y ninguna de ellas es forrajera de gran significación, pero en cambio son muy resistentes al exceso de pastoreo y de pisoteo; varias de ellas son malas hierbas. Dentro de las rizomatosas se distinguen:

Cynodon dactylon
Melica brasiliensis
Paspalum distichum
Solidago chilensis

Las tuberosas son muy frecuentes, pero ocupan un lugar secundario.

Las bulbosas son intersticiales de valor forrajero nulo y llegan a ser malas hierbas en los lugares degradados, entre ellas se pueden citar Oxalis macachin y Nothos cordium inodorum.

Las anuales son intersticiales típicas, sean enanas o plantas altas, ya que se desarrollan exclusivamente en los pequeños claros que dejan las perennes. Tienen la particularidad de un rápido crecimiento primario, completando el desarrollo y madurez de las semillas en corto plazo.

Las perennes de mejor vigor suelen demorar uno o varios años en comenzar a producir semillas. Algunas anuales de desarrollo rápido son: Vulpia bromoides, Briza minor, Aira caryophyllea y tienen la particularidad de producir muy poca materia seca en relación al volumen que aparentan. Cada individuo, da un peso bajísimo, pero en cambio es enorme el número de ellos.

La abundancia excesiva de anuales indica la existencia de grandes claros en el tapiz durante la época en que las plantas no vegetan.

Clements (1920) y Sampson (1923) citados por Rosengurtt -- (1943) consideran a este tipo vegetativo como indicador típico de desequilibrio de la asociación, causado por el sobre-pastoreo exagerado.

Varias anuales tales como los tréboles de carretilla (Medicago polymorpha) y el raigrás (Lolium multiflorum) poseen excelente aptitud forrajera y son elementos básicos en la invernada.

Se citan a continuación algunas invernales y primaverales:

Apium ammi	Bromus mollis	Medicago polymorpha
Briza máxima	Cerastium caespitosum	Phalaris platensis
Briza minor	Lolium multiflorum	Poa annua
	Medicago arábica	Verónica arvensis

Entre las anuales estivales citaremos:

Digitaria sanguinalis
Echinocloa crusgalli
Digitaria aequiglumis

Las hierbas enanas se distinguen por conservar mínimas dimensiones, alrededor de cinco centímetros, aún durante la floración. Estas plantas tienen muy poca importancia en el campo normal, pero en los lugares degradados por exceso de pisoteo o de pastoreo se tornan abundantes, llegando a veces a dominar. En estos casos son agentes de desgaste del suelo por la poca materia orgánica que aportan y por la escasa protección que le proporcionan. Se citan a continuación algunas de ellas:

Estivales

Chaptalia piloselloides
Dichondra repens
Eryngium nudicaule

Invernales

Chevreulia sarmentosa
Oxalis s.p.

4. Tipos productivos.

De acuerdo con Rosengurtt (1946) la valoración de los pastos nativos se basa en una síntesis intuitiva de todos los detalles de rendimiento, apetecibilidad, aspecto, apreciados por juicio comparativo.

Los tipos productivos se establecen, de acuerdo a los problemas agrostológicos locales de Juan Jackson, y son los siguientes: pasto duro, hierbas y pastos ordinarios, hierbas y pastos tiernos, hierbas y pastos tierno-duros, hierbas y pastos finos, malas hierbas de alto porte, malas hierbas de media no porte y malas hierbas enanas.

Los pastos duros presentan una acumulación abundante y permanente de restos secos y pajizos de tallos y hojas, destacada sobre el tapiz. La base de la mata suele ensancharse, y acumula tierra en el centro denominándose entonces Maciega. Los renuevos jóvenes son defendidos así del diente y del pisoteo. Las maciegas crecen en la periferia ahogándose la brotación central por el apretado exceso de restos pajizos. El crecimiento periférico evoluciona posteriormente en un fraccionamiento, formándose entonces una colonia de varias maciegas.

Los pastos duros se presentan también en estado tierno, cuando jóvenes, creciendo algunos de ellos entremezclados en

el tapiz. Las formas jóvenes y tiernas del espartillo (*Stipa charruana*) son abundantes, pero pasan inadvertidas, pero basta la acumulación de restos secos de un año para que se inicie el enmaciegamiento.

Un concepto importante que se desprende del trabajo del autor es que debe distinguirse la cualidad de pasto duro del endurecimiento general que ocurre en todos los pastos.

La especie más característica y abundante es el espartillo (*Stipa charruana*); también son comunes la *Stipa trichotoma* y el pasto serrucho (*Melica macra*). Todas estas especies tienen ciclo vegetativo invernal.

Dentro de los pastos duros las pajas ocupan el segundo lugar después del espartillo y en el establecimiento considerado por el autor cubren una superficie considerable. Entre éstas predomina la paja mansa (*Paspalum quadrifarium*, *P. exaltatum*), las demás especies de paja se encuentran sólo en campos bajos y uliginosos.

A continuación se citan los tipos de paja más comunes de ciclo estival: paja brava (*Panicum prionitis*), canutillo (*Andropogon lateralis*), paja colorada (*Schizachyrium condensatum*), paja estrelladora (*Erianthus angustifolius*), y la paja cortadera (*Cortaderia sellowana*).

Las hierbas y pastos ordinarios acumulan hojas y tallos secos pero a diferencia de los anteriores no se destacan sobre el tapiz y se les considera como pastos duros del mismo.

De acuerdo con Rosengurtt (1946) estos pastos de aspecto grosero, de mala calidad e incapaces de engordar vacunos, son comidos principalmente en los meses de crisis forrajera; las especies de ciclo invernal en los meses fríos de invierno y las de ciclo estival durante los meses secos de verano.

Siguiendo la clasificación del autor, las hierbas y pastos ordinarios se pueden dividir en: ordinarios productivos, ordinarios poco productivos y ordinarios improductivos.

Los ordinarios productivos se comportan como tiernos en los rastrojos recargados y en las praderas fuertemente degra-

dadas, siendo comidas allí durante los períodos de crecimiento. Resultan útiles, sobre todo para los lanares, en las estructuras semidegradadas que predominan en los campos de rastrojo, donde escasean las tiernas y finas. Un ejemplo de este tipo productivo son: *Piptochaetium stipoides*, *P. montevidense*.

Los ordinarios poco productivos son intermedios y de bajo rendimiento, las más características son: *Andropogon ternatus*, *Aristida murina*, *A. pallens*, *Briza subaristata*, *Cynodon dactylon*, *Bouteloua megapotamica*, *Eleusine tristachya*, *Eragrostis lugens*, *Sporobolus indicus*.

Los ordinarios improductivos comprenden las especies de altura y rendimientos mínimos, siendo las especies más características: *Aristida venustula*, *Chloris ciliata*, *Hordeum pusillum*, *Schizachyrium plumigerum*, *Melica brasiliana*, *Stipa papposa* y *Vulpia australis*.

Las hierbas y pastos tiernos se caracterizan por ser apetecidos, tener porte y rendimientos variables y por producir forraje de mediana calidad. El forraje puede acumularse en amiellos potreros que no tengan ganado y sus restos secos se descomponen con facilidad con el pisoteo de los animales.

Dentro de las hierbas y pastos tiernos se pueden distinguir:

Invernales perennes

- Agrostis montevidensis*
- Bromus auleticus*
- Calamagrostis montevidensis*
- Stipa hyalina*
- Trifolium polymorphum*

Estivales perennes

- Axonopus compressus*
- Axonopus argentinus*
- Stenotaphrum secundatum*
- Chloris bahiensis*
- Panicum milioides*
- Paspalum notatum*
- Paspalum proliferum*
- Rottboellia selleana*
- Solidago chilensis*

Invernales anuales

- Briza minor*
- Medicago mínima*
- Medicago indicus*
- Phalaris platensis*
- Poa annua*

Tierno-duros se denomina el grupo de pastos tiernos de mediana o alta producción normalmente útiles y apetecidos, que endurecen sus tallos cuando abundan. Este grupo es intermedio entre los tiernos y los ordinarios productivos. Se destacan -- los siguientes:

Invernales

- Piptochaetium bicolor
- Stipa neesiana

Estivales

- Digitaria sanguinalis
- Panicum bergii
- Paspalum plicatulum
- Setaria geniculata
- Sorghastrum pellitum

Las hierbas y pastos finos tienen calidad definitivamente superior, son las más engordadoras, productivas y apetecidas. Los restos secos se acumulan en los campos muy aliviados o sin pastoreo. El endurecimiento se produce desde la maduración de la semilla. Las especies que se citan a continuación son algunas de las encontradas en los campos de Juan Jackson:

Invernales perennes

- Bromus unioloides
- Poa lanigera

Perenne de ciclo indefinido

- Adesmia bicolor

Invernales anuales

- Avena fatua
- Lolium multiflorum
- Medicago arabica
- Medicago polimorpha

Estivales anuales

- Digitaria aequiglumis
- Echinichloa crusgalli

El Paspalum dilatatum es de buena calidad y da altos rendimientos en las invernadas de fines de primavera hasta principios de otoño, pero sus tallos se endurecen cuando se lo pastorea en forma aliviada y perduran por largo tiempo. Por estas razones se le clasifica como fino-duro.

La productividad de las asociaciones con predominio de --

5. Algunos tipos de campo.

De todas las formaciones campestres y herbáceas del Uruguay, citadas por Rosengurtt (1944), nosotros nos detendremos en el estudio de los Campos de tapiz, Campos arenosos y Rastrojos.

Campos de tapiz. Se consideran campos a las lomas y laderas con suelos de mediano, o con insignificante cantidad de piedra, arena, árboles, etc., y donde las aguas no se estancan; poblados de plantas campestres, y donde faltan las especies arvenses, silvestres, etc.

Se denomina "campo sucio" al que contiene abundantes malas hierbas de alto porte; por el contrario, cuando éstas faltan se denomina "campo limpio".

Los arbustos y subarbustos nativos son malezas con tendencia a disminuir, que existen en todos los departamentos del país y que pueden referirse en algunas zonas como características del paisaje, pero sin indicar significación florística por función forrajera.

Este tipo de maleza influye en la producción ganadera del campo reduciendo la superficie útil, pero afectan poco el carácter y calidad de la pradera real; un ejemplo de esto se observa en los campos de invernada que muestran exuberancia en las malezas de alto porte (arbustos, pajas, cardos).

El tapiz constituye la vegetación útil del campo, las matas y colonias de alto porte diseminadas en él constituyen micropraderas no pacidas. Además, existe un conjunto de plantas comunes a las formaciones y subformaciones más diversas, que se denominan especies campestres generales. La simple presencia de éstas no da carácter particular a una zona o a una formación.

En nuestros campos las especies anuales tienen normalmente un carácter intersticial y accesorio, pero se vuelven muy abundantes en los "campos arruinados".

La productividad de las asociaciones con predominio de

pastos malos, hierbas arrosietadas, enanas e inútiles, será inferior a la aptitud manifestada por el mismo suelo, pero poblado de buenas especies.

Cada grupo de especies campestres generales imprime su carácter de igual manera en los diferentes campos. Las buenas especies de ciclo estival producen forraje en esa estación ya sea el suelo pobre o fértil. Las invernales de buena calidad son capaces de dar engordes, cuando el suelo lo permite, pero sólo en las épocas correspondientes a sus ciclos específicos.

Según el autor, la diferenciación de zonas y formaciones - pratenses se hacen con los datos de composición de suelo, de la vegetación y de la productividad animal.

La caracterización botánica de cada formación se hace por medio de las especies que existen en ella y faltan en las demás, o se encuentran con extremada rareza fuera de ella. Estas especies se denominan características; su determinación simple en teoría, presenta complicaciones cuando debe realizarse. El pastoreo y la labranza han reducido a muchas hierbas campestres generales a los lugares abruptos o poco frecuentados por los animales, como por ejemplo bañados, montes, pajonales, etc. Una observación incompleta puede llevar a la conclusión errónea de que tales especies son características de una de esas formaciones.

Como ya se dijo anteriormente, la presencia de especies generales no da carácter a una formación, pero el grado de abundancia o de vigor en tales plantas puede admitirse como carácter cuando la diferencia que se observa entre la formación considerada y las demás, es clara y permanente. Un ejemplo de vigor se observa en el trébol (*Medicago polymorpha*), raigrás (*Lolium multiflorum*) y cebadilla (*Bromus unioloides*) de ciertos campos fértiles.

Finalmente, la caracterización ganadera indica en último término el valor de las zonas campestres.

Algunas de las regiones del país mejor conocidas se describen a continuación.

El sur del país tiene como carácter común los espartilla--

les de *Stipa charruana*. El espartillo prospera en los suelos arcillosos, escasea en los superficiales y forma maciegas muy vigorosas en los fértiles y profundos.

Los campos de los suelos ricos y profundos de las zonas geológicas de capas de Fray Bentos producen engordes rápidos y bien terminados que se relacionan con la exuberancia del *Medicago polymorpha*; *Lolium multiflorum*, *Bromus unioloides*, *Stipa hyalina*, *Stipa neesiana*, *Paspalum dilatatum*, *Setaria geniculata*, etc. Las gramíneas perennes del tapiz que tienden a predominar parecen ser las gramillas: *Paspalum notatum*, *Paspalum dilatatum*, *Axonopus compressus* y otras paniceas y andropogoneas.

Los campos fértiles de otras zonas del país tienen las citadas especies y además otras invernales de alta productividad y/o calidad como *Poa lanigera*, *Poa bonaerensis*, etc.

Los campos fértiles son muy susceptibles de ensuciarse con hierbas agresivas o espinosas o simplemente con pajas, espartillo, mío-mío y otras especies nativas.

Los campos ubicados en las diferentes areniscas de la mitad norte del país se hallan entremezclados en algunas zonas con extensos pedregales, con suelos fuertemente arenosos, con suelos arcillosos, etc. Se caracterizan en conjunto por la abundancia, o predominancia, a veces, de la gramilla blanca --- (*Paspalum notatum*), por la tendencia a ensuciarse con paja colorada (*Schyzachirium condensatus*). Spangenberg (1936) citado por Rosengurt (1944) señala la abundancia del *Axonopus compressus* al norte del Río Negro y sostiene que es mucho menos frecuente y a veces escaso en el sur. La flora del norte es más rica en andropogoneas y más pobre en stipeas, sobre todo si se observa cantidades de individuos en lugar de especies.

Los campos del extremo norte (Artigas, norte de Salto) poseen con abundancia *Paspalum dilatatum* var. *pauixiliatum*, *Triens hackelii*, etc., especies que faltan al sur de dichos departamentos.

Campos arenosos. Estos campos suelen tener estructura de gramillar, con predominio de gramíneas estoloníferas y rizomatosas cundidoras, de porte rastrero, hoja ancha y ciclo estival. Las especies más importantes son el *Paspalum*

notatum y el Schyzachirium condensatus y dentro de las malezas de alto porte la carqueja (Baccharis trimera) parece ser la más abundante.

Las especies características de los diferentes campos arenosos del país son el Paspalum nicorae, Aristida circinalis, etc. y es muy notable la ausencia del espartillo (Stipa charruana).

Según el autor, los campos arenosos son estivales, resultando fríos en invierno y generalmente se dedican a la cría.

Rastrojos. La flora de los rastrojos se compone de plantas campestres generales y locales, y de arvenses. La flora arvense muestra regionalismos más visibles que la campestre, por la fácil diferencia de las especies y por la tendencia a formar con rapidez colonias extensas pero inestables.

Los rastrojos pastoreados en la forma acostumbrada para regenerar espontáneamente el campo natural, muestran una sucesión caracterizada por el aumento gradual de las matas perennes, que van desalojando a las anuales. La sucesión depende de la cantidad relativa de semilla existente en el suelo, de los cultivos y manejos precedentes, y de las condiciones climáticas. Las diferencias específicas de vigor inicial, y el manejo subsiguiente del pastoreo, son factores fundamentales en el proceso de regeneración. En general las sobrecargas abusivas, aún durante períodos cortos, repercuten de manera muy perjudicial en el futuro de la pradera.

Se denomina "Campo de rastrojo" a la etapa intermedia, en que las matas vigorosas de las plantas campestres perennes aumentan visiblemente y desaparecen o se reducen al mínimo las arvenses más típicas como bisnaga (Ammi visnaga), abrojo (Xanthium cavanillesii), cicuta (Conium maculatum), rábano (Raphanus sativum), etc. Esta etapa intermedia entre el rastrojo y el campo ocurre entre el segundo y el cuarto o quinto año de regeneración.

Los campos de rastrojo muestran a veces otra fase intermedia más, caracterizada por la abundancia de malas hierbas anuales y enanas y suele denominársele "rastrojo arruinado".

El incremento en la producción resultante de la aplicación del N, se debió principalmente al incremento en Agropyron smithii pues esta gramínea mostró una marcada respuesta a la aplicación del N. A su vez los autores sostienen que en aquellas pasturas que tuvieron mayores dotaciones se pudo observar una buena respuesta a B. Antecedentes de la fertilización mineral
90 kg. de N/há. se obtuvieron 2.271 kg. de sobre campo natural
con la aplicación de 30 kg. de N/há. el rendimiento fue de 740 kg. de MS/há. y el rendimiento del testigo fue de 740 kg. MS/há.

1. Respuesta a la fertilización.

La producción de campo natural es una consecuencia del equilibrio existente entre el tipo de suelo, su fertilidad, el tipo de especies presentes que componen el tapiz y las condiciones ambientales que se suceden en cada lugar particular.

Dentro de este panorama general la aplicación de fertilizantes puede ser un elemento a introducir en el manejo y mejoramiento del campo natural.

Al pensar en utilizar la fertilización como un elemento más en el manejo y mejoramiento del campo natural se debe suponer que la fertilización provocará cambios en el equilibrio existente en esa población de plantas. Esos cambios se podrán manifestar en una mayor producción total, en una mejor calidad de la pastura, en un aumento del período de pastoreo o en cambios en la composición botánica, entre otros.

De acuerdo con ello Hoglund y otros (1952) aplicando 200 kg/há. anuales de (16-20-0), durante 5 años, encontraron que:

- la producción de forraje se incrementó en 2.882 kg/há.;
- el período con forraje verde se duplicó; y
- la fecha de iniciación del pastoreo se adelantó en 6 semanas.

Por su parte Rogler y Lorenz (1957) trabajando sobre una pastura en la que la gramínea estival dominante era Bouteloua gracilis y la gramínea invernal Agropyron smithii, encontraron que -en promedio- las parcelas fertilizadas comenzaron el cre-

simiento 10 días antes que las parcelas testigos.

El incremento en la producción resultante de la aplicación del N, se debió principalmente al incremento en *Agropyron smithii* pues esta gramínea mostró una marcada respuesta a la aplicación del N. A su vez los autores sostienen que en aquellas pasturas que tuvieron mayores dotaciones se pudo observar una buena respuesta a la fertilización pues con la aplicación de 90 kg. de N/há. se obtuvieron 2.271 kg. de MS/há., mientras que con la aplicación de 30 kg. de N/há. el rendimiento fue de 1.326 kg. de MS/há. y el rendimiento del testigo fue de 748 kg. MS/há. de 20 - 40 y 60 kg. de N/há. en pasturas nativas que fueron in-

Por último afirman que dos años de fertilización con 90 kg de N/há. en la pastura sobrepastoreada, produjo más forraje que el campo natural sin fertilizar en 6 años.

Asímismo Klipple y Retzer (1959) trabajando en las Grandes Planicies Centrales de los EE.UU. sobre una pastura que presentaba dominancia de *Bouteloua gracilis* (88% del total de la cubierta vegetal), estudiaron el efecto del agregado del abono de corral a una dosis de 10 ton./há. en el verano de 1951 a un área de 3 há. Del análisis de laboratorio se desprendió que el abono contenía 85 kg. de N, 92 kg. de ácido fosfórico disponible y 84 kg. de K soluble en agua, por hectárea.

Del trabajo se desprende que la aplicación del abono fue demasiado tardía como para producir efectos ese año, pero en 1952 el crecimiento de los pastos bajos fue más lujurioso en el área abonada que en la pastura nativa no tratada. A su vez, las pasturas de las parcelas abonadas comenzaron su crecimiento 2 semanas antes -en 1953- que aquellas que no recibieron abono.

En 1952 los de los pastos bajos fueron 1.235 kg. de MS/há. en los tratamientos que recibieron abono, y 805 kg. de MS/há. en los testigos, y los autores sostienen que esa diferencia de 403 kg. es altamente significativa. Por su parte Clark y otros (1943) citado por Kipple y otros (1959), informaron que los rendimientos de los pastos bajos fueron más del doble, para un período de 6 años, como consecuencia de una aplicación de abono del corral a una dosis de 12 toneladas por há.

Lodge (1959) en su trabajo sobre un campo natural con pre-

dominancia de *Stipa -Bouteloua*, cerca de Swift Current, Saskatchewan-, sostiene que no se observaron incrementos en el rendimiento de forraje a partir de la aplicación de fertilizantes en 1951, mientras que en 1952 hubo un significativo incremento en el rendimiento como resultado de la aplicación de 32 kg. de N/há., como nitrato de amonio y un incremento altamente significativo en las parcelas donde se aplicaron 20 toneladas de abono de corral. Por su parte Westin y otros (1955), citados por Lodge, encontraron en su trabajo, desde 1952 a 1954, que se producían buenos incrementos en los rendimientos de forraje luego de la aplicación de fertilizantes. Usando dosis de 20 - 40 y 80 kg. de N/há. en pasturas nativas que fueron intensa, moderada y ligeramente pastoreadas, encontraron una gran respuesta como resultado de la aplicación de 80 kg. de N/há. en la pastura intensamente pastoreada.

Mason y Miltimore (1959) trabajando sobre una asociación de *Agropyron smithii* y *Poa pratensis*, y diferentes dosis de fertilización nitrogenada encontraron que las aplicaciones de N incrementaban rápidamente la producción de forraje. En 1957 el tratamiento testigo produjo 640 kg. de MS/há. y el tratamiento de 60 kg. de N/há. produjo 1.060 kg. de MS/há. lo que está indicando un incremento del 65% en la producción de forraje. En el año 1958 el testigo produjo 678 kg. MS/há. mientras el tratamiento que recibió 60 kg. de N/há. alcanzó un rendimiento de 1.725 kg. de MS/há., lo que estarían indicando, según los autores, un incremento del 154%. De todo esto se desprende que el incremento promedio en la producción -para los 2 años, 1957-58-, fue de 120%.

Los mismos autores trabajando en el sur de British Columbia (1969), encontraron que el promedio de producción de forraje para el primer año y para siete experimentos fue: para el testigo 443 kg. de MS/há.; 857 kg. de MS/há. para el tratamiento de 60 kg. de N/há. y 902 kg. de MS/há. para el tratamiento que recibió 240 kg. de N/há. De estos datos los autores concluyen que el campo natural, bajo una fertilización de 60 kg. de N/há., produjo un 93% más que el testigo, mientras que una aplicación de 240 kg. de N/há. produjo solamente un 103% más.

En el segundo año el promedio de producción -a partir de 5 experimentos-, fue de 415 kg. de MS/há. para el tratamiento testigo, 554 kg. de MS/há. para el tratamiento de 60 kg. de N/há.

y 681 kg. de MS/há. para el que recibió 240 kg. de N/há. Esto representa, en porcentaje, un incremento del 33% para la dosis de 60 kg. de N/há. y de un 64% para la dosis de 240 kg. de N/há.

A partir de los datos obtenidos se concluye que el efecto residual de la aplicación de 240 kg. de N/há. fue mucho mayor que aquél correspondiente a 60 kg. de N/há., pues la respuesta para la dosis de 60 kg. de N/há. fue 106% para el cuarto año, mientras que para la dosis de 240 kg. de N/há. fue del 202 % para el mismo año.

De todo lo expuesto Mason y Miltimore (1959) concluyen que la fertilización nitrogenada puede incrementar la producción -- de considerables áreas, pero que también hay que tener presente que en algunas localidades no se observó respuesta y que este comportamiento puede deberse, entre otros factores, a la -- textura de los suelos como así también a las pobres condiciones de la pastura.

De lo analizado hasta aquí se podría concluir que la fertilización, en términos generales, puede producir marcados incrementos en la producción de forraje en diferentes tipos de campos naturales, siendo éstos diferentes para los distintos lugares. A su vez, la respuesta a la fertilización con N, P y NP también será diferente según sea el nutriente o combinación de nutrientes aplicados.

Norman (1962) informa que en 1956-57 hubo una marcada respuesta al N y al P cuando se les aplicó en conjunto. En 1957-58 la tendencia general de la respuesta y el nivel de significación para los efectos primarios y la interacción fueron similares, aunque la respuesta al P se manifestó solamente a los más altos niveles de N. Para los años 1958-59 sólo los efectos primarios de N y P fueron significativos.

Comparando la media de todos los años se observan incrementos apreciables sólo cuando se aplican ambos nutrientes conjuntamente. La media de producción de todos los tratamientos que incluyen N y P superó a la media de producción de todos los -- tratamientos que incluyeron uno solo de los nutrientes o ninguno en un 61% mientras que la dosis más alta de NP superó la -- producción del control en un 105%.

Como conclusión general se podría decir que uno de los elementos más importantes para alcanzar altos niveles de produc--ción de forraje -en este tipo de campo natural-, sería la interacción existente entre nitrógeno y fósforo.

Clark y Tisdale (1945) citados por Klipple y otros (1959), trabajando sobre pasturas nativas de las Grandes Planicies al sur de Canadá, encontraron que el nitrógeno incrementó los rendimientos en un 32% - 36%, mientras que la aplicación de fósforo no tuvo efecto en el aumento de los rendimientos.

Ofer y Seligman (1969) en un trabajo en el norte de Israel determinaron que a pesar de las grandes diferencias en la distribución de lluvias, igualmente se produjeron respuestas significativas a la fertilización en los distintos suelos en los cuales se llevaron a cabo los ensayos. En la mayoría de los mismos se hizo necesaria la aplicación de NP para obtener los máximos rendimientos de forraje, pero vale la pena destacar -- que sobre la terra-rosa la vegetación respondió marcadamente - al fósforo mientras que sobre los suelos basálticos el fósforo tuvo un pequeño efecto sobre los rendimientos de forraje.

Johnston y otros (1969) trabajando sobre campo natural en una zona cuyo clima es semiárido encontraron que los incrementos de rendimiento relativo promediaron 110% para las parcelas con fósforo, 153% para las parcelas con nitrógeno y 215% para las parcelas tratadas con NP, comparadas con el 100% correspondiente al rendimiento del control. A su vez, el uso de fertilizantes aumentó la eficiencia en el uso del agua por parte de la pastura nativa, elemento muy importante para la zona en que se llevaron a cabo los ensayos.

Kilcher y otros (1965) comparando aplicaciones de 60 kg. de N/há. como nitrato de amonio; 26 kg. de P/há. como superfosfato triple; 60 kg. de N/há. + 26 kg. de P/há. y un testigo, encontraron que el N o el N+P produjeron incrementos significativos en la producción de forraje en 6 localidades. El fósforo sólo por su parte, no incrementó significativamente la producción salvo en un solo sitio. El N sólo (60 kg. de N/há.) produjo un incremento que varió entre 335 a 615 kg. de MS/há. en un período de 3 años sobre una pastura al pie de la montaña y hasta 1.370 kg. de MS/há. en una pastura estival.

Mader (1961) en ensayos llevados a cabo durante 1951-54, donde se incluyeron tratamientos de fertilizantes en todas sus posibles combinaciones de 0 - 50 y 100 kg. de N/há., 0 y 100 kg. de P_2O_5 /há. y 0 y 50 kg. de K_2O /há. anualmente, encontraron que los incrementos en el rendimiento de forraje fueron lineales entre los primeros y los segundos 50 kg. de incremento en la dosis de N. Frente a esto los tratamientos con fósforo y potasio, sólo o en combinación, no tuvieron efectos -- significativos en los rendimientos.

Según los autores el % de *Bromus mollis* se incrementó por la aplicación de N y P. Por último Gusev y otros (1970) en un ensayo en la provincia de Moscú encontraron que con aplicaciones de 60 kg. de P_2O_5 + 90 kg. de K_2O /há. se incrementaba el rendimiento promedio a 4.500 kg. de MS/há. comparado con 3.250 kg. de MS/há. que era el rendimiento del testigo. Al referirse a las fertilizaciones nitrogenadas los autores informan que aplicando 180; 240 y 300 kg. de N/há. los rendimientos obtenidos fueron 6.200; 6.720 y 7.620 kg. de MS/há. respectivamente. En el experimento la aplicación combinada de N y P redujo el % de *Bromus mollis*, pero esta reducción fue mucho mayor cuando las parcelas no fueron pastoreadas.

2. Efecto de la fertilización sobre la composición botánica.

La aplicación de P y este incremento fue mayor en las parcelas no pastoreadas.

Al aplicar fertilizantes sobre las pasturas naturales estamos produciendo un cambio en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Esto puede llevar a modificar la distribución de las especies pues una mejor disponibilidad de nutrientes puede favorecer un mejor desarrollo de aquellas especies que antes, por razones de baja fertilidad, se veían imposibilitadas de competir con éxito con aquellas especies mejor adaptadas a niveles más bajos de fertilidad. La aplicación de nitrógeno incrementado por la aplicación de fósforo.

Lodge (1959) trabajando sobre un tapiz de *Stipa-Bouteloua* sostiene que es posible, que en el complejo de especies que componen el campo natural, observar una respuesta diferencial a la fertilización por parte de las especies dominantes, como así también, que la respuesta a la fertilización de las especies individualmente en una pastura sobrepastoreada puede esperarse que sea diferente si las condiciones son de subpastoreo. En un cierto período del año permanecían inundadas.

Jones y Evans (1960) estudiaron los cambios en la composición botánica de pasturas que fueron fertilizadas y a su vez pastoreadas o no pastoreadas.

Las especies dominantes que componían el tapiz eran: *Bromus mollis*, *Avena barbata*, *Bromus rigidus*, *Erodium botrys* y varios tréboles entre los que se destacaban *Trifolium sp.* y *Medicago polymorpha*.

Según los autores el % de *Bromus mollis* se incrementó por la aplicación combinada de N y P en la primera estación, pero mostraron pequeñas diferencias en la segunda estación en las parcelas no pastoreadas. En las parcelas pastoreadas la aplicación combinada de N y P produjo un % bastante mayor de *Bromus mollis* que las parcelas no fertilizadas, pero pastoreadas. En las parcelas pastoreadas la combinación de N y P produjo un % mayor de *Bromus mollis* que las parcelas no fertilizadas, pero pastoreadas. Durante el tercer año del experimento la aplicación combinada de N y P redujo el % de *Bromus mollis*, pero esta reducción fue mucho mayor cuando las parcelas no fueron pastoreadas.

El porcentaje de *Bromus rigidus* se incrementó por la aplicación de P y este incremento fue mayor en las parcelas no pastoreadas.

Avena barbata y *Erodium botrys* fueron los componentes principales del forraje e incrementaron su rendimiento cuando fueron fertilizadas con N y en aquellas parcelas que no fueron pastoreadas.

Por último los autores sostienen que el porcentaje de tréboles nativos fue deprimido por la aplicación de nitrógeno e incrementado por la aplicación de fósforo.

Otro factor, que puede influir en el cambio de la composición botánica, es la fuente del nutriente aplicado.

Cooper (1956) estudió la influencia del sulfato de amonio y el nitrato de calcio, aplicados en otoño y en primavera a varios niveles, sobre la composición botánica de pasturas que durante un cierto período del año permanecían inundadas.

400 La fuente, como así también la dosis de nitrógeno aplicada en 1954, influyeron sobre la composición botánica de uno de -- los sitios donde se llevó a cabo el experimento. La aplicación de dosis crecientes de nitrógeno produjo un aumento en la producción de *Juncus* sp. y *Carex* sp. mientras que redujo la producción del trébol.

El aumento en la producción de *Juncus* sp. y *Carex* sp. a bajas dosis de nitrógeno fue igual para las dos fuentes, pero a dosis altas de 150 a 200 kg. de N/há. el sulfato de amonio produjo un mayor rendimiento que el nitrato de calcio.

La fuente a su vez afectó la producción del trébol, pues mientras dosis de 50 kg. de N/há. de nitrato de calcio incrementaron la producción, dosis similares de sulfato de amonio la deprimieron.

Como resultado del incremento en *Juncus* sp. y *Carex* sp. y la disminución en leguminosas con las dosis crecientes de nitrógeno, el porcentaje de trébol en la pastura descendió de un 31% sobre las parcelas no fertilizadas, a 21%, 16%, 10% y 8% sobre las parcelas fertilizadas con 50 - 100 - 150 y 200 kg. de N/há., respectivamente.

Si bien la fertilización en términos generales puede afectar la composición botánica, cada uno de los nutrientes aplicados puede producir efectos diferentes.

Rumburg y Cooper (1961) trabajando con fertilizante comercial y abono orgánico trataron de determinar el efecto de los diferentes nutrientes (N, P y abono orgánico) sobre la pastura natural.

La aplicación de niveles crecientes de nitrógeno provocó una disminución en el porcentaje de malezas en la pastura natural. La proporción de malezas fue entonces, de un 62%, 54%, 12% y 4% para niveles de 0 - 200 - 400 y 600 kg. de N/há. respectivamente.

La producción de gramíneas, como así también el porcentaje de las mismas que componían el heno, aumentaron con dosis crecientes de nitrógeno. El porcentaje de gramíneas que componían el heno fue entonces, de un 20%, 44%, 88% y 96% para 0 - 200 -

400 y 600 kg. de N/há., respectivamente.

Respecto a las leguminosas los autores sostienen que la aplicación de N eliminó virtualmente el trébol presente en la pastura.

Las aplicaciones de fósforo provocaron aumentos en la producción de gramíneas (principalmente por aumentos de los rendimientos de *Hordeum brachyantherum*) como así también en la producción del trébol. Las mismas aplicaciones del nutriente provocaron una gran disminución en la producción de malezas.

Como parece lógico suponer, la respuesta a la fertilización no es la misma para distintos lugares y distintos tipos de campo.

Wayne y otros (1961) trabajando sobre dos tipos de campo: uno virgen en el que se eliminaron las malezas durante varios años, y otro degradado y abonado, que fue poblado nuevamente por gramíneas nativas durante un período de 20 años o más; encontraron respuestas diferentes a las expuestas por Rumburg y Cooper (1961).

Según Wayne y otros (1961) la producción de malezas para 1957-58, expresada como porcentaje de la producción total, fue 16% en el campo degradado y no fertilizado, mientras que en el mismo campo pero fertilizado el porcentaje fue del 50%. En el campo virgen el porcentaje de malezas en los dos años fue 22% para el campo no fertilizado y 42% para el mismo campo pero que recibió fertilización.

Concluyen los autores que a través de los resultados se de muestra claramente que las malezas responden mucho mejor al tipo de fertilización aplicado, que las gramíneas nativas presentes.

Jones y otros (1961) en un ensayo llevado a cabo en 11 localidades en California, midieron el efecto de la fertilización sobre la composición botánica del campo natural. De su informe se desprende, que las aplicaciones de N incrementaron el porcentaje de área cubierta de las especies en general, siendo las gramíneas anuales las que más contribuyeron a ese aumento. A su vez, las gramíneas anuales indeseables que no eran dominan-

tes en la pastura cedieron su lugar a las especies más deseables cuando se aplicó una fertilización nitrogenada.

El porcentaje de área cubierta de las leguminosas se redujo cuando se aplicó N en la misma estación de muestreo, mientras que cuando se lo aplicó en los años previos a la estación de muestreo el porcentaje de área cubierta no presentó cambios o tendió a aumentar.

Drawe y Box (1969) usando fertilizaciones nitrogenadas y combinadas con fósforo encontraron que se producía un incremento en la producción total en todos los tratamientos. La parcela que recibió 900 kg. de N + 100 kg. de P_2O_5 /há. produjo en el año 1965 significativamente más forraje que cualquier otro tratamiento. Este tratamiento a su vez, produjo significativamente menos malezas y más gramíneas que cualquier otro tratamiento. En las parcelas que recibieron 300 - 600 y 900 kg. de N/há. se produjo una marcada disminución de las malezas y un aumento en las gramíneas, comparado con aquellas parcelas que no fueron fertilizadas o que recibieron 100 kg. de N/há. Por último, cada incremento en la dosis de N se manifestó en un aumento sostenido de las gramíneas y en un decrecimiento en la producción de las malezas. A partir de 1965, la situación varió radicalmente, pues por encima de 600 kg. de N/há. hubo cada año, un significativo decrecimiento en el porcentaje de gramíneas y un aumento significativo del porcentaje de malezas. Por ejemplo, con 600 kg. de N/há. el contenido de gramíneas de clinó de 89% en 1965 a 78% en 1966 y a 55% en 1967. Los autores sostienen que una de las causas de este cambio puede haber sido el bajo número de especies presentes.

De todo lo expuesto hasta ahora, se ha podido observar que la fertilización puede producir distintos cambios en la composición botánica del campo natural, pero parece importante resaltar que como resultado de la aplicación de diferentes fertilizantes como así también, de diferentes manejos de las pasturas, es posible generar nuevas asociaciones de especies a partir de una misma comunidad.

Liiv (1966) en un ensayo que realizó desde 1955 a 1965 encontró que como resultado de la fertilización y cortes para heno, se producía un decrecimiento en el número total de especies que componían el tapiz natural. Al principio del ensayo,

mientras que la fertilización favorecía la producción de las mismas.

existían aproximadamente 70 especies mientras que al sexto año -en las parcelas fertilizadas-, el número era cercano a las 50, y al décimo año existían solamente 40 especies. De esta forma entonces, como resultado de la fertilización, especies tales -como *Nardus stricta*, *Molinia coerulea*, *Festuca ovina* y otras- desaparecieron; ésto claro está, no quiere decir que la densidad de la pastura haya disminuído, pues el número de hectáreas en los primeros dos o tres años se incrementó de 5.000 a 9.000 por unidad de área. A su vez, la fertilización -principalmente PK-, aumentó el desarrollo de las leguminosas (*Trifolium pratense*, *Lathyrus pratensis*, *Vicia cracca*) lo que se pone de manifiesto a través del aumento en el área foliar que, en tres años, pasó de 2-3% a 20-40%. Además de las leguminosas y gramíneas valiosas, las gramíneas chatas rizomatosas tendieron a aumentar dando por resultado pasturas densas de gramíneas cortas, sobre todo entre el cuarto y el quinto año del ensayo. A partir del sexto año, las leguminosas comenzaron a decrecer -- con las aplicaciones de NPK. Una de las causas más importantes para la disminución de las leguminosas fue el cambio en las relaciones interespecíficas en la pastura bajo la influencia de la fertilización. La fertilización en cobertura como así también el N fijado simbióticamente, tuvieron como resultado un desarrollo intenso de las gramíneas. Por último, se observó una disminución en las gramíneas estoloníferas y rizomatosas y un incremento en las gramíneas de porte alto. En este caso, los autores sostienen que la tasa de cambio de las pasturas naturales dependió de la fertilidad inicial, de la intensidad de la fertilización, de las condiciones de humedad, así también como de la cantidad de especies valiosas originalmente presentes en la pastura.

Como CONCLUSION GENERAL, se podría decir que la fertilización puede producir marcados incrementos en la producción de forraje en diferentes tipos de campo, siendo estos incrementos diferentes para los distintos lugares. A su vez, la respuesta a la fertilización con N, P y NP también será diferente según sea el nutriente o combinación de nutrientes aplicados. Además, como resultado de la aplicación de diferentes fertilizantes, como así también, de diferentes manejos de las pasturas, es posible generar nuevas asociaciones de especies a partir de una misma comunidad.

Por último, cabe agregar que, la fertilización nitrogenada tendería a disminuir el porcentaje de leguminosas en el tapiz, mientras que la fertilización PK favorecería la producción de las mismas.

Características de la Urea. La Urea o carbamida es una forma fisiológicamente alcalina del amoníaco (52). Su ciclo en el suelo constituye un proceso de naturaleza bioquímica.

En primer término se produce la hidrólisis de la urea que es una reacción que depende de la temperatura y promuevida por una enzima (ureasa) que se encuentra universalmente en los suelos.

C. Factores que afectan la aplicación de la urea.



Durante las dos últimas décadas se ha notado -en EE.UU. y otros países- un gran aumento en el consumo de fertilizantes nitrogenados. Entre éstos, la Urea tiene características que le hacen sobresalir y que explican la importancia alcanzada por este fertilizante. A título de ejemplo se puede decir que la Urea ha presentado, en varios casos, una respuesta similar a la del sulfato de amonio, tiene una alta movilidad inicial en suelo, seguida de cierta resistencia a la lixiviación inmediatamente después de su aplicación, es rápidamente soluble en agua y posee un alto análisis (el doble que el del sulfato de amonio).

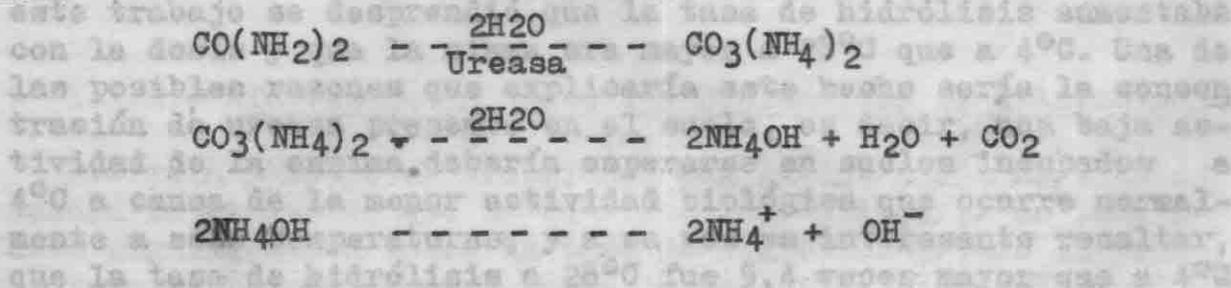
Prácticamente desde que se comenzó a utilizar fertilizantes nitrogenados se conoce la existencia de pérdidas de N, en particular por volatilización del amoníaco, permaneciendo aún en duda la importancia de otros mecanismos, como por ejemplo, la degradación no biológica (en particular en suelos ácidos), la lixiviación, la fijación, la desnitrificación (reducción bioquímica de los nitratos bajo condiciones aneróbicas).

En lo que respecta a la Urea, se sabe que las pérdidas pueden ser apreciables bajo algunas condiciones, en particular si ésta es esparcida en cobertura sobre el suelo o el tapiz vegetal. Esto permite explicar que a menudo la recuperación de N por los cultivos haya sido menor que para otros fertilizantes nitrogenados o bien sus respuestas erráticas, dependiendo de los factores ambientales.

La presente revisión pretende resumir los principales factores que afectan la aplicación de Urea $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$.

Características de la Urea. La Urea o carbamida es una forma fisiológicamente alcalina del amoníaco (52). Su ciclo en el suelo constituye un proceso de naturaleza bioquímica.

En primer término se produce la hidrólisis de la urea que es una reacción que depende de la temperatura y promovida por una enzima (ureasa) que se encuentra universalmente en los suelos.



El carbonato de amonio resultante de la primera reacción es un compuesto inestable que se descompone liberando agua, anhídrido carbónico e hidróxido de amonio. Como resultado de estas reacciones el N del fertilizante permanece en el suelo, bajo forma de NH_4^+ o NO_3^- absorbido por el complejo coloidal o de lo contrario se escapa a la atmósfera bajo forma de NH_3 . Cabe agregar además, que la retención del amonio está correlacionada con la C.I.C. del suelo y el nivel de H y otros cationes intercambiables, presentes en la fracción Coloidal del suelo.

En lo que respecta a la nitrificación, como vía alternativa a la volatilización del NH_3 , Wahnab y Isahq (55) mostraron que con un aumento en la concentración de N como urea se produce un incremento en la cantidad de N nitrificado, pero que el

1. Factores que afectan las pérdidas de nitrógeno.

Low y Piper (28) por su parte, sostienen que cualquier de-
 1.1. Efecto de la temperatura y la dosis de aplicación.

En general puede decirse que a mayores dosis de Urea aplicadas se produce un incremento en la pérdida de nitrógeno por volatilización. La relación que existe entre la dosis aplicada y los procesos fundamentales que operan en el suelo sobre la Urea -la hidrólisis y la nitrificación- no está totalmente aclarada, existiendo discrepancias entre los diferentes autores. Otra posible causa de pérdida de N es la sustentada por

Overrein y Moe (36) sostienen que en general existe una estrecha relación entre la tasa de hidrólisis y la tasa de producción de amoníaco, pero como el amoníaco forma parte de muchas reacciones en el suelo, su volatilización dependerá de otros muchos factores además de su tasa de producción.

Con el objetivo de estudiar el efecto de la temperatura sobre la tasa de hidrólisis, los autores incubaron un suelo con dosis crecientes de Urea a dos temperaturas -28°C y 4°C . De este trabajo se desprendió que la tasa de hidrólisis aumentaba con la dosis y que la misma era mayor a 28°C que a 4°C . Una de las posibles razones que explicaría este hecho sería la concentración de ureasa presente en el suelo, es decir, una baja actividad de la enzima debería esperarse en suelos incubados a 4°C a causa de la menor actividad biológica que ocurre normalmente a esas temperaturas, y a su vez es interesante resaltar, que la tasa de hidrólisis a 28°C fue 5,4 veces mayor que a 4°C .

La volatilización se incrementó con el aumento de las dosis de aplicación de urea a ambas temperaturas de incubación y esos incrementos se hicieron en forma curvilínea, representando una ecuación de segundo orden con respecto a las dosis de urea aplicadas. Esto podría estar indicando que una pequeña proporción del amoníaco estaría siendo absorbida por el suelo a altas dosis de aplicación, es decir, que ha sido saturada la capacidad de retención de NH_3 por el suelo.

En lo que respecta a la nitrificación, como vía alternativa a la volatilización del NH_3 , Wahhab e Ishaq (55) mostraron que con un aumento en la concentración de N como urea se produce un incremento en la cantidad de N nitrificado, pero que el porcentaje de urea nitrificada decrece con su concentración.

Low y Piper (28) por su parte, sostienen que cualquier demora o disminución -absoluta o relativa- en la nitrificación, favorece el escape del amonio.

Todo esto muestra entonces, que al ir incrementando las dosis de aplicación de urea se da un aumento en la proporción de N perdido por el suelo a través de la volatilización del amonio (36).

Otra posible causa de pérdidas de N es la sustentada por -

Volk (53) quien luego de aplicaciones masivas de urea detectó la acumulación de NO_2^- , lo que podría ocurrir por haberse superado el pH de 7.7 -considerado como "umbral"- luego del cual se daría la inhibición de la conversión de nitritos a nitratos. Este autor analiza la posibilidad de que el NO_2^- se desarrolle bajo condiciones anaeróbicas en la zona alcalinizada por la hidrólisis de la urea aplicada en bandas y que luego se trasladara a la interbanda ácida, superando la capacidad biológica de oxidación de los nitratos.

1.1.1.- Efectos de la Humedad y Profundidad de aplicación.

Overrein y Moe (36) trabajando con suelos a dos niveles de humedad determinaron que la localización de la urea no tuvo efecto significativo sobre la tasa de hidrólisis, pero en cambio tuvo un marcado efecto sobre la volatilización del amonio. Las pérdidas por volatilización fueron inversamente proporcionales a la profundidad de aplicación y al contenido de humedad. Este fenómeno observado sería debido, probablemente, a que la alta solubilidad del NH_3 en agua reduciría la cantidad de NH_3 volatilizado.

Ernst y Massey (7) trabajando sobre suelo franco-limoso, de pH inicial 5.0 ajustado a pH 6.5 por adición de CaCO_3 , seguidos de alternativos desecamientos y humedecimientos, a su humedad equivalente (21%); con una dosis de urea equivalente a 112 kg. N/há. encontraron que había una definida tendencia al descenso en las pérdidas de amonio, cuando se mezclaba la urea con capas de suelo de mayor espesor.

De lo expuesto se desprende entonces, que la adecuada ubicación del fertilizante bajo el nivel del suelo sería un método efectivo para minimizar las pérdidas por volatilización.

Volk (52) determinó -con experimentos de campo y de laboratorio-, que en los primeros 7 días se da el 95% del total de pérdidas de N y que éstas oscilaron entre un 17% y un 59% del N aportado como urea pelleteada sobre suelos desnudos, ácidos y de un C.I.C. menor o igual a 7.2 meq./100 grs. Parece entonces, que en suelos de C.I.C. inferior a 10 meq./100 gr., o con un potencial de absorción por debajo de 1.5 gr. de N amoniacal -por centímetro cúbico, se debería poner especial atención debi

do a que las pérdidas por volatilización del amoníaco -luego de aplicaciones de urea en cobertura- pueden ser considerables.

Low y Piper (28) determinaron que un 50% de la urea puede ser recuperada como amoníaco en 5 ó 6 días (urea cristalina) - sobre suelos húmedos, con aplicaciones de por lo menos 67 kg. de N/há. Estas pérdidas de N como amonio, a su vez, podrían ser reducidas mezclando la urea con una sal ácida, como por ejemplo, superfosfato. Urea y superfosfato en una proporción de 1:1; aportando 168 kg. de N/há. en cobertura sobre un suelo franco, húmedo, de pH 6.8 y una temperatura de 10°C, dieron un porcentaje de recuperación de N de un 87% contra un 71% de la urea pura. Por último, los autores determinaron que en condiciones de campo el lavado por lluvia hacia el interior del suelo, una rápida nitrificación o una rápida recuperación por las plantas, reducen las pérdidas por volatilización.

Volk (52) a través de sus trabajos de laboratorio, con aplicaciones de urea sobre suelos ácidos, cubiertos con cuatro tipos de vegetación que prácticamente no dejaban ninguna porción de suelo desnudo, reveló la existencia de pérdidas de amonio del orden del 20.6% y del 29.3% para aplicaciones de urea peleteada y cristalina respectivamente.

Las mayores pérdidas a partir de la urea cristalina probablemente resultaron de la mayor tendencia de los cristales a adherirse a la pastura, no penetrando al suelo donde las posibilidades de ser absorbidos eran mayores.

Por su parte Kresge y Satchell (20) trabajando sobre dos tipos de cubierta vegetal y suelo desnudo -aplicando una cobertura a dosis de 112 kg. de N/há. y 336 kg. de N/há., regando luego con 100 ml. de agua-, sostienen que con aplicaciones de 112 kg. de N/há., ambas cubiertas redujeron las pérdidas de amonio comparadas con el suelo desnudo; no habiendo diferencias significativas entre ambas cubiertas. A diferencia del caso anterior, al aplicar 336 kg. de N/há. sí se encontraron diferencias significativas entre las distintas cubiertas. La cubierta vegetal de mayor crecimiento presentó como máximo un 7% de pérdidas comparada con un 23% para el suelo desnudo.

De lo expuesto, los autores concluyen que es posible suministrar urea en cobertura a dosis superiores de 112 kg. de N/há. del ciclo del cultivo.

a plantas en crecimiento, sin perder significativas cantidades de amonio. La recuperación del N al hacer una sola aplicación de urea en primavera comparado con dos o cuatro aplicaciones en la estación de crecimiento. Se darán mayores pérdidas de N, a partir de la estación de crecimiento.

1.1.2.- Efecto de la época de aplicación.

La época de aplicación puede explicar en parte la baja eficiencia de los fertilizantes nitrogenados aplicados en cobertura.

La baja respuesta en invierno y en la primavera temprana podría ser explicada por la menor actividad química del N aplicado al suelo debido a las condiciones frías del invierno y la primavera temprana. Por otra parte la actividad microbiana es baja y la absorción de las raíces es bastante menor comparada con otras épocas del año. Algo similar sugiere Terman (50) para explicar las máximas pérdidas de N en el invierno o primavera temprana. Este autor afirma que ello se debería a que los cultivos no están creciendo, siendo además mayores las precipitaciones que la evapotranspiración.

1.3. Factores inherentes al suelo

Los nitratos aportados por el fertilizante o neoformados están libres para moverse con el agua del suelo y el ión amonio absorbido puede volatilizarse si el suelo se torna seco, sea por congelamiento o por evaporación de agua. Además el N puede escapar como óxidos en suelos ácidos, pérdidas que pueden ser acentuadas por limitada nitrificación.

En conclusión, las pérdidas potenciales se pueden reducir si el nitrógeno es aplicado cuando las raíces lo absorben activamente, cuando el cultivo está creciendo a buen ritmo (32).

1.2. Fraccionamiento de la aplicación.

Por su parte Ernst y Massey (7) sostienen que incrementando En suelos de textura gruesa, la C.I.C. es baja y por lo tanto las posibilidades de retención del NH_4^+ se ven reducidas. En general y salvo posible limitación de la temperatura, las condiciones de humedad y aereación favorecen una rápida nitrificación. El nitrato formado no está retenido en el suelo y susceptible de lixiviación. En estos casos debe considerarse la posibilidad de una distribución fraccionada del N, a través del ciclo del cultivo.

Terman (50) señala que -en su trabajo de campo-, se verificó una mayor recuperación del N al hacer una sola aplicación de urea en primavera comparado con dos o cuatro aplicaciones en la estación de crecimiento. Se darán mayores pérdidas de N, a partir de urea, cuando ésta es aplicada en la estación de crecimiento, como consecuencia de las altas temperaturas, comparado con las aplicaciones de primavera cuando las temperaturas son menores.

Por último cabe mencionar, la influencia negativa que pueden tener altas dosis de N en las primeras etapas de crecimiento de un cultivo. Esto puede originar un excesivo crecimiento inicial, que puede hacer necesario un suministro posterior de N -que el medio no podrá aportarle- causándole al cultivo el "hambre de N" lo que disminuirá sus rendimientos. En este caso entonces también sería necesaria la aplicación fraccionada del N.

(55) señalan que la nitrificación precede normalmente a 30°C, sin embargo ésta es prácticamente muy poca a 45°C.

1.3. Factores inherentes al suelo.

1.3.2.- Humedad y Desechamiento. En general existe a

1.3.1.- Temperatura. La temperatura es un factor que regula la actividad biológica y por lo tanto afectará los procesos de hidrólisis y nitrificación. Además incide sobre los procesos de naturaleza química afectando, ya sea la velocidad de reacción como la solubilidad de los distintos factores y en consecuencia su constante de equilibrio.

Como ejemplo puede citarse el ensayo de Overrein y Moe (36), donde se observa que la tasa de hidrólisis a 28°C es 5.4 veces mayor que a 4°C. También cabría esperar una menor actividad de la ureasa en los suelos incubados a 4°C debido al decrecimiento de la actividad biológica.

Por su parte Ernst y Massey (7) sostienen que incrementando la temperatura y/o el pH del suelo se incrementa en forma marcada la volatilización del amonio.

En condiciones húmedas y frías la urea puede ser al menos

En contraste con esto, Meyer y otros (32) comprobaron que se dieron mayores pérdidas sobre suelos calcáreos fertilizados con urea incubados durante un mes a 4.4°C que incubados a 23.9°C. Esto podría ser explicado por la inhibición de la actividad mi

microbiana a bajas temperaturas lo que disminuiría la conversión del N amoniacal a nitratos. Dado que la hidrólisis de la urea a amonio se da moderadamente rápido a esta baja temperatura, la concentración del amonio podría crecer hasta exceder la capacidad de absorción de las capas superficiales del suelo, lo que causaría un incremento en las pérdidas de N.

Volk (52) señala que cuanto más frío es el suelo, menos es la pérdida inicial. Una demora inicial en la conversión de la urea, dada por bajas temperaturas, determina una menor pérdida total en algunos casos. La demora inicial en la conversión de la urea incrementaría el período en que las lluvias reducen -- las pérdidas por volatilización, por lavado hacia el suelo de la urea residual.

Es importante señalar que altas temperaturas pueden llegar a detener los procesos de naturaleza biológica. Wahhab y otros (55) señalan que la nitrificación precede normalmente a 30°C , sin embargo ésta es prácticamente muy poca a 45°C .

1.3.2.- Humedeamiento y Desecamiento. En general existe acuerdo en que las pérdidas de N por volatilización del amoníaco dependen del nivel de humedad del suelo, Por otra parte parece ser tan o más importante el proceso de desecamiento del suelo.

La hidrólisis de la urea, paso previo necesario para la existencia de pérdidas de N como amoníaco, es afectada por el nivel de humedad del suelo. La urea es más rápidamente hidrolizada en un suelo de moderado contenido de humedad, que cuando ésta se aproxima a su condición de saturado (55).

En suelos secos al aire se ha dado poca hidrólisis, aún a altas humedades relativas. Por otra parte condiciones de anegamiento y bajas temperaturas enlentecen la hidrólisis inicial, al retardar la actividad microbiana (53).

En condiciones húmedas y frías la urea puede ser al menos amonificada en un 90% en 48 horas pero, sólo un 14% es nitrificado. La urea se amonifica más lentamente en suelo seco, próximo al punto de marchitez que en suelo húmedo, cercano a la capacidad de campo. No obstante ello, por lo menos un 85% se

amonificó en 48 horas, a 5°C sobre el suelo calcáreo, de pH 7.9 bajo condiciones secas. (28).

Las pérdidas de N como amoníaco a partir de urea, aumentan generalmente con el incremento de la humedad del suelo. Sin embargo, la cuantía del incremento de la pérdida es bajo o muy bajo cuando la humedad se aumenta por encima de 3/4 de la capacidad de campo. (55).

La pérdida de amonio en suelos secos es baja, pero basta un bajo nivel de humedad para que se produzcan pérdidas apreciables. A 7,2°C o baja humedad del suelo -aproximada a la condición de suelo seco al aire-, se retardan marcadamente las pérdidas, pero apenas un 1% de humedad o una temperatura de 15,5°C alcanzan para provocar un significativo desprendimiento de amoníaco.

El desprendimiento de amoníaco es prácticamente completo en 7 días si la humedad y la temperatura no son limitantes (52).

La urea persiste mucho tiempo, luego de aplicada en cobertura al suelo, si la superficie del mismo permanece seca al aire o bien, si el contenido de humedad es insuficiente para mantener su nivel por capilaridad.

Aplicando aproximadamente 84 kg. de N/há. como urea en cobertura sobre suelos arenosos, de pH entre 5.4 y 6.0, se determinó que de un 81% a 87% de la urea persistió durante 14 días cuando la superficie estaba seca al aire, aún cuando el suelo debajo de la superficie estuviese húmedo. Cuando la superficie estaba temporariamente húmeda persistió de un 42% a un 76%. Según Volk (53) esto mismo ocurre en las fertilizaciones usuales de las pasturas.

En términos generales Terman (50) sostiene que con el secado del suelo se da un aumento en las pérdidas de N como amoníaco, mientras que las pérdidas en los suelos secos no serían de importancia.

Según el mismo autor, las pérdidas están directamente relacionadas con el nivel de humedad inicial del suelo, presumiblemente debido al efecto de esta variable sobre la duración del proceso de secado. Las pérdidas son más rápidas a partir -

de suelos secándose desde su capacidad de campo que desde valores más altos.

El secado del suelo, se sabe que es un importante factor para la explicación de las pérdidas de amoníaco a partir de materiales amoniacales, en suelos calcáreos.

Una desecación parcial desde altos niveles de humedad da lugar a un aumento en las pérdidas, mientras que el efecto inverso se pone de manifiesto si el desecamiento es efectuado desde bajos niveles de humedad. Lo primero se daría debido a que la humedad inicial, así como la temperatura habrían sido suficientes para ocasionar una rápida conversión total de la urea seguida de un rápido secado del suelo. Lo segundo, en cambio, se podría explicar como consecuencia de que el rápido secado llevaría a que se llegue por debajo del punto de sostén de una rápida degradación de la urea, lo que daría lugar a una reducción en las pérdidas como amoníaco. (52).

Suelos excesivamente mojados, pobremente aireados, pueden dar lugar a pérdidas por desnitrificación que suelen ser muy importantes. En las arroceras, por ejemplo, la urea y el amoníaco han dado mejores resultados que los fertilizantes nítricos que son menos eficientes al ser desnitrificados (50).

Lluvias inmediatas a una fertilización con urea en cobertura, aumentan su eficiencia reduciendo las pérdidas por lavado de la urea hacia el interior del suelo (20; 52; 53).

La eficiencia de la fertilización con urea seguida de una lluvia inmediata capaz de llevarla al interior del suelo antes de la hidrólisis, es mayor que la de la urea hidrolizada sobre la superficie, debido a que esta última presenta mayores pérdidas gaseosas y que el amoníaco resultante tiene muy baja movilidad. (50; 53).

1.3.3.- Textura. En general se puede afirmar, que cuanto más liviana es la textura, mayor es la aireación del suelo, menor el contenido de materia orgánica, menor la C.I.C., menor la fertilidad natural y se pueden esperar mayores pérdidas de los fertilizantes nitrogenados aplicados.

Terman (50) sostiene que la lixiviación -en particular como nitratos-, es mayor en los suelos livianos y que a su vez -debe tenerse presente que si bien la movilidad del N amoniacal es mucho menor que la del N nítrico, ésta es una diferencia --temporaria, ya que el primero será convertido por nitrificación.

Kresge y Satchell (20) sostienen que las pérdidas por volatilización del amonio son máximas en aquellos suelos de baja capacidad de intercambio, estando ésta íntimamente vinculada con la textura del suelo así como con su contenido de materia orgánica.

En los suelos arenosos, livianos, la preocupación por el uso de urea en cobertura es mayor, pues en general comparativamente menos urea es nitrificada y más tiempo es requerido para la nitrificación (55).

Volk (52) sostiene que las pérdidas por desprendimiento de NH_3 luego de aplicaciones en cobertura, de urea peleteada o cristalina, pueden ser de importancia, sobre aquellos suelos arenosos livianos o sobre césped, aún de pH bajo. La fertilización con urea en estos casos -en condiciones húmedas-, no es recomendable a menos que la urea sea lavada hacia el interior del suelo.

Wahhab y otros (55) y Kresge y Satchell (20) encontraron anomalías en las respuestas sobre los suelos livianos.

Wahhab y otros (55) determinaron que la pérdida de NH_3 era el doble en el suelo franco-arenoso en relación al suelo arenoso. De acuerdo al comportamiento de los organismos nitrificadores debería haber una mayor y más rápida nitrificación en el suelo arenoso. Esto se debería a la inhibición de la oxidación del NH_3 , debido al alto pH asociado con el rápido desprendimiento del amoníaco en el suelo arenoso.

Kresge y Satchell (20) por su parte, explican lo ocurrido como una inhibición de la hidrólisis de la urea en el suelo --más liviano.

En lo que se refiere al efecto de la aereación, Overrein y Moe (36) encontraron que la volatilización del amonio mantenía

una relación lineal con el intercambio gaseoso del suelo, siendo directamente proporcional a éste. químicas del suelo, en particular el pH. La urea, como ya se ha mencionado, tiene la característica de alcalinizar el medio en el que es hidrolizada. 1.3.4.- pH. Es bien sabido que las pérdidas de N como amoníaco, a partir de fertilizantes amoniaca- les, especialmente si son puestos en cobertura, pueden ser altas en suelos de pH superior a 7,5 y de muy poca importancia en suelos ácidos. (52). (36). Se obtuvo un pH máximo de 8.8, para ambas dosis, en cobertura y para 896 kg. N/ha. a 3 cm. de prof. Para un mismo suelo, las mayores pérdidas de amoníaco que se dan con el incremento del pH pueden derivarse, en gran parte, del decrecimiento de la capacidad de absorción del amoníaco del suelo. (51). ción en el suelo, en las zonas inmediatas a la aplicación, estaría completamente saturado.

Mientras la hidrólisis de la urea no es una reacción dependiente de la presencia de CaCO_3 , el pH óptimo para la actividad de los microorganismos nitrificadores -nitrificación-, parece estar próximo a la neutralidad. Más de un 90% del N aportado por la urea es nitrificado a pH 8.4 mientras que una cantidad extremadamente pequeña lo es a pH 5.5.

A valores de pH próximos a la neutralidad, la pérdida de N es aproximadamente la mitad que a pH 8.5, sin embargo la pérdida se reduce mucho cuando el pH del suelo se traslada hacia el lado ácido (55). Los mismos autores a su vez sostienen, que la conversión de urea a amoníaco en suelos alcalinos es tan rápida que el amoníaco formado se volatilizará en lugar de acumularse. debe tenerse presente que esto no asegura un similar comportamiento por parte de la volatilización de amoníaco ya que

al Por su parte Ernst y Massey (7) sugieren dos mecanismos para explicar la incidencia del pH sobre las pérdidas de amoníaco. Por una parte, se da un mayor grado de saturación de Ca del complejo de intercambio del suelo al incrementarse el pH mediante encalado, ésto implica una menor posibilidad de absorción del NH_4^+ formado por hidrólisis de la urea. Por otra parte, se da un incremento de la actividad hidroxílica de la solución del suelo; en este caso al aumentar el pH se da un incremento en la actividad tanto del ión NH_4^+ como del OH^- por lo que el equilibrio $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$ se desplaza hacia la derecha (53). de la urea, pues existe una marcada respuesta en lo que respecta a la reducción de las pérdidas y a la recuperación.

La fertilización con urea, análogamente a la fertilización

con cualquier otra sustancia, implica una alteración más o menos inmediata de las características químicas del suelo, en particular el pH. La urea, como ya se ha mencionado, tiene la característica de alcalinizar el medio en el que es hidrolizada.

Urea cristalina fue aplicada a un suelo Chalmers, franco-limoso de pH 6.5 a dosis de 224 y 896 kg. N/há. en cobertura o a 3 cm., de profundidad (36). Se obtuvo un pH máximo de 8.8, para ambas dosis, en cobertura y para 896 kg. N/há. a 3 cm. de profundidad. Este valor de pH es similar al de una solución saturada de bicarbonato de amonio. A este pH un 25% del total de N de este compuesto se encuentra como amonio. Esto sugiere que el mecanismo de absorción en el suelo, en las zonas inmediatas a la aplicación, estaría completamente saturado.

Con una aplicación de 224 kg. N/há. en sub-superficie el pH alcanzó un valor máximo de 8.1, lo cual estaría indicando que el amoníaco sería más rápidamente absorbido con esta forma de aplicación y esto podría deberse a que el amoníaco liberado podría difundirse en todas las direcciones.

De esta revisión se desprende que con el aumento de la dosis se pueden esperar mayores pérdidas de N como NH_3 , pudiendo ser éstas, al menos, lineales a la dosis.

La relación que existe entre dosis y tasa de hidrólisis sería lineal, dependiendo su cuantía de la temperatura. Sin embargo debe tenerse presente que esto no asegura un similar comportamiento por parte de la volatilización de amoníaco ya que al tomar éste parte en muchas reacciones del suelo, su volatilización dependería de otros muchos factores, además del de su tasa de producción.

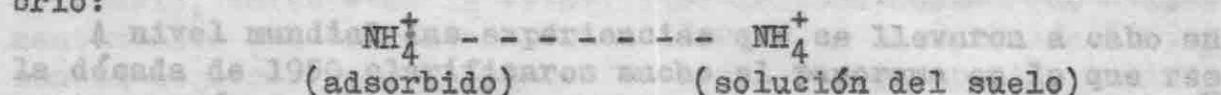
Cualquier demora en la nitrificación, luego de realizada la hidrólisis de la urea, favorecería las pérdidas de N por escape de amoníaco. Por otra parte se ha encontrado que al elevar la dosis de N, disminuiría el porcentaje de N nitrificado.

La ubicación del fertilizante es un factor muy importante en la economía de la urea, pues existe una marcada respuesta en lo que respecta a la reducción de las pérdidas y a la recuperación del N. El enterrado de la urea, aún a poca profundidad con la C.T.C., correlaciona con la textura, pues cuanto menor es mayores son las pérdidas.

dad, e incluso en suelos de textura liviana, representa una sensible disminución de las pérdidas.

La casi totalidad de las pérdidas de amoníaco, como consecuencia de la aplicación de la urea en cobertura se acepta que se producirían en la primera semana post-fertilización. Las mismas serían mayores cuando el suelo posee baja C.I.C. y/o baja capacidad de absorción del N amoniacal.

La temperatura afectaría no sólo el proceso biológico de hidrólisis y nitrificación, sino que también lo haría sobre la solubilidad del amonio, afectando en consecuencia el equilibrio:



Muy bajas temperaturas del orden de los 4°C, al enlentecer más la nitrificación que la amonificación, podrían incrementar las pérdidas de N. Temperaturas del orden de los 30°C asegurarían una normal nitrificación, pero si éstas son superiores a los 45°C prácticamente se detendría el proceso.

Las pérdidas de N por volatilización del amonio dependerían del nivel de humedad en el suelo. El déficit de humedad determinaría una reducción más marcada en las pérdidas de N que el exceso. Se podrían apreciar notorias pérdidas, a partir de urea en cobertura, si la superficie del suelo se mantuviera húmeda constantemente. Sobre superficies secas al aire la urea se puede mantener como tal, en su mayor parte, durante largos períodos de tiempo, no siendo suficiente incluso altos niveles de humedad relativa del aire. El nivel óptimo de humedad, para la nitrificación sería al tercio de capacidad de campo, mientras que para la hidrólisis estaría en los dos tercios. Las pérdidas de N aumentarían con el contenido de humedad, aunque para valores superiores a 3/4 de capacidad de campo, éstas se incrementarían un poco.

Lluvias inmediatas post-fertilización aumentan la eficiencia de los fertilizantes por lavado hacia el interior del suelo.

Las pérdidas de nitrógeno son mayores en suelos de textura más liviana. Las aplicaciones de urea en cobertura sobre suelos arenosos, aún de bajo pH, pueden ser considerables. Otro tanto con la C.I.C., correlacionada con la textura, pues cuanto menor es mayores son las pérdidas.

buscar la manera de aumentar el "status" de fósforo de un suelo determinado.

Todas estas complicaciones se plantean por los complejos mecanismos que regulan la capacidad de suministro de fósforo de los suelos. La cantidad de fósforo que se encuentra en un momento dado en la solución del suelo, es una ínfima parte de lo que necesita el cultivo **D. Eficiencia relativa de fosfatos solubles e insolubles** largo de todo su crecimiento. Por lo tanto, es de fundamental importancia la capacidad que tiene cada una de las fracciones de una concentración dada de fósforo en la solución. Esta capacidad va a estar determinada por un gran número de propiedades del suelo, tales como la estabilidad del compuesto que está

presente. A nivel mundial las experiencias que se llevaron a cabo en la década de 1950 clarificaron mucho el panorama en lo que respecta a qué tipo de fosfatos de los disponibles comercialmente dará el mejor resultado en la fertilización de cultivos anuales. La mayoría de los investigadores concuerdan en que, para la mayoría de las condiciones de suelo, se utiliza más eficientemente por un cultivo anual el fósforo que se encuentra en la fracción soluble en agua de los fertilizantes. A pesar de todo, se ha encontrado que en situaciones particulares esto no es así, estando los resultados afectados por una serie de factores y propiedades del suelo y el fertilizante, no siempre bien definidas. ha sido mejor estudiado para el caso de los fertilizantes solubles en agua, así que ahora se presentarán

Donde las cosas no son tan claras es cuando se plantea la pregunta de qué tipo de fertilizante fosfatado debe usarse cuando se trata de asegurar un buen suministro de fósforo a un cultivo perenne, como podría ser una pradera. Esta pregunta cobra fundamental importancia en nuestro país donde el grueso del consumo de fertilizantes fosfatados lo hacen las pasturas, principalmente las artificiales. En este caso entonces, es importante no sólo la cantidad de fósforo que es asimilable para la planta en el corto plazo luego de su aplicación, sino también lo que se llama "poder residual del fertilizante", que es su capacidad de seguir suministrando el nutriente a la planta por un largo tiempo aún luego de ser aplicado.

La suma de fósforo soluble en agua y fósforo soluble en el suelo. En este caso entonces, no se trata de elevar "momentáneamente" el nivel de fósforo del suelo y que en ese momento se produzca la absorción por las plantas, sino que se trata de -

buscar la manera de aumentar el "status" de fósforo de un suelo determinado.

Todas estas complicaciones se plantean por los complejos - mecanismos que regulan la capacidad de suministro de fósforo - de los suelos. La cantidad de fósforo que se encuentra en un momento dado en la solución del suelo, es una ínfima parte de lo que necesita el cultivo -por corto que sea su ciclo-, a lo largo de todo su crecimiento. Por lo tanto, es de fundamental importancia la capacidad que tiene cada suelo para mantener una concentración dada de fósforo en la solución. Esta capacidad va a estar determinada por un gran número de propiedades - del suelo, tales como la estabilidad del compuesto que está manteniendo esa concentración de fósforo en la solución, la presencia de otros compuestos fosfatados o no, que puedan modificar esta estabilidad y otras propiedades del suelo como la textura, que estarán afectando la difusión del nutriente. Todo este equilibrio se va a ver considerablemente perturbado cuando se agregue un fertilizante fosfatado al suelo y los distintos fertilizantes lo afectarán de diferente manera.

Para tratar de comprender la magnitud del efecto provocado, se revisarán los estudios realizados con el fin de identificar las reacciones que ocurren cuando se incorpora al suelo un fertilizante. Esto ha sido mejor estudiado para el caso de los fertilizantes solubles en agua, así que ahora se presentarán - los resultados obtenidos en estudios de reacciones de fertilizantes fosfatados solubles con el suelo. Las reacciones que ocurren con los fosfatos insolubles se pueden inferir de lo que sucede con los residuos que quedan de la reacción de los fosfatos solubles con el suelo.

Según Huffman y Taylor (1963) la solución concentrada no se para. Previamente se pasará a definir qué se entiende por fertilizantes solubles e insolubles y asimilabilidad del fósforo. - Los compuestos fosfatados en los fertilizantes se clasifican - en 3 categorías: fósforo soluble en agua, fósforo soluble en citrato -que es aquél que es insoluble en agua pero soluble en citrato de amonio neutro normal-, y fósforo insoluble en citrato. La suma de fósforo soluble en agua y fósforo soluble en citrato es lo que se expresa normalmente como contenido de pentóxido de fósforo asimilable.

Hay y Stephenson (1959) han demostrado que la disolución del fosfato monocalcico es rápida, con

1. Reacción suelo-fertilizante.

La formación de una solución en el triple punto metaestable en un suelo franco arenoso fino a una humedad equivalente a 0.80, o más. Cuando la humedad era más baja la disolución se hacía más lenta. Para una mejor comprensión del proceso que ocurre al agregar un fertilizante soluble, se le dividirá en dos etapas, lo que no implica que deba terminar una para que empiece la otra, sino que van ocurriendo simultáneamente. De acuerdo con este planteamiento, puede considerarse la reacción suelo-fertilizante a través de:

1. la disolución del fertilizante y el movimiento de la solución del fertilizante, y
2. las reacciones de la solución con el suelo.

1.1. Disolución del fertilizante.

estudio detallado del proceso de disolución de tabletas de fosfato monocálcico en un suelo Cuando se le agrega al suelo una sal soluble, como fosfato monocálcico, monoamónico o diamónico, el vapor de agua se desplaza del suelo que rodea al gránulo hasta el gránulo para formar una solución casi saturada. Este movimiento está dirigido por un gradiente de potencial osmótico (Huffman y Taylor, 1963). tipo de suelo, el contenido de humedad, el contenido de nutrientes, la Lindsay y Stephenson (1959) colocando fosfato monocálcico-monohidro en bandas en el suelo, observaron un transporte de humedad hacia la banda, siendo significativo el transporte en forma de vapor, generalmente considerado como de poca importancia. Después de la disolución del fosfato monocálcico continúa el movimiento del agua hacia la banda diluyéndose la solución fertilizante y desapareciendo gradualmente las diferencias de presión de vapor. isia del fosfato monocálcico y por lo tanto el proceso se considera como sucesivas extracciones con pequeños Según Huffman y Taylor (1963) la solución concentrada no permanece en el grano, sino que es extraída por la succión de matriz del suelo que lo rodea, de tal manera que se toca y reacciona con los minerales del suelo. Este movimiento hacia adentro de la humedad y hacia afuera de la solución, continuará hasta que disminuya la concentración de la solución por disolución o precipitación del fosfato al nivel en que ya no hay gradientes osmóticos. el Fe, el Al, el Mn y otros componentes del suelo son afectados por la solución fertilizante ácida. Inic Resumiendo entonces, Lindsay y Stephenson (1959) han demostrado que la disolución del fosfato monocálcico es rápida, con ción se vuelve sobrecaturada con respecto a ciertos compuestos

la formación de una solución en el triple punto metaestable en un suelo franco arenoso fino a una humedad equivalente a 0.80, o más. Cuando la humedad era más baja la disolución se hacía más lenta. Por último, cabe agregar que la composición de la solución que sale del gránulo depende de la composición del suelo que lo rodea. (Lehr y Brown, 1959).

1.2. Reacción de la solución con el suelo.

Como se ha visto, la solución que abandona el gránulo es altamente concentrada y por lo tanto va a causar grandes variaciones en el suelo que afecta.

Lehr y otros (1960) presentan un estudio detallado del proceso de disolución de tabletas de fosfato monocálcico en los suelos. Los autores sostienen que el transporte de agua en forma de vapor controló la relación de disolución y que una parte significativa del fósforo permaneció en el sitio de la tableta como fosfato dicálcico, anhidro o dihidratado. Encontraron además, que los procesos de disolución fueron afectados por el tipo de suelo, el contenido de humedad, el contenido de humus, la actividad microbiológica, la capilaridad del suelo y la tableta, el tiempo y la temperatura. De lo anteriormente expuesto se desprende que lo que quedaría sería un residuo poroso de fosfatos dicálcicos del que el suelo absorbe la solución fosfatada.

El contenido de agua del gránulo nunca puede ser suficiente para la hidrólisis del fosfato monocálcico y por lo tanto el proceso se considera como sucesivas extracciones con pequeños agregados de agua.

Lindsay y Stephenson (1959) estudiaron las reacciones que ocurren entre la solución en el triple punto estable con sucesivos agregados de suelo, de modo de imitar las reacciones que se producirían al avanzar en el suelo la solución concentrada que deja el gránulo. Los resultados muestran que dentro de esta zona de reacción el Fe, el Al, el Mn y otros componentes del suelo son afectados por la solución fertilizante ácida. Inicialmente predominan las reacciones de disolución, pero a medida que más suelo se ve afectado y que el pH sube, la solución se vuelve sobresaturada con respecto a ciertos compuestos

fosfatados, que tarde o temprano comenzarán a precipitar. Además, cabe agregar que, en diferentes suelos, las reacciones podrán ser distintas. Lo con la goethita. La forma considerada más estable -entre los varios óxidos e hidróxidos de aluminio-.

En un trabajo más reciente, Huffman y Taylor (1963) resumen la información disponible acerca de las reacciones de suelo y minerales de suelo con soluciones de fosfato concentradas y sostienen que se han identificado más de 30 compuestos como posibles productos de reacción. Estos materiales difieren en estabilidad y disponibilidad, y por lo tanto destacan la importancia de la disolución de las reacciones para el entendimiento de las diferencias de comportamiento de los fertilizantes fosfatados solubles en agua, bajo diferentes condiciones del suelo.

En general, los diferentes trabajos revisados confirman -- que en suelos ácidos los fosfatos precipitarán principalmente, como fosfatos complejos de hierro y aluminio, que variarán enormemente en composición, solubilidad y por lo tanto, en disponibilidad para las plantas. En los suelos calcáreos, mientras tanto, los productos de reacción serán principalmente fosfatos de calcio más básicos. Qué compuestos se formarán y en que cantidad, dependerá de las condiciones imperantes en el medio ambiente químico de cada suelo cuando se produzca la disolución del fertilizante, y por supuesto de la composición del mismo.

Es importante considerar la estabilidad relativa de los productos de reacción, responsables a la larga del mantenimiento de la concentración de fósforo en la solución. Para determinar la estabilidad relativa de compuestos fosfatados Lindsay y Moreno (1960) en un trabajo cuyo objetivo fue de desarrollar bases generales para predecir la formación y estabilidad de varios fosfatos de calcio, hierro y aluminio --que pueden formarse bajo diferentes condiciones de suelos--, consideran que las fases del suelo conteniendo Fe_3 , Al_3 , Ca_2 , Hg_2 , OH^- y F^- deben considerarse como reactantes potenciales con el fosfato. Sin embargo, algunas de estas asunciones puede no ser válida y que muchos de estos equilibrios se alcanzan muy lentamente. Los fosfatos conteniendo estos cationes precipitarán o no, según la actividad de estos iones en la solución. Entre los muchos compuestos fosfatados que pueden estar involucrados. El óxido de hierro más estable en las condiciones de suelo es la goethita, por lo tanto la actividad del hierro en la so-

lución no excederá -probablemente- a la mantenida por el óxido hidratado amorfo recientemente precipitado, ni será menor que aquella en equilibrio con la goethita. La forma considerada -- más estable -entre los varios óxidos e hidróxidos de aluminio identificados en los suelos-, es la gibsita y por lo tanto la actividad del aluminio en el suelo no podrá exceder a la mantenida por precipitaciones recientes de hidróxido de aluminio, ni podrá ser menor que la mantenida por la gibsita.

(Terman, 1960)

En lo que se relaciona con el calcio y el magnesio, parece razonable asumir que la concentración de estos cationes estará controlada por el complejo de intercambio, aunque no se excluye la posibilidad de un equilibrio con minerales que los contengan.

La concentración de potasio en la solución se puede suponer que estará establecida por minerales primarios, como ortoclasa, feldespatos, muscovita y otros silicatos, mientras en el caso del NH_4^+ hay que considerar además los cambios debidos a la oxidación microbiana de la materia orgánica. El hidrógeno y el OH estarán bufferiados por el complejo de intercambio, materia orgánica y óxidos e hidróxidos. En cuanto al fluor, no se sabe bien las especies minerales que lo contienen, pero se piensa que en los suelos neutros y calcáreos estaría como compuestos de calcio.

A partir de estas suposiciones y con los datos de solubilidad de los compuestos mencionados, los autores elaboraron un diagrama de solubilidad de fosfatos, a partir del cual se puede determinar la estabilidad relativa de compuestos fosfatados a varios valores de pH. Este diagrama de solubilidad se desarrolló sobre la base de que los suelos tienden a aproximarse a un equilibrio con ciertos minerales estables, que es probable que estén presentes en el suelo.

Hay que tener en cuenta que bajo muchas condiciones del suelo sin embargo, algunas de estas asunciones puede no ser válida y que muchos de estos equilibrios se alcanzan muy lentamente. Además, cabe hacer la salvedad que el diagrama de solubilidad que proponen estos autores incluye solamente unos pocos de los muchos compuestos fosfatados que pueden estar involucrados en las reacciones del fosfato con los suelos.

2. Comparación entre fuentes de fósforo de aplicación.

Fossales y otros (1962) consideraron el efecto que tiene el pH del suelo en la asimilabilidad relativa del fosfato de roca y el Cuando se evalúa un nutriente simple, en varios fertilizantes, lo que se busca es determinar las unidades de nutriente, de cada fuente testada, que producen el mismo rendimiento de un cultivo que una unidad de nutriente de una fuente standard (Terman, 1960).

Black y Scott señalan, extendiendo los principios del ensayo biológico a la evaluación de fertilizantes, que no se han encontrado métodos satisfactorios para determinar la eficiencia absoluta de una fuente testada, pero los métodos son capaces de determinar la eficiencia relativa con respecto a alguna fuente standard. de gránulo, o de la forma de aplicación, o al

Esto implica comparar, de alguna manera, la respuesta de los cultivos a distintas fuentes del nutriente en cuestión y aún a distintas dosis. La mayoría de las respuestas en rendimiento a dosis altas de aplicación de un nutriente tienden a seguir una curva, ya sea de tipo Mitscherlich o de tipo lineal, y aún es posible ajustar la respuesta del cultivo a una función cuadrática. Como consecuencia de ello, los métodos usados con el fin de comparar fuentes, se basan en las comparaciones de determinados términos que integran la función de respuesta.

Por último, cabe agregar que la mayoría de los autores trabajan en base a la respuesta de las plantas al nutriente, medida ya sea como respuesta en rendimiento en grano, en materia seca, o en contenido de nutriente en la planta.

2.1. Resultados experimentales.

A través de lo que se ha venido exponiendo parece lógico pasar a considerar algunos trabajos prácticos, de campo e invernáculo, que se han llevado a cabo para determinar la eficiencia de distintas fuentes bajo determinadas condiciones experimentales. Entre las diferentes variables que pueden afectar el comportamiento de las distintas fuentes han recibido mayor consideración aquellas que pueden ser definidas de una manera más acabada, como por ejemplo, pH del suelo, tamaño de

gránulo del fertilizante y forma y época de aplicación.

Peaslee y otros (1962) consideraron el efecto que tiene el pH del suelo en la asimilabilidad relativa del fosfato de roca y el superfosfato en diferentes suelos. Ellos expresaron los valores relativos de la fuente como relaciones de coeficientes de asimilabilidad. Esta relación decrece a medida que el pH del suelo aumenta y es esencialmente 0 en suelos con valores de pH de 6.5 o por encima (medido en una suspensión de suelo y agua).

En diversos trabajos se han hecho algunas observaciones del efecto que puede tener el pH en la asimilabilidad de las fuentes de fósforo, pero resulta difícil separar los datos que permiten estudiar aisladamente este efecto; así que se le verá, cuando se comenten los resultados obtenidos al estudiar el efecto del tamaño de gránulo, o de la forma de aplicación, o al gún otro.

Como criterio general, hubiera sido preferible aislar los efectos de los distintos factores con el fin de determinar su importancia separadamente. Frente a la imposibilidad de realizarlo se entendió aconsejable presentar los datos que atañen a tamaño de gránulo, forma de aplicación y solubilidad del agua en forma conjunta, destacando en cada caso la importancia que podrían tener otros factores.

Terman y otros (1960) evaluaron, en experimentos de invierno, la respuesta de los cultivos a una serie de superfosfatos ordinarios y concentrados, amoniados y sin amoniar, y fosfato dicálcico; encontrándose que la amonificación redujo la solubilidad en agua de los superfosfatos.

De sus conclusiones se desprende que con la aplicación en bandas, los rendimientos de materia seca y de fósforo con los superfosfatos amoniados estaban estrechamente relacionados con la cantidad de fósforo soluble en agua aplicada, pero a diferencia del fosfato dicálcico, el tamaño de gránulo era de poca importancia.

Con los fosfatos mezclados en el suelo, ambos, solubilidad en agua y tamaño de gránulo, tuvieron gran influencia sobre los rendimientos en la mayoría de los suelos. Respecto a la respuesta, ésta decrecía al incrementar el tiempo de reacción

(3 y 6 meses) de los superfosfatos con el suelo antes de cultivarlo. Este decrecimiento en la respuesta con el tiempo, fue mucho menor con los superfosfatos granulados que con los finos.

Webb y Pesek (1958) estudiaron la eficiencia de un número de fuentes de fósforo que variaban en su solubilidad en agua, para la fertilización "starter" del maíz. Se colocó el fertilizante en la casilla o en la hilera en el momento de la siembra, con el objetivo de proveer a la semilla germinando, de un suministro adecuado de nutrientes durante el período crítico que sigue al agotamiento de las reservas nutritivas de la semilla y antes del desarrollo del sistema radicular.

Según los autores, el grado de solubilidad en agua del fósforo ejerció una marcada influencia sobre el crecimiento, absorción de fósforo y rendimiento del maíz.

; Todos los experimentos mostraron una tendencia consistente hacia mayores rendimientos con el aumento de la solubilidad en agua del fósforo, a pesar del número de fuentes de fósforo y de la variedad de suelos en que fueron estudiadas.

Se sabe que los fertilizantes difieren en otras propiedades, aparte de la solubilidad, pero estas diferencias ejercieron un pequeño efecto o no lo tuvieron sobre la performance. El pH de los suelos, que tiene normalmente un efecto importante sobre el valor relativo de los fertilizantes fosfatados, varió de 5.3 hasta 8.0, no tuvo una influencia perceptible sobre la respuesta a la solubilidad en agua.

El efecto insignificante de estas propiedades sobre la performance de los fertilizantes se debió probablemente al método de aplicación, que resultó en una concentración del fertilizante en la zona fertilizada y en el dominio de las propiedades de esa zona por el fertilizante más que por el suelo.

Webb y Pesek (1959) evaluaron la eficiencia de un número de fuentes de fósforo -sobre un suelo ácido-, que diferían en su solubilidad en agua y que eran usadas para la fertilización del maíz en aplicaciones al voleo y enterrado por laboreo antes de la siembra.

Los autores sostienen, que pese a que el análisis de va-

riancia de los datos de rendimientos muestra que las fuentes - no afectaron significativamente los rendimientos, igualmente aparecen ligeras tendencias con respecto al efecto fuente.

La conclusión general fue entonces, que sobre los suelos incluidos en el estudio, el grado de solubilidad en agua del fósforo no fue un factor importante en la determinación de la eficiencia de los fertilizantes aplicados al voleo y enterrados con arado para el maíz.

Webb y otros (1961) presentan un estudio de fuentes en aplicaciones al voleo para maíz pero a diferencia del trabajo anterior, éste se llevó a cabo sobre suelos calcáreos.

Las fuentes se podrían ordenar en tres grupos, medidos por su efecto sobre la concentración de fósforo en las hojas de maíz y sobre los rendimientos del mismo.

Se desprende de los resultados que el superfosfato fue más eficiente, como fuente de fósforo, que la mayoría de los fertilizantes escasamente solubles en agua. Sin embargo, es evidente que existieron ciertas diferencias en las eficiencias de los fertilizantes que no pueden ser atribuidas al grado de solubilidad en agua del fósforo. Otras propiedades, tales como la forma química del fosfato y el tamaño de gránulo del fertilizante, se sabía que diferían en los fertilizantes testados. El efecto de estas propiedades no puede ser aislado y solamente se pueden formular hipótesis acerca de su importancia relativa.

En cuanto al tamaño de gránulo, las evidencias indican que la eficiencia de las fuentes de fósforo insolubles en agua aumenta al disminuir el tamaño de partícula, ya que el tamaño de partícula más pequeño provee una superficie adicional e incrementa el contacto suelo-fertilizante, para acelerar la disolución.

De lo expuesto se concluye que el superfosfato, altamente soluble en agua, tendió a ser más eficiente que la mayoría de las fuentes menos solubles en agua que fueron testadas, indicando que el grado de solubilidad en agua del fósforo fue un factor determinante. Sin embargo, esta característica no fue una buena medida de la disponibilidad del fósforo en algunos

fertilizantes, particularmente el fosfato dicálcico dihidratado. Webb y otros (1961) evaluaron varias fuentes de fósforo para la fertilización de avena sembrada en primavera. Los autores estudiaron el efecto de la solubilidad en agua y en algunos casos el de la forma de aplicación.

La reacción del suelo pareció ser el factor individual más importante que influyó en la eficiencia de las fuentes de fósforo y los métodos de aplicación en estos experimentos. El grado de solubilidad en agua del fósforo asumió mucha más importancia sobre los suelos calcáreos que sobre los suelos ácidos.

La tendencia de que haya mayores efectos de fuente en los suelos calcáreos que en los suelos ácidos ha sido observada en otros experimentos de campo en los cuales se compararon fosfatos insolubles en agua con el superfosfato. La performance menos efectiva de las fuentes de baja solubilidad se asumió que era debida, en su mayor parte, a su baja tasa de disolución en los suelos calcáreos.

La tasa de disolución y subsecuente asimilabilidad, puede ser de particular importancia para un cultivo de estación de crecimiento corta, como es la avena de primavera.

En estos experimentos los fertilizantes se aplicaron inmediatamente antes o en el momento de la siembra y tal vez, la aplicación del fertilizante antes del momento de la siembra podría haber reducido la superioridad de los fosfatos altamente solubles en agua.

Los efectos de la localización del fertilizante fueron mucho mayores sobre suelos ácidos que sobre suelos calcáreos. La superioridad para esta forma de aplicación en los suelos ácidos, se asumió que era debida mayormente al hecho de que la localización en bandas minimiza el contacto del fertilizante y el suelo y enlentece la tasa de reversión del fósforo a formas menos solubles.

Algunos experimentos incluyeron el tamaño de partícula del fertilizante como una variable del tratamiento. Los promedios generales mostraron una ligera superioridad para los ferti-

zantes con menor tamaño de partícula, medida a través del rendimiento en materia seca, pero esta superioridad no se puso de manifiesto en lo que respecta al aumento de los rendimientos en grano.

Terman y otros (1961) estudiaron la eficiencia de fosfatos insolubles en agua, que variaban en su solubilidad en citrato y en el tamaño de gránulo.

Prepararon una serie de fosfatos insolubles en agua, que variaban en la solubilidad en citrato desde 23 al 99 del fósforo total, por lavado de varios fertilizantes con agua. Los principales compuestos identificados en los residuos fueron fosfatos dicálcicos y apatitas precipitadas.

En el primer experimento se compararon fosfatos finamente divididos que diferían en su solubilidad en agua.

Las correlaciones lineales entre índice de coeficiente de asimilabilidad (C) y fósforo soluble en agua del fertilizante, podrían explicar gran parte de las diferencias en respuesta de las plantas a las varias fuentes de fósforo.

Los resultados, indican considerables diferencias en la respuesta de las plantas a los residuos, que eran mayores en algunos casos a la respuesta correspondiente a los fertilizantes enteros. Estos resultados sugieren que la respuesta a los fertilizantes enteros, o sin lavar, depende de ambas fracciones, la soluble y la insoluble en agua. Los resultados, a su vez, muestran que la eficiencia de los residuos insolubles en agua fue mucho menor que la del superfosfato dicálcico.

2.2. Validez de las comparaciones.

Parece necesario destacar las dificultades que se presentan al tratar de determinar la eficiencia relativa de algunas fuentes de fósforo, dificultades que se presentan en general al evaluar la mayoría de los fertilizantes.

Terman (1960) discute este problema y opina que es difícil evaluar satisfactoriamente fertilizantes bajo las condiciones variables de experimentos de campo. Solamente en un 50% de los 174 experimentos que se revisan en ese trabajo, podría ser po-

sible medir diferencias significativas entre el superfosfato y otras fuentes solubles en agua o citrato.

La baja proporción de test en los que fue posible medir diferencias entre las fuentes más solubles en fósforo, enfatizan las limitaciones de muchos experimentos de campo para la evaluación de fuentes. Evidentemente, es necesario mejorar la precisión experimental, pero aún en este caso, es aparentemente necesaria la inclusión de cada fuente fertilizante a dosis suficientes como para definir una curva de respuesta para cada una.

El autor concluye que por el alto error experimental encontrado usualmente en la mayoría de los experimentos de campo, la evaluación agronómica inicial de la mayoría de los fertilizantes debería ser hecha en invernáculos. Si se encuentran diferencias más bien amplias en la respuesta entre los fertilizantes en los test de maceta, es posible entonces medir estas diferencias por el tipo usual de experimento de campo. Si se encuentran diferencias pequeñas en los test de macetas, lo siguiente es dar importancia en el experimento de campo a la medida de esa pequeña diferencia, involucrando:

- a) selección cuidadosa de sitios, por uniformidad y respuesta al nutriente testado,
- b) aumento del número de repeticiones, y
- c) uso de varias dosis de cada fertilizante, para describir una curva de respuesta para cada uno.

De lo expuesto hasta aquí, se podrían sacar las siguientes conclusiones.

El valor de los fertilizantes fosfatados como fuentes de fósforo para las plantas depende de la similitud del fósforo en los productos formados como resultado de la reacción entre los fertilizantes y el suelo.

Muchos de los productos iniciales de reacción de fertilizante y suelo, son compuestos capaces de liberar cantidades adecuadas de fósforo para el crecimiento de las plantas. Bajo ciertas condiciones, algunos de los productos muestran una similitud aún mayor que la del fosfato monocálcico.

En general, los fosfatos solubles en agua deben agregarse

Aunque los productos iniciales de reacción son inestables bajo condiciones normales de suelo, ellos pueden persistir por una o más estaciones de crecimiento en una zona localizada, junto a la banda fertilizante. Con el tiempo, sin embargo, todos ellos revierten a compuestos más estables de baja asimilabilidad.

Además, los materiales prontamente asimilables, en las zonas de reacción de los fertilizantes ácidos también precipitan fosfatos complejos de hierro y aluminio. Estos compuestos son relativamente estables bajo condiciones ácidas y proveen cantidades bastantes pequeñas de fósforo para las plantas. A mayores niveles de pH, estos compuestos se hidrolizan, con la precipitación de fosfatos compuestos de hierro y aluminio de composición indefinida, posiblemente en forma de capas superficiales, que pueden impedir el movimiento de la mayoría del fósforo de los cristales cubiertos. Bajo estas circunstancias, el tamaño y área de los cristales iniciales puede ser de fundamental importancia para controlar su utilidad como fuente de fósforo.

Los fosfatos amorfos de hierro y aluminio se encuentran casi siempre entre los productos de reacción de una solución fosfatada -ácida o alcalina-, con el suelo. En su forma inicial, estos fosfatos amorfos parecen ser fuentes moderadamente buenas de fósforo, pero los procesos por los cuales ellos revierten a formas menos asimilables todavía no están aclarados.

La naturaleza y distribución de los varios productos fosfatados de reacción están controlados por la composición de ambos, fertilizante y suelo. Ulteriores estudios más detallados de las condiciones que controlan la formación y redisolución de estas sustancias llevarán a una mejor comprensión de los factores que controlan la asimilabilidad de los fertilizantes.

A estas conclusiones generales, agregaremos algunas otras, con carácter un poco más práctico.

Se desprende de todos los resultados experimentales que para los cultivos anuales son más eficientes, generalmente, las fuentes de fósforo que lo presentan en forma soluble en agua.

En general, los fosfatos solubles en agua deben agregarse

al suelo en aplicaciones localizadas, mientras que los insolubles deben mezclarse íntimamente con el suelo si queremos lograr un buen aprovechamiento de su poder de suministro del nutriente. Es por esta razón que los materiales insolubles en agua se presentan generalmente a la venta con un tamaño de partícula mucho menor que el de los solubles.

También en términos generales, los fosfatos solubles en agua son más eficientes que los insolubles en suelos calcáreos, presentando relaciones variables en suelos neutros o ácidos.

Luego de tener los datos de la eficiencia relativa de las distintas fuentes en un suelo determinado, la decisión de cual se usará estará fundamentada en razones de orden económico, relacionando la eficiencia de las fuentes con el precio de la unidad de fósforo realmente asimilable de cada una de ellas, agregando a éstas consideraciones aquéllas relacionadas con las ventajas de manejo (transporte, almacenamiento y distribución) de los distintos productos disponibles comercialmente.

Sea Y la variable dependiente, y X_1, X_2, \dots, X_n las variables independientes (X_1, \dots, X_n), de tal modo que

$$Y = f(X_1, \dots, X_n)$$

En nuestro caso, se procurará en primer término relacionar el rendimiento con el suministro de nutrientes.

1. Funciones de respuesta para un solo nutriente.

Bawa (1965) señala que se han usado dos aproximaciones generales en el desarrollo de expresiones matemáticas para relacionar la cantidad de elementos nutritivos presentes y al crecimiento vegetal:

- 1) Intentos para definir un modelo que exprese las leyes básicas del crecimiento vegetal y que éste ajuste los datos experimentales en forma más o menos rígida.
- 2) Los datos son estudiados por métodos estadísticos y se desarrollan ecuaciones polinómicas empíricas, sin asumir que la misma deba expresar las causas subyacentes.

de vista lógico e intuitivo, que al estar basado en relaciones biológicas, tiene valor causal y por lo tanto alto grado de generalización.

Sin embargo, los sistemas biológicos más simples son relativamente complejos y difíciles de obtener.

En los siguientes párrafos se discutirán algunos de los modelos funcionales que tienen justificación biológica.

E. Funciones de respuesta

Ley de Liebig e Ley del Mínimo. Por la deficiencia o ausencia

A fin de cuantificar el efecto que ciertos factores tienen o pueden tener en el rendimiento final, se hace necesario postular relaciones matemáticas, en las cuales una variable, el rendimiento u otra expresión del crecimiento vegetal, sea una función de otras variables, cuya variación genera o se asocia con variaciones en el rendimiento. A la primera se le llama variable dependiente (Y), y a las otras, variables independientes (x,..... xn), de tal modo que (factores limitantes).

Esta ley sugiere que $Y = f(x, \dots, x_n)$ es condicionado en su rapidez por un número de factores limitantes, la velocidad del

En nuestro caso, se procurará en primer término relacionar el rendimiento con el suministro de nutrientes.

1. Funciones de respuesta para un solo nutriente.

Bawn (1965) señala que se han usado dos aproximaciones generales en el desarrollo de expresiones matemáticas para relacionar la cantidad de elementos nutritivos presentes y el crecimiento vegetal:

- 1) Intentos para definir un modelo que exprese las leyes básicas del crecimiento vegetal y que éste ajuste los datos experimentales en forma más o menos rígida.
- 2) Los datos son estudiados por métodos estadísticos y se desarrollan ecuaciones polinomiales empíricas, sin asumir que la misma deba expresar las causas subyacentes.

La primera aproximación es más interesante desde el punto de vista lógico e intuitivo, ya que al estar basado en relaciones biológicas, tiene valor causal y por lo tanto alto grado de generalización.

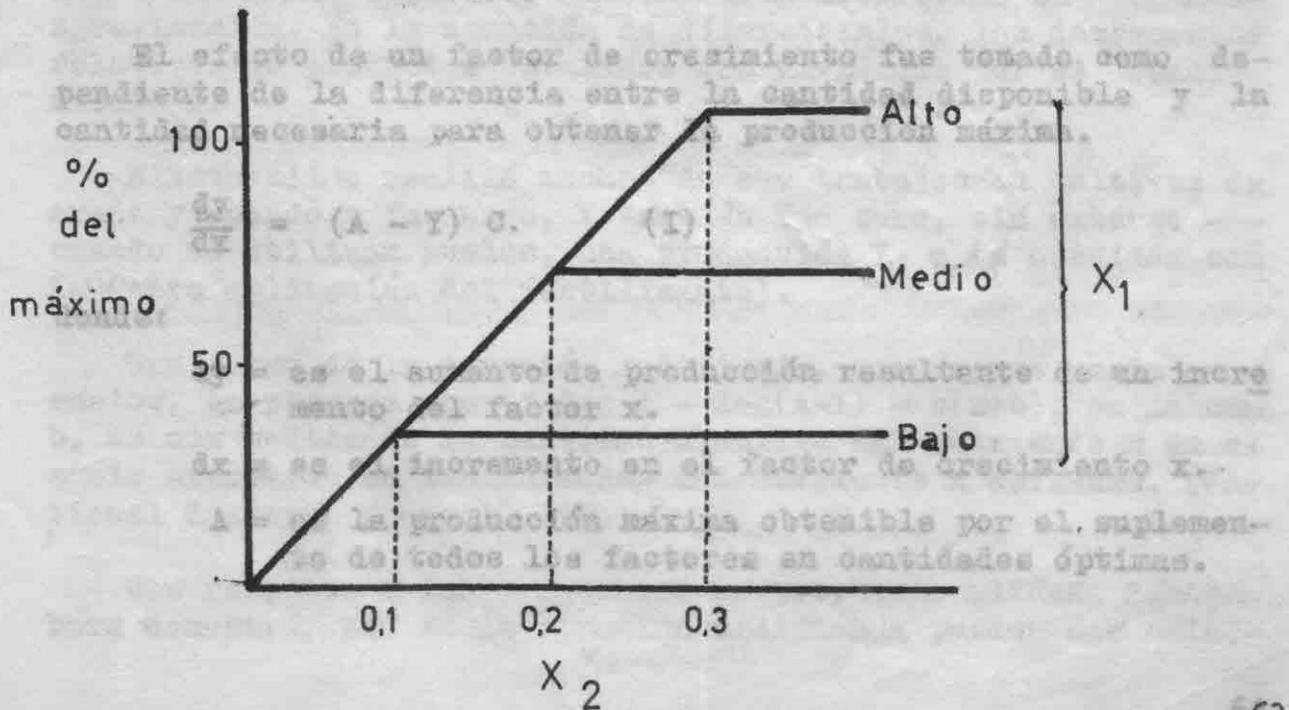
Sin embargo, los sistemas biológicos más simples son relativamente complejos y difíciles de obtener.

En los siguientes párrafos se discutirán algunos de los modelos funcionales que tienen justificación biológica.

Ley de Liebig o Ley del Mínimo. Por la deficiencia o ausencia de un constituyente necesario, estando todos los otros presentes, el suelo se vuelve estéril para todas aquellas cosechas en las cuales el constituyente es indispensable. De otra forma, el crecimiento no puede ser mayor que aquel determinado por el factor más escaso.

Ley de Blackman (El óptimo y los factores limitantes).

Esta ley sugiere que cuando un proceso es condicionado en su rapidez por un número de factores limitantes, la velocidad del proceso es limitada por el factor más lento. Esto ha sido interpretado por el autor como se ve en la figura. "factor desde el máximo".



Esta sugiere que cuando uno de los factores x_1 o x_2 , se ve limitado, se produce un abrupto cese del crecimiento.

Cuando se realizaron ensayos para confirmar este concepto, rara vez se encontraron curvas rectas y ángulos. Como resultado de esto, las ideas de Liebig y Blackman fueron seriamente criticadas. Esto no significa que la ley del mínimo no rija, ya que es la que siempre se da desde el momento en que 1 factor se hace limitante.

La ecuación de Mitscherlich es empírica y es objeto de mucha controversia, sobre todo acerca del factor C del crecimiento. Ley de los incrementos decrecientes. Mitscherlich desarrolló una ecuación que relaciona el crecimiento de las plantas al suministro de nutrientes. Observó que cuando las plantas fueron suplementadas con cantidades de todos los nutrientes menos uno, el crecimiento era proporcional a la cantidad de ese elemento limitante -- que era suplementado por el suelo. El crecimiento de las plantas se incrementó cuando ese factor de crecimiento fue adicionado, pero no en proporción directa a la cantidad agregada del mismo.

La ley de Mitscherlich establece que: "El incremento en una cosecha producido por una cantidad de incremento de un factor deficiente, es proporcional al decremento de aquel factor desde el máximo".

El efecto de un factor de crecimiento fue tomado como dependiente de la diferencia entre la cantidad disponible y la cantidad necesaria para obtener la producción máxima.

Mitscherlich realizó muchos de sus trabajos en cultivos de arena y cuando $\frac{dy}{dx} = (A - Y) C$, $Y = 0$ (I) aún fue cero, sin embargo -- cuando utilizan suelos, una producción Y_0 está asociada con X_0 (cero aplicación del fertilizante).

donde:

dy = es el aumento de producción resultante de un incremento del factor x .

dx = es el incremento en el factor de crecimiento x .

A = es la producción máxima obtenible por el suplemento de todos los factores en cantidades óptimas.

Con respecto a las constantes de proporcionalidad, Rastenburg demostró, que en la ecuación modificada pueden ser calcu-

$Y =$ es la producción obtenida antes de darle alguna cantidad de ese factor x . por medio de las siguientes ecuaciones (National Research Council, 1961).
 $C =$ constante de proporcionalidad, la cual depende de la naturaleza del factor de crecimiento.

Por integración y asumiendo que $Y = 0$ cuando $x = 0$,

$$Y = A (1 - e^{-Cx}) \quad (2)$$

La ecuación de Mitscherlich es empírica y es objeto de mucha controversia, sobretodo acerca del factor C del crecimiento.

1) Mitscherlich estableció que C permanece constante para cada factor de crecimiento y que no es afectado por el cultivo o por las condiciones ambientales presentes. Sin embargo pudo demostrarse que la constante C es función del suelo y del material fertilizante.

2) La ecuación de Mitscherlich además caracteriza una curva de respuesta que se aproxima asintóticamente a un máximo A , sin que haya posibilidad de rendimientos decrecientes gradualmente mayores luego de alcanzado el máximo.

Estas constituyen dos limitaciones importantes y para eliminar la última objeción, Mitscherlich desarrolló su segunda aproximación. En la ecuación de diferenciales, los incrementos relativos de productos obtenidos son divididos por el rendimiento Y .

Mitscherlich realizó muchos de sus trabajos en cultivos de arena y cuando x fue cero, Y también fue cero, sin embargo -- cuando se utilizan suelos, una producción Y_0 está asociada con X_0 (cero aplicación del fertilizante).

Una forma de la ecuación modificada, comunmente usada en suelos, se plantea como : $\text{Log } A - \text{log}(A-Y) = c(x+b)$, en la cual b , es una medida de la cantidad efectiva del nutriente x en el suelo expresado en las unidades del nutriente x aplicado. (National Research Council. 1961).

Con respecto a las constantes de proporcionalidad, Rautemberg demostró, que en la ecuación modificada pueden ser calcu-

ladas con tres valores de $Y(y_0, y_1, y_2)$ a tres niveles de $X(x_0, x_1, x_2)$ en la cual $x_2=2x_1$ por medio de las siguientes ecuaciones (National Research Council, 1961).

Esta curva tiene una asíntota inferior para $y=0$, otra para valores de $Y=A$, y el punto de inflexión es a valores de $Y=\frac{A}{2}$, intermedios entre las $A = \frac{Y_1 - Y_0 Y_2}{2Y_1 - Y_0 - Y_2}$

De esta forma tenemos la curva sigmoide. Este modelo es muy útil y debería ser usado para caracterizar el retardo inicial del crecimiento. Se puede usar para valores muy bajas, mostrando pequeños incrementos en un amplio rango de aplicación del factor considerado, y también cuando se da competencia entre el suelo y la planta por $c = \frac{\log A - \log (A-Y)}{x + b}$ fijación del P, inmovilización de N). En las situaciones usuales este retardo inicial no es observable.

Baule (1961) señaló una interesante propiedad de la ecuación de Mitscherlich que permite hacer lo mismo más fácilmente por métodos no matemáticos.

Primero, expresó los rendimientos en términos relativos, expresados como porcentaje de la producción máxima, con $A=100$.

Determinó una cantidad de x , a la cual llamó "efecto cantidad" y la designó h , de tal forma que, h unidades de x permitan alcanzar la mitad del rendimiento total A . El señala que h es inversamente proporcional a la constante de proporcionalidad C .

En los casos de cultivo sobre arena, $1h$ produce $0,5A$ de rendimiento, $2h$ producen $0,75 A$, $3h$ producen $0,875 A$.

La función Logística. La función logística es comunmente usada para ajustar curvas de crecimiento en poblaciones y puede ser expresada de la siguiente forma

$$Y_t = \frac{K}{1 + be^{-at}}$$

donde a , b y K son parámetros estimados con los datos observados e Y_t es el valor del carácter de crecimiento estudiado en

un tiempo t . Para modelos de respuesta al uso de fertilizantes, debemos sustituir x por t . Formas y ser aplicadas con los mismos procedimientos de ajuste.

Esta curva tiene una asíntota inferior para $y=0$, otra para valores de $Y=K$, y el punto de inflexión es a valores de $Y=\frac{K}{2}$, intermedios entre las dos asíntotas.

Discusión de la aplicación de Modelos Exponenciales,

Cobb Douglas y Polinomiales.
De esta forma tenemos la curva signoide. Este modelo es muy útil y debería ser usado para caracterizar el retardo inicial del crecimiento. Este se presenta cuando las cantidades del factor de crecimiento en el suelo son muy bajas, mostrando pequeños incrementos en un amplio rango de aplicación del factor considerado, y también cuando se da competencia entre el suelo y la planta por ese factor (Ejemplo: fijación del P, inmovilización de N). En las situaciones usuales este retardo inicial no es observable.

La función de Cobb-Douglas. $Y = ax^b$
Ha sido empleada como modelo de varias investigaciones económicas. En esta ecuación, Y es el rendimiento, a y b son constantes, con x como el nivel del factor. La ecuación puede ser escrita en forma lineal como

Un procedimiento $\log Y = \log A + b \cdot \log x$ función es examinar las posibles aplicaciones de las funciones y seleccionar una que mejor ajuste los datos. La forma más corriente de caracter

Funciones Polinomiales. Los términos en una ecuación polinomial de datos, es a través de nomial pueden variar de uno a $n-1$, cuando n es el número de niveles del factor x . La variable dependiente, explicada por la regresión, en las variables independientes. Las ecuaciones de primer grado, describen una línea recta, mientras que las ecuaciones de segundo grado (o cuadráticas), describen una curva monótona. Cuando los datos son examinados en

experimentos con repeticiones (más de una observación en cada nivel) la magnitud de la falta de ajuste que es dada por el análisis de variancia de la regresión.

Correspondencia a la probabilidad de desviaciones de la regresión que

Lineal: $Y = B_0 + B_1 x$
Cuadrática: $Y = B_0 + B_1 x + B_{11} x^2$

Cúbica: $Y = B_0 + B_1 x + B_{11} x^2 + B_{111} x^3$

General: $Y = B_0 + B_1 x + \dots + B_{(n-1)} x^{(n-1)}$ los

Las x pueden ser transformadas en raíces cuadradas, logarítmicas, recíprocas o otras formas y ser aplicadas con los mismos procedimientos de ajuste.

Heady y otros () citados por Bawn (1965) encontraron que el ajuste fue mayor usando la transformación de raíz cuadrada para la variable x en el modelo logarítmico.

Discusión de la aplicación de Modelos Exponenciales, Cobb - Douglas y Polinomiales.

Las funciones mencionadas son solamente algunas de las mejor conocidas de un gran número de funciones posibles. El problema entonces es elegir la mejor función, decisión que no puede ser tomada a partir de una serie de reglas.

Usando procedimientos de mínimos cuadrados el valor de las constantes puede ser computado. Estos procedimientos dan el mejor ajuste para las formas particulares del modelo, en el sentido de describir una curva desde la cual las desviaciones de los cuadrados medios de los puntos individuales de la curva son un mínimo. No se puede pretender que alguna de las funciones representen leyes biológicas fundamentales, aunque es posible racionalizar la forma de una función particular en una situación particular.

Un procedimiento de elección de la mejor función es examinar las posibles aplicaciones de las funciones y seleccionar una que mejor ajuste los datos. La forma más corriente de caracterizar la adecuabilidad de un modelo de regresión a una serie de datos, es a través del coeficiente de determinación (r^2) que mide en %, la fracción de la variación en la variable dependiente, explicada por la regresión, en las variables independientes.

Un procedimiento útil, cuando los datos son examinados en experimentos con repeticiones (más de una observación en cada incremento), es tener en cuenta la magnitud de la falta de ajuste que es dada por el análisis de variancia de la regresión. Corresponde a la porción de las desviaciones de la regresión que no son debidas al error experimental.

Johson y Heady () citados por Bawn (1965) examinaron tres modelos de funciones para ajustar curvas y concluyeron que los

modelos polinomiales cuadráticos dan generalmente los mejores ajustes.

Heady y otros () citados por Brawn (1965) encontraron que el ajuste fue mayor usando la transformación de raíz cuadrada para la variable x , en el modelo cuadrático.

Las funciones de Mitscherlich y Cobb-Douglas obviamente dan un peor ajuste cuando la producción se deprime a las dosis altas de nutrientes, particularmente con nitrógeno.

Una alternativa a seguir podría ser, descartar aquellas observaciones más allá de la producción máxima y ajustar la función exponencial o de Cobb-Douglas, usando el razonamiento de que nos interesa sólo ese trozo de la curva. Esto puede parecer una técnica de poco valor estadístico ya que se está desechando información e introduciendo cierto grado de subjetividad dentro del análisis.

Una ventaja particular de la función de Mitscherlich es que ésta da resultados razonables cuando son extrapolados valores de x .

Stevens () citado por Bawn (1965) se manifiesta contra estas extrapolaciones y puntualiza que los errores Standard de los valores predichos se vuelven mayores a medida que los valores se aproximan a la asíntota. Es necesario para establecer la generalización absoluta de la fórmula, sólidas justificaciones biológicas, gran número de observaciones, o ambos.

El mismo autor puntualiza que esto es posible en algunos modelos físicos, pero no en biología.

Dos últimas ventajas han sido señaladas para las polinomiales.

Primero, éstas son fáciles de ajustar por procedimientos de mínimos cuadrados y es posible obtener estimaciones de los errores standard de las estimaciones.

Segundo, es la más flexible de las tres funciones en cuanto a sus posibilidades de extensión; en efecto, es posible adicionar términos en un polinomio, debido a su propiedad expan

siva lo cual da la posibilidad de incluir un número mayor de variables. Esto lleva la ventaja adicional de ser más aplicables a una serie de experimentos individuales conducidos en un número determinado de localidades y años.

cuando, x y x' son las cantidades de un factor L, cuando las cantidades de otro factor M permanecen constantes, entonces:

2. Funciones de respuesta para más de un nutriente.

Algunas de las funciones consideradas pueden ser generalizadas para dar una expresión matemática de la configuración geométrica de una superficie de respuesta cuando son considerados dos o más factores.

Se han acumulado suficientes datos de experimentos factoriales con fertilizantes para dar alguna indicación de la naturaleza de la interacción entre nutrientes. Comunmente la interacción entre N y P fue positiva, mientras fueron negativas las interacciones entre N y K. En la práctica estas interacciones no pueden ser ignoradas. Para especificar la dosis óptima económica y la mezcla de fertilizantes que tienen mínimo costo, es insuficiente determinar la curva de respuesta para cada nutriente individual, dejando todos los otros constantes, a un nivel uniformemente alto o bajo. Ignorando las interacciones podríamos sobreestimar o subestimar las dosis óptimas, dependiendo del signo de la interacción. Esto podría resultar también en especificaciones poco satisfactorias de las combinaciones de mínimos costos de los elementos.

donde:

La función de Milscherlich-Baule para superficie de Respuesta.

Baule (1965) generalizó la función de Milscherlich dejando constantes los supuestos fundamentales. Supuso que: 1) cada uno de los factores que influyen en el crecimiento tienen efectos independientes; y 2) existe un factor de eficiencia C constante y característico para cada nutriente.

$$Y = A(1 - e^{-C_1 X_1})(1 - e^{-C_2 X_2})(1 - e^{-C_3 X_3})$$

Russell (1961) ilustró la independencia de los factores de la siguiente forma. Experimentos factoriales repetidos, usando procedimientos de mínimos cuadrados para estimar las constantes. Si Y e Y' representan la producción cuando, x y x' son las cantidades de un factor L, cuando las cantidades de otro factor M permanecen constantes, entonces: puesta, usando como criterio la magnitud de la falta de ajuste del cuadrado medio. Sin embargo, es una función $\frac{Y}{Y'} = \frac{(1 - e^{-cx})}{(1 - e^{-cx'})}$ trabajar comparada con otras, razón por la que ha sido usada.

Esta relación es independiente del valor de A.

Las estimaciones de interacción entre nutrientes en la función de Baule surgen de que las diferencias entre y e y' no permanecen constantes para las diferentes niveles de x.

Ecuaciones multivariadas hipérbolas. (Fórmula de Resistencia de Maskell). La idea central de esta fórmula es que el recíproco de la producción, $\frac{1}{Y}$, es la suma de numerosas porciones, cada una de las cuales es función o efecto de un nutriente.

$$\frac{1}{Y} = F(N) + F'(P) + F''(K) + \dots + C$$

Y = producción

$$F(N), F'(P), F''(K) = \frac{a_n}{n+N}, \frac{a_p}{p+P}, \frac{a_k}{k+K}$$

donde:

+ N, P, K = cantidades de nutrientes agregados.

n, p, k = representan las cantidades de los nutrientes disponibles en el suelo.

a_n, a_p, y a_k = constantes que expresan la importancia de los nutrientes para la cosecha.

b_{ii} = son los coeficientes cuadráticos.

Esta expresión asume que cada factor actúa independientemente de todos los otros, pero fija la diferencia de $\frac{1}{Y} - \frac{1}{Y'}$ como constante.

Balmukand (1961) ilustró la aplicación de la función a datos provenientes de experimentos factoriales repetidos, usando procedimientos de mínimos cuadrados para estimar las constantes, y obtuvo estimaciones apropiadas de los errores estándar de las estimaciones de las constantes. Además alcanzó satisfactorio ajuste de la superficie de respuesta, usando como criterio la magnitud de la falta de ajuste del cuadrado medio. Sin embargo, es una función muy difícil de trabajar comparada con otras, razón por la cual ha sido poco usada. Los términos lineales son positivos y los términos cuadráticos son negativos.

La función de Cobb-Douglas generalizada. Procedimientos de regresión múltiple y manipulación algebraica simple. Además, de la propiedad de la ecuación tiene isocuantas elípticas, isoclinas lineales, productos físicos marginales -- n = número de factores considerados.

Puede ser escrita bajo forma logarítmica

$$\log Y = \log a + b \log X_1 + c \log X_2 + \dots + n \log X_{n-1}$$

Transformación de Rein-Cuadrada de la ecuación cuadrática.

Se resuelve por el método de mínimos cuadrados.

Cuando se ajustan los mismos datos de la función cuadrática, La función polinomial. La función polinomial puede tomar una gran variedad de formas para -- un número dado de factores, dependiendo del grado de la función y la escala en que las variables son expresadas.

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_{11}x_1^2 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_3x_3 + \dots + b_mx_n^2 + b_{n2}x_nx_1 + \dots + b_{np}x_nx_p.$$

X_1, X_2, \dots, X_n = son los nutrientes

b_i = son los coeficientes lineales.

b_{ii} = son los coeficientes cuadráticos.

Una ecuación que contenga todos los términos de primer orden define un plano, una conteniendo los términos de primer y segundo grado definen una superficie cuadrática.

Cuando la respuesta a nutrientes elementales sigue la ley de los incrementos decrecientes, el signo de los coeficientes de los términos lineales son positivos y el signo de los coeficientes cuadráticos son negativos.

El coeficiente del término interacción puede ser positivo o negativo dependiente del signo de la interacción.

La ecuación presenta un máximo, cuando los términos lineales son positivos y los términos cuadráticos son negativos.

Es una función fácilmente ajustada por procedimientos de regresión múltiple y manipulación algebraica simple. Además, de la propiedad de tener un máximo esta ecuación tiene isocuantas elípticas, isoclinas lineales, productos físicos marginales -- lineales. que se quieren obtener y de los medios materiales para desarrollar el trabajo.

Las isoclinas convergen a un máximo.

Transformación de Raíz-Cuadrada de la ecuación cuadrática.

Se sustituye los x , por x_i .

Cuando se ajustan los mismos datos de la función cuadrática, los valores de la ecuación de raíces cuadradas alcanzan valores mayores más rápidamente, mostrando un máximo más amplio y a valores más altos que la cuadrática.

un problema fundamental de la fertilidad de suelos.

En la mayoría de los sistemas, gran número de factores influyen en cada variable dependiente. Lo tradicional han sido experimentos, donde se modifica un factor por vez, dejando los otros constantes a un nivel uniforme alto o bajo.

Desafortunadamente, a menudo no se reconoció que los resultados obtenidos dependían de esas condiciones específicas que permanecían constantes.

Haden y otros (1957) indican que una información mucho más generalizable se obtiene cuando varios de los factores bajo estudio, varían simultáneamente, de forma tal que es posible estimar los efectos específicos de cada factor a diferentes ni-

valores de cada uno de los otros factores incluidos en el estudio.

En lo fundamental, durante mucho tiempo estas investigaciones tuvieron un carácter cualitativo o semicuantitativo, hoy día, sin embargo, poseen un carácter esencialmente cuantitativo.

En el primer caso el objetivo era detectar diferencias significativas entre tratamientos de fertilizantes. **F. Diseños experimentales**
análisis de variancia.

En el segundo caso, se pretende estimar la variación del rendimiento.

El diseño experimental es sólo una herramienta del método científico utilizado en una investigación, que depende del tipo de problema que se quiera estudiar, naturaleza de las conclusiones que se quieran obtener y de los medios materiales -- para desarrollar el trabajo.

Estudios de Dosis y Combinaciones de fertilizantes.

Antes de discutir alternativas de diseños experimentales, parece necesario revisar someramente la evolución que ha sufrido la orientación del estudio de dosis y combinaciones de fertilizantes.

La identificación y caracterización cuantitativa de las relaciones entre las variables independientes y dependientes es un problema fundamental de la fertilidad de suelos.

En la mayoría de los sistemas, gran número de factores influyen en cada variable dependiente. Lo tradicional han sido experimentos, donde se modifica un factor por vez, dejando los otros constantes a un nivel uniforme alto o bajo.

Desafortunadamente, a menudo no se reconoció que los resultados obtenidos dependían de esas condiciones específicas que permanecían constantes.

Hades y otros (1957) indican que una información mucho más generalizable se obtiene cuando varios de los factores bajo estudio, varían simultáneamente, de forma tal que es posible estimar los efectos específicos de cada factor a diferentes ni-

veles de cada uno de los otros factores incluidos en el estudio.

En lo fundamental, durante mucho tiempo estas investigaciones tuvieron un carácter cualitativo o semicuantitativo, hoy día, sin embargo, posee un carácter esencialmente cuantitativo.

En el primer caso el objetivo era detectar diferencias significativas entre tratamientos de fertilizantes, utilizando el análisis de variancia.

En el segundo caso, se pretende estimar la variación del rendimiento debida a aplicaciones sucesivas de varios fertilizantes en todo el rango de respuesta.

La relación continua entre rendimiento y nivel de fertilización se expresa por medio de un modelo matemático estimado estadísticamente por regresión múltiple.

Asumiendo entonces la continuidad de la función rendimiento, pierde utilidad el análisis de variancia como herramienta estadística, dada su finalidad eminentemente cualitativa, para dar lugar al análisis de regresión múltiple. Esto último permite estimar en base a datos experimentales apropiados, los parámetros de la función aproximativa de rendimiento.

Esta función tiene la suficiente amplitud como para incluir como variables independientes no solo los fertilizantes, sino también la disponibilidad de los mismos en el suelo y otros factores de producción manejables o no manejables. De esta forma es posible obtener en una sola investigación por lo menos cuatro tipos de resultados (Tejeda, 1969). Es decir que se logra:

a) Calibrar el análisis de suelo con la respuesta al fertilizante.

b) Estimar la naturaleza de la respuesta a varios nutrientes, incluyendo la interacción.

c) Estimar el efecto de los factores edáficos y ambientales que modifican la respuesta del rendimiento a la fertilización.

d) Realizar el análisis económico marginal, cuyos resultados sirvan para recomendar dosis económicamente óptimas de fertilizantes a los agricultores.

Para un cultivo en una zona agroecológica determinada, el plan experimental consiste en términos generales, en la realización de un número de experimentos de superficie de respuesta.

Estos experimentos se distribuyen en el área de estudio de manera tal de cubrir los principales tipos de suelo y se deben repetir durante 2 ó 3 años de forma tal de cubrir el rango de condiciones climáticas que se presentan en la zona.

Diseños de tratamientos para estimar superficies de respuesta

Alguna consideración de las combinaciones de tratamientos que pueden ser usadas en los experimentos de superficie de respuesta deben ser precedidas por cuidadosos estudios de la forma de la función de respuesta, pues es posible elegir combinaciones de tratamientos que permitan suministrar la máxima información por observación (E.L. Bawn, 1965).

En ausencia de este conocimiento, dos alternativas pueden ser seguidas:

1) Una secuencia de experimentos, empezando con diseños simples y agregando posteriores observaciones en aquellos tratamientos que se consideran más importantes.

2) En un experimento simple, una serie de combinaciones de tratamientos que permite cubrir un rango amplio de niveles con la posibilidad de ajustar modelos alternativos.

La primera alternativa es usada frecuentemente en la experimentación industrial para la investigación de superficie de respuesta, porque el complejo ambiental puede ser controlado adecuadamente por experimentos llevados a cabo en tiempos diferentes.

En la experimentación parcelaria, la experimentación secuencial con experimentos individuales es difícil a causa del tiempo requerido para completar una secuencia simple y porque

muchas variables ambientales, particularmente las variaciones estacionales no pueden ser puestas bajo control, por lo menos económicamente.

Esto permite la selección de los factores más importantes para una experimentación más intensiva, o alternativamente permitir el descarte de las variables que no presentaron respuesta.

1. Factoriales completos. Usados para proveer información acerca del rango de las dosis que pueden ser usadas en experimentos posteriores.

Se definen como aquellos diseños en los cuales los tratamientos son formulados tomando todas las combinaciones posibles entre los niveles seleccionados de cada factor. Estos son frecuentemente usados para generar datos para estimar superficies de respuesta.

El diseño factorial completo no especifica nada acerca de la forma en la cual las unidades experimentales deben ser organizadas. La palabra factorial se refiere solamente al arreglo de los tratamientos, de esta forma, un diseño factorial puede ser superpuesto sobre algunos de los diseños experimentales comúnmente usados, como por ejemplo, bloques al azar.

Los factoriales permiten un buen ajuste de las funciones de respuesta debido a que permiten estimar las interacciones y proveen un número suficiente de observaciones.

Breve descripción de los factoriales más comúnmente usados.

Los diseños de primer orden, son los factoriales 2^n . Estos diseños son poco empleados para ensayos de superficie de respuesta.

La biología, tanto en la teoría como en la práctica, ha de mostrado la naturaleza curvilínea, especialmente en la región de interés económico.

Los experimentos factoriales 2^n deben ser considerados como de gran valor en experimentos exploratorios o preliminares de fertilización.

Estos pueden ser usados para establecer la magnitud de respuesta de un cultivo teniendo en cuenta los principales factores de crecimiento en nuevas áreas o con nuevos cultivos, junto con alguna medida de interacción.

Esto permite la selección de los factores más importantes para una experimentación más intensiva, o alternativamente permitir el descarte de las variables que no presentaron respuesta. También pueden ser utilizados para proveer información acerca del rango de las dosis que pueden ser usadas en experimentos posteriores.

Los factoriales 3^n , implican que los tratamientos se componen de todas las posibles combinaciones de 3 niveles de n factores.

Este permite el ajuste de una ecuación de segundo grado o una superficie de respuesta, pero es difícil elegir solamente tres niveles para un adecuado muestreo, especialmente cuando las variables incontrolables por el hombre deben ser tenidas en cuenta.

Los factoriales 4^n y 5^n , han sido utilizados en los estudios de fertilización. El número de niveles de cada nutriente, se aproxima al número de tratamientos que el investigador desea usar, de forma tal de obtener muestras en un rango amplio de respuesta. La principal desventaja de los factoriales de alto grado es el número de combinaciones de tratamientos requeridos para los experimentos y se vuelve prácticamente prohibitivo cuando el número de factores exceden a dos. Por ejemplo un factorial 4^3 requiere 64 combinaciones de tratamientos para una repetición, mientras 125 tratamientos se requieren para un factorial completo 5^3 . Además, las interacciones de orden superior, estimadas cuando se trabaja con más de dos factores, no tienen un significado agronómico claro.

Estos diseños han sido desarrollados por Box y Wilson para generar datos experimentales apropiados para la estimación de los parámetros de funciones de respuesta por medio de una ecuación de segundo grado de la forma

$$Y = (B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_rX_r) + (B_{11}^2X_1^2 + B_{22}^2X_2^2 + \dots + B_{rr}^2X_r^2) + (B_1 B_2 X_1 X_2 + B_2 B_3 X_2 X_3 + \dots + B_1 B_n X_1 X_n)$$

2. Factoriales parciales.

Se caracterizan por regular un número menor de tratamientos que los factoriales fraccionados para estimar un número de coeficientes (β_i) y proporcionar estimaciones estadísticas tan buenas o mejores, en relación al número de observaciones.

Numerosos investigadores se han aproximado a la solución del problema que representa el número tan alto de combinaciones de tratamientos requeridos por los factoriales completos, usando parte de los tratamientos requeridos.

Otra posibilidad es utilizar el principio del confundido, en que el efecto de las interacciones de orden superior se confunde con el efecto block, con lo cual se puede disminuir el número total de unidades experimentales sin eliminar la estimación del error experimental.

Según Heady y Dillon (1961), desde un punto de vista estadístico el uso de los factoriales fraccionarios, para estimar superficies de respuesta, no es enteramente satisfactoria. Además, si el efecto de los términos confundidos o no tomados en cuenta son importantes, podemos obtener una idea falsa del proceso productivo.

Los parámetros estimados pueden ser sesgados por la omisión de efectos significativos de alto orden que son perdidos.

En resumen, los factoriales fraccionarios no son tan satisfactorios como los diseños más específicos para estimar superficies de respuesta, pero tienen mucho mérito.

3. Diseños compuestos.

Cuando el error estándar es el mismo para todas las partes que se encuentran a igual distancia del centro, estamos frente a un diseño central compuesto rototable. En este caso el valor de σ^2 es el mismo para todos los puntos.

Estos diseños han sido desarrollados por Box y Wilson para generar datos experimentales apropiados para la estimación de los parámetros de funciones de respuesta por medio de una ecuación de segundo grado de la forma

$$Y = (B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_rX_r) + (B_{11}^2X_1^2 + B_{22}^2X_2^2 + \dots + B_{rr}^2X_r^2) + (B_1 B_2 X_1 X_2 + B_2 B_3 X_2 X_3 + \dots + B_r B_n X_r X_n)$$

Se caracteriza por requerir un número menor de tratamientos que los factoriales fraccionados para estimar un número dado de coeficientes (β_i) y proporcionar estimaciones estadísticas tan buenas o mejores, en relación al número de observaciones requeridas por un factorial completo.

El diseño compuesto, más frecuentemente usado, consiste de un factorial completo o parcial 2^K , suplementado con puntos adicionales o tratamientos, de forma tal, que todos los coeficientes de un polinomio de segundo grado de k factores pueden ser estimados. Si esos tratamientos extra son arreglados simétricamente alrededor del centro del factorial, resulta un diseño central compuesto.

Para construir un diseño central compuesto, $2K+1$ tratamientos suplementarios tienen que ser arreglados sobre la base del factorial 2^K . Uno de esos tratamientos adicionales es colocado en el centro del diseño y se codifica su valor, quedando como $(0, 0, 0, \dots, 0)$. Los otros 2^K tratamientos adicionales son colocados en pares a lo largo de los ejes coordenados a distancias de $\pm \alpha_1, \pm \alpha_2, \dots, \pm \alpha_K$, desde el centro, respectivamente.

Los valores codificados son $(\pm \alpha, 0, 0, 0, \dots, 0)$ $(0, \pm \alpha_2, 0, \dots, 0)$ $(0, 0, \dots, \pm \alpha_K)$. Por conveniencia es deseable que los valores de x sean iguales o lo que es lo mismo, que los $2K$ puntos experimentales no-centrales sean equidistantes del centro del diseño.

De los resultados experimentales se puede calcular el error estándar de Y_u para cualquier punto de la superficie ajustada y este error es una función de las coordenadas X_{iu} del punto.

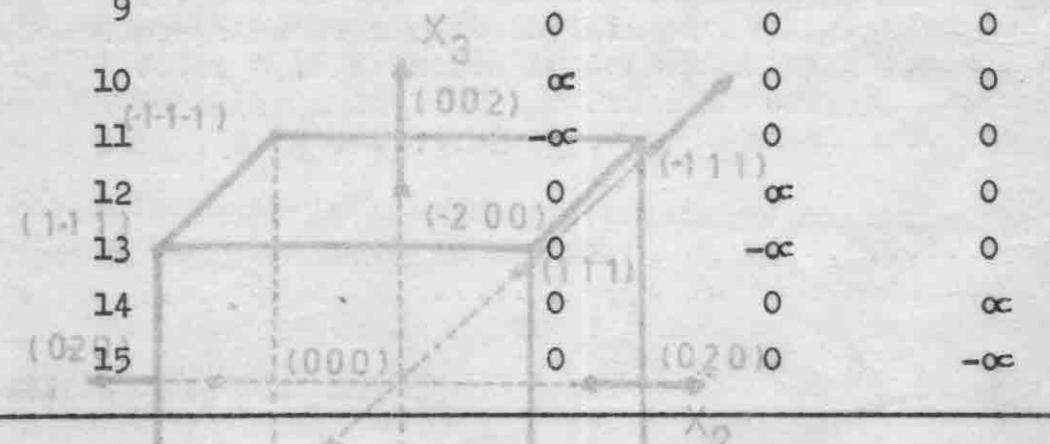
Cuando el error estándar es el mismo para todos los puntos que se encuentran a igual distancia del centro, estamos frente a un diseño central compuesto rotatable. En este caso el valor de x para los $2K$ puntos suplementarios es $2k/4$, siendo K el número de variables consideradas en el factorial $2K$. (Hadar y otros, 1957).

Como ejemplo, consideraremos el diseño central compuesto para el estudio de tres factores, X_1, X_2, X_3 , mostrados en la tabla 1.

CUADRO 2. Diseño central compuesto para tres factores

Tratamiento	X_1	X_2	X_3
1	1	1	1
2	1	1	-1
3	1	-1	1
4	1	-1	-1
5	-1	1	1
6	-1	1	-1
7	-1	-1	1
8	-1	-1	-1
9	0	0	0
10	α	0	0
11	$-\alpha$	0	0
12	0	α	0
13	0	$-\alpha$	0
14	0	0	α
15	0	0	$-\alpha$

Sobre la base de un $(1/2)2^k$ factoriales.

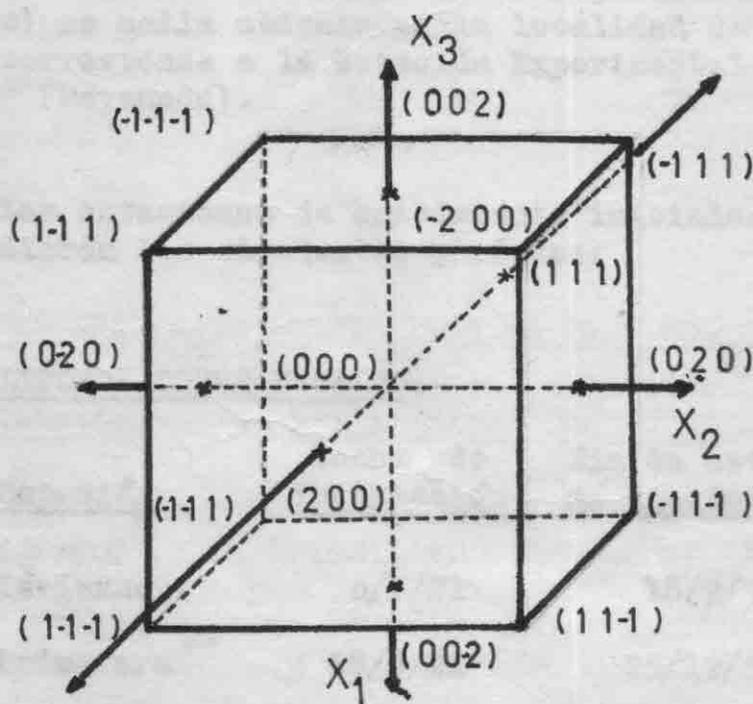


Los primeros 8 tratamientos corresponden a un factorial completo 2^3 . Los tratamientos 9 a 15 aumentan este factorial, el noveno corresponde al centro, mientras los tratamientos 10 a 15 (son los puntos experimentales no centrales). Una repetición simple del experimento debe dar 15 observaciones, las cuales deberían ser suficientes para estimar los 10 parámetros de una polinomial de segundo grado. Si un factorial completo 3^3 fuera usado para estimar cada polinomio, se requerirían 27 unidades experimentales y tratamientos. De esta forma el diseño compuesto demanda menos recursos que los factoriales. Como muestra el cuadro 2, este hecho a menudo es cierto cuando están involucrados más de dos factores. Además, se ve que con incrementos de k , aumenta la economía que resulta del uso de un diseño central compuesto.

CUADRO 3. Número de puntos experimentales requeridos para la estimación de una polinomial de segundo grado de k factores usando diseños factoriales y centrales compuestos. (Heady y Dillon, 1961)

Diseño	2	3	4	5	6
3^k factorial	9	27	81	243	729
$(1/3)3^k$ factorial central compuesto	9	15	25	27+	43*

*Sobre la base de un $(1/2)2^k$ factoriales.



Los vértices del cubo son los 8 tratamientos correspondientes al factorial 2^3 más los 6 tratamientos estrellas 2×3 situados sobre perpendiculares a las caras del cubo que pasan por el centro, más el tratamiento central. Utilizando los valores codificados $(-2, -1, 0, 1, 2)$ de los niveles de los factores, las coordenadas de los vértices del cubo son los tratamientos

($\pm 1, \pm 1, \pm 1$), de los puntos estrellas son ($\pm 2, 0, 0$) ($0, \pm 2, 0$) ($0, 0, \pm 2$), y del punto central es ($0, 0, 0$), pudiendo representarse el diseño mediante la figura precedente. Este diseño no incluye el tratamiento testigo ni los máximos.

Voss y Pesek (1967) han utilizado una modificación que incluye 23 tratamientos, entre los que se encuentra el testigo y los máximos, utilizando dos repeticiones de todo el diseño para estimar el error experimental. Los 23 tratamientos se pueden representar gráficamente como dos cubos concéntricos de vértices ($\pm 1, \pm 1, \pm 1$) y ($\pm 2, \pm 2, \pm 2$) respectivamente, más seis puntos estrellas ($\pm 2, 0, 0$) ($0, \pm 2, 0$) y ($0, 0, \pm 2$) y más el tratamiento central ($0, 0, 0$).

En el año 1971, instalándose un ensayo a principios de cada estación en cada uno de los suelos previamente enumerados. Los suelos (a y b) se encuentran en las proximidades de la Estación Experimental de Salto; el suelo (c) se halla ubicado en la localidad de Algorta; el suelo (d) corresponde a la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (Paysandú).

Las estaciones de crecimiento iniciales consideradas comprendieron los siguientes períodos:

d) PERIODO DE CRECIMIENTO INICIAL

a) LITOSOL SOBRE BASALTO:

<u>Estación</u>	<u>Fecha de instalación</u>	<u>Fin de estación de crecimiento</u>	<u>Días de crecimiento</u>
Invierno	6/6/71	18/9/71	103 días
Primavera	18/9/71	25/12/71	96 días
Verano	25/12/71	20/3/72	85 días
Otoño	20/3/72	21/6/72	92 días

IV. MATERIALES Y METODOS

<u>Estación</u>	<u>Fecha de instalación</u>	<u>Fin de estación de crecimiento</u>	<u>Días de crecimiento</u>
Invierno	1/6/71	12/9/71	104 días
Primavera	12/9/71	20/12/71	98 días
Verano	10/12/71	15/3/72	85 días
Otoño	15/3/72	15/6/72	81 días

ENSAYO I. Respuesta estacional del campo natural a la fertilización mineral N.P.K.-

a) El experimento se inició en el año 1971, instalándose un ensayo a principios de cada estación en cada uno de los suelos previamente enumerados. Los suelos (a y b) se encuentran en las proximidades de la Estación Experimental de Salto; el suelo (c) se halla ubicado en la localidad de Algorta; el suelo (d) corresponde a la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" (Paysandú).

Otoño	21/3/72	21/6/72	91 días
Invierno	21/6/72	14/9/72	85 días

Las estaciones de crecimiento iniciales consideradas comprendieron los siguientes períodos:

d) PRADERA PANDA SOBRE LIMOS DE FRAY BENJOS:

<u>Estación</u>	<u>Fecha de instalación</u>	<u>Fin de estación de crecimiento</u>	<u>Días de crecimiento</u>
Verano	10/12/71	22/3/72	103 días
Invierno	6/6/71	18/9/71	103 días
Otoño	22/3/72	20/6/72	90 días
Primavera	18/9/71	25/12/71	98 días
Verano	25/12/71	20/3/72	85 días
Otoño	20/3/72	21/6/72	92 días

El diseño experimental utilizado fue el factorial central compuesto para 2 variables modificadas por Vose y Jones (1967) que consiste en 13 tratamientos que combinan 5 niveles de nitrógeno y 3 niveles de fósforo (cuadro 4). El conjunto de tratamientos fue agrupado en bloques al azar con 2 repeticiones.

b) PRADERA NEGRA SOBRE BASALTO:

<u>Estación</u>	<u>Fecha de instalación</u>	<u>Fin de estación de crecimiento</u>	<u>Días de crecimiento</u>
Invierno	1/6/71	12/9/71	104 días
Primavera	12/9/71	20/12/71	98 días
Verano	20/12/71	15/3/72	85 días
Otoño	15/3/72	6/6/72	83 días

c) PRADERA ARENOSA SOBRE CRETACEO:

<u>Estación</u>	<u>Fecha de instalación</u>	<u>Fin de estación de crecimiento</u>	<u>Días de crecimiento</u>
Primavera	1/9/71	15/12/71	106 días
Verano	2/12/71	21/3/72	110 días
Otoño	21/3/72	21/6/72	91 días
Invierno	21/6/72	14/9/72	85 días

d) PRADERA PARDA SOBRE LIMOS DE FRAY BENTOS:

<u>Estación</u>	<u>Fecha de instalación</u>	<u>Fin de estación de crecimiento</u>	<u>Días de crecimiento</u>
Primavera	21/9/71	2/12/71	72 días
Verano	10/12/71	22/3/72	103 días
Otoño	22/3/72	20/6/72	90 días
Invierno	23/6/72	31/8/72	69 días

El diseño experimental utilizado fue el central compuesto para 2 variables modificado por Voss y Pesek (1967) que consiste en 13 tratamientos que combinan 5 niveles de nitrógeno y 5 niveles de fósforo (cuadro 4). El conjunto de tratamientos fue agrupado en bloques al azar con 2 repeticiones.

Se incluyeron además tres tratamientos adicionales con potasio con el propósito de averiguar la existencia de posibles efectos de este nutriente.

Las dosis de fertilizantes utilizadas fueron: azo-
tadas e y d) cada 45 días aproximadamente al
N: 0 - 80 - 160 - 240 y 320 unidades de N/há. se el rendi-
miento en kg. de materia seca por hectárea. Para los sitios e
y P₂O₅: 0 - 80 - 160 - 240 y 320 unidades de P₂O₅/há.

K₂O: 0 - 60 y 120 unidades de K₂O/há. realizaron medidas de com-
posición botánica por el método de punto cuadrado, con agujas
inclinadas a 45°, realizándose dos toques con cada aguja, a

CUADRO 4. Dosis de Fertilizantes y sus correspondientes combi-
naciones en los distintos tratamientos.

Trat.	N	P	K	Trat.	N	P	K
1	80	80		9	160	320	
2	80	240		10	0	0	100
3	240	80		11	0	320	0
4	240	240		12	320	0	0
5	160	160		13	320	320	
6	0	160		14	160	160	60
7	320	160		15	160	160	120
8	160	0		16	320	320	120

$$Y = b_0 + b_1N + b_2P + b_3N^2 + b_4P^2 + b_5NP + e$$

La duración prevista son tres años, instalándose cuatro en
sayos en cada año.

En los ensayos I y II, los fertilizantes utilizados, urea
(46% N) y superfosfato de calcio (47% P₂O₅, soluble) fueron a-
plicados en cobertura sobre parcelas de 4 por 6 metros. El rendi-
miento de forraje (materia seca/há.) se estimó cosechando un
área de 8 m². En la localidad de Salto la cosecha se realizó -
en el ensayo I como en el II, se realizó una comparación de
promedios a través de pruebas Duncan.

con guadaña, mientras que en los restantes se utilizó una pastera.

Medidas. En cada estación los cortes se realizaron (sitios c y d) cada 45 días aproximadamente si el crecimiento de forraje lo permitía, determinándose el rendimiento en kg. de materia seca por hectárea. Para los sitios a y b los cortes fueron realizados cada 90 días.

A partir de setiembre de 1972 se realizaron medidas de composición botánica por el método de punto cuadrado, con agujas inclinadas a 45°C, realizándose dos toques con cada aguja, a fin de muestrear mejor el tapiz. Se realizaron 100 toques en los tratamientos: 5 - 10 y 13. Se tomaron datos de lluvia y temperaturas en los sitios experimentales o localidades cercanas.

Análisis estadístico. Los análisis estadísticos se realizaron de acuerdo a Anderson y Bancroft (1952) y consistieron en:

1) análisis de variancia del rendimiento para cada sitio-estación, separando la variación observada en tres componentes: bloques, tratamientos y error;

2) análisis por regresión múltiple, ajustando los datos de cada sitio-estación a una ecuación polinomial de 2º grado que incluye los efectos lineales, cuadráticos e interacción de los nutrientes aplicados. La función es de la forma:

Se incluyeron además, tres tratamientos adicionales con potasio con $Y = b_0 + b_1N + b_2P + b_3N^2 + b_4P^2 + b_5NP + e$ efectos de este nutriente.

Se midió el grado de ajuste de la función por medio del coeficiente de determinación: $R^2 = \frac{SCR}{SCT}$

Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando un programa standard IBM (STEPR) en una computadora IBM-360 del Centro de Computación de la Universidad de la República.

Para evaluar los efectos del suministro de potasio, tanto en el ensayo I como en el II, se realizó una comparación de promedios a través de pruebas Duncan.

CUADRO 5. Combinación de las variables experimentales en los diferentes tratamientos

No. de Trat.	N	P	K	Fr.	N	P	K	Fr.
1	-1	-1		-1	90	80		2
2	-1	-1		1	90	80		4
3								
4	-1	1		1	90	240		4
5	+1	-1		-1	250	80		2

Este ensayo se inició en 1971, instalándose un solo ensayo por año en cada uno de los suelos.

Los períodos considerados para este experimento fueron entonces:

6					250	240		2
7								
8	0	0		0	170	160		3
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								

El diseño experimental utilizado fue el central compuesto para 3 variables de Box y Hunter y modificado por Voss y Pesek (1967) que consiste de 23 tratamientos que combinan 5 niveles de nitrógeno, 5 niveles de fósforo y 5 niveles de fraccionamiento del nitrógeno (cuadro 5). El conjunto de tratamientos fue agrupado en bloques al azar con 2 repeticiones.

Se incluyeron además, tres tratamientos adicionales con potasio con el fin de indagar la existencia de posibles efectos de este nutriente.

Las dosis de fertilizantes y el número de aplicaciones de N utilizados fueron:

- N: 10 - 90 - 170 - 250 y 330 unidades de N/há.
- P₂O₅: 0 - 80 - 160 - 240 y 320 unidades de P₂O₅/há.
- K₂O: 0 - 60 y 120 unidades de K₂O/há.
- No. de aplicaciones: 1 - 2 - 3 - 4 y 5 veces por año para cada dosis de N.

CUADRO 5. Combinación de las variables experimentales en los diferentes tratamientos

No. de Trat.	N	P	K	Fr.	N	P	K	Fr.
1	-1	-1		-1	90	80		2
2	-1	-1		1	90	80		4
3	-1			-1	90	240		2
4	-1			1	90	240		4
5					250	80		2
6	1	-1		1	250	80		4
7	1	1		-1	250	240		2
8	1	1		1	250	240		4
9					1170	160		3
10	-2	0		0	10	160		3
11	0	-2		0	330	160		3
12	0	-2		0	170	0		3
13	0	2		0	170	320		3
14	0	0		-2	170	160		1
15	0	0		2	170	160		5
16	-2	2		-2	10	320		5
17	-2	2		-2	10	320		1
18	-2	2		2	10	320		5
19	2	-2		-2	330	0		1
20	2	-2		2	330	0		5
21	2	2		-2	330	320		1
22	2	2		2	330	320		5
23	-2	-2		-2	10	0		1
24	0	0	1	0	170	160	60	3
25	0	0	2	0	170	160	120	3
26	2	2	2	2	330	320	120	5

La codificación de los valores empleados en el diseño se realizó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$X = \frac{X^n - (a+2b)}{b}$$

siendo:

X^n = dosis empleada

a = dosis mínima

b = intervalo entre las dosis

Este experimento, como los anteriores, se inició en 1971. Los valores de X^n son: a, a+b, a+2b, a+3b, a+4b. Los valores de toma X son: -2, -1, 0, 1, 2.

La duración prevista son tres años, instalándose un ensayo en cada año. Los fertilizantes utilizados y la cosecha del forraje realizada fueron similares a las llevadas a cabo en el ensayo I, mientras que las medidas de composición botánica se realizaron sobre los tratamientos 9, 22 y 23.

Niveles de aplicación: 0 - 80 - 160 - 320 y 640 kg. de P_2O_5 /ha.

Análisis estadístico. El estudio estadístico realizado --
I) consistió en un análisis por regresión múltiple, ajustando los datos de rendimiento total, anual de cada sitio experimental, a una ecuación polinomial de 2º grado de la forma:
 $Y = b_0 + b_1N + b_2P + b_3F + b_4N^2 + b_5P^2 + b_6F^2 + b_7NP + b_8NF +$

$+ b_9PF + e$
La duración prevista del ensayo son cinco años, pero el período considerado en este estudio comprende las siguientes fechas:

Se realizó un análisis de variancia para medir los efectos de la regresión y la falta de ajuste. Los datos fueron procesados usando un programa elaborado por González y Beltrami.

Por esta razón, los datos analizados corresponden al primer año solamente, es decir, no se tiene en cuenta la forma (II) de distribución.

CUADRO 6. Combinación de las variables experimentales en los diferentes tratamientos

Trat.	Fuente	Dosis kg/há. P ₂ O ₅	Forma aplicación	Trat.	Fuente	Dosis kg/há. P ₂ O ₅	Forma aplicación
-------	--------	--	------------------	-------	--------	--	------------------

1 S ENSAYO III. Eficiencia relativa de fuentes de fósforo en la mejora de campo natural I

2 S 160 I 11 H 320 I

3 S 320 I 12 H 640 I

Este experimento, como los anteriores, se inició en 1971, pero sólo se llevó a cabo en la localidad de Algorta y en la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni".

El diseño experimental utilizado es un factorial 2x2x4+1 testigo con cuatro repeticiones (cuadro 6).

Las variables analizadas en este ensayo son:

Fuentes: superfosfato triple, hiperfosfato.

Niveles de aplicación: 0 - 80 - 160 - 320 y 640 kg. de P₂O₅/há.

Formas de distribución:

- I) toda la dosis en el primer año.
- II) 25% de cada dosis en cada año.

En todo el ensayo se aplica una dosis basal de 100 kg. de K₂O/há. y una fertilización anual de 170 kg. N/há., fraccionado tres veces al año.

La duración prevista del ensayo son cinco años, pero el período considerado en este estudio comprende las siguientes fechas:

Pradera Arenosa sobre Cretáceo 1/10/71 - 14/9/72.
Pradera Parda sobre Limos de Fray Bentos 21/9/71 - 31/8/72.

Por esta razón, los datos analizados corresponden al primer año solamente, es decir, no se tiene en cuenta la forma (II) de distribución.

CUADRO 6. Combinación de las variables experimentales en los diferentes tratamientos

Trat.	Fuente	Dosis kg/há. P ₂ O ₅	Forma aplicación	Trat.	Fuente	Dosis kg/há. P ₂ O ₅	Forma aplicación
1	S	80	I	10	H	160	I
2	S	160	I	11	H	320	I
3	S	320	I	12	H	640	I
4	S	640	I	13	H	80	II
5	S	80	II	14	H	160	II
6	S	160	II	15	H	320	II
7	S	320	II	16	H	640	II
8	S	640	II	17	testigo con N		
9	H	80	I	18	testigo sin N		

Los fertilizantes utilizados fueron aplicados en cobertura sobre parcelas de 4 por 6 mts. El rendimiento de forraje se estimó cosechando un área de 8 m², expresándose el mismo en kg. de materia seca por hectárea.

Los cortes se realizaron con pastera, cada 45 días aproximadamente, si el crecimiento del forraje lo permitía.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de variancia del rendimiento para cada sitio-año, separando la variación en: bloques, tratamientos y error. Dentro de la variación para tratamientos se comparó el testigo con todos los tratamientos fertilizados.

Se efectuó un segundo análisis de variancia excluyendo el testigo, con el objeto de obtener nuevamente, la variación debida a bloques, tratamientos y error. La variación debida a

tratamientos se descompuso en efecto de: dosis, fuente y la interacción fuente x dosis.

Se ajustaron los datos de cada sitio-año, por procedimientos de regresión múltiple, a una ecuación de la forma:

$$Y = b_0 + b_1P + b_2P^2$$

A. ENSAYO I:

Se realizó un análisis de variancia para medir los efectos de la regresión y error. La fertilización mineral N.P.K.

1. Litosol sobre Basalto.

En el cuadro 7 se presentan los kg. de MS/ha. producidos en cada una de las estaciones de crecimiento y para las diferentes combinaciones de fertilizantes.

Se observa una marcada variación estacional, tanto en el rendimiento promedio como en los efectos de los tratamientos.

La producción anual de forraje, sin aplicaciones de fertilizantes, es baja si se compara con los rendimientos obtenidos en otros suelos del país. (Gallinal y otros, 1938; Medina con. personal, 1972).

El efecto de los fertilizantes fue más importante en aquellas estaciones donde las condiciones de crecimiento fueron más favorables como es el caso de Primavera y Otoño, siendo las estaciones de menor producción y respuesta el Verano y el Invierno.

V. RESULTADOS Rendimientos promedios en kg/há. de materia seca para los diferentes tratamientos

N	P	K	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
80	80		740	475	1125	515
80	240		710	300	1135	925
240	80		855	555	1345	750
240	240		Respuesta estacional del campo natural a la fertilización mineral N.P.K.			
160	160		1140	685	1435	895
0	160		415	160	480	375
320	160		680	420	1895	875
160			935	550	850	595
160	320		1505	580	2250	480

En el cuadro 7 se presentan los kg. de MS/há. producidos en cada una de las estaciones de crecimiento y para las diferentes combinaciones de fertilizantes.

Se observa una marcada variación estacional, tanto en el rendimiento promedio como en los efectos de los tratamientos.

La producción anual de forraje, sin aplicaciones de fertilizantes, es baja si se compara con los rendimientos obtenidos en otros suelos del país. (Gallinal y otros, 1938; Medina com. personal, 1972).

El efecto de los fertilizantes fue más importante en aquellas estaciones donde las condiciones de crecimiento fueron más favorables como es el caso de Primavera y Otoño, siendo las estaciones de menor producción y respuesta el Verano y el Invierno.

En general se ve que el efecto bloque alcanza alta significación para todas las estaciones, salvo en verano, denotando una gran variación de este suelo. Además, en las estaciones de

CUADRO 7. Rendimientos promedios en kg/há. de materia seca que por lo menos un para los diferentes tratamientos estacionales

N	P	K	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
80	80		740	475	1125	515
80	240		710	300	1135	925
240	80		835	555	1345	750
240	240		1370	705	2185	990
160	160		1140	685	1435	895
0	160		415	160	480	375
320	160		680	420	1895	875
160	0		935	550	850	595
160	320		1505	560	2250	480
0	0		475	255	505	400
0	320		620	160	615	805
320	0		575	325	860	985
320	320		2040	690	3290	1050
160	160	60	1315	705	2060	745
160	160	120	1060	300	1300	690
320	320	120	790	650	2400	1320
Promedio			950	468	1416	774

CUADRO 9. Coeficiente de regresión (β), coeficientes de determinación (R^2), y valores F de la regresión

A partir de los datos del cuadro anterior se realizó un análisis de variancia, para ver el efecto de los tratamientos sobre la producción de forraje, en las diferentes estaciones de crecimiento, cuyos resultados se encuentran en el cuadro 8.

En general se ve que el efecto bloque alcanza alta significación para todas las estaciones, salvo en verano, denotando una gran variación de este suelo. Además, en las estaciones de

$R < 0.25$; $P < 0.10$; $P < 0.05$; $P < 0.01$

crecimiento Primavera y Otoño, el análisis de variancia indica que por lo menos uno de los tratamientos fue significativamente diferente de los demás al nivel 1%. En las estaciones restantes, no se encuentran diferencias significativas a ese nivel.

CUADRO 8. Análisis de variancia para rendimiento de forraje en cada una de las estaciones de crecimiento.

Fuente	GL	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Bloques	1	14.24**	1.75 ⁺	10.58**	5.32*
Tratamiento	12	5.48**	1.66 ⁺	7.44**	0.88 ^{n.s}
Error	12				

⁺ P < 0.25; (*) P < 0.10; * P < 0.05; ** P < 0.01

En conclusión, el análisis de variancia muestra diferencias significativas entre tratamientos en los períodos de crecimiento donde la producción alcanzada es mayor, mientras estas diferencias no se manifiestan cuando los niveles de producción de forraje son menores.

A efectos de cuantificar más adecuadamente la respuesta al suministro de N y P se ajustó para cada ensayo el modelo de regresión propuesto.

CUADRO 9. Coeficiente de regresión ($\times 10^3$), su significación, coeficientes de determinación (R^2) y valores F de la regresión

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	R^2	F
Primavera	518	4.52(*)	-3.77	-0.0145*	0.012(*)	0.014**	0.671	8.15**
Verano	266	3.46**	-0.91	-0.0107**	0.0009	0.0054*	0.547	4.84**
Otoño	490	4.15**	-1.19	-0.0098*	0.0047	0.025**	0.920	45.91**
Invierno	403	0.86	1.08	0.0022	0.0007	0.0024	0.191	0.94

⁺ P < 0.25; (*) P < 0.10; * P < 0.05; ** P < 0.01

El cuadro 9 muestra para cada estación el valor de F de la regresión, el coeficiente de determinación (R^2), así como el valor y la significación de los coeficientes de regresión de los términos del modelo ajustado.

Las pruebas F indican que la regresión fue significativa al 1% en Primavera, Verano y Otoño y no significativa en Invierno. La magnitud de los R^2 difiere para las distintas estaciones, alcanzando el valor más alto en otoño y el más bajo en Invierno.

Los coeficientes de regresión que alcanzan mayor significación son los correspondientes al N y a la interacción NP.

Estas funciones se utilizaron para:

- construir las superficies de respuesta por representar los rendimientos estimados para las diferentes combinaciones de Nitrógeno y Fósforo.
- Estimar incrementos de producción por unidad de nutriente aplicado en los diferentes rangos de dosis experimentales.

Análisis Individual de las Estaciones de Crecimiento

Primavera. El coeficiente lineal del N es positivo y significativo al 10%, mostrando cierta respuesta a la fertilización; por su parte el coeficiente cuadrático N^2 es negativo y significativo al 5%, denotando decrementos al fertilizante nitrogenado.

El coeficiente lineal para P, es negativo y no significativo, mostrando falta de respuesta a ese nutriente, en ausencia de N. Sin embargo, el término cuadrático P^2 es positivo y significativo al 10%, denotando incrementos crecientes a este nutriente.

Se encontró una interacción NP positiva y muy significativa, lo que demuestra que existe respuesta al fósforo en presencia de nitrógeno.

La respuesta en producción de forraje estimada, para el rango de las dosis utilizadas en el diseño experimental, varía entre 518 y 1854 kg/há. de materia seca.

La ecuación muestra incrementos decrecientes al fertilizante nitrógeno. La producción estimada para la dosis media de P_2O_5 , utilizada en el diseño experimental fue de 870 kg/há. de materia seca. El efecto de P_2O_5 es positivo y no significativo, el cuadrático P^2 es positivo y no significativo, mostrando de esa forma una ligera respuesta a dosis altas.

En la figura 4 aparece representada la superficie de respuesta, correspondiente a esta estación, mostrando la producción de forraje en kg. de materia seca por hectárea, en función de nitrógeno y fósforo. En ella se puede ver la respuesta lineal del P, la naturaleza cuadrática de la respuesta al N, como así también el efecto de la interacción NP.

Se encontró una interacción NP positiva y significativa al 1%.
Verano. El coeficiente lineal de N es positivo y altamente significativo, mientras que el coeficiente cuadrático N^2 es negativo y significativo al 1%, denotando incrementos decrecientes al agregado de N.

El coeficiente lineal de P es negativo y el cuadrático P^2 es positivo, siendo ambos no significativos, poniendo de manifiesto de esa forma una ligera respuesta a dosis altas de fósforo e incrementos lineales en la producción de forraje por unidad de P_2O_5 en los diferentes intervalos experimentales.

Invierno. Ninguno de los coeficientes de regresión alcanzó significancia. Como en la estación anterior, se encontró una interacción positiva entre NP, siendo en este caso significativa al 5%.

La respuesta en producción de forraje, para el rango de las dosis utilizadas varió entre 255 y 705 kg. de materia seca por há. (valores observados). El modelo propuesto no se ajustó satisfactoriamente.

En la figura 4 aparece representada la superficie de respuesta, correspondiente a esta estación, mostrando la producción de forraje en función del suministro de N y P. La producción observada para una dosis de 160 unidades de P_2O_5 fue 160 kg. de materia seca por há. y para una combinación de 160 unidades de P_2O_5 y N, la producción fue de 685 kg. de materia seca por há.

1.1. Discusión.
En la figura 4 aparece representada la superficie de respuesta para esta estación de crecimiento, mostrando la producción de forraje en función del suministro de N y P. El modelo propuesto no se ajustó satisfactoriamente, como está indicando a través de los coeficientes lineales de regresión.

Otoño. El coeficiente lineal de N es positivo y significativo al 1%, mostrando que en esta estación de crecimiento hubo una alta respuesta al agregado de este nutriente. La ecuación muestra incrementos decrecientes al fertilizante nitrogenado, a través del término cuadrático N^2 , el cual es negativo y significativo al 5%. El coeficiente lineal del P es negativo y no significativo, el cuadrático P^2 es positivo y no significativo, mostrando de esa forma una ligera respuesta a dosis altas de fósforo y incrementos lineales de la producción de forraje al agregado de ese nutriente.

La respuesta en la producción de forraje varió entre 490 y 3.217 kg. de materia seca por há. para las dosis extremas utilizadas en el diseño experimental.

Se encontró una interacción NP positiva y significativa al 1%. La producción estimada para la dosis media de P_2O_5 utilizada fue de 901 kg. de materia seca por há., mientras que para la misma dosis de P_2O_5 y 160 unidades de N, la producción estimada fue de 2.160 kg. de materia seca por há. de forraje.

En la figura 4, se observa la respuesta linealmente creciente al P, la naturaleza cuadrática de la respuesta al N y la interacción entre N y P.

parecen en las tablas del apéndice. La respuesta estimada por unidad de nitrógeno aplicado dentro de los intervalos de N utilizados en el diseño, a dosis medias de P, aparecen en el

Invierno. Ninguno de los coeficientes de regresión alcanzó significación mostrando la ausencia de respuesta para esta estación de crecimiento. Se destaca además, la importancia de los factores climáticos no controlados experimentalmente, especialmente bajas temperaturas y heladas. La magnitud del coeficiente de determinación y la falta de significación de la F de la regresión indican que el modelo propuesto no ajustó satisfactoriamente. En la figura 4 aparece representada la superficie de respuesta para esta estación de crecimiento.

0 - 80	5.512	3.475	6.982
80 - 160	3.387	2.762	5.387
160 - 240	0.852	0.037	3.787
240 - 320	-1.450	-0.775	2.225

1.1. Discusión.

Salvo el invierno, las restantes estaciones de crecimiento, mostraron alta respuesta al fertilizante nitrogenado, como está indicando a través de los coeficientes lineales de regre-

sión, siendo este elemento fertilizante el que más limitó la producción. Además se vieron incrementos decrecientes a ese nutriente, como está indicado por el signo y significación de los coeficientes cuadráticos para N.

Los niveles de producción observados para el campo natural sin fertilizar, varían en las diferentes estaciones entre 255 kg. de materia seca por há. en verano, y 505 kg. de materia seca por há. en otoño. Bajo condiciones de fertilización, los valores estimados para la combinación de dosis más alta de N y P, fluctuaron entre 690 y 3.290 kg. de materia seca por há. para verano y otoño respectivamente.

La respuesta a la fertilización expresada a través de la relación $Y_{max}/Y_{testigo}$, de valores observados, alcanza valores de 6,5 y 4,2 para otoño y primavera respectivamente, y valores de 2,7 y 1,9 para verano e invierno respectivamente, es decir que las mayores respuestas al suministro de nutriente -- fueron obtenidas en aquellas estaciones donde fue posible un mayor crecimiento vegetal y, por lo tanto, donde el clima no se constituyó en limitante.

La respuesta estimada para las diferentes combinaciones de fertilizantes en las diferentes estaciones de crecimiento, aparecen en las tablas del apéndice. La respuesta estimada por unidad de nitrógeno aplicado dentro de los intervalos de N utilizados en el diseño, a dosis medias de P, aparecen en el cuadro siguiente.

CUADRO 10. Incremento en kg. de MS/há. por unidad de N, en los intervalos utilizados, al nivel medio de P_{205}

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
0 - 80	5.512	3.475	6.962	--
80 - 160	3.187	1.762	5.387	--
160 - 240	0.862	0.037	3.787	--
240 - 320	-1.450	-0.775	2.225	--

No se incluyen datos para invierno, debido a que en esa es tación no hubo respuesta a la fertilización.

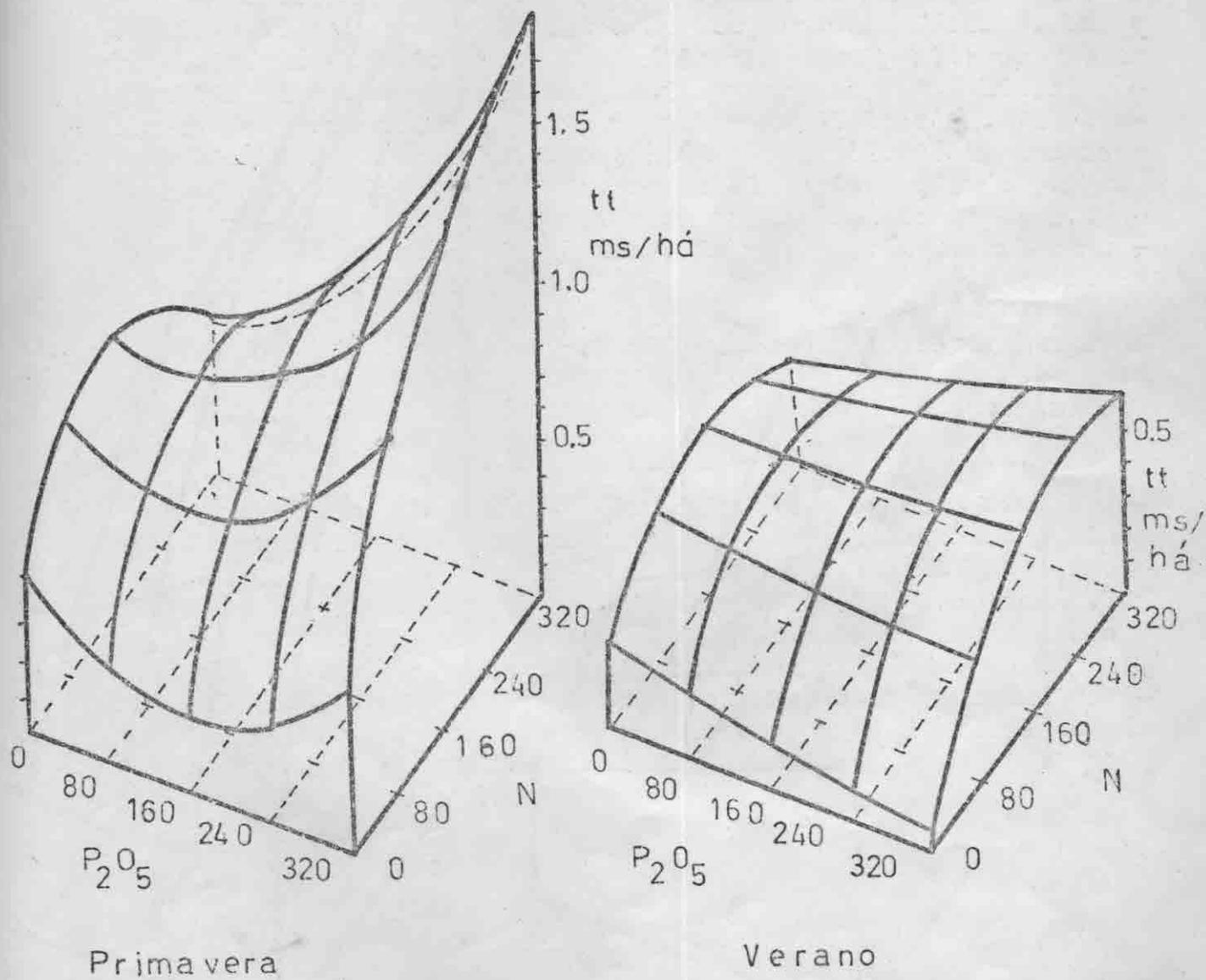
En el intervalo inicial, la respuesta obtenida varió entre 3.475 y 6.962 kg. de MS/unidad de N para el verano y otoño, res pectivamente.

Los coeficientes lineales para P, son de signo negativo y significativos, mostrando falta de respuesta al fósforo. Por o tro lado, los coeficientes cuadráticos P^2 son positivos y no significativos, mostrando tendencia a una respuesta lineal y - ligeramente creciente a dosis altas de fertilización. El com- portamiento de este nutriente podría ser explicado en función- del bajo contenido de leguminosas en el tapiz y además porque estos suelos tienen un contenido de óxidos de hierro de 3,4% - (comunicación personal Zamalvide), lo que podría traer como - consecuencia una fijación del P.

Una interacción positiva y altamente significativa entre N y P fue encontrada en las estaciones que presentaron respuesta, siendo este factor el más importante de todos los encontrados para este suelo.

Los efectos del potasio fueron estudiados por medio de a- nálisis de variancia que incluye los 16 tratamientos experimen- tales, y por pruebas Duncan fueron comparados aquellos trata- mientos que difieren solamente en la dosis de K_2O aplicada. En otoño, a un nivel medio de N y P, 60 unidades de K_2O tuvieron un efecto positivo y significativo. Al nivel máximo de N y P, 120 unidades de K_2O tuvieron un efecto negativo y significati- vo, es decir, la respuesta al suministro de este nutriente no fue consistente y su naturaleza fue errática.

Fig: 4 Litosol sobre Basalto



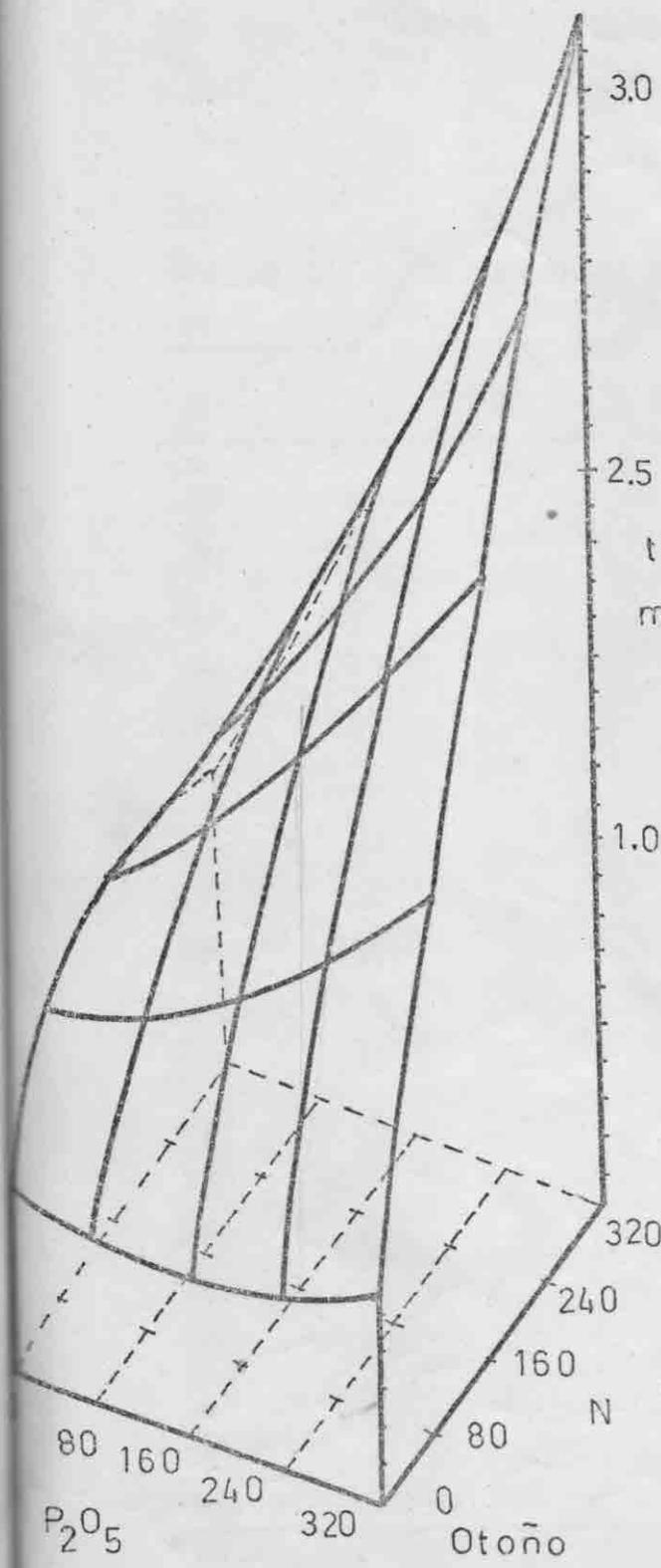
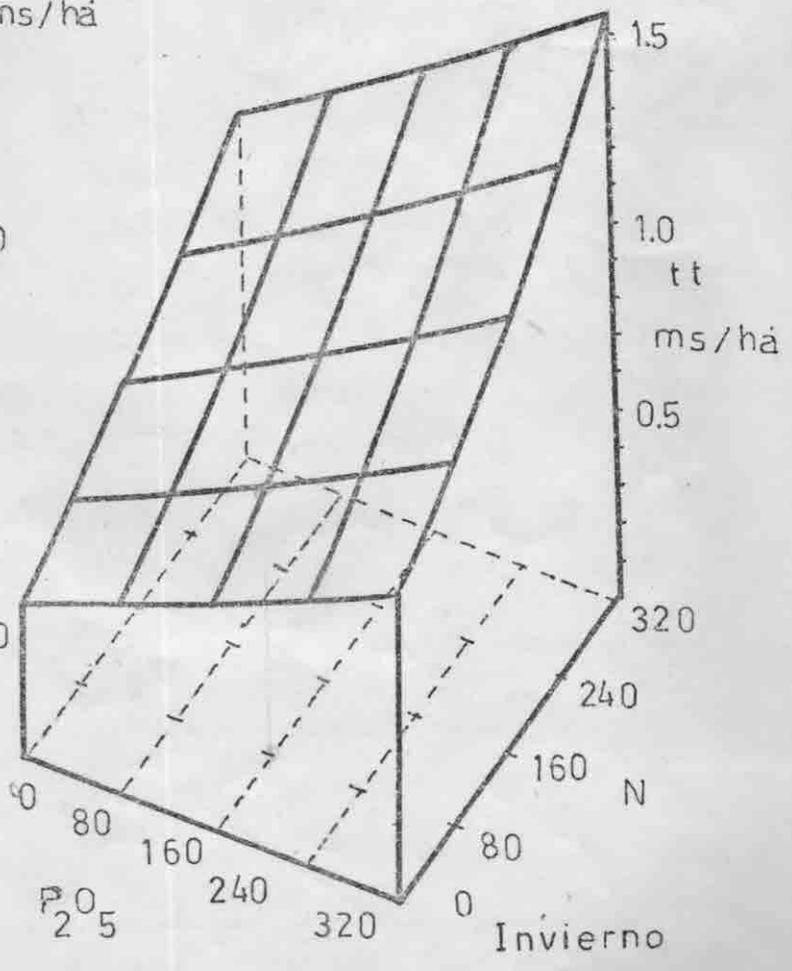


Fig: 4 (cont.)



2. Pradera Negra sobre Basalto. los kg. de MS/há. obtenidos ex perimentalmente. Los nutrientes usados están expresados en unidades de P_2O_5 , N y K_2O há.

En dicho cuadro se puede ver la estacionalidad de la producción a lo largo del año, siendo las estaciones de mayor producción verano e invierno.

CUADRO 11. Rendimientos promedios en kg/há. de materia seca para los diferentes tratamientos por estación.

N	P	K	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
80	80		1800	560	1105	585
80	240		2165	710	1675	790
240	80		2015	520	1750	785
240	240		2385	730	2685	640
160	160		2205	500	2025	810
0	160		1185	440	570	550
320	160		1640	725	1835	700
160	0		1770	470	945	560
160	320		2380	815	1975	780
0	0		1355	375	620	435
0	320		1315	425	835	370
320	0		1610	445	935	450
320	320		2475	700	2905	1210
160	160	60	2315	480	2200	625
160	160	120	2765	660	1600	865
320	320	120	2055	855	2755	530
Promedio			1964	588	1650	667

Se puede observar que los niveles de significación difieren en las distintas estaciones de crecimiento. En general, el efecto bloque no alcanza significación, salvo en primavera, donde fue significativamente diferente al nivel 5%. Además, el análisis de variancia indicó que por lo menos uno de los trata-

reflexión

El cuadro 11 representa los kg. de MS/há. obtenidos experimentalmente. Los nutrientes usados están expresados en unidades de P₂O₅, N y K₂O há.

En dicho cuadro se puede ver la estacionalidad de la producción a lo largo del año, siendo las estaciones de menos producción verano e invierno.

Si tenemos en cuenta la producción obtenida por el suelo anterior, vemos que no hay diferencias muy grandes en la producción obtenida en este suelo, es decir que el solo criterio de profundidad de suelo no parece ser suficiente para predecir la potencialidad de producción de ambos suelos. Por último, se ve que el efecto de los fertilizantes fue más importante en aquellas estaciones donde las condiciones de crecimiento fueron más favorables.

Con el fin de conocer los efectos de los nutrientes fertilizantes sobre la producción de forraje, fue realizada, a partir del cuadro anterior, un análisis de variancia para las diferentes estaciones.

CUADRO 12. Análisis de variancia para rendimientos de forraje en cada una de las estaciones

Fuente de variación	GL	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Bloques	1	6.30*	0.77	2.22 ⁺	0.17
Tratamientos	12	5.43**	1.49 ⁺	9.86**	3.15*
Error	12				

⁺P < 0.25; (*) P < 0.10; *P < 0.05; **P < 0.01

Se puede observar que los niveles de significación difieren en las distintas estaciones de crecimiento. En general, el efecto bloque no alcanza significación, salvo en Primavera, donde fue significativamente diferente al nivel 5%. Además, el análisis de variancia indicó que por lo menos uno de los trata-

mientos, fue significativamente diferente al nivel 1% para las estaciones Primavera y Otoño y al nivel 5% para el Invierno.

En el Verano, el análisis de variancia no mostró diferencias significativas, denotando la importancia de los factores climáticos, no-controlados en el experimento, para este período de crecimiento.

A fin de cuantificar en forma adecuada la respuesta al suministro de N y P se ajustó el modelo propuesto para cada ensayo estacional.

CUADRO 13. Coeficientes de regresión ($\times 10^3$), su significación, coeficientes de determinación (R^2) y valores de F de la regresión

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	R^2	F
Prim.	1220	8.10^{**}	-0.32	-0.0230^{**}	0.0021	$0.0076^{(*)}$	0.709	9.74^{**}
Ver.	345	1.26	0.68	-0.0034	-0.0014	0.0029	0.388	$2.53^{(*)}$
Otoño	436	6.77^{**}	2.75	-0.0170^*	-0.0064	0.017^{**}	0.840	20.16^{**}
Inv.	455	0.74	0.48	-0.0029	-0.0020	0.0068^*	0.560	5.08^{**}

Se observa que la magnitud de los R^2 difiere para las distintas estaciones, alcanzando los valores más altos en los períodos de buen crecimiento vegetal, es decir Primavera y Otoño, mientras que el menor valor de R^2 se presenta en Verano. Se puede observar que el coeficiente lineal P y el cuadrático P^2 , nunca alcanzan significación.

Estas funciones se utilizaron para construir superficies de respuesta y estimar incrementos de producción por unidad de nutriente aplicado.

Análisis Individual de las cuatro estaciones de Crecimiento

Primavera. Esta estación de crecimiento mostró una gran respuesta al Nitrógeno, como lo indica la alta significación del coeficiente parcial para esa variable. Se muestran además, incrementos decrecientes al fertilizante nitrogenado, a través del término cuadrático N^2 , el cual es negativo y significativo al nivel 1%. El coeficiente lineal para fósforo es negativo y no significativo mostrando ausencia de respuesta a este nutriente. Los coeficientes cuadráticos P^2 son positivos y no significativos, mostrando una ligera respuesta lineal para el fósforo.

La respuesta en producción estimada de forraje para las dosis utilizadas en el ensayo variaron entre 1200 y 2530 kg. de MS/há.

Se encontró una interacción positiva y significativa para N y P, siendo la producción estimada para la dosis media de P_2O_5 , 1920 kg. de MS/há. y para esa dosis de P_2O_5 y la dosis media de N, 2.420 kg. de MS/há. En la figura No. 5 se puede ver la representación gráfica de la superficie de respuesta, mostrando la producción de forraje en kg. de MS/há., en función del N y P agregados.

Verano. Ninguno de los coeficientes calculados son significativos, demostrando la falta de respuesta en esta estación de crecimiento.

La intensa sequía registrada en este período sería responsable de este comportamiento. La magnitud del coeficiente de determinación y la baja significación de la F de la regresión indican que el modelo propuesto no ajustó satisfactoriamente.

Otoño. Esta estación mostró una gran respuesta al N, como se ve a través del coeficiente lineal para esa variable. Muestra además incrementos decrecientes, a través del coeficiente cuadrático N^2 , el cual es negativo y significativo al 5%.

El coeficiente lineal para fósforo es positivo, mientras - que el cuadrático es negativo, siendo ambos no significativos. Es decir, muestra como tendencia, una ligera respuesta de incrementos decrecientes.

La respuesta de producción estimada de forraje varió desde 436 kg. de MS/há. sin suministro de fertilizante a 2.829 kg. de MS/há. para el tratamiento que combina las dosis más altas de N y P.

Se encontró una interacción positiva y significativa al nivel 1% entre N y P, variando la producción entre 1.078 y 2.181 kg. de MS/há. de forraje para la dosis media de P_2O_5 utilizada y la dosis media de ambos nutrientes, respectivamente.

En la figura No. 5 se encuentra la representación gráfica de la superficie de respuesta, mostrando la naturaleza cuadrática de la respuesta a ambos nutrientes y la interacción positiva entre N y P.

Invierno. Esta estación de crecimiento, muestra una ligera respuesta al agregado de N y P, como está indicado por el signo y la falta de significación de los coeficientes lineales y cuadráticos para esos nutrientes.

Los niveles de producción observados varían entre 435 y - 1210 kg. de MS/há. para las dosis extremas de fertilizantes utilizadas en el diseño experimental.

Se encuentra en esta estación una interacción positiva y - significativa entre N y P al nivel del 5%. Para la dosis media de P_2O_5 , la producción fue de 550 kg. de MS/há. y para la dosis media de los dos nutrientes la producción fue de 810 kg. de MS/há.

En la figura 5, se ve la representación gráfica de la superficie de respuesta, donde es posible observar que fueron obtenidos los máximos de producción con las dosis utilizadas y - que los niveles de producción alcanzados son muy bajos.

2.1. Discusión.

El factor más importante en limitar la producción fue el N y salvo el verano, las demás estaciones de crecimiento mostraron una respuesta muy alta a este nutriente como lo indican -- los coeficientes parciales de regresión. La ecuación muestra a través de los coeficientes N^2 , que la respuesta al nitrógeno -- es de incrementos decrecientes.

Los niveles de producción observados para el campo natural sin fertilizar variaron desde 375 hasta 1355 kg. de MS/há. de forraje para Verano y Primavera, respectivamente. Bajo condi-- ciones de respuesta los niveles de producción observados varia-- ron desde 700 hasta * 2475 kg. de MS/há. para el Verano y la -- Primavera respectivamente.

La respuesta a la fertilización expresada a través de la -- relación

$$\frac{Y \text{ max}}{Y \text{ test.}}$$

en base a valores observados, varía entre 4,33 para el otoño y 1,82 para primavera. La mayor respuesta fue obtenida cuando se dieron las mejores condiciones de crecimiento para las pastu-- ras. En primavera, la presencia de una sequía disminuyó el cre-- cimiento vegetal.

La respuesta de producción estimada por unidad de Nitróge-- no aplicada dentro de los intervalos del fertilizante utiliza-- do en el diseño a dosis medias de P, se muestra en el cuadro 14.

CUADRO 14. Incrementos en kg/há. por unidad de N, en los in-- tervalos utilizados, al nivel medio de P_2O_5 .-

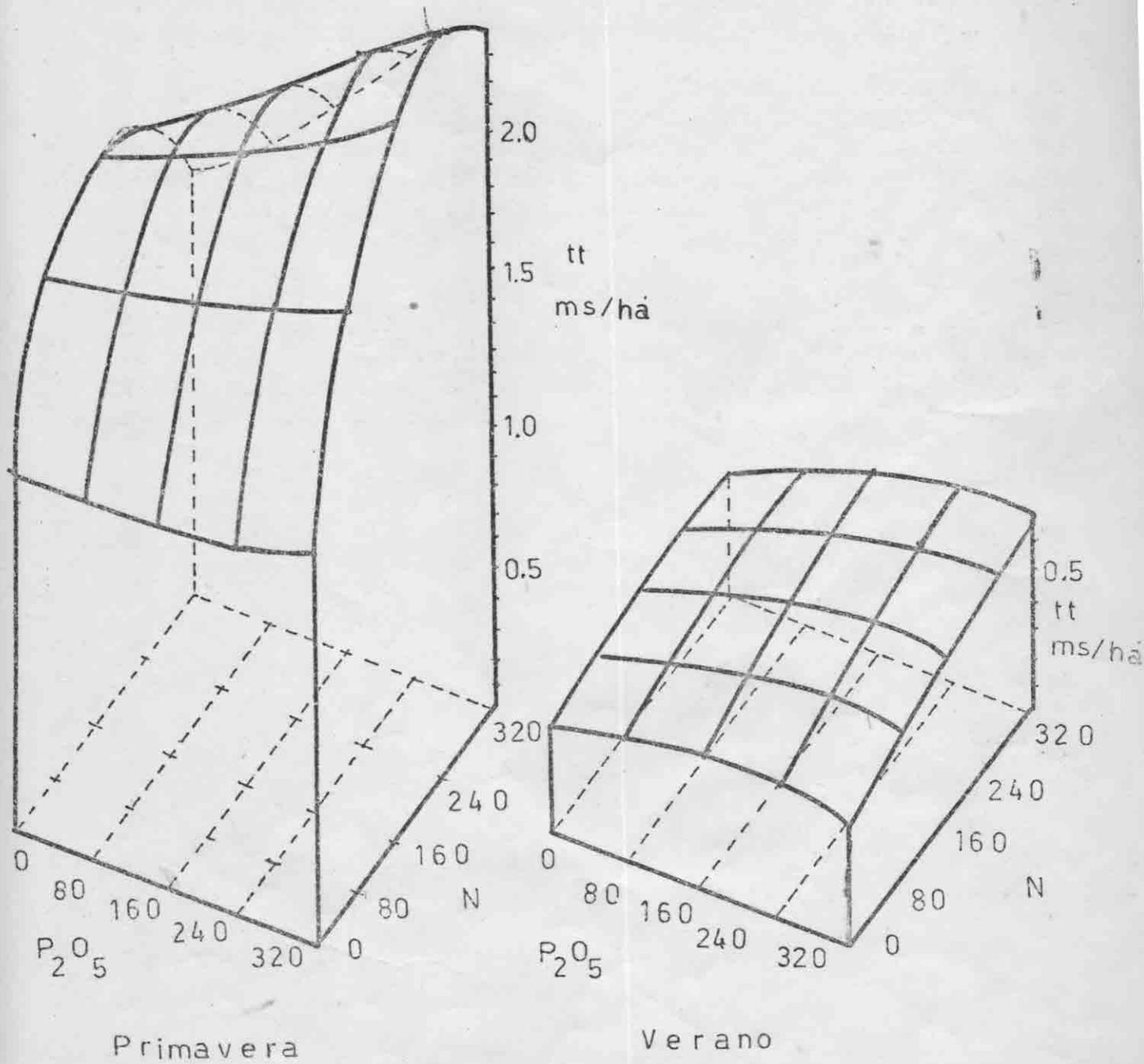
	Primavera	Verano	otoño	Invierno
0 - 80	7,500	---	8,162	1,600
80 - 160	3,750	---	5,400	3,037
160 - 240	0,125	---	2,662	-1,262
240 - 320	-3,750	---	-0,087	0,162

No se incluyen datos para Verano, debido a que en esta estación la respuesta a la fertilización fue muy baja. La respuesta estimada en intervalo inicial varía entre 1,600 y 8,162 kg. de MS/há/unidad de N, para Invierno y Otoño respectivamente. Valores intermedios fueron estimados para Primavera.

Los coeficientes lineales y cuadráticos del fósforo son de signo variable y significativos, mostrando este nutriente muy poca respuesta cuando es aplicado solo, sin embargo, una interacción positiva y significativa entre N y P se presenta en todas las estaciones de crecimiento donde hay respuesta. Este es el efecto más importante encontrado para este suelo.

Los efectos del Potasio fueron estudiados por medio de análisis de variancia y pruebas Duncan, no mostrando ningún efecto sobre la producción de forraje, salvo en Invierno, donde 120 unidades de K_2O en presencia de 320 unidades de P_2O_5 deprimió significativamente la producción.

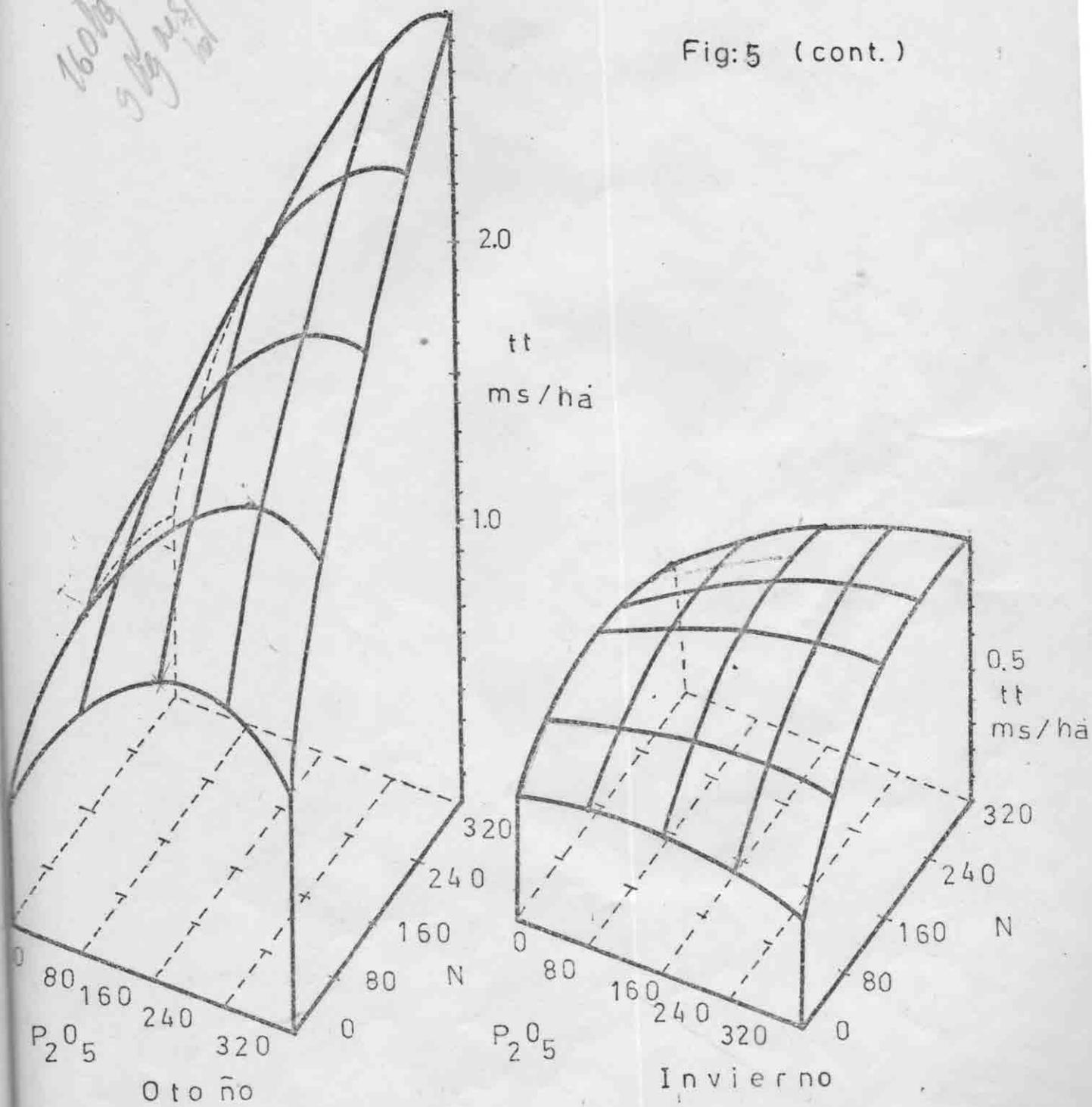
Fig:5 Pradera Negra sobre Basalto



x

160 kg N
90 kg P₂O₅/ha

Fig:5 (cont.)



3. Pradera Arenosa sobre Cretáceo

CUADRO 15. Rendimientos promedios en kg/há. de materia seca para los diferentes tratamientos

N	P	K	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
80	80		351	1191	677	481
80	240		316	1262	805	583
240	80		247	1683	626	379
240	240		431	1426	1009	301
160	160		474	1732	831	484
0	160		107	452	259	231
320	160		461	1953	931	186
160	0		66	1069	499	249
160	320		312	1757	1396	462
0	0		115	433	207	177
0	320		273	410	300	249
320	0		150	650	358	148
320	320		340	1741	780	379
160	160	60	233	2168	986	400
160	160	120	290	1398	545	599
320	320	120	450	2261	1176	313
Promedio			288	1349	649	347

En el cuadro 15 se encuentran los kg. de MS/há. producidos en cada estación de crecimiento y para las diferentes -- combinaciones de fertilizantes de un campo natural ubicado sobre una pradera arenosa sobre cretáceo.

Se desprende que las estaciones de mayor producción -- del campo natural sin fertilizar fueron Verano y Otoño y las -- de menor producción fueron Primavera e Invierno.

Bajo condiciones de respuesta se mantiene la misma estacionalidad como se puede ver a través de los rendimientos -- promedios de todos los tratamientos que aparecen en el cuadro. A fin de indagar los efectos del suministro de fertilizantes, sobre la producción de la pastura natural, se realizó en primer término, un análisis de variancia, para las diferentes estaciones, donde se tomaron como fuente de variación el efecto bloque y de los tratamientos.

CUADRO 16. Análisis de variancia para rendimiento de forraje en cada una de las estaciones

Fuente	GL	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Bloques	1	0.68	6.18**	2.95 ⁺	0.32
Tratamientos	12	1.42 ⁺	6.25**	19.02**	1.65 ⁺
Error	12				

⁺P < 0.25; (*) P < 0.10; *P < 0.05; **P < 0.01

Se puede observar que los niveles de significación difieren en las distintas estaciones de crecimiento. En términos generales, vemos que el efecto bloque fue significativo solamente en Verano. En el campo natural la composición botánica está determinada, entre otros factores, por el tipo de suelo; por tal motivo, bajo condiciones de respuesta, la variación entre bloques, puede ser explicada en función de la variación de suelos y de las asociaciones de especies.

Por otro lado, el efecto debido a tratamientos es significativo al 1% en Verano y Otoño, al nivel 20% en Invierno y no es significativo en Primavera, es decir, el nivel de significación depende del nivel de producción alcanzado. La baja producción de Primavera e Invierno puede ser explicada en función de los factores climáticos.

En Primavera, el período de crecimiento considerado es del 1/9/71 al 15/12/71, es decir 106 días, pero el 26/10/71 se realizó el corte de limpieza, que no pudo ser efectuado en el momento en que se instaló este ensayo quedando el período de crecimiento reducido a sólo 50 días. Además, se produjo una intensa sequía que redujo las posibilidades de crecimiento. En Invierno, el ciclo biológico de las especies y las bajas temperaturas serían los responsables de la escasa producción.

Para determinar en forma cuantitativa los efectos del fertilizante sobre la producción de forraje, fue ajustada para cada ensayo la función propuesta.

CUADRO 17. Coeficiente de regresión ($\times 10^3$), su significación, coeficiente de determinación (R^2) y valores de F de la regresión para cada uno de los sitios.

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	R^2	F
Prim.	-8.00	0.85	2.10*	-0.0013	-0.0053(*)	0.00057**	0.406	2.73(*)
Ver.	315	8.18***	3.75+	-0.0210**	-0.0120(*)	0.0009(*)	0.718	10.20**
Otoño	12.0	9.50***	3.16(*)	-0.0250**	-0.0071	0.0103*	0.821	18.30**
Inv.	118	2.20	1.17	-0.0075**	-0.0026	0.0004*	0.452	3.30(*)

+P < 0.25; (*) P < 0.10; *P < 0.05; **P < 0.01

Se observa que la magnitud de los R^2 difiere para las distintas estaciones, alcanzando los valores más altos donde fueron obtenidos los mayores niveles de producción, esto es en Verano y Otoño.

Se observa además, en forma bastante consistente una interacción entre N y P y que el N fue más importante en limitar la producción de forraje.

Primavera. El coeficiente lineal del N es positivo y el cuadrático N^2 negativo, siendo ambos no significativos, mostrando una ligera respuesta de incrementos decrecientes a este nutriente. Una alta respuesta al agregado de P se ve a través del coeficiente parcial para este nutriente. El coeficiente cuadrático es negativo y significativo al 10%, mostrando una respuesta de incrementos decrecientes y la presencia de máximos dentro del rango de dosis experimentales utilizados.

La función estima rendimientos de forraje que fluctúan entre 0 y 375 kg. de MS/há.

El principal efecto de la fertilización encontrado es la interacción entre N y P, como lo indica la significación del coeficiente correspondiente. En la figura 6, se ve representada la superficie de respuesta, mostrando un efecto casi lineal del N y cuadrático del P_2O_5 .

Verano. Esta estación de crecimiento muestra una alta respuesta a la fertilización como está indicado por la significación de los coeficientes lineales del N y P. Además, ambos nutrientes muestran una respuesta de incrementos decrecientes, como se ve a través del signo y significación de los coeficientes cuadráticos para ambos nutrientes.

La respuesta en producción de forraje estimada por la función varía entre 315 y 1836 kg. de MS/há., para el tratamiento testigo y el que recibió 240 unidades de ambos nutrientes, demostrando que fue obtenido el máximo rendimiento para ambos nutrientes.

Una interacción positiva y significativa al 10% entre N y P está indicada por el coeficiente correspondiente.

Para la dosis media de P_2O_5 y N el rendimiento estimado -- fue de 1,544 kg. de MS/há. de forraje.

En la figura 6, se ve la superficie de respuesta, realizada en base a datos estimados por la función, donde es posible observar la naturaleza curvilínea de la respuesta a ambos nutrientes y que el principal efecto fue la interacción positiva entre los mismos.

Otoño. El análisis de variancia de los coeficientes de regresión lineales muestra que son significativos al nivel 5% y 10% para N y P respectivamente, indicando la alta respuesta en producción de forraje que hubo en esta estación de crecimiento.

La respuesta de ambos nutrientes muestra incrementos decrecientes, como está indicado por los coeficientes cuadráticos, a pesar de que P^2 no alcanzó significación.

La producción de forraje estimada varió desde 12 kg. hasta 2.036 kg. de MS/há. para el testigo y el tratamiento que combina 320 unidades de P_2O_5 y 240 unidades de N.

El coeficiente de interacción entre N y P es positivo y -- significativo al nivel 5%. La producción estimada para la dosis media de P_2O_5 y la dosis media de ambos nutrientes fue de 408 y 1354 kg. de MS/há. de forraje, respectivamente.

En la figura 6 aparece representada la superficie de respuesta, donde es posible observar la naturaleza de la interacción entre los nutrientes y la forma cuadrática de la respuesta a los mismos.

Invierno. Muy baja respuesta a la fertilización es obtenida en esta estación de crecimiento, como está -- indicando por la falta de significación de los coeficientes lineales para N y P.

El ciclo de crecimiento de este campo natural es predomi--nantemente estival y en este período de crecimiento, la mayoría de las especies del tapiz llegaron al final de su ciclo de producción. Además, en este período se registran temperaturas bajas y heladas, que imponen limitaciones al crecimiento vegetal.

El coeficiente cuadrático para N es negativo y significativo al nivel 5%, indicando una respuesta de incrementos decrecientes y la presencia de un máximo de producción dentro de los rangos experimentales utilizados.

Los valores de producción estimados para esta estación variaron entre 118 y 423 kg. de MS/há. de forrajes, para el tratamiento experimental que no incluye fertilizantes y el que combina 240 y 160 unidades de P₂O₅ y N, respectivamente.

La interacción entre N y P fue significativa al nivel 5% siendo este el principal efecto de la fertilización. Para la dosis media de P₂O₅ la producción fue de 238 kg. de MS/há. y para las dosis media de ambos nutrientes la producción fue de 417 kg. de MS/há.

En la fig. 6, aparece representada la superficie de respuesta, donde es posible observar la naturaleza de la respuesta al suministro de fertilizante, así como los bajos rendimientos alcanzados.

3.1. Discusión.

Este suelo mostró una alta respuesta a la fertilización en Verano y Otoño, tal como se puede ver a través de los coeficientes lineales de regresión de N y P. La respuesta a ambos nutrientes fue de incrementos decrecientes, como está indicado por los coeficientes cuadráticos. Una mucho menor respuesta a la fertilización fue observada en Primavera e Invierno.

Los niveles de producción estimados de este campo natural sin fertilizar en las diferentes estaciones varían entre 0 y 315 kg. de MS/há. para Primavera y Verano, respectivamente.

Bajo condiciones de respuesta los valores de producción máximos obtenidos para las distintas estaciones van desde 375 y 2.036 kg. de MS/há. para Primavera y Otoño, respectivamente.

La respuesta a la fertilización expresada a través de la relación

$$\frac{Y \text{ max}}{Y \text{ test.}}$$

en base a valores observados, debido a que en algunos casos la función subestima mucho los extremos distorsionándose este cociente, varía desde 3,3 en Invierno hasta 6,74 en Otoño. Primavera y Verano alcanzaron valores intermedios 4,12 y 5,22 respectivamente.

La respuesta de producción estimada por unidad de Nitrogeno aplicado dentro de los intervalos utilizados en el diseño, a dosis medias de P_2O_5 se ven en el cuadro siguiente.

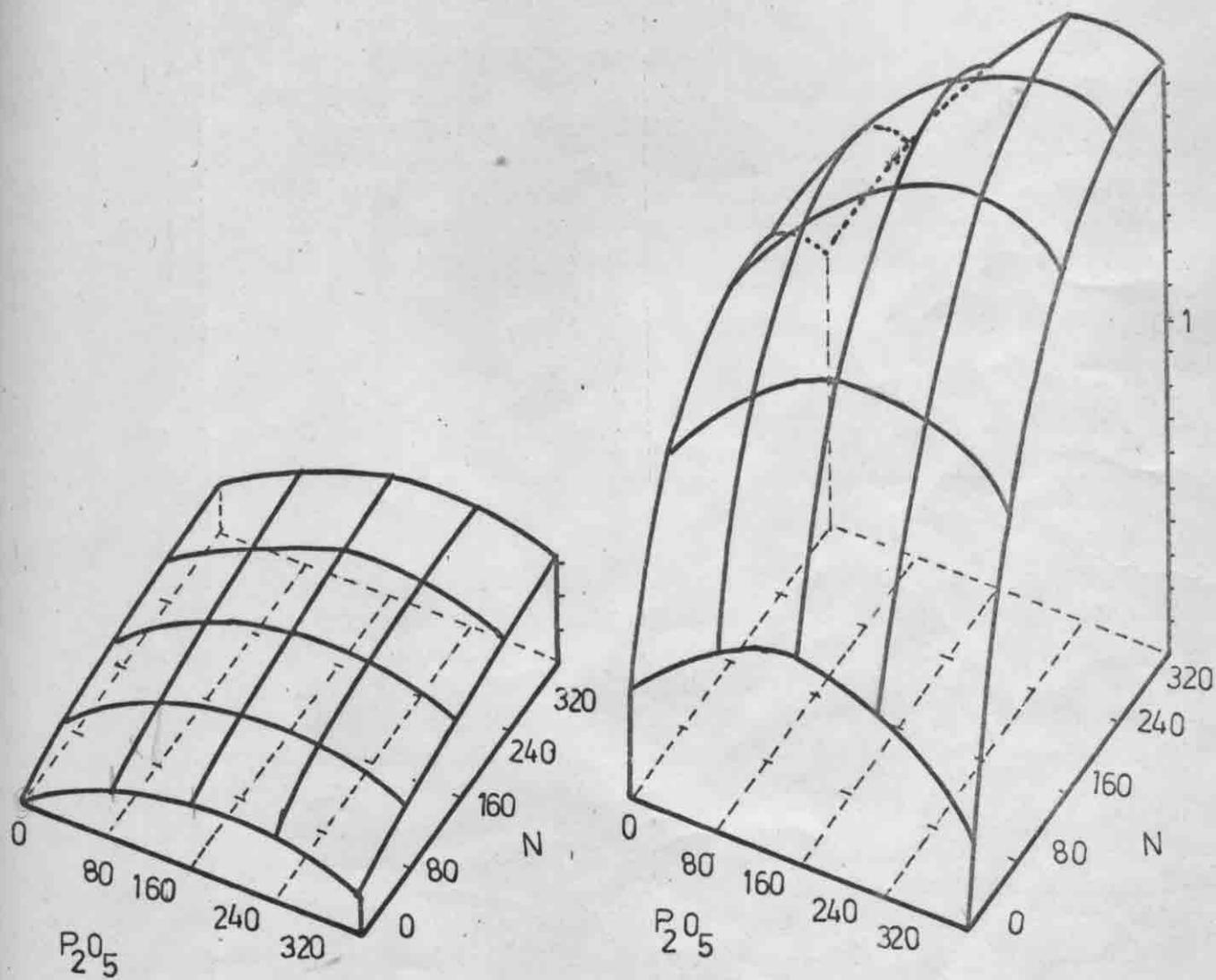
CUADRO 18. Incrementos en kg./há. por unidad de N, en los intervalos utilizados, al nivel medio de P_2O_5 .-

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
0 - 80	1,763	4,350	4,688	1,038
80 - 160	0,456	1,206	1,775	0,300
160 - 240	0,025	0,150	0,808	0,067
240 - 320	-0,194	-0,372	0,319	-0,056

La cantidad de MS producida por unidad de N, disminuye a medida que las dosis aumentan y las magnitudes son diferentes para las distintas estaciones. Los valores negativos que aparecen, son debidos a que la función es decreciente dentro de esos rangos. La estación que presenta mayor respuesta al primer incremento de N es el otoño y la estación de crecimiento que presenta menos respuesta es el Invierno.

Los efectos del Potasio fueron estudiados por medio de un análisis de variancia que incluye los 16 tratamientos experimentales y por pruebas Duncan fueron comparados aquellos tratamientos que diferían únicamente en la dosis de K_2O aplicado. En términos generales se puede decir, que la respuesta es muy baja y que cuando se presenta, es errática.

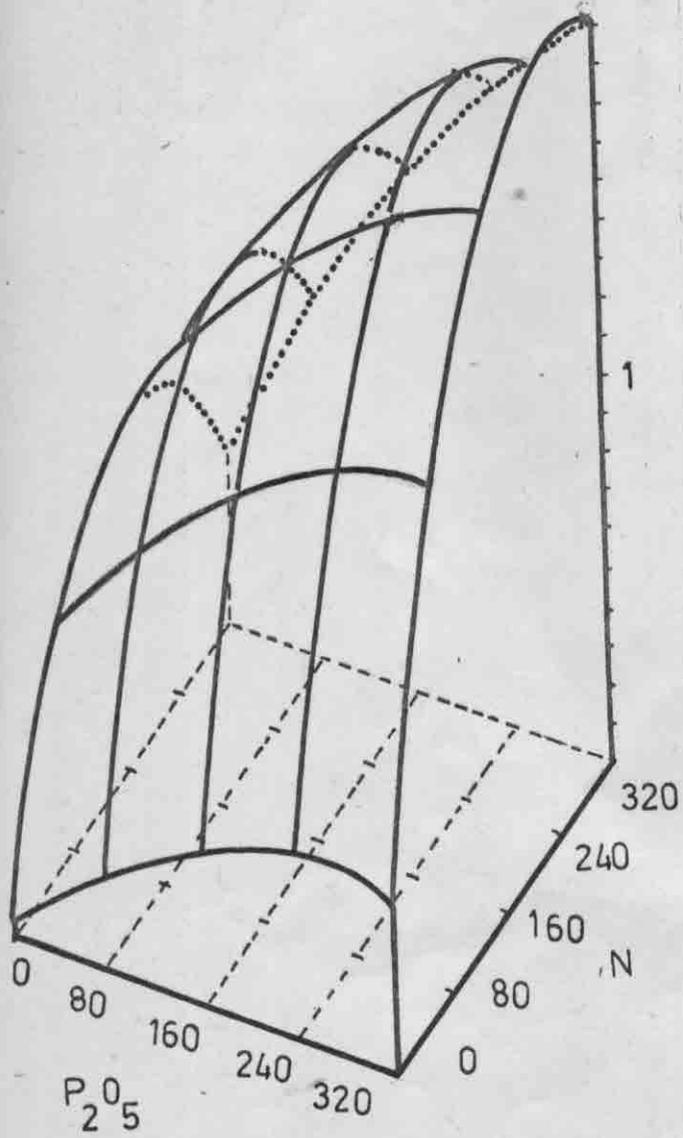
Fig 6 Pradera Arenosa sobre Cretaceo



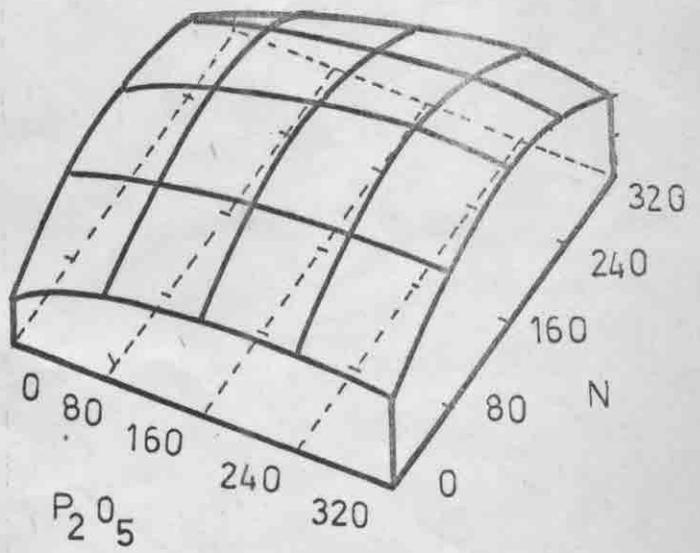
PRIMAVERA

VERANO

Fig 6 (cont.)



OTOÑO



INVIERNO

3. Pradera Parda sobre Fray Bentos.

CUADRO 19. Rendimientos promedios en kg/há. de materia seca para los diferentes tratamientos

N	P	K	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
80	80		1346	1825	935	251
80	240		854	1751	1237	267
240	80		847	1645	1504	310
240	240		1469	2251	1434	386
160	160		1240	1747	1125	454
0	160		465	935	570	163
320	160		1009	2590	1664	201
160	0		748	985	1039	85
160	320		1255	1725	1160	313
0	0		515	757	464	128
0	320		924	651	947	185
320	0		581	1106	1296	152
320	320		1673	3090	1735	150
160	160	60	1660	1208	441	192
160	160	120	497	930	798	260
320	320	120	587	1660	964	229
Promedio			916	1553	1081	232

Del cuadro anterior se desprende que el ciclo de producción de este campo natural es estival. Las estaciones que dieron mayor producción en ausencia de fertilizante fueron Verano y Primavera, mientras que las de menor producción fueron Otoño e Invierno. Bajo fertilización, las estaciones que dieron más producción fueron Verano y Otoño, como puede observarse a partir de los rendimientos promedio. Además, se puede ver que el efecto de los tratamientos fue más importante en aquellas estaciones en que fueron más favorables las condiciones de crecimiento.

Como primera aproximación para detectar el efecto de los tratamientos en la producción de forraje, se hizo un análisis de variancia para cada estación, donde se tomaron como fuentes de variación el efecto bloque y el efecto de los tratamientos.

CUADRO 20. Análisis de variancia para los rendimientos de forraje en cada una de las estaciones de crecimiento

Fuente	GL	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Bloques	1	8.82**	0.02	0.25	1.36 ⁺
Tratamientos	12	3.96**	5.95**	3.44*	0.31
Error	12				

⁺P < 0.25; *P < 0.05; **P < 0.01

El efecto bloque fue significativo solamente en Primavera. Los niveles de significación varían en los diferentes períodos de crecimiento, encontrándose las mayores diferencias entre tratamientos, en los períodos de mayor crecimiento, esto es Primavera, Verano y Otoño.

CUADRO 21. Coeficiente de regresión ($\times 10^3$), su significación, coeficientes de determinación (R^2) y valores F de la regresión para cada una de las estaciones de crecimiento.-

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	R^2	F
Prim.	564	3.20 ⁺	0.35	-0.0105 ^(*)	0.0003	0.0086 ^(*)	0.514	4.22 [*]
Ver.	780	1.66	5.12 [*]	-0.0023	-0.0170 [*]	0.0197 ^{**}	0.796	15.60 ^{**}
Otoño	775	1.48	0.27	0.0009	-0.0008	0.0034	0.533	4.56 [*]
Inv.	410	1.32 [*]	1.41 [*]	-0.0042 [*]	-0.0032 ^(*)	0.0003	0.518	4.29 [*]

⁺P < 0.25; ^(*)P < 0.10; ^{*}P < 0.05; ^{**}P < 0.01

Se observa que la magnitud de los R^2 difiere para las distintas estaciones, alcanzando el valor más alto en el verano, que fue la estación donde se alcanzó el mayor nivel de producción.

Se observa para Verano y Primavera una interacción positiva entre N y P y que el N fue el elemento fertilizante que más limitó la producción.

Primavera. El análisis de variancia de los coeficientes lineales de la función muestra que el coeficiente para el Nitrógeno es significativo al 10%, mientras el correspondiente al P no es significativo. Es decir que hubo una respuesta a la fertilización, comportándose el N como más limitante. El coeficiente cuadrático para nitrógeno es significativo al 20% y el coeficiente cuadrático P^2 es positivo y no significativo, mostrando una respuesta ligeramente cuadrática para N y lineal para P.

La respuesta en producción de forraje fue desde 564 kg. de MS/há. para el tratamiento testigo y 1.536 kg. de MS/há. para la combinación de dosis más altas de N y P empleadas en el diseño.

El coeficiente de la interacción NP es significativo al nivel 10%.

En la figura 7 aparece representada la superficie de respuesta, donde se ve la respuesta casi lineal del P, cuadrática del N, y la interacción entre ambos nutrientes.

En esta estación hubo una intensa sequía, tal como se puede ver en el cuadro donde se comparan las lluvias en este período con respecto a datos promedios de lluvias desde 1937 a 1960 (Ver apéndice). Esta sequía, explicaría la falta de diferencias significativas entre tratamientos y la reducida magnitud del grado de ajuste de la función.

Verano. El análisis de variación de los coeficientes de regresión muestra que el efecto más importante -- fue la interacción NP, siendo el coeficiente significativo al 1% es decir, que la alta respuesta obtenida en la estación se manifiesta fundamentalmente a través de este coeficiente.

Los coeficientes lineales y cuadráticos correspondientes a fósforo son significativos al nivel 5%, mientras que los coeficientes lineales y cuadráticos correspondientes al nitrógeno no son significativos.

La producción de forraje estimada varió desde 780 kg/. de MS/há. para el tratamiento testigo hasta 2.907 kg. de MS./há., para la dosis mayor de N y P.

Para la dosis media de P_2O_5 la producción fue de 1.140 kg. de MS/Há. mientras que la producción para la dosis media de ambos nutrientes fue de 2.450 kg. de MS/há.

En la figura 7 aparece representada la superficie de respuesta, mostrando la producción de la pastura en kg. de MS/há, en función del N y P agregados. En ella se puede ver la natural leza casi lineal de la respuesta al nitrógeno y la naturaleza cuadrática de la respuesta al fósforo.

Otoño. En esta estación de crecimiento, ninguno de los -- coeficientes de la función alcanzaron significación.

No obstante la regresión fue significativa a un nivel de probabilidad del 5%, tal como está indicado por la F correspondiente a la misma. El coeficiente de determinación R^2 es 53,3%.

La falta de respuesta podría ser explicada en función de los factores climáticos no controlados experimentalmente y en este sentido, deben ser mencionadas las bajas temperaturas. A su vez, las especies estivales, en este momento han llegado al final de su estación de crecimiento, de forma tal, que no muestran respuesta a la fertilización. Por otra parte, el rebrote de las especies invernales, no fue importante por las propias características de las especies, las condiciones de manejo particulares a que fueron sometidas en este ensayo y las ambientales ya mencionadas.

Invierno. La respuesta obtenida en esta estación de crecimiento aparece representada por los coeficientes lineales N y P que son significativos al nivel 5%. Los coeficientes cuadráticos correspondientes a N y P son significativos al nivel 5 y 10%, respectivamente, indicando una respuesta de incrementos decrecientes y fueron obtenidos los máximos de producción, dentro de los rangos de dosis utilizados.

La producción estimada por la función, varió entre 41 y -- 285 kg. de MS/há. para el tratamiento testigo y el que incluye dosis de 240 unidades de P_2O_5 y N, respectivamente. Es decir, que el nivel de producción fue bajo, mostrando una carencia de gramíneas invernales capaces de asegurar una buena producción en este momento. Además, la presencia de bajas temperaturas y heladas también imponen restricciones al crecimiento vegetal.

No se encontró interacción entre N y P, siendo el coeficiente correspondiente no significativo.

4.1. Discusión.

Este suelo mostró la mayor respuesta en Primavera, y Verano, tal como puede verse a través de los coeficientes de regresión obtenidos y los niveles de producción alcanzados. Menor res-

puesta fue observada en Otoño e Invierno.

Los niveles de producción estimados del campo natural sin fertilizar variaron entre 41 y 780 kg. de MS/há. para Invierno y Verano, respectivamente.

Bajo condiciones de respuesta los máximos estimados de producción de forraje variaron entre 285 y 2907 kg. de MS/há. para las mismas estaciones.

CUADRO 22. Incrementos en kg./há., por unidad de N, en los intervalos utilizados al nivel medio de P_2O_5 .-

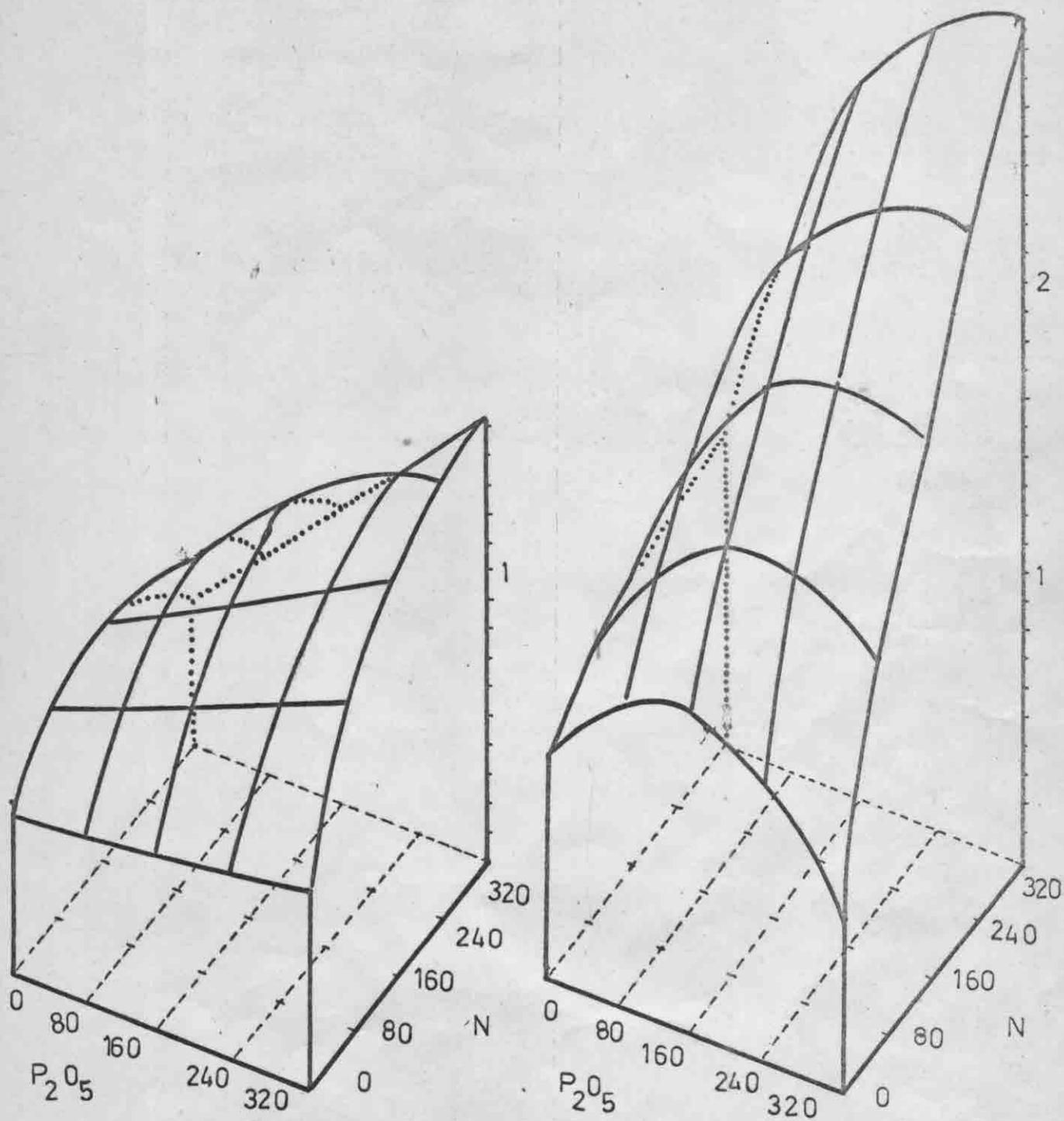
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
0 - 80	3.125	6.825	--	1.200
80 - 160	0.206	1.994	--	0.350
160 - 240	0.613	0.375	--	0.050
240 - 320	0.463	-0.428	--	-0.088

Las cantidades de MS producidas por unidad de Nitrógeno - disminuyen a medida que la dosis aumenta. Los valores de incrementos negativos obtenidos, indican que la función predice incrementos decrecientes, y que entre esos rangos la función presenta un máximo.

La mayor producción de forraje en el primer incremento, para una unidad de Nitrógeno fue obtenida en Verano, mientras -- que en Invierno se produjo el menor rendimiento por unidad de Nitrógeno.

Los efectos del potasio fueron estudiados como en los casos anteriores, mostrando una respuesta errática.

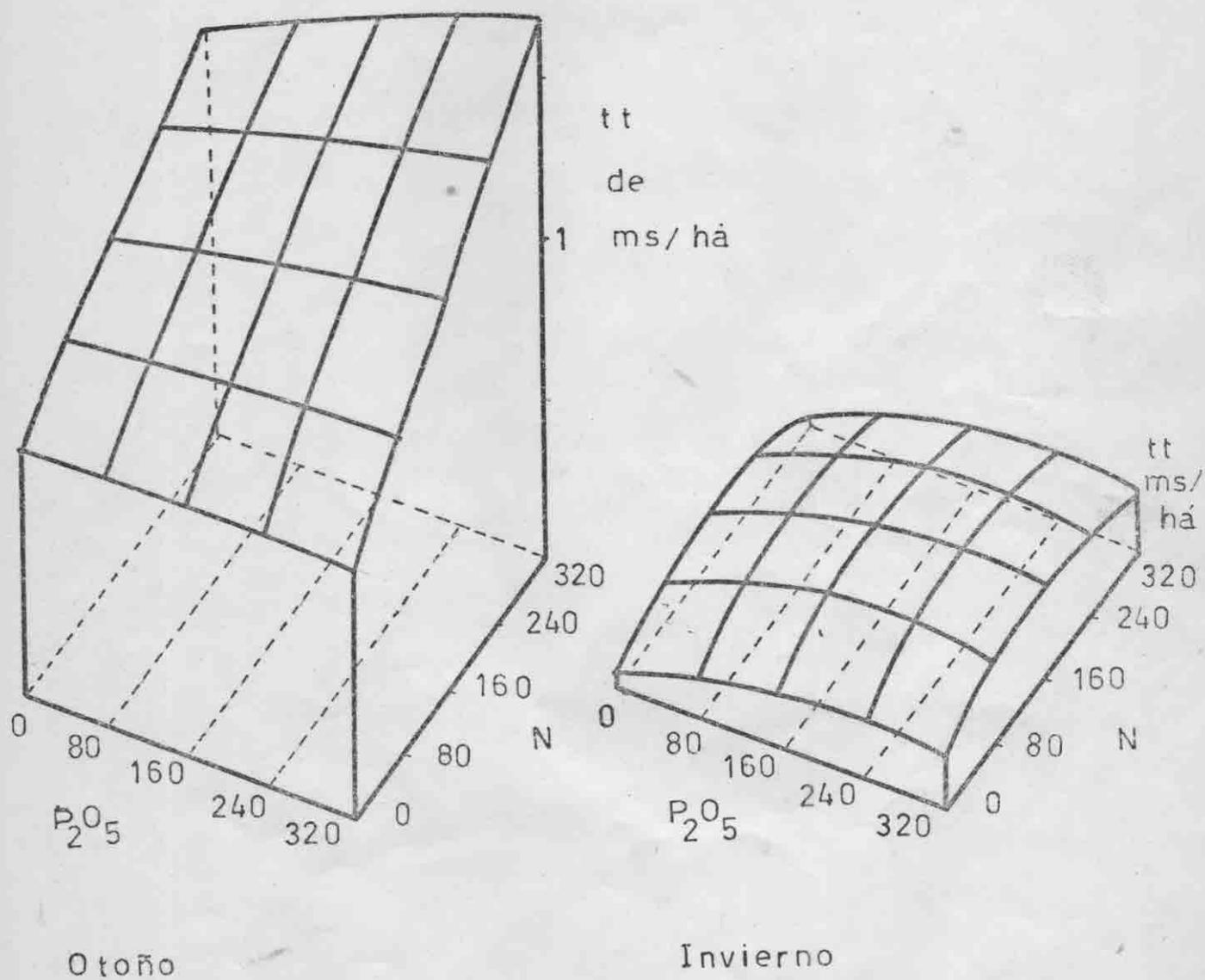
Fig:7 Pradera Parda sobre Limos de Fray Bentos



Primavera

Verano

Fig: 7 (cont.)



5. Conclusiones generales.

La producción de forraje de las pasturas naturales estudia das respondió al agregado de nitrógeno y de fósforo, fundamentalmente al primero. Además, la interacción positiva entre ambos elementos fue muy importante en la mayoría de los casos. La magnitud de la respuesta observada parece depender de la ca pacidad de crecimiento de la pastura en el período considerado y tiende a ser mayor en los períodos de mayor crecimiento.

Con respecto al potasio, cabe agregar que en aquellos casos en que hubo respuesta, ésta fue errática.

La respuesta a la fertilización de los campos naturales ex presada a través de la relación $\frac{Y \text{ máximo}}{Y \text{ testigo}}$

de rendimientos observados aparece en el cuadro siguiente. Se utilizan valores observados debido a que en algunos casos las funciones no predicen adecuadamente.

CUADRO 23. $Y \text{ máx.}/Y \text{ testigo}$, en los diferentes sitios y estaciones de crecimiento.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Litosol sobre Basalto	4.32	2.77	6.49	1.99
Pradera Negra sobre Basalto	1.82	2.11	4.33	1.88
Pradera Arenosa sobre Cretaceo	4.12	4.51	6.74	1.80
Pradera Parda sobre Fray Bentos	3.25	4.08	3.74	3.55

Se desprende del cuadro anterior que las mayores respuestas fueron obtenidas en el Litosol sobre Basalto y la Pradera Arenosa sobre Cretáceo que son los suelos de menor nivel inicial de fertilidad.

Es posible ver que la respuesta del campo natural en los cuatro suelos fue muy alta (Ver los histogramas representados en las figuras Nos. 8 y 9).

En estas figuras es posible ver la producción estacional de forraje del campo natural sin fertilizar, representadas por las columnas en blanco.

En las columnas rayadas aparece representado el rendimiento máximo obtenido en cada una de las estaciones de crecimiento, no coincidiendo este rendimiento con una combinación de fertilizantes en particular.

Los dos suelos sobre Basalto muestran una marcada estacionalidad en la producción de forraje y en la respuesta a la fertilización, alcanzándose los mayores niveles de producción en Primavera y Otoño.

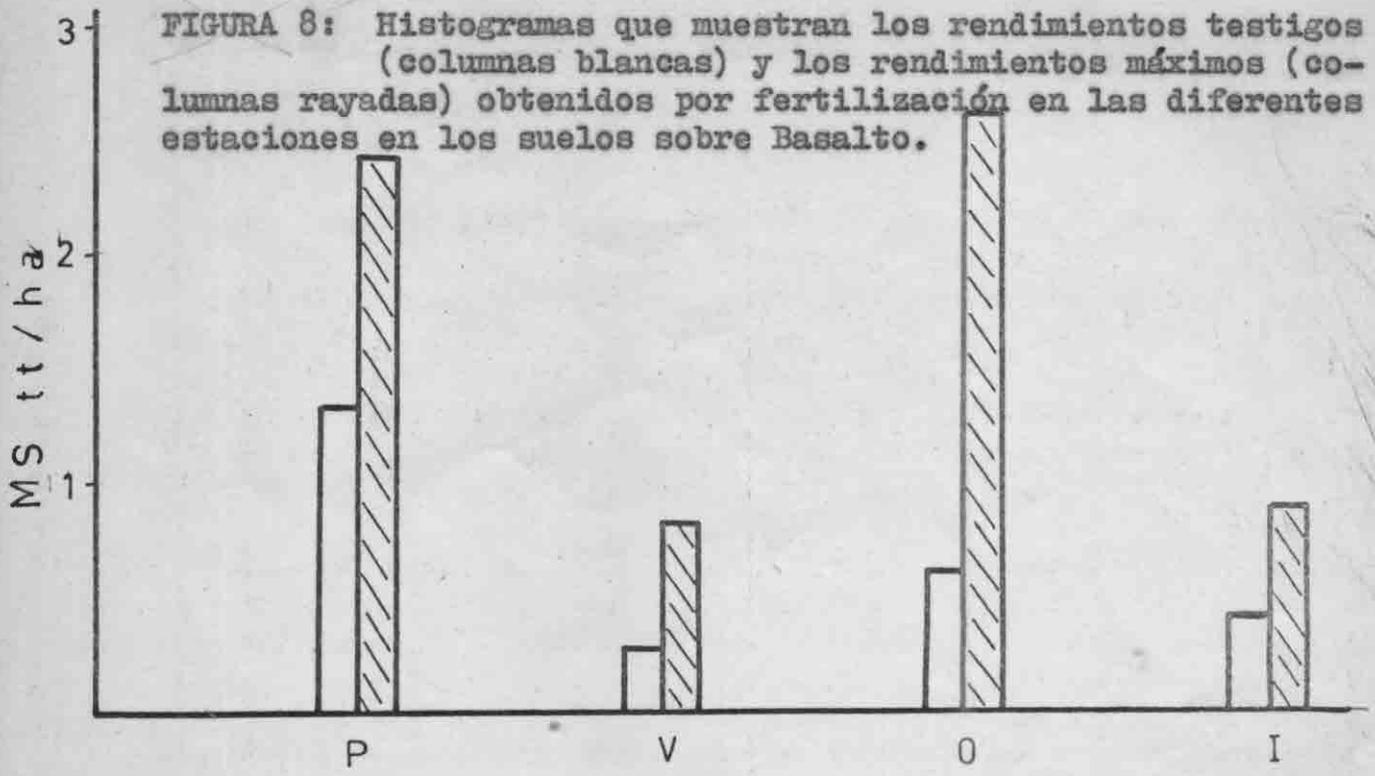
La producción de Primavera no fue muy alta debido probablemente al efecto de una pequeña sequía (Ver apéndice II). En Verano se registró la menor producción, posiblemente como resultado de un déficit de agua, provocado por las altas temperaturas y las bajas lluvias caídas.

En el caso del Litosol sobre Basalto, este problema se agrava debido a la baja capacidad de retención de agua del perfil.

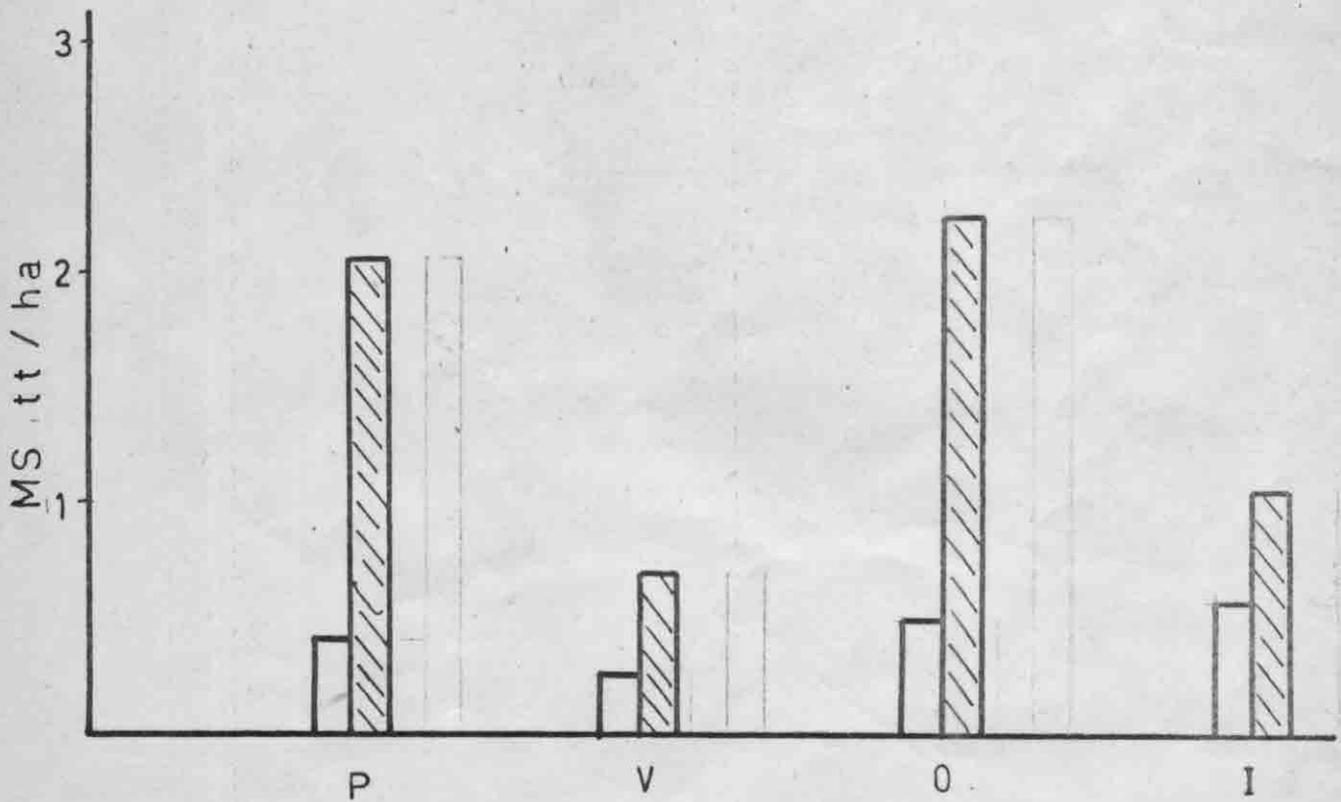
En invierno, los factores que limitaron el crecimiento vegetal son probablemente diferentes, pero no menos rigurosos. Las bajas temperaturas y heladas producidas en estos suelos, serían los responsables de la baja producción.

El ciclo de producción de la pradera arenosa sobre Cretáceo fue estival-otoñal, estaciones en las cuales se produjo la mayor respuesta al suministro de nutrientes y donde fueron alcanzados los valores más altos de producción.

FIGURA 8: Histogramas que muestran los rendimientos testigos (columnas blancas) y los rendimientos máximos (columnas rayadas) obtenidos por fertilización en las diferentes estaciones en los suelos sobre Basalto.

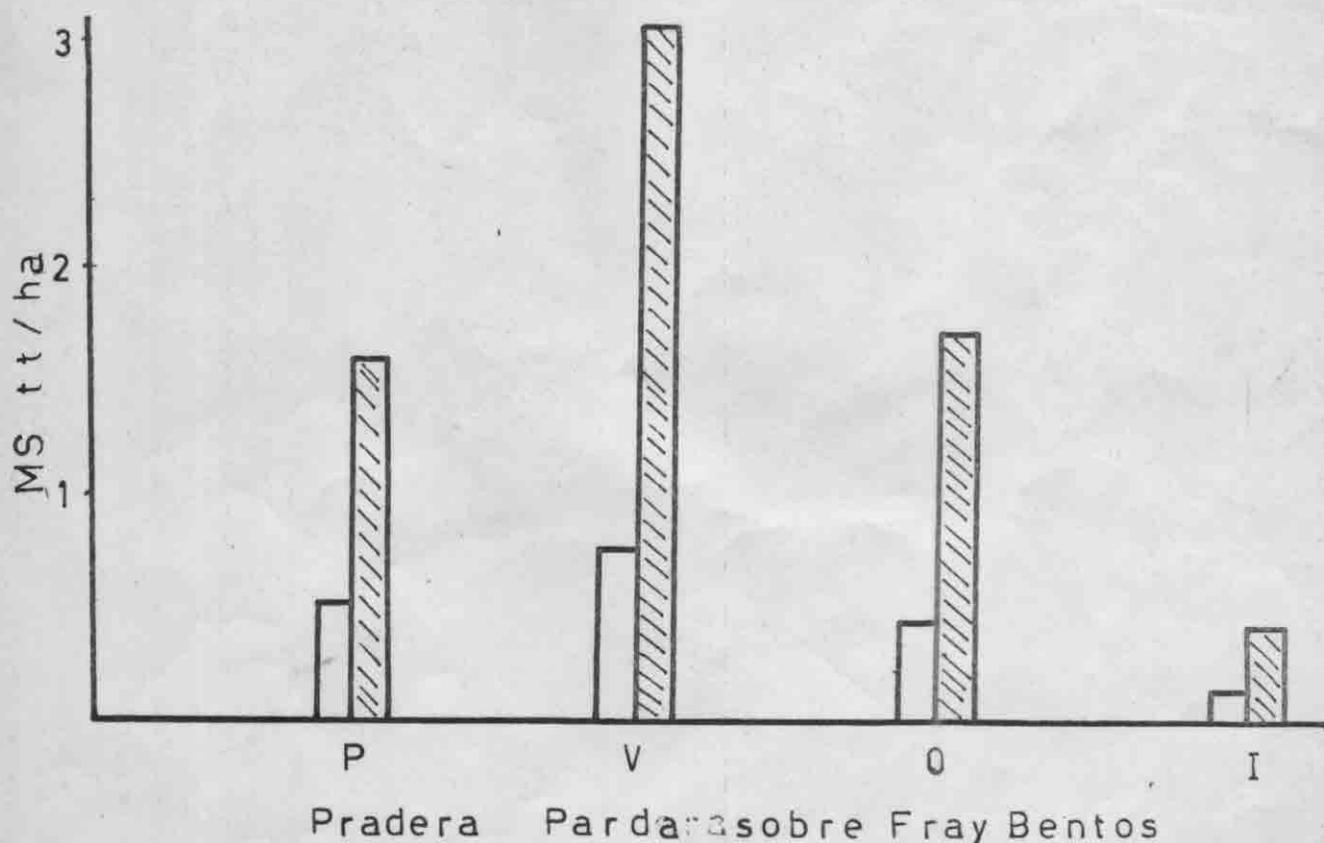
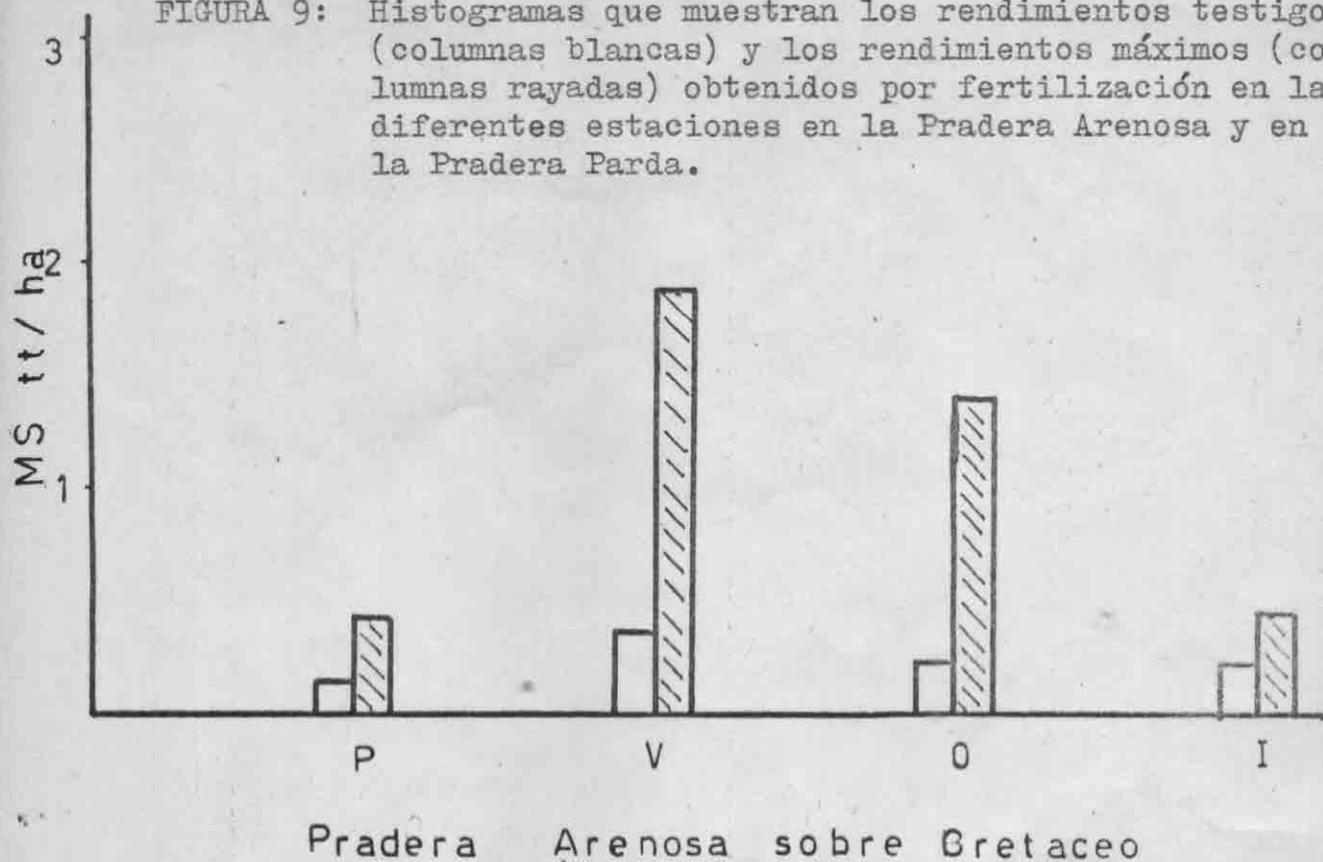


Pradera Negra sobre Basalto



Litosol sobre Basalto

FIGURA 9: Histogramas que muestran los rendimientos testigos (columnas blancas) y los rendimientos máximos (columnas rayadas) obtenidos por fertilización en las diferentes estaciones en la Pradera Arenosa y en la Pradera Parda.



Primavera e Invierno fueron las estaciones del año donde se registraron los menores rendimientos siendo las causas de dicha baja producción diferentes para ambas estaciones de crecimiento. En Primavera la intensa sequía registrada y un menor número de días de crecimiento fueron responsables de la baja producción. En Invierno el ciclo biológico de las especies y las bajas temperaturas deben ser mencionadas como los posibles responsables de la baja producción.

En la Pradera Parda sobre Fray Bentos, las mayores respuestas a la fertilización se produjeron en Primavera y Verano. Los niveles de producción alcanzados en Primavera no fueron altos debido a que en ese período de crecimiento se registró una intensa sequía. En Otoño, el ciclo de las especies es probable que haya operado como limitante.

La menor producción se registró en Invierno siendo probablemente los factores que limitaron el crecimiento vegetal, el ciclo de las especies, las bajas temperaturas y heladas. En esta estación de crecimiento, sobre este suelo y el anterior, la fertilización del campo natural no produce un aumento de producción marcado.

Conviene destacar que como los cortes han sido realizados a fecha fija, resulta imposible determinar los meses críticos y óptimos del año para la producción de forraje.

En este año la Primavera se presentó seca, siendo probablemente el factor más importante para explicar los niveles relativamente bajos de producción obtenidos en este período. El Invierno fue la estación de crecimiento más crítica para la producción en los suelos considerados, poniendo de manifiesto la falta de especies nativas capaces de suministrar cantidades adecuadas de forraje en este momento.

Debe considerarse que no es posible extraer conclusiones definitivas de las variables bajo estudio debido a que se cuenta con datos de un solo año de forma tal, que las variables no controladas no han podido ser caracterizadas adecuadamente. No obstante es posible esperar que el Invierno siga comportándose como la estación de menor producción del año, debido a limitaciones biológicas de las pasturas.

x

En las restantes estaciones el nivel de producción de forraje depende en mayor grado de las lluvias caídas, por lo que no es posible concluir en forma definitiva acerca de la estacionalidad de producción de estos campos naturales con los datos presentes de respuesta a la fertilización.

B. ENSAYO II:

Respuesta anual del campo natural a dosis NP y N^o de aplicaciones de N.

Introducción

El objetivo fue el estudio de los efectos de Número de aplicaciones del fertilizante nitrogenado sobre la producción anual de forraje.

De forma de obtener un estudio de las variables propuestas, fue hecho un análisis de regresión múltiple para cada experimento individual.

En primer término se realizó un análisis de variancia para medir los efectos de la regresión y la falta de ajuste para -- los diferentes suelos.

CUADRO 24. Análisis de variancia para la regresión en cada uno de los sitios experimentales

Fuente	GL	Basalto Superficial	Basalto Profundo	Prad. Arenosa sobre Cretáceo	Prad. Parda sobre Fray Bentos
Regresión	9	19.49 ^{**}	7.696 ^{**}	12.484 ^{**}	38.982 ^{**}
Falta de Ajuste	13	1.763 ^{ns}	1.045 ^{ns}	0.500 ^{ns}	2.597 ^{ns}
Error	22				

Todas las regresiones fueron significativas al 1%.

A continuación se presentan los coeficientes de regresión y los coeficientes de determinación calculados.

CUADRO 25. Estimación de los coeficientes de regresión ($\times 10^3$) su significación, y coeficientes de determinación (R^2).-

	Basalto Superficial	Basalto Profundo	Prad. Arenosa sobre Cretáceo	Prad. Parda sobre Fray Bentos
B_0	3,50	3,81	0,368	2,79
N	0,411**	0,347**	0,558**	0,451**
P	0,193**	0,133*	0,354**	0,269**
F	-0,0937*	-0,0354 ^{N.S.}	0,0355 ^{N.S.}	-0,116**
N^2	-0,137**	-0,0534 ^{N.S.}	-0,0718 ^{N.S.}	-0,0637**
P^2	0,0494 ^{N.S.}	-0,0665 ^{N.S.}	-0,0311 ^{N.S.}	-0,0443 ^{N.S.}
F^2	0,035 ^{N.S.}	-0,000223 ^{N.S.}	-0,0818 ^{N.S.}	-0,0356 ^{N.S.}
NP	0,037*	0,0753*	0,100*	0,124**
NF	-0,0226 ^{N.S.}	0,0441*	-0,0236 ^{N.S.}	-0,0607**
PF	-0,0118 ^{N.S.}	0,0374 ^{N.S.}	-0,0895*	-0,0403*
R^2	0,7145	0,6590	0,7973	0,8403

Estas funciones se utilizaron para:

- Construir las superficies de respuesta que representan los rendimientos estimados para las diferentes combinaciones de nitrógeno y fósforo, al nivel más favorable de fraccionamiento de N (figuras 10 y 11).
- Estimar incrementos en producción por unidad de nutriente a plicado, en los diferentes rangos de dosis experimentales, al nivel medio de fraccionamiento de Nitrógeno.

1. Análisis individual de los sitios experimentales.

Litosol sobre Basalto.

Los coeficientes lineales del N y P son positivos y significativos al 1%, mostrando que en este suelo hubo una alta respuesta en la producción anual a la fertilización. La ecuación muestra incrementos decrecientes al fertilizante nitrogenado, a través del término cuadrático N^2 el cual es negativo y significativo al 1%.

El coeficiente lineal calculado para fraccionamiento es negativo y significativo al 5%, mostrando que esta variable tiene un efecto desfavorable sobre la producción de forraje. Por otro lado el coeficiente F^2 es positivo pero no significativo, predominando en la función estimada el efecto del coeficiente anterior.

Fue encontrada una interacción entre N y P ligeramente significativa. La producción estimada para la dosis media de P_2O_5 utilizada fue de 2.360 kg. de MS/há., mientras que la producción obtenida para la dosis media experimental NP fue de 3.820 kg. de MS/há. de forraje.

La respuesta en producción de forraje para el rango de las dosis utilizadas en el diseño experimental varían entre 2.090 y 4.970 kg. de MS/há. de forraje.

La producción estimada para la combinación media de fertilizantes utilizados en el diseño, valor codificado 0-0, variaron entre 3.820 y 3.450 kg. de forraje seco por hectárea, para los niveles de fraccionamiento 1 y 5, respectivamente.

Esta tendencia se mantiene para las restantes combinaciones de fertilizantes. No fue encontrada interacción entre el P y el nivel de fraccionamiento del nitrógeno.

Pradera Negra sobre Basalto.

Los coeficientes lineales del N y P, fueron significativos al nivel 1% y 5% respectivamente, mostrando una alta respuesta a la fertilización. Los coeficientes cuadráticos N^2 y P^2 son de signo negativo, mostrando la tendencia de que los incrementos de producción son decrecientes, a pesar de que no alcanzan significación.

Los coeficientes lineales y cuadráticos para fraccionamientos F^2 son negativos y no significativos, mostrando una tendencia desfavorable al fraccionamiento del N. Por otro lado, se encontró una interacción NF positiva y ligeramente significativa, indicando que a las dosis mayores el fraccionamiento del N tendría efectos favorables sobre la producción.

Fue encontrada una interacción positiva y significativa al nivel 5% en N y P, lo cual está de acuerdo con la respuesta obtenida por los nutrientes elementales.

La respuesta en producción de forraje para el rango de dosis utilizadas en el diseño varían desde 2.270 hasta 4.720 kg. de MS/há.

La producción estimada para una dosis de 320 unidades de P_2O_5 fue de 3500 kg. de MS/há., mientras que la producción estimada para 320 unidades de P_2O_5 y N fue de 4,850 kg. de MS/há.

La respuesta de producción estimada para la combinación menor de fertilizantes incluida en el diseño (-2-2) varía entre 3.070 y 2.270 kg. de MS de forraje por hectárea para los niveles de fraccionamientos 1 y 5 respectivamente.

Para la combinación media de fertilizantes utilizados (00) la producción varía entre 3,840 y 3,740 kg. de MS/há. para los niveles 1 y 5, respectivamente. Cuando se considera la combinación de fertilizantes mayor (2,2) la producción obtenida es de 4.333 y 4.850 para los niveles 1 y 5, respectivamente.

Pradera Arenosa sobre Cretáceo.

Esta localidad mostró una gran respuesta al N y P_2O_5 como* está indicado por la alta significación del coeficiente lineal para esas variables. Incrementos decrecientes al fertilizante-nitrogenado y fosfatado se muestra en la ecuación, a través de los términos cuadráticos N^2 y P^2 aunque estos no alcanzaron -- significación.

La respuesta de producción de forraje estimada para la dosis utilizada varía entre 1.320 y 5.580 kg. de MS/há.

Una interacción positiva y significativa fue encontrada entre N y P. La producción de forraje estimada para una dosis de 320 unidades de P_2O_5 fue de 2.660, mientras que para el tratamiento que incluye además, 320 unidades de N, la producción - fue de 5.500 kg. de MS/há.

El coeficiente lineal para fraccionamiento de N es positivo y no significativo, el coeficiente cuadrático P^2 es de signo negativo y no significativo, mostrando esta variable efectos poco claros sobre la producción de forraje.

Se encontró una interacción significativa y positiva entre el P y el nivel de fraccionamiento, indicando una mayor utilización del fósforo, cuando el N es suministrado en forma fraccionada.

Pradera Parda sobre Fray Bentos.

Este sitio mostró una gran respuesta al Nitrógeno y Fósforo como está indicado por la alta significación del coeficiente lineal para esas variables.

Incrementos decrecientes al fertilizante nitrogenado se muestran en la ecuación, a través del término cuadrático N^2 , el cual es negativo y significativo al nivel de significación del 10%.

La respuesta de producción estimada para las dosis utilizada

das varía entre 1.100 y 4.790 kg. de MS de forraje por há. Una interacción positiva y altamente significativa fue encontrada entre N y P, lo cual no es sorprendente si tenemos en cuenta la respuesta obtenida a los nutrientes elementales.

La producción estimada para una dosis de 320 unidades de P_2O_5 fue de 1.510 kg. de MS, mientras que la producción estimada para la dosis anterior y 320 unidades de N fue de 4.790 kg. de MS/há.

El coeficiente lineal para fraccionamiento de N es negativo y significativo al 1%, indicando una tendencia desfavorable al fraccionamiento del Nitrógeno.

Una interacción negativa y muy significativa se puso de manifiesto entre N y nivel de fraccionamiento, indicando un efecto desfavorable del fraccionamiento del Nitrógeno.

La respuesta de producción estimada para la combinación media de fertilizantes utilizados en el diseño experimental, varió entre 2.880 y 2.420 kg. de MS de forraje por hectárea, para los niveles de fraccionamientos 1 y 5, respectivamente.

La función muestra una interacción negativa y significativa entre el fósforo y el nivel de fraccionamiento del nitrógeno, indicando una mejor utilización del fósforo, cuando el nitrógeno es suministrado en la forma más eficiente.

2. Conclusiones Generales.

Las cuatro localidades consideradas, mostraron una respuesta anual significativa al agregado de N y P. En cambio el efecto del fraccionamiento de la dosis de N no presenta significación consistente en los diferentes sitios y las tendencias observadas no son muy claras.

Los niveles de producción estimados para el campo natural a la menor dosis utilizada en el diseño experimental varían entre 1.100 y 2.270 kg. de MS/há. para la Pradera Parda sobre Fray Bentos y la Pradera Negra sobre Basalto Profundo, respectivamente.

La Pradera Arenosa sobre Cretáceo y el Litosol sobre Basalto, mostraron valores intermedios, siendo éstos, 1.320 y 2.090 kg. de MS/há., respectivamente.

Los niveles de producción estimados para las mayores dosis de fertilizantes utilizados variaron entre 4.720 y 5.580 kg. de MS/há. para la Pradera Negra sobre Basalto y la Pradera Arenosa sobre Cretáceo, respectivamente.

Los otros dos suelos alcanzaron valores intermedios, siendo éstos 4.790 y 4.970 para la Pradera Parda sobre Fray Bentos y Litosol sobre Basalto, respectivamente.

La respuesta a la fertilización de los campos naturales, expresados a través de la relación

$$\frac{Y \text{ máx.}}{Y \text{ test.}}$$

alcanza valores de 4,35 para la Pradera Parda sobre Fray Bentos, 4.22 para la Pradera Arenosa sobre Cretáceo, 2.3 para el Litosol sobre Basalto y 2.07 para la Pradera Negra sobre Basalto, es decir, que las mayores respuestas fueron obtenidas en los suelos de menor nivel de producción natural durante este año. De esto no se puede concluir que los suelos que presentaron menor producción, sean los de menor fertilidad natural, debiéndose dar gran importancia a las variables no controladas en el experimento y al efecto año.

Fueron observadas tendencias a incrementos decrecientes al N en todas las ecuaciones calculadas, a pesar de que los coeficientes cuadráticos N^2 no alcanzaron significación en los sitios sobre Pradera Negra sobre Basalto y Pradera Arenosa sobre Cretáceo.

Los coeficientes cuadráticos P^2 no alcanzaron significación en ninguno de los casos. Los signos fueron negativos, indicando incrementos decrecientes, salvo para el Litosol sobre Basalto, donde se presentan incrementos crecientes como lo demuestra el signo positivo del coeficiente P^2 .

La respuesta de producción estimada, por unidad de fósforo aplicada, dentro de los intervalos de P utilizados en el diseño, a dosis medias de N y al nivel medio de fraccionamiento de N, aparecen en el cuadro 26.

CUADRO 26. Incrementos en kg. de MS/há. por unidad de fósforo, en los intervalos de fertilizantes usados en el diseño, al nivel medio de N y fraccionamiento de N.-

	Litosol sobre Basalto	Prad.Negra sobre Basalto	Prad.Parda sobre Fray Bentos	Prad.Arenosa sobre Cretáceo
0 - 80	0,012	0,100	0,197	0,154
80 - 160	0,074	0,055	0,125	0,142
160 - 240	0,068	0,018	0,082	0,086
240 - 320	0,090	-0,018	0,043	0,065

La respuesta al fósforo varió considerablemente entre los diferentes suelos, por unidad de P_2O_5 . En el intervalo inicial la respuesta obtenida varió entre 0,012 y 0,197 para el Litosol sobre Basalto y la Pradera Parda sobre Fray Bentos, respectivamente.

En el caso del Litosol sobre Basalto los incrementos crecientes a la aplicación de P estarían indicando fijación de fósforo por parte del suelo, lo que no es sorprendente dado el alto contenido de óxidos de hierro del mismo. Según análisis efectuados por Zamalvide, (el suelo tiene 3,4% de Fe_3O_3).

CUADRO 27. Incrementos de kg. de MS/há. por unidad de N, en los intervalos de fertilizante usados, al nivel medio de P_2O_5 y fraccionamiento de nitrógeno.

	Prad.Parda sobre Fray Bentos	Prad.Arenosa sobre Cretáceo	Litosol sobre Basalto	Prad.Negra sobre Basalto
10 - 90	0,460	0,337	0,175	0,384
90 - 170	0,223	0,206	0,117	0,186
170 - 250	0,136	0,130	0,076	0,077
250 - 330	0,081	0,084	0,046	0

El mayor incremento por unidad de nitrógeno, en el primer intervalo considerado, varió desde 0,175 hasta 0,460, para el Litosol sobre Basalto y Pradera Parda sobre Fray Bentos, respectivamente. No fue obtenida respuesta a la fertilización para aplicaciones de N entre 250 y 330, unidades de N sobre la Pradera Negra sobre Basalto, siendo este el único sitio donde se alcanza la máxima producción.

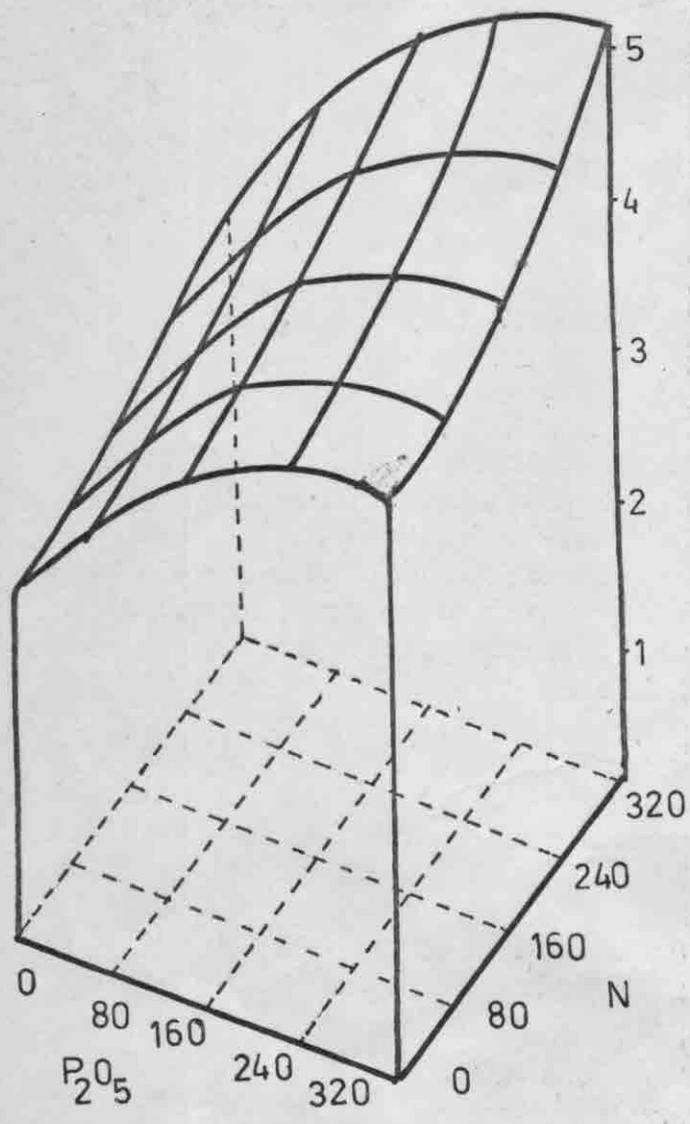
Una interacción positiva y significativa entre N y P fue encontrada en los cuatro suelos, siendo el coeficiente para el Litosol sobre Basalto de menor magnitud, alcanzando significación al nivel 20%.

El potasio presentó, como en el caso del ensayo I, una respuesta errática. (Ver apéndice).

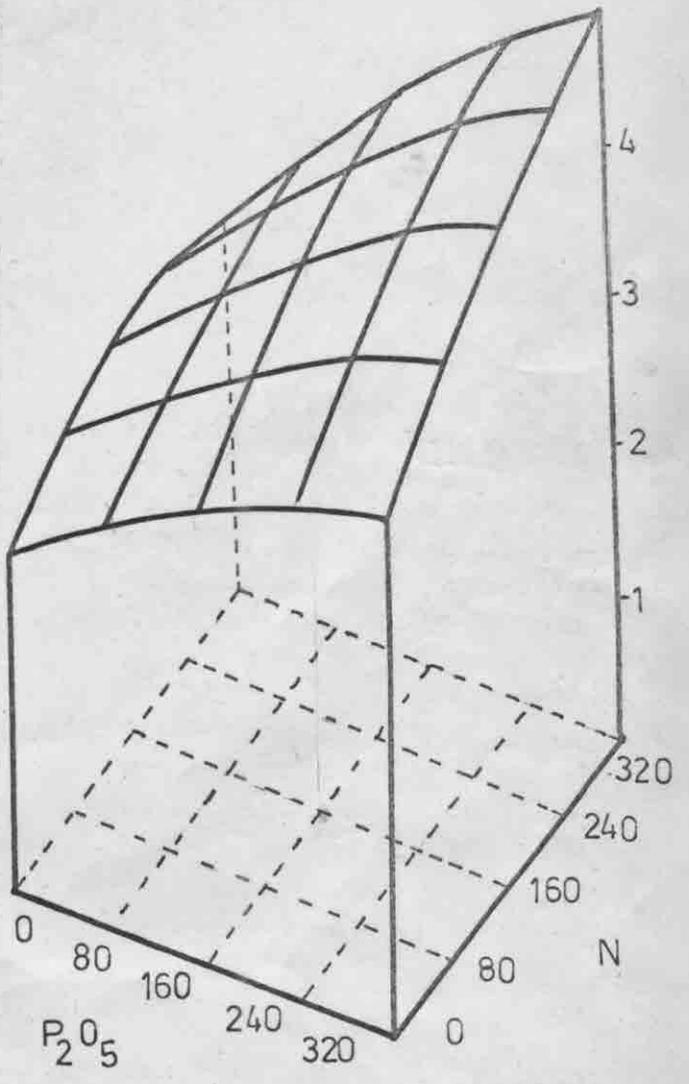
Los cuatro sitios mostraron diferente respuesta al fraccionamiento del N, como lo indican los signos y la significación de los coeficientes lineales, cuadráticos, NF y PF, para esa variable.

El Litosol sobre Basalto y la Pradera Parda sobre Fray Ben

Fig: 10

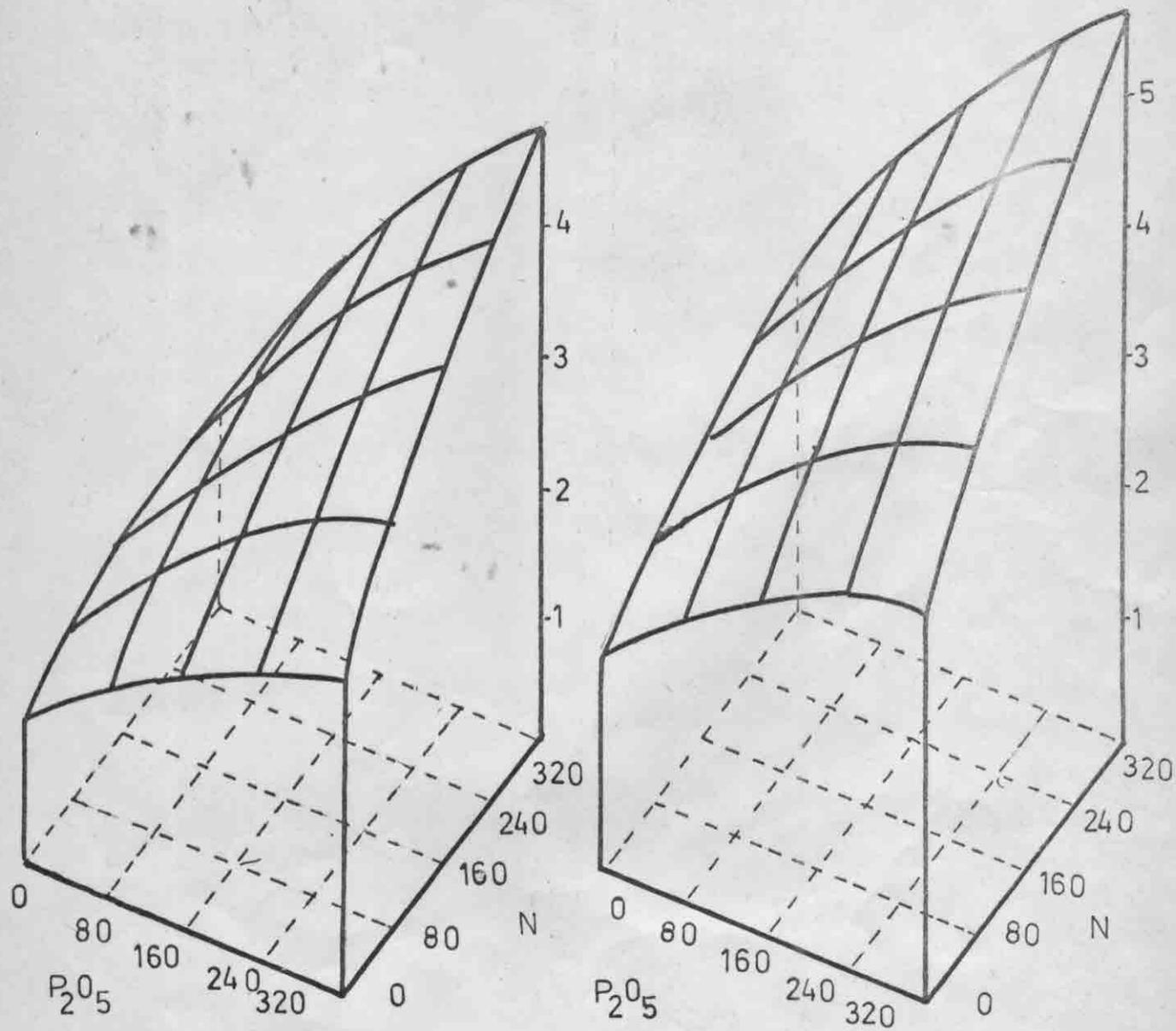


Litosol sobre Basalto



Pradera Negra sobre Basalto

Fig: 11



Pradera Parda sobre Fray Bentos Pradera Arenosa sobre Cretaceo

tos muestran una tendencia desfavorable al fraccionamiento de N. La Pradera Negra sobre Basalto manifiesta una tendencia desfavorable al fraccionamiento del N a bajas dosis, mientras que a dosis altas se ve el efecto contrario. La Pradera Arenosa -- sobre Cretáceo muestra una tendencia ligeramente favorable al fraccionamiento de N.

Debe considerarse que no se dispuso de medidas adecuadas - para caracterizar otros factores, los cuales pueden haber sido aún más importantes que esta variable, tales como los efectos de la época de aplicación del fertilizante, el clima, el drenaje de los suelos, pérdidas por volatilización, ciclo biológico de las pasturas y los efectos del momento de corte.

Es decir, que la significación de esta variable puede resultar, en parte o completamente, de una asociación incidental con otros factores, para los cuales no fue incluida una variable, los cuales tuvieron un efecto determinado sobre la pro-ducción bajo las condiciones particulares de este ensayo.

Por estas razones, no es posible sacar una conclusión definitiva sobre la mejor forma de distribución en el tiempo del - fertilizante nitrogenado.

C. ENSAYO III:

Eficiencia relativa de
dos fuentes de fósforo

Introducción

Existe una larga discusión acerca de la conveniencia de los distintos tipos de fertilizantes fosfatados. En esta discusión se ha tomado posición de uno y otro bando en nuestro país un poco irracionalmente, tratando de aplicar a nuestras condiciones los resultados obtenidos en otros países. A lo sumo, se han tenido en cuenta de entre los muchos factores que pueden estar determinando la eficacia relativa de los distintos fosfatos, alguna propiedad del suelo, el pH por ejemplo, y alguna propiedad del fertilizante como el tamaño de gránulo o el grado de solubilidad.

Hasta ahora no se han encontrado métodos satisfactorios para determinar la eficiencia absoluta de una fuente, pero los métodos permiten determinar eficiencias relativas entre las diversas fuentes. Esto implica comparar la respuesta de un cultivo a distintas fuentes y dosis del nutriente en consideración.

Este ensayo se plantea, a efectos de comparar las dos fuentes de fósforo más comunmente usadas en la fertilización en cobertura de las pasturas del país, que son: superfosfato e hipofosfato.

Se compara la respuesta en producción de forraje del campo natural, en un primer año de aplicación masiva de las dos fuentes a diferentes dosis.

Los suelos en los cuales se lleva a cabo este ensayo son: una Pradera Arenosa sobre Cretáceo y una Pradera Parda sobre Fray Bentos.

Resultados

En esta sección se incluyen los resultados de los análisis de la respuesta a los dos experimentos. Se utilizaron técnicas de análisis de variancia y regresión múltiple.

Análisis individual de los experimentos

1. Pradera Arenosa sobre Cretáceo.

A fin de conocer los efectos de la fertilización en la producción de forraje, se realizó, en primer término, un análisis de variancia que se presenta en el cuadro 28.

CUADRO 28. Análisis de variancia separando la variación en efectos de bloques, tratamientos, testigos vs tratamientos fertilizados y diferencias dentro de tratamientos fertilizados.

Fuente de Variación	GL	CM	F cal
Bloques	3	45,82	1,334 ns
Tratamientos	8	200,602	5,844 **
Testigo vs Trat.fert.	1	578,28	16,847 **
Entre trat. fert.	7	146,648	4,272 **
Error	29	34,324	

El efecto bloque no muestra diferencias significativas, indicando que no existen grandes variaciones en el suelo donde fue instalado el ensayo.

Existen diferencias significativas entre tratamientos. Por tal motivo se descompuso la variación entre los tratamientos -- fertilizados y el testigo, y dentro de los tratamientos fertilizados. Ambas fuentes de variación muestran diferencias significativas al nivel 1%.

A efectos de indagar las causas de las diferencias entre los tratamientos, se realiza un análisis de variancia, sin tener en cuenta el testigo, que aparece en el cuadro siguiente.

CUADRO 29. Análisis de variancia donde se descompone la suma de cuadrados para tratamientos, en efecto, dosis, fuente y la interacción fuente x dosis.

Fuente de Variación	GL	CM	F cal
Bloques	3	21,755	2,09 ns
Tratamientos	7	64,780	6,23 **
Dosis	3	74,452	7,16 **
Fuentes	1	161,730	15,55 **
Fuente x Dosis	3	22,792	2,19 ns
Error	21	10,398	

Nuevamente no aparecen diferencias entre bloques. Se presentan diferencias significativas entre los tratamientos, al nivel 1%, es decir se acepta la hipótesis de que por lo menos hay un tratamiento diferente de los demás.

Dicha variación se descompuso teniendo en cuenta los efectos, dosis, fuentes y fuentes x dosis. Arrojó diferencias significativas al nivel 1% para las diferentes Dosis y Fuentes.

Para caracterizar los efectos en forma cuantitativa, se ajustaron los datos de rendimientos de forraje al modelo propuesto por el método de mínimos cuadrados.

CUADRO 30. Coeficientes de regresión ($\times 10^3$), Coeficientes de determinación (R^2) y valores F de la regresión.-

	b_0	P	P^2	R^2	F
Superfosfato	1.932	0.8785	-0.0854	63.2	14.599 **
Hiperfosfato	1.846	0.3263	-0.0196	48.12	7.890 *

Las regresiones realizadas para superfosfato e hiperfosfato, alcanzan significación a los niveles 1% y 5%, respectivamente. El coeficiente de determinación para superfosfato fue el mayor, coincidiendo con una mayor producción de forraje por há.

CUADRO 31. Rendimientos de producción estimada de forraje y eficiencia relativa de las dos fuentes expresadas a través del cociente P_{205} soluble/ P_{205} insoluble.-

Unidades de P_{205}	Superfosfato	Hiperfosfato	Y super./Y hiper.
0	1.932	1.846	1.04
80	2.579	2.094	1.23
160	3.120	2.318	1.37
320	3.871	2.589	1.49
640	4.064	3.131	1.29

Se observa que los rendimientos obtenidos con superfosfato son siempre superiores a los de hiperfosfato. La eficiencia relativa entre ambas fuentes para las diferentes dosis, expresada a través del cociente P_2O_5 soluble/ P_2O_5 insoluble, varió entre 1.23 y 1.49 para las dosis 80 y 320 unidades de P_2O_5 , respectivamente.

Se observa además, que los rendimientos alcanzados no son muy altos debido al efecto año (Primavera seca) y además la dosis de N utilizada fue menor a la prevista, lo que determina la escasa magnitud de la respuesta y evita que se manifiesten en toda su magnitud las diferencias entre fuentes.

2. Pradera Parda sobre Fray Bentos.

Se realizó en primer término un análisis de variancia, teniendo en cuenta los efectos bloques y tratamientos. El efecto para tratamientos se descompone para ver si esas diferencias radicaban en la presencia del testigo o en diferencias entre los tratamientos fertilizados.

CUADRO 32. Análisis de variancia teniendo en cuenta: Efecto bloques, tratamientos, testigo vs tratamientos fertilizados y diferencias entre trat. fertilizados.-

Fuente de variación	GL	CM	F cal
Bloques	3	23.290	2.029 ns
Trata-mientos	8	57.027	4.969 **
Testigo vs trat. fert.	1	2.750	0.239 ns
Trat. fertilizados	7	64.780	5.644 **
Error	24	11.476	

El análisis de variancia muestra que no existieron diferencias entre bloques, lo que sugiere que no hubieron diferencias muy grandes de los suelos donde se realizaron las repeticiones. Muestra diferencias significativas al nivel 1% entre tratamientos, pero la comparación entre testigo y tratamientos fertilizados no manifiesta diferencias significativas en tanto que sí -- existen diferencias significativas entre tratamientos fertilizados. Se realizaron al fin del primer año análisis de suelo por los métodos Bray No. 1 y No. 2 a fin de corroborar la existencia o no de algún error en la adjudicación de los tratamientos sobre las respectivas parcelas al momento de instalar el ensayo. Los resultados de esos análisis muestran que los tenores más bajos de fósforo fueron los correspondientes a los testigos, a partir de lo cual se comprueba que la asignación de los tratamientos fue correcta.

El análisis de variancia muestra además, que existieron diferencias significativas entre tratamientos. Para conocer con mayor profundidad las causas de dichas diferencias, se realizó en segundo término un análisis de variancia en el cual se incluye únicamente los tratamientos fertilizados.

CUADRO 33. Análisis de variancia donde se descompone la suma de cuadrados para tratamientos en efecto: Dosis, fuente y la interacción fuente x dosis.

Fuente de variación	GL	CM	F cal
Bloques	3	38.812	1.02 ns
Tratamientos	7	146.648	3.85 **
Dosis	3	144.632	3.80 *
Fuente	1	560.287	14.74 **
Fuente x Dosis	3	10.784	0.28 ns
Error	21	38.002	

El análisis de variancia no muestra diferencias entre bloques, pero sí entre tratamientos. Además, existieron diferen -

cias significativas entre las diferentes Dosis y fuentes a los niveles 5% y 1%, respectivamente.

La interacción de fuentes x dosis no es significativa.

De forma de caracterizar cuantitativamente la respuesta a las dos fuentes se ajustó, por método de mínimos cuadrados, el siguiente modelo: $Y = b_0 + P + P^2 + e$.-

CUADRO 34. Coeficientes de regresión ($\times 10^3$), coeficientes de determinación (R^2) y valores F de la regresión.-

	b_0	P	P^2	R^2	F cal.
Superfosfato	2.914	0.2187	-0.0127	52.95	9.56 *
Hiperfosfato	2.761	0.2509	-0.0314	8.82	0.822 ns

La regresión para superfosfato alcanza significación al 5% tal como lo muestra el valor F de la regresión, mientras que la efectuada para el hiperfosfato no alcanza significación. Los coeficientes de determinación fueron 52.95 y 8.82 para superfosfato e hiperfosfato, respectivamente.

Esto demuestra que la función no fue eficaz para ajustar los datos correspondientes al hiperfosfato.

CUADRO 35. Rendimientos de producción estimada de forraje y eficiencia de las dos fuentes expresadas a través del cociente P_{2O_5} soluble/ P_{2O_5} insoluble a las dosis utilizadas.-

Unidades de P_{2O_5}	Superfosfato	Hiperfosfato	P_{2O_5} sol./ P_{2O_5} insol.
0	2.914	2.671	1.09
80	3.008	2.852	1.05
160	3.232	2.992	1.08
320	3.484	3.153	1.10
640	3.794	2.991	1.26

Los rendimientos estimados para superfosfato son superiores a los de hiperfosfato. La eficiencia relativa, expresada a través del cociente P_2O_5 soluble/ P_2O_5 insoluble varía desde 1.05 hasta 1.26 para las dosis extremas utilizadas en el diseño.

Los incrementos de producción obtenidos son sumamente bajos debido a que la dosis utilizada de Nitrógeno no fue suficiente, es decir, limitó la producción de forraje y además evitó que se expresaran diferencias mayores entre ambas dosis.

3. Conclusiones.

Fueron analizados los efectos de dos fuentes de fósforo en la fertilización de dos campos naturales ubicados sobre una Pradera Parda sobre Fray Bentos y una Pradera Arenosa sobre Cretáceo, para el primer año de instalación.

Las tendencias fueron similares en los dos suelos, comprobándose una mayor respuesta al superfosfato tal como está indicado por la magnitud de los coeficientes de las funciones calculadas.

En el suelo arenoso se comprueba una mayor eficiencia del superfosfato que del hiperfosfato, mientras que el ubicado sobre capas de Fray Bentos únicamente muestra respuesta al agregado de superfosfato.

La magnitud de respuesta y los niveles de producción alcanzados son bajos, debido a que la dosis de nitrógeno utilizada fue menor a la prevista. Este hecho al limitar el crecimiento de la pastura, resta validez a la evaluación de la eficiencia de las fuentes de fósforo.

VI. BIBLIOGRAFIA CITADA

- (1) ANDERSON, R.L. y Bancroft, T.A. 1952. Statiscal Theory in Research.
- (2) BAUM, E.L. 1956. Economic Analisis of Fertilizes USA data. The Iowa State College Press - Ames, Iowa -. Cap. 5 y 6: 76-96; 101-112.
- (3) CARRIQUIRY PENINO, Miguel. 1971. "Eficiencia relativa de fosfatos solubles e insolubles". Seminario.
- (4) CIDE, 1967. Oficina de Programación y Política Agropecuaria del Ministerio de Ganadería y Agricultura. Uruguay.
- (5) COOPER, C.S. 1956. The effect of source, rate, and time - of nitrogen application upon the yields, vegetative composition and crude protein content of native flood, meadow hay in Eastern Oregon. Agron.J. 48, No. 12:543-5.
- (6) DRAWE, D.L. and Box, T.W. 1969. High rates of nitrogen -- fertilization Influence coastal praire range. J. Range Mgmts. 22, No. 1:32-36.
- (7) ERNST, J.W. and Massey, H.F. 1960. The effects of several factors on volatiliztion of ammonia formed from urea in the soil. Soil.Sci.Amer.Proc. 24:87-90.
- (8) GALLINAL, J.P.; Bergalli, L.U.; Campal, E.F.; Aragone, L. y Rosengurtt, H.B. 1938. Estudios sobre Praderas Naturales del Uruguay. Primera contribución.
- (9) GUSEV, A., Prizhukova, L. 1969. Effect of mineral fertilizers in improvement of a natural meadow. H. Abstrats 1970. Vol. 40(2):779.

- (10) HADES, R.J.; Hasward, M.E.; Mason, D.D. and Moore, D.P. 1957. An investigation of some of the Relationships Between Copper, Iron, and Molybdenum in the growth and Nutrition of Lettuce; I. Experimental Design and Statical Methods for Characterizing the Response Surface. Soil Science Society of America. Proc. Vol. 21(1).
- (11) HEADY, E. and Dillon, J.L. 1961. Agricultural Productions Funtions. Iowa State University Press. pp.73-194.
- (12) HOGLUND, O.K. 1952. Aplication of fertilizers to aid conservation on annual forage range. J. Range. Mgmt. (5), 55-61.
- (13) HUFFMAN, E.O. and Taylor, A.W. (1963). Behavior of water soluble phosphates in soils. J.Agric. Food. Chem, Vol. 11, 182-187.
- (14) JONES, M.B. 1960. Response of annual range to urea applied at varios dates. J. Range Mgmt. 13, No.4, 188-92.
- (15) JONES, M.B. 1961. Grownd cover and plants present on grazed annual range as affected by nitrogen fertilization. J. Range Mgmt, 14, No.3, 146-8.
- (16) JONES, M.B. and Evans, R.A. 1960. Botanical composition - changes in annual grassland as affected by fertilization and grazing. Agron.J, 52, No.8; 459-61.
- (17) JOHNSTON, A; Smoliak, S.; Smith, A.P.; Lutwick, L.E. 1969 Seasonal precipitation, evaporation, soil moisture and yield of fertilized range vegetation. Can. J. Pl. Sci, 49, No.2, 123-8.
- (18) KILCHER, M.R.; Smoliak, S.; Hubbard, W.A.; Johnston, A.; Gross, A.T.; and McCurdy, E.V. 1965. Effects of inorganic nitrogen and phosphorus fertilizers on selected sites of native grassland in Western Canada. Can. J. Pl. Sci; 45, No. 3, 229-37.

- (19) KLIPPLE, G.E. and Retzer, J.L. 1959. Response of native - vegetation of the Central Great Plains to appli-- cations of corral manure and comercial fertilizer. J. Range Mgmt. 12, No.5; 239-43.
- (20) KRESGE, C.B. and Satchell, D.P. 1960. Gaseous Loss of - ammonia from nitrogen fertilizers applied to soils. Agr. Jour. 52:104-107.
- (21) LEHR, J.R.; Brown, W.E. and Brown, E.H. 1959. "Chemical- behavior of monocalcium phosphaste monohydrate in soil". Soil Sci. Amer. Proc., vol.23, 3-7.
- (22) LIIV, J.G. 1966. Changes in sward of natural grasslands- under the influence of fertilization and utiliza- tion. Proceedings of the X International Grass- land Congress.
- (23) LINDSAY, W.L. and Moreno, E.C. 1960. Phosphate phase e- quilibria in soils. Soil Sci. Soc. Amer Proc.Vol 24, 177-182.
- (24) LINDSAY, W.L. and Stephenson, H.F. 1959. Nature of the - reactions of monocalcium phosphate monohydrate in soils: I) The solution that reacts with the soil. Soil, Sci. Soc. Amer. Proc. vol. 23, 12-17.
- (25) LINDSAY, W.L. and Stephenson, H.F. 1959. Natura of the- reactions of monocalcium phosphate monohydrate in soils: II) Disolution and precipitation reactions involving iron, aluminum, manganese and calcium.- Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. vol. 23:18-22.
- (26) LINDSAY, W.L. and Taylor, A.W. 1960. Phosphate reaction- products in soil and their availability to plants. 7th Intern. Congres. Soil, Sci, Trans. vol.3,580- 589.
- (27) LODGE, R.W. 1959. Fertilization of native range in the Northern Great Plains. J. Range. Mgmt, 12; No.6; 277-79.

- (28) LOW, A.J. and Piper, F.J. 1961. Urea as a fertilizer. Laboratory and pot-culture studies. J. Agri. Sci. 57(2):249-255.
- (29) MADER, E.L. 1958. The influence of certain fertilizer treatments on the native vegetation of Kansas prairie. Herbage Abstracts vol. 28(2).
- (30) MASON, J.L. and Miltimore, J.E. 1959). Increase in yield and protein content of native bluebunch wheatgrass from nitrogen fertilization. Canad. J. Pl. Sci. , 39; No. 4; 501-4.
- (31) MASON, J.L. and Miltimore, J.E. 1969. Yield increases - from nitrogen on native range in southern British Columbia. J. Range. Mgmt. 22:No.2, 128-31.
- (32) MEYER, R.D.; Olson, R.A. and Rhoades, H.F. 1961. Amonia losses from fertilized Nebraska soils. Agron.J.53: 241-244.
- (33) NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1961. Statur and Methods - of Research in Economic and Agronomic Aspects of Fertilizers Response and use, National Research - Council.
- (34) NORMAN, M.J. 1962. Response of native pasture to nitro-- gen and phosphate fertilizer at Katherine. N. T. Aust. J. Exp. Agric. anim. Husb. No.4(2):27-34.
- (35) OFER, Y. and Seligman, N. 1969. Fertilization of anual range in Northern Israel. J. of Range Mgmt. Vol. 22(5).
- (36) OVERREIN, L.N. and Moe, P.G. 1967. Factors affecting u- rea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31:57-61.
- (37) PEASLEE, D.E.; Anderson, C.A.; Burns, G.R. and Black, C.A. 1962. Estimation of the relative value for plants of rock phosphates and superphosphates on diffe - rents soils. Soil.Sci.Soc.Amer.Proc., Vol 26:566 - 570.

- (38) ROGLER, G.A. and Lorenz, R.J. 1957. Nitrogen fertilization of Northern Great Plains rangelands. J. Range Mgmt. 10; No.4:156-60.
- (39) ROSENGURTT, B.; Gallinal, J.P.; Bergalli, L.; Campal, E.F. 1939. La variabilidad de la comp. de las prad. - Est. sobre Prad. Nat. del Uruguay (2a. contribución). Rev. As. Ingrs. Agrs. XI(3):28-33.
- (40) ROSENGURTT, B. 1943. La estructura y el pastoreo de las praderas en la región de Palleros. (3a. contribución).
- (41) ROSENGURTT, B. 1944. Las formaciones campestres y herbáceas del Uruguay. (4a. contribución). Agros: 134.
- (42) ROSENGURTT, B. 1946. Estudios sobre praderas naturales - del Uruguay. (5a. contribución).
- (43) ROSENGURTT, B.; Arrillaga de Maffei, B.; Izaguirre de Artucio, P. 1970. Gramíneas Uruguayas. Universidad de la República.
- (44) RUNBURG, C.B. and Cooper, C.S. 1961. Fertilizer Induced Changes in Botanical Composition, Yield, and Quality of Native Meadow Hay. Agron. J. Vol. 53(4): 255-259.
- (45) TEJEDA, G. 1969. La investigación de fertilidad de suelos para la producción agrícola en la zona templada. IICA-Zona Sur. pp. 171-182.
- (46) TERMAN, G.L. 1960. Yield response in experiments with phosphorus fertilizers in relation to: I) Meaningful differences among sources on acid soils of Southeast States. Soil.Sci., Soc. Amer. Proc. Vol 24:356-360.
- (47) TERMAN, G.L. 1961. "Yield response in experiments with phosphorus fertilizers in relation to: II) Variability and differences among sources on soils of Northern States. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. vol. 25:49-52.

- (48) TERMAN, G.L.; Bouldin, D.R. and Lehr, J.R. 1958. Calcium phosphates fertilizers: I) Availability to plants and solubility in soils of varying ph. Soil.Sci. Soc. Amer. Proc., vol. 22:25-29.
- (49) TERMAN, G.L.; De Ment, J.O.; Clements, L.G. and Iretz, J.A. 1960. Crop response to ammoniated superphosphate and dicalcium phosphate as affected by granule size, water solubility and time of reaction with the soil. J.Agric.Food.Chem., vol. 8:13-18.
- (50) TERMAN, G.L. 1965. Volatilization loss of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers. Agrochemical-West.
- (51) TERMAN, G.L. and Hunt, C.M. 1964. Volatilization losses of nitrogen from surface-applied fertilizers, as measured by crop response. Soil. Sci., Soc. Amer. Proc. 28:667-672.
- (52) VOLK, G.M. 1959. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf of base soils. - Agron. J. 51:746-749.
- (53) VOLK, G.M. 1966. Efficiency of fertilizer urea as affected by method of application, soil moisture and lime. Agron. J. 58:249-252.
- (54) VOSS, R.G. and Pesek, J.T. 1967. Agron. J. 59:567-572.
- (55) WAHHAB, A.; Mahmud Khan and Ishaq, M. 1960. Nitrification of urea and its loss through volatilization of ammonia under different soil conditions. J. Agric. Sci. 55(1):47-51.
- (56) WEBB, J.R.; Eik, K. and Pesek, J.T. 1961. An evaluation of phosphate fertilizers applied broadcast on calcareous soils for corn. Soil. Sci. Soc. Amer. - Proc. vol. 25:232-236.
- (57) WEBB, J.R. and Pesek, J.T. 1958. An evaluation of phosphorus fertilizers varying in water solubility: I) Hill applications for corn. Soil, Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 22:533-532.

- (58) WEBB, J.P. and Pesek, J.T. 1959. An evaluation of phosphorus fertilizers varying in water solubility: - II) Broadcast applications for corn. Soil, Soc. - Amer. Proc. vol. 23, 381-384.
- (59) WEBB, J.R.; Pesek, J.T. and Eik, K. 1961. An evaluation of phosphorus fertilizers varying in water solubility: III) Oat fertilization. Soil, Sci. Soc. Amer. Proc. vol. 25:222-226.

VII. APENDICE I

VII. APENDICE I

Ensayo I

FRECUENCIA DE ESPECIES, DETERMINADA A TRAVES
DE PUNTO CUADRADO, PARA TRES TRATAMIENTOS

<u>Litosol sobre Basalto</u>	Primavera (20/11/72) 1971			Ciclo veg.	Tipo Produc.
	5	10	13		
<i>Paspalum notatum</i>	9.0	2.5	9.5	E.	Tierno
<i>Cloris bahiensis</i>	22.0	21.0	23.0	E.	Tierno
<i>Chloris ciliata</i>	0.5	0.5	4.5	E.	O.I.
<i>Phalaris platensis</i>	3.0	5.5	4.0	I.	Tierno
<i>Piptochaetium montevidense</i>	4.5	5.5	0.5	I.	O.P.
<i>Piptochaetium stipoides</i>	8.0	3.0	1.5	I.	O.P.
<i>Stipa neesiana</i> var. <i>neesiana</i>	-	2.0	-	I.	O.P.
<i>Stipa neesiana</i>	1.5	1.5	0.5	I.	T.D.
<i>Eragrostis virescens</i>	0.5	4.0	4.0	E.	-
<i>Eragrostis lugens</i>	2.5	1.0	0.5	E.	O.P.P.
<i>Eragrostis neesii</i>	-	-	0.5	E.	O.I.
<i>Paspalum plicatulum</i>	-	2.0	3.5	E.	T.D.
<i>Rottboellia selleana</i>	2.0	5.5	7.5	E.	Tierno
<i>Aeistida</i> s.p.	5.0	8.5	10.0	I.	0
<i>Bothriochloa laguroides</i>	11.5	-	7.0	E.	O.P.P.
<i>Schizachirium spicatum</i>	-	8.5	-	E.	O.I.
<i>Chloris retusa</i>	1.0	-	1.0	E.	Tierno
<i>Adesmia bicolor</i>	0.5	0.5	-	Ind.	Fino
<i>Desmantis depresus</i>	1.0	-	-	E.	O.P.P.
<i>Trideus hackelii</i>	4.0	2.5	1.0	E.	O.P.P.
<i>Briza minor</i>	-	5.5	-	I.	Tierno
<i>Eleusine tristachya</i>	-	0.5	0.5	E.	O.P.P.
<i>Vulpia australis</i>	-	0.5	0.5	I.	O.I.
<i>Panicum milioides</i>	2.5	0.5	3.0	E.	Tierno
<i>Piptochaetium bicolor</i>	0.5	1.0	1.0	I.	T.D.
Maleza	8.0	7.5	5.0	-	-
Suelo	3.0	6.0	6.0	-	-
Restos secos	1.5	2.0	3.0	-	-
<i>Cyperus</i>	3.0	1.0	1.5	-	-

Ensayo I

FRECUENCIA DE ESPECIES, DETERMINADA A TRAVES
DE PUNTO CUADRADO, PARA TRES TRATAMIENTOS

Pradera Negra sobre Basalto

Primavera (20/11/72) 1971

	5	10	13	Ciclo veg.	Tipo Produc.
<i>Paspalum dilatatum</i>	10.0	2.5	8.5	E.	T.D.
<i>Paspalum notatum</i>	1.0	2.5	7.0	E.	Tierno
<i>Bothrichloa lagaroides</i>	11.0	1.0	9.5	E.	O.P.P.
<i>Bothrichloa imperatoides</i>	1.5	2.5	2.0	E.	O.P.P.
<i>Piptochaetium montevidense</i>	1.5	1.5	-	I.	O.P.
<i>Piptochaetium stipoides</i>	3.0	1.5	3.0	I.	O.P.
<i>Piptochaetium bicolor</i>	1.0	-	-	I.	T.D.
<i>Eragrostis virescens</i>	3.5	0.5	3.0	E.	-
<i>Eragrostis lugons</i>	2.0	2.0	1.0	E.	O.P.P.
<i>Aristida s.p.</i>	15.5	5.5	12.0	I.	O.
<i>Stipa neesiana</i>	4.0	-	3.5	I.	T.D.
<i>Stipa neesiana var. neesiana</i>	6.0	3.0	11.0	I.	O.P.
<i>Andropogum ternatus</i>	16.5	15.0	11.0	E.	O.P.P.
<i>Schizachirion spicatum</i>	9.0	43.0	9.0	E.	O.I.
<i>Bouteloa megapota mica</i>	0.5	-	1.0	E.	O.P.P.
<i>Melica s.p.</i>	-	0.5	1.0	I.	O.
<i>Panicum milioides</i>	-	-	3.0	E.	Tierno
<i>Adesmia bicolor</i>	-	-	0.5	Ind.	Fino
<i>Lolium multiflorum</i>	-	-	3.0	I.	Fino
<i>Briza subaristata</i>	-	-	1.0	I.	O.P.P.
<i>Phalaris platensis</i>	-	-	0.5	I.	Tierno
<i>Cyperus</i>	-	1.5	-	-	-
Malezas	3.5	5.0	2.5	-	-
Restos Secos	9.5	8.0	4.0	-	-
Suelo	0.5	3.0	1.5	-	-

Ensayo I

FRECUENCIA DE ESPECIES, DETERMINADA A TRAVES
DE PUNTO CUADRADO, PARA TRES TRATAMIENTOS

Pradera Arenosa sobre Cretáceo

Primavera (25-9/72) 1971

	5	10	13	Ciclo veg.	Tipo Produc.
<i>Axonopus argentinus</i>	17.0	25.5	27.0	E.	Tierno
<i>Bothriochloa laguroides</i>	4.0	2.0	3.5	E.	O.P.P.
<i>Paspalum plicatulum</i>	14.5	4.5	2.5	E.	T.D.
<i>Paspalum nicorae</i>	2.0	4.5	3.5	E.	T.D.
<i>Paspalum notatum</i>	1.5	5.0	4.5	E.	Tierno
<i>Piptochaetium montevidense</i>	1.5	3.5	1.5	I.	O.P.
<i>Piptochaetium stipoides</i>	2.0	1.5	-	I.	O.P.
<i>Piptochaetium panicoides</i>	2.5	3.0	0.5	I.	O.P.
<i>Piptochaetium bicolor</i>	0.5	-	-	I.	T.D.
<i>Rotboellia selloana</i>	0.5	2.0	1.5	E.	Tierno
<i>Briza minor</i>	4.0	-	2.0	I.	Tierno
<i>Briza subaristata</i>	2.0	1.0	-	I.	O.P.P.
<i>Agenium villosum</i>	6.5	12.0	6.0	I.	O.M.P.
<i>Eragrostis neesii</i>	0.5	4.5	-	I.	O.I.
<i>Aristida s.p.</i>	-	2.0	1.0	E.	O.
<i>Andropogon ternatus</i>	1.5	-	-	E.	O.P.P.
<i>Andropogon Lateralis</i>	-	2.5	-	E.	D.
<i>Calamagrostis montevidensis</i>	0.5	-	-	I.	Tierno
<i>Chloris retusa</i>	0.5	1.0	2.5	E.	Tierno
<i>Trachypogon montufari</i>	4.5	7.5	-	E.	O.P.P.
<i>Sporobolus indicus</i>	1.0	1.5	1.0	I.	O.P.P.
<i>Vulpia australis</i>	6.0	7.0	4.5	I.	O.I.
<i>Vulpia bromoides</i>	7.0	2.5	9.0	I.	O.I.
<i>Setaria geniculata</i>	0.5	-	-	E.	O.M.P.
<i>Trifolium polimorphum</i>	3.0	-	-	I.	Tierno
<i>Melica brasiliana</i>	0.5	5.0	-	I.	O.I.
<i>Adesmia bicolor</i>	-	0.5	2.0	Ind.	Fino
<i>Oxalis s.p.</i>	4.5	-	-	I.	Mala hierba
<i>Cyperus</i>	1.5	-	1.0	-	-
<i>Bacchalis coridiforia</i>	1.5	-	-	E.	Mala hierba
Maleza	6.0	-	23.0	-	-
Residuo	1.0	-	-	-	-
<i>Schizachyrium microstachyum</i>	-	-	0.5	E.	O.M.P.
<i>Briza macrostachya</i>	-	1.5	3.0	I.	O.P.P.

Ensayo I

FRECUENCIA DE ESPECIES, DETERMINADA A TRAVES
DE PUNTO CUADRADO, PARA CINCO TRATAMIENTOS

Pradera Parda sobre Fray Bentos

Primavera (21/11/72) 1971

	5	10	11	12	13	Ciclo veg.	Tipo Produc.
<i>Paspalum dilatatum</i>	-	1.0	7.5	0.5	2.5	E.	T.D.
<i>Paspalum notatum</i>	12.0	12.5	3.5	12.0	11.5	E.	Tierno
<i>Paspalum plicatulum</i>	-	0.5	-	-	1.5	E.	T.D.
<i>Piptochaetium monte.</i>	3.5	0.5	-	-	0.5	I.	O.P.
<i>Piptochaetium stip.</i>	5.0	4.0	1.0	5.0	2.0	I.	O.P.
<i>Piptochaetium bicolor</i>	6.5	5.5	5.0	4.5	4.0	I.	T.D.
<i>Stipa papposa</i>	0.5	-	-	-	-	I.	O.I.
<i>Stipa neesiana</i>	18.0	17.5	11.0	9.0	29.0	I.	T.D.
<i>Stipa neesiana</i> var. <i>neesiana</i>	4.5	4.0	4.0	6.5	6.5	I.	O.P.
<i>Setaria caespitosa</i>	4.0	6.5	2.0	8.0	7.5	E.	T.D.
<i>Setaria geniculata</i>	-	-	-	1.5	1.0	E.	T.D.
<i>Bouteloua megapotámica</i>	9.0	2.0	0.5	11.5	4.0	E.	O.P.P.
<i>Bothriocloa laguroides</i>	1.5	12.0	3.0	6.5	-	E.	O.P.P.
<i>Bromus auleticus</i>	-	-	2.0	8.5	-	I.	Tierno
<i>Chloris retusa</i>	2.5	1.0	-	-	-	E.	Tierno
<i>Rottboellis selleana</i>	3.0	3.0	-	3.0	-	E.	Tierno
<i>Lolium multiflorum</i>	-	-	2.5	3.0	-	I.	Fino
<i>Eragrostis lugens</i>	2.0	2.0	-	4.0	-	E.	O.P.P.
<i>Eragrostis virescens</i>	-	1.0	-	-	2.0	E.	-
<i>Schizachirium spicatum</i>	-	2.0	-	-	-	E.	O.I.
<i>Aristida s.p.</i>	1.0	-	-	1.0	-	E.	O.
<i>Melica brasiliana</i>	-	-	-	1.0	1.0	I.	O.I.
<i>Eleusine tristachya</i>	1.0	-	0.5	-	1.5	I.	O.P.P.
<i>Hordeum pusillum</i>	6.0	-	-	0.5	0.5	I.	O.I.
<i>Panicum bergii</i>	-	-	-	0.5	-	E.	T.D.
<i>Briza subaristata</i>	1.0	1.0	1.5	1.0	-	I.	O.P.P.
<i>Medicago polymorpha</i>	6.5	2.5	9.5	0.5	1.5	I.	Fino
<i>Medicago lupulina</i>	4.5	7.5	26.5	1.0	8.5	I.	Tierno
<i>Medicago mínima</i>	3.5	10.0	17.5	3.0	4.0	I.	Tierno
Malezas	4.5	4.0	-	7.5	10.5	-	-
Restos secos	-	1.0	-	-	0.5	-	-
Suelo	-	-	-	0.5	-	-	-

Ensayo II

FRECUENCIA DE ESPECIES, DETERMINADA A TRAVES
DE PUNTO CUADRADO, PARA TRES TRATAMIENTOS

Litosol sobre Basalto

(25/9/72)

	Trat. 9 (0-0-0)	Trat.22 (+2+2+2)	Trat.23 (-2-2-2)	Ciclo veg.	Tipo Produc.
Piptochactium stipoides	14.5	10.5	11.5	I.	O.P.
Piptochactium montevidense	14.0	10.5	8.0	I.	O.P.
Stipa neesiana	2.0	0.5	2.5	I.	Tierno Duro
Stipa neesiana var. neesiana	3.5	9.0	8.0	I.	O.P.
Bothriochloa laguroides	4.0	8.0	5.0	E.	O.P.P.
Bothriochloa imperatoides	1.0	2.5	0.5	E.	O.P.P.
Paspalum notatum	2.5	2.5	3.5	E.	Tierno
Rottboellia selleana	1.5	3.5	-	E.	Tierno
Phalaris platensis	5.0	2.5	1.5	I.	Tierno
Chloris bahiensis	21.5	5.5	16.5	E.	Tierno
Briza brigoides	0.5	0.5	0.5	I.	Tierno
Briza minor	3.0	3.5	2.5	I.	Tierno
Eragrostis lugens	2.5	0.5	0.5	E.	O.P.P.
Eragrostis virescens	2.5	4.0	0.5	E.	-
Aristida s.p.	-	2.0	5.5	I.	O.
Schizachirium spicatum	3.5	-	5.0	E.	O.I.
Hordeum pusillum	-	0.5	-	I.	O.I.
Adesmia s.p.	-	3.5	-	Ind.	Fino
Trifolium polimorphum	-	1.0	-	I.	Tierno
Cyperus s.p.	4.0	6.0	7.0	-	-
Otros	7.5	15.5	11.5	-	-
Restos secos	4.0	6.5	6.0	-	-
Suelo	3.0	1.5	4.0	-	-

Ensayo II

FRECUENCIA DE ESPECIES, DETERMINADA A TRAVES
DE PUNTO CUADRADO, PARA TRES TRATAMIENTOS

Pradera Negra sobre Basalto

(25/9/72)

	Trat.9 (0-0-0)	Trat.22 (+2+2+2)	Trat.23 (-2-2-2)	Ciclo veg.	Tipo Produc.
Schizachirium spicatum	15.0	5.5	29.5	E.	O.I.
Andropogon ternatus	16.5	7.2	3.5	E.	O.P.P.
Piptochactium montevidense	4.5	8.0	6.5	I.	O.P.
Piptochaetium stipoides					
var.stipoides	4.0	8.0	4.0	I.	O.P.
Bothriochloa laguroides	8.0	6.5	7.5	E.	O.P.P.
Bothriochloa imperatoides	2.5	8.5	1.0	E.	O.P.P.
Paspalum dilatatum	1	5	5.5	E.	F.D.
Paspalum notatum	1.5	4.5	1.0	E.	Tierno
Aristida venustula	9.0	5.5	2.0	E.	O.I.
Aristida pallens	0.5	-	-	E.	O.P.P.
Lolium multiflorum	1.5	6.5	1.5	I.	Fino
Chloris bahiensis	0.5	-	0.5	E.	Tierno
Melica brasiliana	0.5	-	-	I.	O.I.
Briza minor	4	5.1	1	I.	Tierno
Briza subaristata	-	1.5	5.0	I.	O.P.P.
Stipa neesiana	0.5	2.0	2.5	I.	T.D.
Stipa neesiana var.neesiana	5.0	2.5	6.5	I.	O.P.
Rottboellia seloana	1.0	0.5	1.0	E.	Tierno
Eragrostis lugens	1.0	-	3	E.	O.P.P.
Eragrostis virescens	-	-	0.5	E.	-
Poa lanigera	-	-	2.5	I.	Fino
Sporobolus indicus	-	1.0	-	I.	O.P.P.
Panicum milioides	-	-	1.5	E.	Tierno
Calamagrostis montevidensis	5.0	4.0	-	I.	Tierno
Adesmia s.p.	0.5	2.5	-	Ind.	Fino
Trifolium polimorphum	-	2.5	0.5	I.	Tierno
Hordeum pusillum	-	1.5	1.5	I.	O.I.
Dichondra repens	1.5	-	-	Ind.	Mala Hierba
Oxalis s.p.	1.0	1.0	1.0	I.	Mala Hierba
Cyperus s.p.	2.5	0.5	2.5	-	-
Eryngium nudicaule	0.5	-	-	-	Mala Hierba
Bacharis coridifolia	-	0.5	-	E.	Mala Hierba
Otros	5.5	4.5	5.5	-	-
Restos Secos	7.0	5.0	3.0	-	-

Ensayo II

FRECUENCIA DE ESPECIES, DETERMINADA A TRAVES
DE PUNTO CUADRADO, PARA TRES TRATAMIENTOS

Pradera Arenosa sobre Cretáceo

(17/9/72)

	Trat.9 (0-0-0)	Trat.22 (+2+2+2)	Trat.23 (-2-2-2)	Ciclo veg.	Tipo produc.
<i>Andropogon lateralis</i>	1.5	2.5	0.5	E.	Duro
<i>Axonopus argentinus</i>	24.0	35.0	34.5	E.	Tierno
<i>Bothriochloa laguroides</i>	12.0	7.5	9.0	E.	O.P.P.
<i>Bothriochloa imperatoides</i>	0.5	-	7.0	E.	O.P.P.
<i>Schizachirium spicatum</i>	-	3.0	0.5	E.	O.I.
<i>Paspalum plicatulum</i>	5.0	9.0	12.0	E.	T.D.
<i>Paspalum nicorae</i>	5.0	-	-	E.	T.D.
<i>Paspalum notatum</i>	0.5	1.5	0.5	E.	Tierno
<i>Piptochactium montevidense</i>	6.0	1.0	-	I.	O.P.
<i>Piptochactium stipoides</i>	1.5	-	1.0	I.	O.P.
<i>Piptochactium panicoides</i>	8.0	1.5	8.0	I.	O.P.
<i>Piptochactium bicolor</i>	-	0.5	-	I.	T.D.
<i>Sporobolus indicus</i>	4.5	-	0.5	I.	O.P.P.
<i>Agenium villosum</i>	10.5	3.0	3.0	I.	O.M.P.
<i>Vulpia australis</i>	1.0	28.0	3.0	I.	O.I.
<i>Trifolium polimorphum</i>	3.5	-	4.5	I.	Tierno
<i>Eragrostis lugens</i>	1.5	-	-	E.	O.P.P.
<i>Poa annua</i>	0.5	-	-	I.	Tierno
<i>Setaria geniculata</i>	0.5	-	-	E.	T.D.
<i>Aristida venustula</i>	0.5	-	-	E.	O.I.
Maleza	4.0	3.0	4.0	-	-
Restos secos	6.0	1.5	3.5	-	-
<i>Oxalis s.p.</i>	0.5	1.5	4.5	I.	Mala Hierba
<i>Cyperus s.p.</i>	3.0	1.5	4.0	-	-

Ensayo II

FRECUENCIA DE ESPECIES, DETERMINADA A TRAVES
DE PUNTO CUADRADO, PARA TRES TRATAMIENTOS

Pradera Parda sobre Fray Bentos

(17/9/72)

	Trat.9 (0-0-0)	Trat.22 (+2+2+2)	Trat.23 (-2-2-2)	Ciclo veg.	Tipo produc.
<i>Paspalum dilatatum</i>	0.5	1.5	4.0	E.	F.D.
<i>Paspalum notatum</i>	4.0	3.0	7.0	E.	Tierno
<i>Piptochactium montevidense</i>	9.5	10.0	15.0	I.	O.P.
<i>Piptochactium stipoides</i>	9.5	3.5	2.0	I.	O.P.
<i>Piptochactium bicolor</i>	6.0	3.0	3.5	I.	T.D.
<i>Stipa papposa</i>	1.5	1.5	1.5	I.	O.I.
<i>Stipa neesiana</i>	6.0	19.0	5.5	I.	T.D.
<i>Stipa neesiana var. neesiana</i>	7.5	5.0	6.5	I.	O.P.
<i>Setaria caespitosa</i>	1.0	3.5	2.0	E.	T.D.
<i>Aristida s.p.</i>	4.0	2.0	3.0	I.	O.
<i>Boutelona megapotámica</i>	2.5	1.0	4.5	E.	O.P.P.
<i>Bothriochloa laguroides</i>	6.5	7.0	3.0	E.	O.P.P.
<i>Bromus auleticus</i>	10.0	12.5	7.5	I.	Tierno
<i>Chloris bahiensis</i>	3.0	2.5	1.5	E.	Tierno
<i>Chloris retusa</i>	0.5	-	-	E.	Tierno
<i>Rottboellia selleana</i>	1.0	5.5	3.5	E.	Tierno
<i>Lolium multiflorum</i>	3.5	-	-	I.	Fino
<i>Eragrostis lugens</i>	2.0	1.0	0.5	E.	O.P.P.
<i>Panicum milioides</i>	-	0.5	-	E.	Tierno
<i>Vulpia australis</i>	-	0.5	0.5	I.	O.I.
<i>Schizachirium spicatum</i>	1.0	-	2.0	E.	O.I.
<i>Cyperus s.p.</i>	1.0	2.5	8.5	-	-
<i>Medicago minima</i>	12.0	7.5	6.5	I.	Tierno
Malezas	4.0	2.0	5.0	-	-
Restos secos	3.5	5.5	6.5	-	-
Suelo	-	-	0.5	-	-

	S	
--	---	--

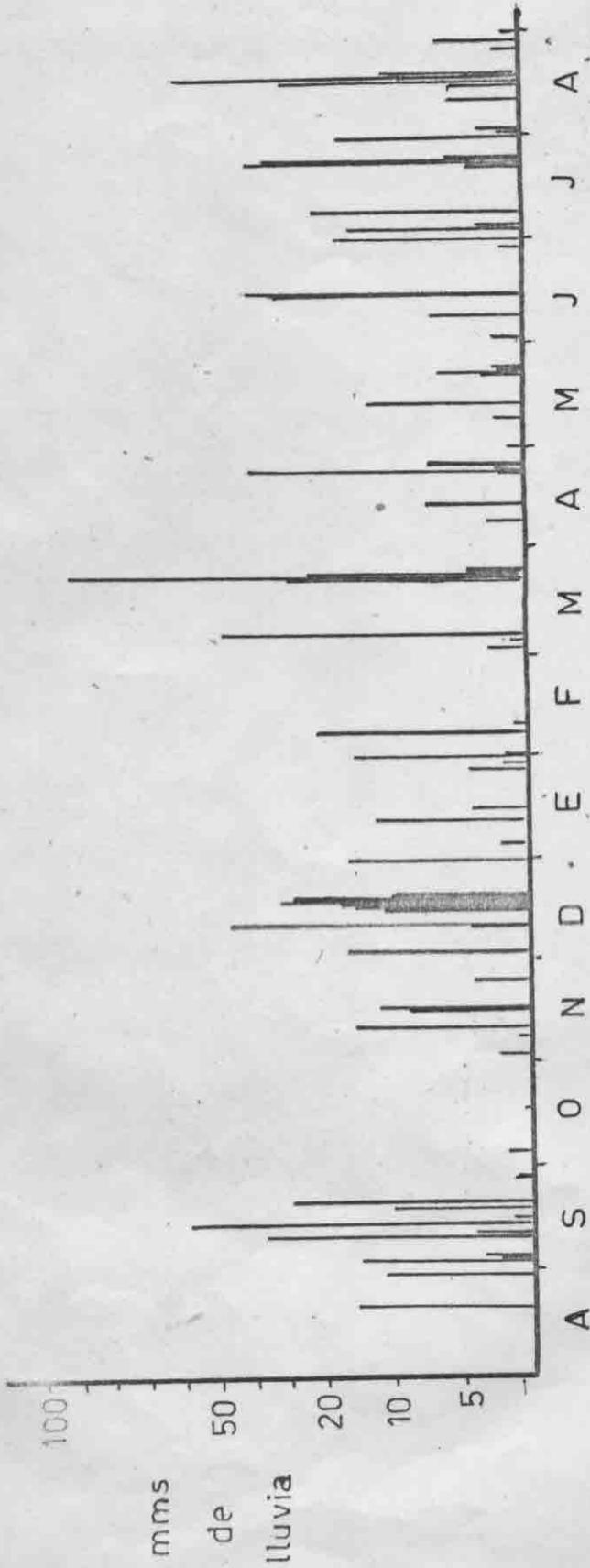
VIII. APENDICE II

SALTO



	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
Prom 1942-60	58	58	97	127	91	79	116	94	121	83	100	100
1971-72	69	50	99	60	52	119	71	49	88	64	61	57

PAYSANDU



	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A
From 1937-60	77	93	112	92	93	127	111	145	116	78	87	53	
1971-2	29	166	1,5	43	202	30	40	200	66	28	104	144	

CUADRO 3: Temperaturas Máximas, Medias y Mínimas

b) Estación "Dr. Mario Cassinoni", Paysandú

a) Estación "San Antonio", Salto

Temperaturas Promedio			
	Máxima	Media	Mínima
<u>71</u> Julio	19.31	14.26	2.39
Agosto	20.98	14.56	8.18
Setiembre	21.89	17.12	12.30
Octubre	25.04	18.56	11.58
Noviembre	29.90	22.73	15.50
Diciembre	31.62	24.62	17.61
<u>72</u> Enero	31.92	25.52	19.02
Febrero	32.51	25.17	17.79
Marzo	27.54	21.31	15.07
Abril	24.66	18.67	12.64
Mayo	22.58	17.62	12.86
Junio	18.64	15.15	11.74
Julio	15.76	11.17	6.59
Agosto	16.27	12.64	9.03

Temperaturas Promedio			
	Máxima	Media	Mínima
<u>71</u> Julio	17.60	12.22	7.55
Agosto	20.25	13.92	8.54
Setiembre	20.95	16.42	11.63
Octubre	24.48	17.48	11.64
Noviembre	28.60	20.83	14.84
Diciembre	33.03	24.42	17.64
<u>72</u> Enero	32.22	24.89	18.02
Febrero	31.43	23.97	16.86
Marzo	27.98	20.07	15.39
Abril	23.66	17.55	11.10
Mayo	23.79	17.90	12.87
Junio	18.78	15.33	11.86
Julio	16.44	11.08	6.46

CUADRO 4: Comparación de promedios, por Pruebas Duncan, para indagar los efectos del Potasio, para cada sitio experimental y cada una de las estaciones de crecimiento.

a) Litosol sobre Basalto

PRIMAVERA

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
160	160	120	160	160	0	160	160	60	320	320	120	320	320	0
Kg.de MS/há. 1060			1140			1315			790			2040		
5% _____												++	1%	

VERANO

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
160	160	120	160	160	0	160	160	60	320	320	120	320	320	0
Kg.de MS/há. 300			685			705			650			690		
5% _____												5%	_____	

OTOÑO

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
160	160	120	160	160	0	160	160	60	320	320	120	320	320	0
Kg.de MS/há. 1300			1435			2000			2400			3290		
5% _____												++	1%	
1% _____														

INVIERNO

El análisis de variancia no da diferencia significativa.

b) Pradera Negra sobre Basalto

PRIMAVERA

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K			
160	-160	-0	160	-160	-60	160	-160	-120	320	-320	-120	320	-320	-0			
Kg.de MS/há.			2205			2315			2765			2055			2475		
5%						5%											

OTOÑO

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K			
160	-160	-120	160	-160	-0	320	-320	-120	320	-320	-0						
Kg.de MS/há.			1600			2025			2705			2905					
5%						5%											

VERANO

El análisis de variancia no da diferencias significativas.

INVIERNO

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K			
160	-160	-60	160	-160	-0	160	-160	-120	320	-320	-120	320	-320	-0			
Kg.de MS/há.			625			810			865			530			1210		
5%												++					
												1%					

c) Pradera Arenosa sobre Cretáceo

PRIMAVERA

El análisis de variancia no da diferencias significativas.

VERANO

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K			
160	160	120	160	160	0	160	160	60	320	320	0	320	320	120			
Kg.de MS/há.			1398			1732			2168			1741			2261		
5% _____																	
1% _____																	

OTOÑO

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K			
160	160	120	160	160	0	160	160	60	320	320	0	320	320	120			
Kg.de MS/há.			545			831			986			780			1176		
5% _____ + _____ 5%																	
1% _____																	

INVIERNO

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K			
160	160	60	160	160	0	160	160	120	320	320	120	320	320	0			
Kg.de MS/há.			400			484			599			313			379		
5% _____																	

d) Pradera Parda sobre Fray Bentos

PRIMAVERA

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K			
160	160	120	160	160	0	160	160	60	320	320	120	320	320	0			
Kg.de MS/há.			995			1240			1321								
5% _____ + _____																	
1% _____																	

VERANO

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K			
160	160	0	160	160	120	160	160	60	320	320	0	320	320	120			
Kg.de			1747			1860			2416			3090			3320		
MS/há.			1747			1860			2416			3090			3320		
5% _____						5% _____											

OTOÑO

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K			
160	160	60	160	160	0	160	160	120	320	320	0	320	320	120			
Kg.de			883			1125			1596			1735			1929		
MS/há.			883			1125			1596			1735			1929		
5% _____						5% _____											
1% _____						1% _____											

INVIERNO

N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K			
160	160	60	160	160	120	160	160	0	320	320	0	320	320	120			
Kg.de			192			260			454			150			229		
MS/há.			192			260			454			150			229		
1% _____						1% _____						5% _____					

CUADRO 5: Rendimientos estimados, para las diferentes combinaciones de tratamientos, en las diferentes estaciones de crecimiento.-

N - P	LITOSOL SOBRE BASALTO				PRAD.NEGRA SOBRE BASALTO			
	Prim.	Ver.	Otoño	Inv.	Prim.	Ver.	Otoño	Inv.
0-0	518	266	490	403	1.220	345	436	455
0-80	291	199	425	494	1.200	389	614	480
0-160	216	143	421	594	1.220	415	710	480
0-240	292	101	479	703	1.260	423	722	453
0-320	519	69	597	821	1.330	411	652	400
80-0	787	474	759	486	1.710	423	867	495
80-80	646	442	838	577	1.750	483	1.156	564
80-160	657	421	978	708	1.820	524	1.363	608
80-240	819	412	1.179	832	1.910	545	1.486	626
80-320	1.132	353	1.441	966	2.020	548	1.526	618
160-0	870	546	901	597	1.920	468	1.078	649
160-80	815	548	1.124	719	2.000	533	1.478	763
160-160	912	562	1.409	850	2.120	588	1.795	851
160-240	1.159	587	1.754	990	2.260	624	2.030	913
160-320	1.558	625	2.160	1.139	2.420	642	2.181	949
240-0	768	480	917	737	1.820	449	1.070	460
240-80	799	517	1.284	874	1.960	538	1.580	618
240-160	981	565	1.712	1.020	2.130	608	2.008	750
240-240	1.314	625	2.201	1.176	2.310	659	2.353	856
240-320	1.799	697	2.752	1.340	2.530	691	2.615	936
320-0	479	278	806	905	1.430	397	841	385
320-80	597	349	1.412	1.057	1.620	500	1.462	587
320-160	865	503	1.890	1.219	1.830	585	2.001	763
320-240	1.284	526	2.523	1.390	2.220	650	2.456	913
320-320	1.854	632	3.217	1.570	2.330	697	2.829	1.037

/...

/...

PRAD.ARENOSA SOBRE CRETACEO					PRAD.PARDA SOBRE F.BENTOS			
N - P	Prim.	Ver.	Otoño	Inv.	Prim.	Ver.	Otoño	Inv.
0-0	-8	315	12	118	564	780	775	41
0-60	126	536	255	223	593	1.074	898	133
0-160	192	602	408	238	626	1.140	1.035	184
0-240	190	515	469	247	662	978	1.183	192
0-320	121	265	440	223	675	589	1.341	164
80-0	52	835	602	245	753	898	792	120
80-80	190	1.120	917	325	837	1.319	937	214
80-160	259	1.249	1.135	371	967	1.511	1.094	266
80-240	261	1.222	1.263	383	1.016	1.475	1.263	277
80-320	196	1.039	1.300	363	1.110	1.212	1.360	246
160-0	96	1.086	877	276	807	988	798	144
160-80	237	1.434	1.252	359	1.057	1.534	965	240
160-160	310	1.637	1.536	409	1.090	1.853	1.143	296
160-240	316	1.663	1.730	423	1.237	1.943	1.335	308
160-320	254	1.544	1.832	405	1.385	1.806	1.538	280
240-0	122	1.069	817	211	728	1.049	794	114
240-80	268	1.480	1.259	297	923	1.721	982	213
240-160	344	1.736	1.609	348	1.121	2.165	1.183	270
240-240	354	1.836	1.868	366	1.322	2.382	1.395	285
240-320	296	1.779	2.036	351	1.527	2.371	1.620	259
320-0	133	782	431	49	515	1.080	780	33
320-80	281	1.257	937	138	765	1.879	990	131
320-160	362	1.577	1.354	193	1.018	2.450	1.211	192
320-240	375	1.739	1.679	218	1.274	2.792	1.445	208
320-320	320	1.746	1.913	202	1.536	2.907	1.694	186

ENSAYO II: Rendimientos Promedios Observados, para cada uno de los sitios experimentales.-

	Litosol sobre Basalto	Pradera Negra sobre Basalto	Pradera Arenosa Sobre Cretáceo	Pradera Parda sobre Fray Bentos
1	3220	3070	2890	1535 - 90 80
2	2935	3115	2725	1990 90 80
3	3500	3555	3380	1975 90 80
4	2840	3120	2855	2495 90 240
5	3227	3945	4275	2710 250 80
6	3065	3150	3815	2580 250 80
7	4285	4490	3935	4185
8	3660	3895	4710	3550
9	3370	4415	3945	2965
10	2480	2765	2125	1400
11	3790	4595	4475	3795
12	3480	3100	2575	1840
13	4280	4130	4350	3360
14	3905	4020	3425	3235
15	3740	3740	3095	2035
16	2195	2485	1500	1695
17	2805	2570	1760	1560
18	2315	2555	2845	1220
19	4150	3450	3155	2360
20	3350	3640	2425	1835
21	4810	4030	4800	4440
22	4595	4875	5625	3300
23	1910	3185	1560	1390
Promedio	3431	3561	3315	2498

CUADRO 6: Comparación de promedios, por Pruebas Duncan, para indagar los efectos del Potasio, para cada sitio experimental.-

a) Litosol sobre Basalto

	Fr ₃			Fr ₃			Fr ₃		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	170-160-0			170-160-60			170-160-120		
Kg.de MS/há.	3370			3850			4405		
5%	_____								
1%	_____								

	Fr ₅			Fr ₅		
	N	P	K	N	P	K
	330-320-0			330-320-120		
Kg.de MS/há.	4595			4765		
5%	_____					

b) Pradera Negra sobre Basalto

	Fr ₃			Fr ₃			Fr ₃		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	170-160-120			170-160-60			170-160-0		
Kg.de MS/há.	3840			4345			4415		
5%	_____								

	Fr ₅			Fr ₅		
	N	P	K	N	P	K
	330-320-120			330-320-0		
Kg.de MS/há.	4420			4875		
5%	_____					

c) Pradera Arenosa sobre Cretáceo

	Fr ₃			Fr ₃			Fr ₃		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	170-160-60			170-160-0			170-160-120		
Kg.de MS/há.	3361			3971			5328		
5%	_____								
1%	_____								

	Fr ₅			Fr ₅		
	N	P	K	N	P	K
	330-320-120			330-320-0		
Kg.de MS/há.	5177			5625		
5%	_____					

d) Pradera Parda sobre Fray Bentos

	Fr ₃			Fr ₃			Fr ₃		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	170-160-60			170-160-120			170-160-0		
Kg.de MS/há.	2306			2406			2477		
5%	_____								

	Fr ₅			Fr ₅		
	N	P	K	N	P	K
	330-320-0			330-320-120		
Kg.de MS/há.	3297			3955		
5%	+					
1%	_____					

FE DE ERRATA

<u>Página</u>	<u>Dice</u>	<u>Debe decir</u>
7 Línea 8	aunque	ante
32 Línea 7	hectáreas	tallos
33 Línea 8	lexiviación	lixiviación
42 Línea 2	latos	altos
53 Línea 27	lógico	lógico

Américo Pardo

Carlos Do Huro