

Thesis
G934es

EFFECTO DE DOSIS ASCENDENTES DE NITROGENO, DOSIS ASCENDENTES
CON DOS FORMAS DE APLICACION Y DE CUATRO COMBINACIONES N P,
SOBRE LA PRODUCCION Y COMPOSICION DEL PASTO ELEFANTE

(Pennisetum purpureum. Schum.)

Tesis de Grado de *Magister Scientiae*

Ricardo Guerrero Riascos

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica
Agosto, 1969

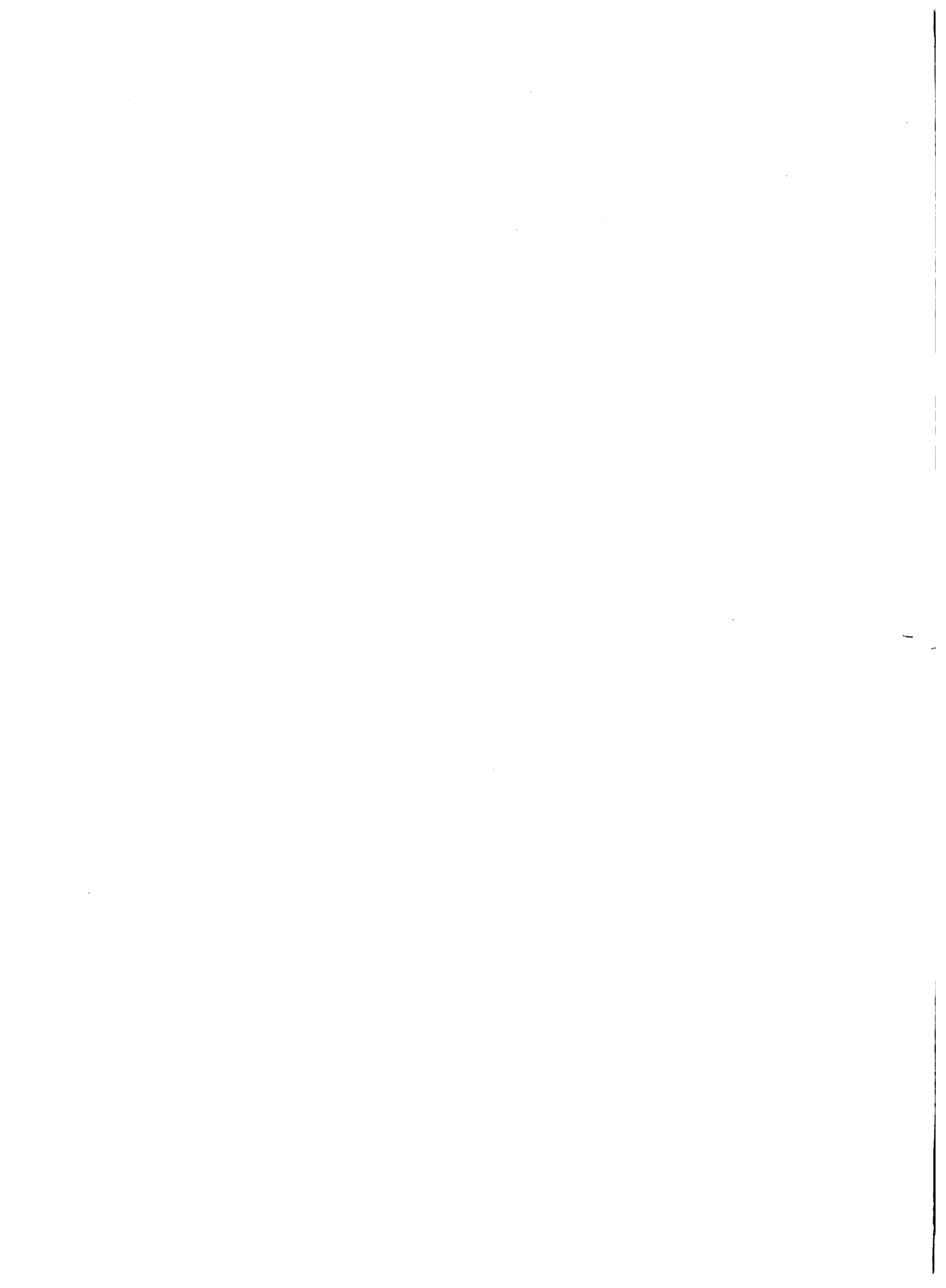
693

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS

Turrialba, Costa Rica



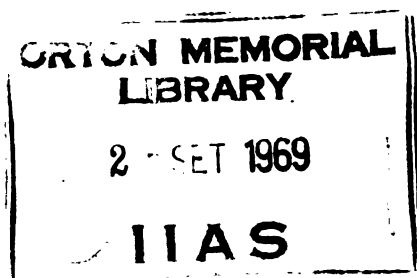




ESTUDIO DEL EFECTO DE DOSIS ASCENDENTES DE NITROGENO, DOSIS ASCENDENTES
DE P₂O₅ CON DOS FORMAS DE APLICACION Y DE CUATRO COMBINACIONES N P,
SOBRE LA PRODUCCION Y COMPOSICION DEL PASTO ELEFANTE
(Pennisetum purpureum, Schum.)

Por

✓
Ricardo Guerrero Riascos



Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

Centro de Enseñanza e Investigación

Turrialba, Costa Rica

Agosto, 1969

-Tercer
693.1es



ESTUDIO DEL EFECTO DE DOSIS ASCENDENTES DE NITROGENO, DOSIS ASCENDENTES
DE P₂O₅ CON DOS FORMAS DE APLICACION Y DE CUATRO COMBINACIONES N P,
SOBRE LA PRODUCCION Y COMPOSICION DEL PASTO ELEFANTE
(Pennisetum purpureum, Schum.)

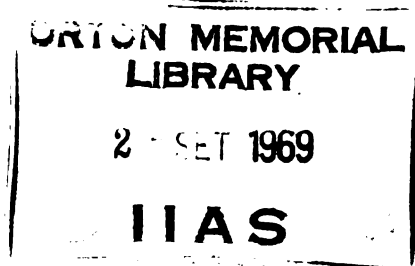
Tesis

Sometida al Consejo de Estudios Graduados como requisito
parcial para optar al grado de


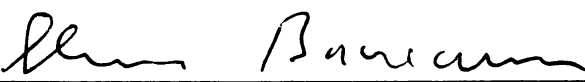

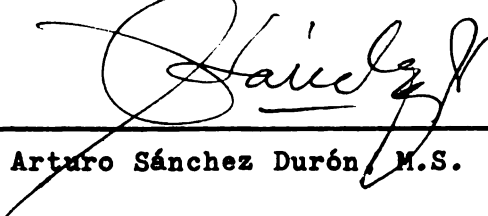
Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA



APROBADA:

 _____ Hans W. Fassbender, Ph.D	Consejero
 _____ Elemer Bornemisza, Ph.D	Comité
 _____ Fausto Maldonado, Ing. Agr.	Comité
 _____ Arturo Sánchez Durón, M.S.	Comité



Para mis seres queridos

AGRADECIMIENTOS

El autor desea dejar constancia de sus agradecimientos a las siguientes instituciones y personas:

Al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA.

Al Instituto Tecnológico Agrícola de la Universidad de Nariño.

A los señores profesores Dr. Hans Fassbender, Consejero Principal, Dr. Elemer Bornemisza, Ing. Fausto Maldonado e Ing. Arturo Sánchez Durón, miembros del Comité Consejero.

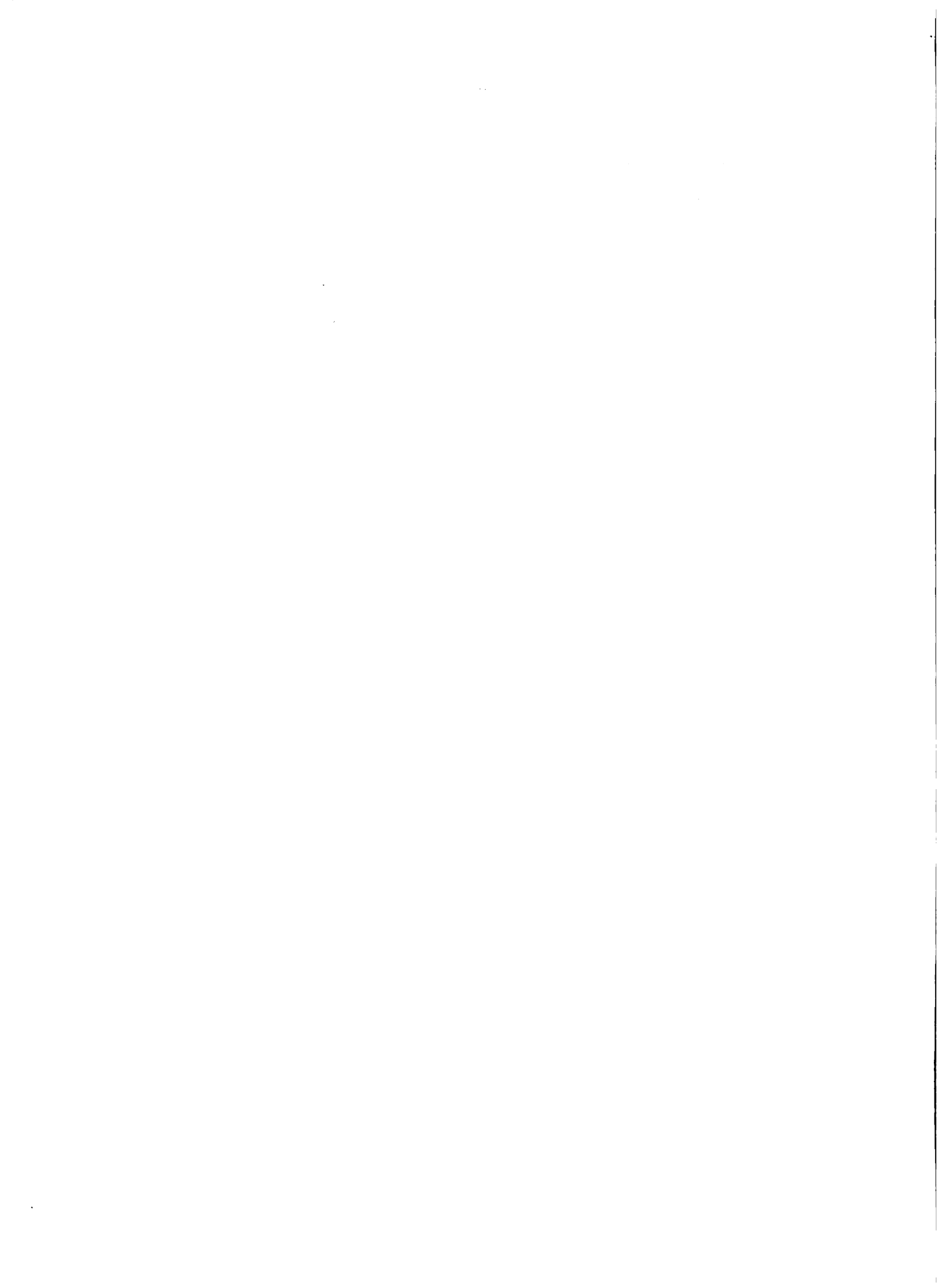
Al Dr. John Blydenstein, quien colaboró en la fase inicial del estudio.

Al Dr. Gilberto Páez, por su colaboración en el análisis estadístico.

A la señorita Vera C. Varela por su constante ayuda en la revisión y mecanografiado del manuscrito original.

A la señorita Vera Jiménez por su labor de mecanografiado de la versión final.

A mis profesores y compañeros por sus enseñanzas, al personal auxiliar y a todas aquellas personas que aportaron su ayuda en el presente trabajo.

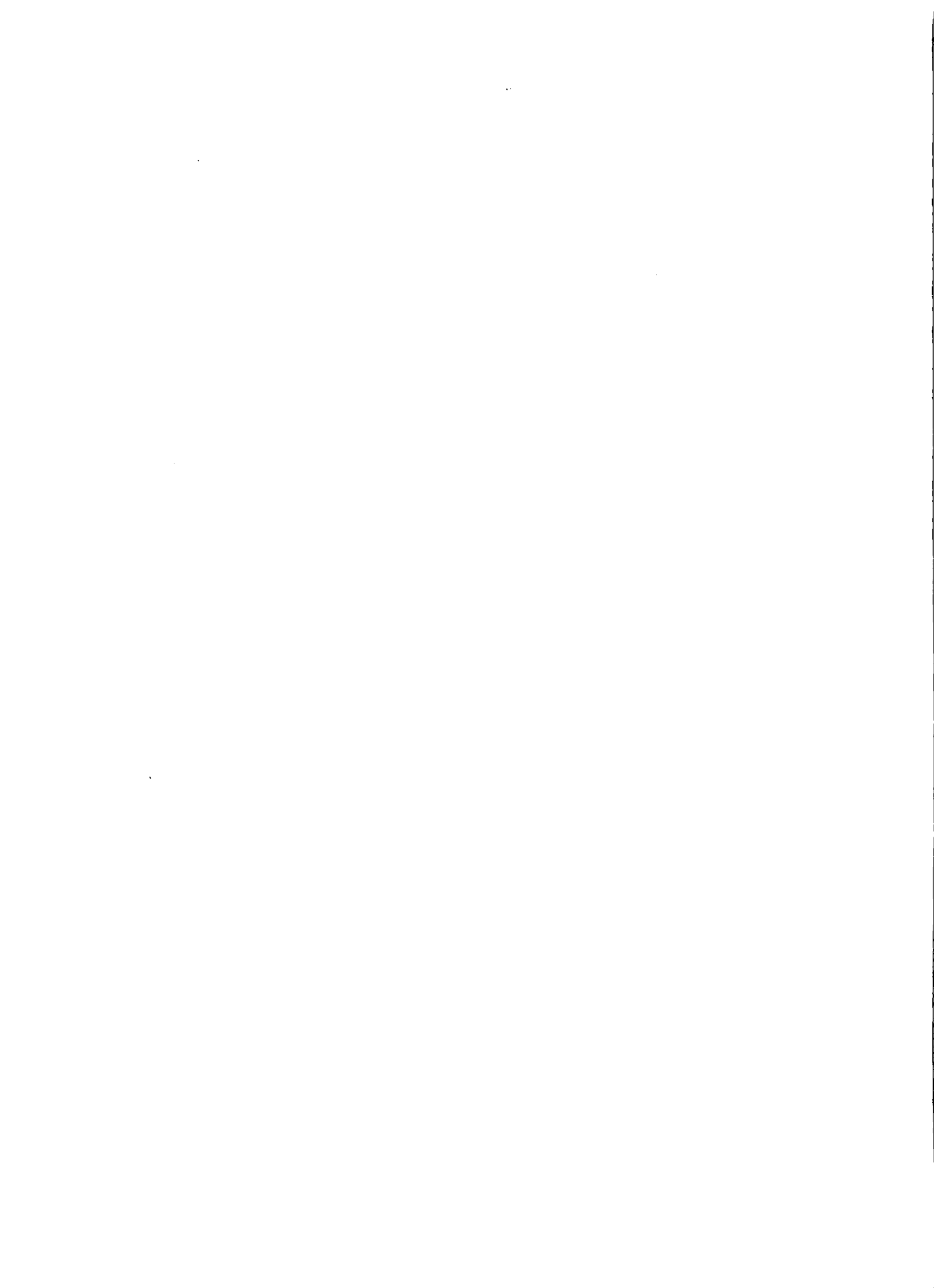


BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Ipiiales, Colombia en febrero de 1942. Realizó sus estudios universitarios en la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía de Palmira, graduándose como Ingeniero Agrónomo en diciembre de 1964.

Hasta septiembre de 1965 prestó sus servicios profesionales a la Cía. Shell, en Guayaquil, Ecuador. Desde entonces desempeña el cargo de profesor asistente en el Instituto Tecnológico Agrícola de la Universidad de Nariño en Pasto, Colombia.

En septiembre de 1967 ingresó a la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica, finalizando sus estudios de post-grado en agosto de 1969.



CONTENIDO

	<u>Página N^o</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	2
2.1 Generalidades	2
2.2 Efectos Estacionales y de Corte	3
2.3 Fertilización	5
3. MATERIALES Y METODOS	11
3.1 La Planta	11
3.2 Condiciones Generales del Lugar	11
3.3 Los Suelos Experimentales	12
3.4 Diseño Experimental	15
3.5 Procedimiento Experimental	17
3.6 Análisis del Forraje	21
3.7 Análisis Estadístico	22
4. RESULTADOS Y DISCUSION	26
4.1 Descripción y caracterización de los suelos en el campo	26
4.2 Experimento con dosis ascendentes de nitrógeno.	30
4.2.1 Efecto de los niveles de N sobre las variables de respuesta en estudio	32
4.2.2 Efectos de corte y de interacción corte por tratamiento	36
4.3 Experimento con dosis ascendentes de fósforo y dos formas de aplicación	42
4.3.1 Efecto de las formas de aplicación sobre las variables de respuesta	42

4.3.2	Efecto de los niveles de fósforo sobre las variables de respuesta	45
4.3.3	Efecto de la interacción forma por nivel sobre las variables de respuesta	46
4.3.4	Efecto del corte sobre las variables de respuesta	50
4.3.5	Efecto de la interacción nivel por corte sobre la producción de materia seca . . .	53
4.3.6	Efecto de la fertilización fosfatada (niveles y formas de aplicación) sobre las fracciones minerales de fósforo en el suelo	54
4.4	Experimento con cuatro combinaciones nitrógeno-fósforo	55
4.4.1	Efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta	56
4.4.2	Efecto del corte sobre las variables de respuesta	60
4.4.3	Efecto de la interacción nitrógeno por corte sobre la producción de materia seca y contenido de calcio	63
5.	CONCLUSIONES	64
6.	RESUMEN	67
7.	SUMMARY	69
8.	LITERATURA CITADA	71

APENDICE

INDICE DE CUADROS

	<u>Página N^o</u>
Cuadro 1. Composición del pasto elefante (<u>Pennisetum purpureum</u> , Schum.) sin tratamiento fertilizante, en diferentes localidades	4
Cuadro 2. Condiciones climáticas prevalentes durante el período experimental de campo	13
Cuadro 3. Resultados del análisis mecánico y principales características químicas de los suelos experimentales	29
Cuadro 4. Análisis de variancia del experimento con dosis ascendentes de nitrógeno	31
Cuadro 5. Análisis de variancia para el experimento con dosis ascendentes de P ₂ O ₅ y dos formas de aplicación	43
Cuadro 6. Resultado del fraccionamiento de fosfatos inorgánicos en el experimento de fertilización fosfatada	55
Cuadro 7. Análisis de variancia para el experimento con cuatro combinaciones nitrógeno-fósforo	56

INDICE DE FIGURAS

	<u>Página Nº</u>
Figura 1. Efecto de los niveles de N sobre la producción promedio anual de materia seca	33
Figura 2. Efecto de los niveles de N sobre el % y producción promedio anual de proteína	33
Figura 3. Relación esquemática entre precipitación total mensual y efecto de corte sobre la producción anual de materia seca del pasto elefante con cuatro niveles de N	37
Figura 4. Relación esquemática entre precipitación total mensual y efecto de corte sobre el % de proteína en el forraje del pasto elefante con cuatro niveles de nitrógeno	37
Figura 5. Variación del contenido de P y Ca en el pasto elefante con cuatro niveles de N	44
Figura 6. Efecto de cuatro niveles de P_2O_5 sobre el % de proteína en el forraje del pasto elefante	44
Figura 7. Efecto de cuatro niveles de P_2O_5 sobre el % de P en el forraje del pasto elefante	47
Figura 8. Efecto de cuatro niveles de P_2O_5 en dos sistemas de aplicación (interacción forma por nivel) sobre la producción anual de materia seca del pasto elefante	47
Figura 9. Efecto de cuatro niveles de P_2O_5 en dos sistemas de aplicación (interacción forma por nivel) sobre el % promedio de proteína en el pasto elefante	48
Figura 10. Relación esquemática entre precipitación total mensual y efecto de corte sobre la producción de forraje seco del pasto elefante con cuatro niveles de P_2O_5	48
Figura 11. Variación del contenido de proteína en el pasto elefante en el experimento de fertilización fosfatada	52

Figura 12.	Variación del contenido de P y Ca en el pasto elefante. Experimento de fertilización fosfatada	52
Figura 13.	Efecto de cuatro combinaciones N P sobre la producción de forraje seco de pasto elefante	58
Figura 14.	Efecto simple de N, en cuatro combinaciones N P, sobre el % y la producción de proteína en el pasto elefante	58
Figura 15.	Relación esquemática entre precipitación total mensual y producción de materia seca de pasto elefante para cuatro combinaciones N P durante siete cortes	62
Figura 16.	Variación estacional del contenido promedio de P y Ca en el pasto elefante para el experimento con cuatro combinaciones N P	62

1. INTRODUCCION

El propósito del manejo moderno de pasturas es el de producir la mayor cantidad posible de forraje de la mejor calidad en combinación con la mejor eficiencia de utilización y conversión en carne y leche (26).

En la producción de forraje de buena calidad tiene papel principalísimo el uso adecuado y racional de los fertilizantes. Uso adecuado y racional implica una amplia gama de factores a considerar: el suelo, variaciones climáticas, época de aplicación del fertilizante y de corte del pasto, costos y retribución económica, etc.

En la actualidad hay conciencia unánime de que la incorporación de los trópicos húmedos a la producción económica de alimentos es de una urgencia extrema. En este respecto, la producción de proteína animal, a través del uso de pasturas naturales y mejoradas, ocupa sitio preferente.

Las condiciones del trópico húmedo se sabe son muy especiales en lo concerniente a sus condiciones climáticas y edafológicas. Debemos concluir, entonces, que la práctica de fertilización racional de pasturas demanda la investigación de varios aspectos.

El presente estudio tiene por objeto averiguar el comportamiento del pasto elefante (Pennisetum purpureum, Schum.), durante un año, frente a las dosis crecientes de nitrógeno, dosis crecientes de P_2O_5 con dos formas de aplicación y a cuatro combinaciones nitrógeno-fósforo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES

El pasto elefante (Pennisetum purpureum, Schum.) es una graminéa perenne originaria de Rodesia (38). Es una planta de tallos rectos, recubiertos por las vainas de las hojas en forma total o parcial. Las hojas son lanceoladas y pueden alcanzar una longitud de un metro, variando su ancho entre 3 y 5 centímetros. La inflorescencia se forma en los ápices de los tallos y es sostenida por un largo pedúnculo. La espiga es de forma cilíndrica compuesta de espiguillas aisladas o reunidas en grupos de 2 a 7. La fecundación parece ser obligatoriamente cruzada (41).

De acuerdo a Kennan (37), este pasto necesita suelos relativamente fértiles y se adapta bien a lugares cuya precipitación es mayor de 500 mm. anuales. Puede cultivarse con éxito a altitudes que varían entre el nivel del mar y los 1.800 m. French y Chicco (23), además, indican que el pasto elefante es propio de suelos de textura pesada y posee capacidad para resistir condiciones de sequía pero no resiste las condiciones anegadizas.

El valor forrajero de esta especie es reconocido ampliamente. Así, de Alba (14) opina que es la especie de corte más popular y común en los trópicos ya que es de fácil establecimiento, no muy exigente en suelos y de buena capacidad para responder a la fertilización. A lo anterior agrega que la especie es de buen valor nutritivo y de buena aceptación por el ganado.

En Puerto Rico, es el pasto de mayor producción de los allí utilizados y su rápida recuperación después del corte, permite intervalos de corte de 60 días en promedio, siendo este intervalo de

corte el más recomendable (50).

En Guatemala, Bressani y colaboradores (5) concluyeron que el pasto napier enano (elefante) demostró tener el más alto contenido de proteína y los mejores porcentajes de digestibilidad, en comparación con 7 pastos de importancia en la industria agropecuaria de ese país.

En el Cuadro 1 se presentan algunos datos sobre la composición del pasto elefante en diferentes localidades. A pesar de que se seleccionaron aquellos datos obtenidos en pasto sin tratamiento fertilizante, la variabilidad entre ellos es evidente. La razón es que la composición del pasto depende de muchos otros factores, tales como suelos, época del año, variedad, etc. Este aspecto se verá a continuación.

2.2 EFECTOS ESTACIONALES Y DE CORTE SOBRE PRODUCCION Y COMPOSICION

La composición de un forraje está influenciada por muchos factores conocidos y desconocidos tales como suelo, clima, especie, variedad, plagas y enfermedades que pueden afectar el consumo y la digestibilidad (4).

Numerosos autores han encontrado que el pasto elefante, al igual que la mayoría de las gramíneas, es afectado en forma notable por las variaciones estacionales, tanto en lo que respecta a su rendimiento de materia seca, como en lo que concierne a su contenido de proteína y elementos nutritivos (4, 9, 36, 44, 45, 48, 51, 60, 61).

Para la región de Turrialba, Roux (51) encontró que la variedad H-532 produjo las mayores cantidades de materia seca en los meses de julio, agosto, septiembre. A la misma conclusión llegó

CUADRO 1. Composición del pasto elefante (Pennisetum purpureum, Schum.) sin tratamiento fertilizante, en diferentes localidades.

Localidades	Estado de crecimiento	Componentes (%)				Fuente bibliográfica
		Prot.	Fibra	P	Ca	
Guatemala	Pre-floración	13,09	33,85			(5)
Nigeria	"	10,05	29,50			(48)
Venezuela	Madurez	4,82	31,17			(23)
Puerto Rico	Pre-floración	7,2		0,20	0,40	(59)
Puerto Rico	"	7,4		0,25	0,38	(9)
Puerto Rico	"	6,5				(60)
Puerto Rico	"			0,13		(22)
Turrialba	"	7,3	29,8			(51)
Turrialba	"			0,28	0,26	(45)

Muñoz (44), también en Turrialba, quien indica que los valores de correlación entre lluvia y producción no son significativos, pero que hay tendencia a aumentar la producción a mayor cantidad de lluvia en ciertos meses del año.

En la misma región, Murillo (45) estudió el comportamiento del contenido de P y de Ca. Los resultados indicaron que si bien estos dos minerales variaban significativamente a lo largo del año, esa variación no mostraba una tendencia definida. Tanto en el trabajo de Murillo como en el de Roux, el intervalo de corte fue de 6 a 8 semanas.

El intervalo de corte parece ser determinante de la producción de materia seca y de la composición. En general, los estudios que sobre

el particular se han llevado a cabo (4, 8, 16, 18, 23, 44, 48, 49, 51) indican que mientras la producción de materia seca y el contenido de fibra aumentan conforme se incrementan los intervalos de corte, el contenido de proteína cruda y digestible disminuye drásticamente conduciendo así, a un deterioro en el valor nutritivo del forraje del pasto elefante.

2.3 FERTILIZACION

El pasto elefante responde muy bien a la fertilización. Así lo indican los resultados obtenidos en las diferentes regiones del área tropical. Como era de esperar, las respuestas más espectaculares se han conseguido a través de la fertilización nitrogenada y, en menor escala, a través de la fosfatada. Las aplicaciones de potasio parecen ser de menor importancia en lo relativo a la respuesta que se consigue, por ello los trabajos de investigación sobre fertilización potásica son muy escasos.

En la presente revisión, se verá únicamente lo relativo a la fertilización nitrogenada y fosfórica.

2.3.1 Fertilización Nitrogenada

La aplicación de nitrógeno al pasto elefante aumenta, casi en todos los casos, los rendimientos de forraje verde y materia seca (1, 4, 7, 9, 11, 19, 25, 36, 40, 44, 51, 53, 56, 60, 61, 63). Sin embargo, la magnitud de este incremento es muy variable y depende tanto del nivel de N aplicado como de muchas otras variables ligadas, principalmente, con suelo, condiciones climáticas e intervalo de corte, como se verá a continuación.

Little y compañeros (40), en un suelo rojo del área tropical de Puerto Rico, encontraron que el pasto elefante respondió

fuertemente a las aplicaciones de N hasta 900 Kg./Ha./año. En condiciones de suelos similares, Vicente-Chandler y colaboradores (60, 61) obtuvieron con la misma dosis de N y 60 días de intervalo de corte, cerca de 30.000 Kg./Ha./año de materia seca con un 9,7 por ciento de proteína cruda.

En suelos aluviales del Valle del Cauca (Colombia), Buenaventura (7) consiguió los mayores incrementos en la producción de materia verde con una aplicación de 120 Kg./Ha./año de N en forma de urea. Sheng (53), en la China, obtuvo respuestas altamente significativas a la aplicación de 120 a 420 Kg. de N por Ha./año.

En suelos de área húmeda tropical de Puerto Rico, Caro-Costas et al (9), lograron aumentos significativos en la producción de materia verde, con dosis crecientes de N, hasta un nivel óptimo de 400 Kg./Ha./año, con el cual obtuvieron 25.000 Kg./Ha./año de materia seca con un 7,5 por ciento de proteína cruda. Takahashi y Ripperton (56), obtuvieron aumentos del 50 por ciento de los rendimientos al aplicar 200 Kg./Ha./año de N. En suelos aluviales del valle de Turrialba (Costa Rica), Muñoz (44) y Roux (51) obtuvieron aumentos del 300 por ciento en la producción de materia seca al aplicar 1.000 Kg./Ha./año de N en forma de urea.

Muchos autores concuerdan en que la respuesta del pasto elefante a la aplicación de N no es uniforme a lo largo del año, sino que está relacionada íntimamente con las condiciones climáticas, en especial con la precipitación.

En efecto, Jones (36) en Kenya, concluyó que los fertilizantes nitrogenados aplicados a un suelo rojo húmico, incrementaron la producción del pasto elefante solamente cuando la precipitación fue abundante. En Puerto Rico, Vicente-Chandler y compañeros

(60, 61) encontraron variaciones en la producción de materia seca, hasta en un 70 por ciento del promedio, durante distintas épocas del año. Muñoz (44) y Roux (51), en trabajos efectuados en suelos aluviales de Turrialba, encontraron que las respuestas a la fertilización nitrogenada fueron mucho mayores en el período de mayor precipitación, comprendido entre junio y septiembre y que en otras épocas de menor precipitación, las aplicaciones no fueron económicas.

Parece no haber duda de que la fertilización nitrogenada incrementa el porcentaje de proteína en el pasto elefante (1, 4, 9, 10, 19, 40, 44, 51, 60, 61). Los resultados obtenidos en las investigaciones antes citadas así lo demuestran.

No existen muchos datos sobre la influencia de la fertilización sobre el porcentaje de P en el pasto elefante. Sin embargo, Vicente-Chandler y otros (60, 61) indican que el contenido de P disminuyó al aumentar los niveles de N.

Los contenidos de Ca, K y Mg parecen no ser afectados sustancialmente por las aplicaciones de N. El porcentaje de fibra, según algunos autores (35, 46, 51, 60, 61), se incrementa con esta práctica, en tanto que otros, como Blaser (4) opinan que la fertilización nitrogenada no influye sobre tal variable.

De acuerdo a las investigaciones de Vicente-Chandler y Figarella (58) en suelos latosólicos de Puerto Rico, y las de Buenaventura (7), en suelos aluviales de Colombia, el N aplicado como sulfato de amonio, produce un mayor incremento de proteína en el pasto elefante que el N aplicado como urea. Sobre el efecto de diferentes fuentes de N en la producción de pasto elefante, la literatura existente es muy escasa.

2.3.2 Fertilización Fosfatada e Interacción NP

Se ha visto como el nitrógeno causa casi siempre respuestas positivas. En el caso del fósforo la situación cambia bastante.

Mientras algunos autores como Adisón (1), no han encontrado respuestas significativas a las aplicaciones individuales de P, otros (19, 36, 56) sí han encontrado respuesta a la aplicación de este elemento.

En otros casos, el elefante parece no responder en forma inmediata a la aplicación de P. Así, Figarella y sus colaboradores (22) sólo consiguieron aumentos significativos, de la materia seca y el contenido de P en el forraje, al cabo de 5 años de aplicar 150 Kg./Ha./año de P_2O_5 a suelos típicos del área tropical húmeda de Puerto Rico. Sheng (53) consiguió incrementar significativamente la producción de pasto elefante al cabo de tres años de aplicaciones sucesivas de 120 Kg./Ha./año de P_2O_5 .

Por otra parte, la literatura incluye ejemplos muy interesantes de respuestas positivas del pasto elefante a las aplicaciones conjuntas de N y P.

Jones (36) encontró que el sulfato de amonio aplicado solo no dio incrementos en la producción del pasto elefante. La respuesta a la aplicación del sulfato se hizo evidente cuando, simultáneamente, se aplicó P_2O_5 como superfosfato triple. Otros investigadores (1, 13) también han detectado interacciones positivas entre N y P.

2.3.3 Localización de Fósforo

Debido a la escasa movilidad del fósforo y a su conocida facilidad para "fijarse" en formas no aprovechables a la planta, los investigadores han pensado, muy acertadamente, que la forma de aplicación del fertilizante fosfatado tiene mucho que ver con el éxito de esta práctica, y hacia allá han orientado muchas investigaciones.

A pesar de que para el caso específico del pasto elefante no se consiguió literatura, sí se cree conveniente reseñar los resultados que se han obtenido con otras especies de gramíneas.

En avena, la producción de forraje, como resultado de la aplicación de P en banda, fue mayor que la correspondiente a la aplicación al voleo, pero la producción de grano fue similar en los dos sistemas de aplicación (27, 28). Los mismos autores indican que la localización se tradujo en una mayor absorción de P. Sherrell y compañeros (54) llegaron a conclusiones parecidas, pero indican que el efecto de la localización del fertilizante fosfatado en el cultivo de avena depende de la dosis de aplicación y del nivel de P en el suelo y que la interacción detectada no pudo explicarse sobre la base de absorción de fósforo.

Bastisse (3) está de acuerdo en aceptar que el éxito de la localización de P depende tanto de la cantidad aplicada, como del tiempo de contacto del fertilizante con el suelo.

En cebada, la situación es muy parecida. A bajos niveles de P, las producciones, en suelos volcánicos del Japón, fueron superiores con aplicaciones de 100 Kg./Ha. de P_2O_5 en banda (superfosfato) que con aplicaciones al voleo. Al nivel más alto de P_2O_5 (700 Kg./Ha.) no hubo diferencias entre los dos sistemas de

aplicación (55). Conclusiones más o menos similares obtuvieron Jackson y compañeros (34).

Para el caso de praderas con mezcla de gramíneas y leguminosas, Igarashi y colaboradores (32) indican haber encontrado una producción significativamente mayor en el caso de la localización del fertilizante fosfatado, en tanto que Uhlen y Steenberg (57) encontraron que las aplicaciones a la superficie resultaron en mayor absorción de fósforo que las aplicaciones localizadas en banda.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 LA PLANTA

El pasto elefante (Pennisetum purpureum, Schum.) ha sido clasificado botánicamente como sigue (39):

Familia	:	Graminae
Subfamilia	:	Panicoideae
Tribu	:	Maideas
Género	:	Pennisetum
Especie	:	<u>Pennisetum purpureum</u>

La variedad que se utilizó en el experimento fue la llamada "Panamá". El material vegetativo se obtuvo en los jardines de colección del Departamento de Zootecnia del Centro de Enseñanza e Investigación (CEI) del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA (IICA). Otras características generales del pasto elefante se reseñaron en la revisión de literatura.

3.2 CONDICIONES GENERALES DEL LUGAR

3.2.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en los laboratorios de Suelos y Zootecnia y en los terrenos de la Finca Experimental del CEI (potrero 141), localizados en el valle de Turrialba a 602 m. sobre el nivel del mar, 9º 53' N de latitud y 83º 39' W de longitud, durante el período comprendido entre marzo de 1967 y julio de 1969.

3.2.2 Clima

De acuerdo a Budowski y Schreuder (6), la lluvia es relativamente uniforme a través de todo el año y su promedio anual es de 2.581 mm., teniendo máximos y mínimos mensuales que fluctúan entre 342 mm. y 65 mm., durante los meses de diciembre y marzo, respectivamente.

La temperatura promedio anual es de 22,5°C con un máximo y mínimo diario promedio de 28°C y 17°C, respectivamente.

El promedio mensual de la humedad relativa es de 87 por ciento, con un máximo de 90 por ciento en el mes de julio y un mínimo de 83 por ciento en el de marzo.

En el Cuadro 2 se presentan las condiciones prevalentes del clima a lo largo del período experimental de campo.

3.3 LOS SUELOS EXPERIMENTALES

3.3.1 Condiciones Generales

Los experimentos se llevaron a cabo en suelos correspondientes a la serie Juray. Esta serie, según Hardy (30), es de origen fluvio-lacustre, su material original bien meteorizado proviene, en gran parte, del lavado de las colinas ocupadas por la serie Colorado.

El perfil de la serie Juray es en su horizonte superior, según Hardy (30), de color pardo-oscuro (7,5 YR 4/4) con un espesor de 14 pulgadas de textura arenosa-arcillosa, de consistencia plástica en húmedo, y firme en seco. Un subsuelo de color pardo-amarillento con manchas herrumbrosas indicativas de drenaje imperfecto. La estructura, de granular en el horizonte superior, pasa a ser de bloque pequeño en el horizonte subyacente. La textura del subsuelo es también arenosa-arcillosa (30).

CUADRO 2. Condiciones climáticas prevalentes durante el período experimental de campo.*

Meses	Temperatura °C			Lluvia total (mm.)	Brillo solar total (horas)	Evaporación total (mm.)	Humedad relativa promedio diario %
	Media	Máxima promedio	Mínima promedio				
Ene./67	20,6	25,3	16,9	167,5	109,1	93,8	90,10
Feb.	20,5	26,0	15,9	54,3	172,0	135,1	84,74
Mar.	19,9	25,8	15,5	98,9	151,4	133,7	83,6
Abr.	21,1	25,8	18,1	349,0	103,2	87,5	89,12
May.	22,0	25,6	18,3	220,1	119,2	101,5	88,5
Jun.	23,0	27,4	18,7	461,7	124,2	110,9	88,9
Jul.	21,4	26,4	18,5	313,2	102,7	96,9	89,29
Ago.	21,7	26,9	18,6	344,4	133,5	111,2	89,39
Sep.	21,7	27,7	18,1	236,9	136,4	132,9	87,47
Oct.	21,6	27,0	18,2	241,4	142,0	132,5	88,82
Nov.	21,8	25,8	17,9	242,5	126,8	103,7	89,1
Dic.	20,6	25,8	17,1	140,6	143,1	104,1	88,47
Ene./68	19,8	25,1	16,3	196,8	143,0	119,5	82,2
Feb.	19,6	24,6	16,4	258,4	120,8	112,9	88,0
Mar.	19,9	25,6	15,4	323,1	149,1	139,3	84,7
Abr.	20,9	25,7	17,6	130,0	126,4	128,6	86,2
May.	21,7	27,4	18,3	228,6	153,8	140,7	87,5
Jun.	21,7	27,4	18,1	291,2	145,5	135,6	87,8
Jul.	21,4	26,5	18,4	489,5	111,5	111,1	89,2
Ago.	21,5	26,7	18,1	214,2	113,5	116,3	88,9
Sep.	22,0	27,6	18,3	322,2	154,6	142,3	86,8

CUADRO 2 (Continuación)

Meses	Temperatura °C			Lluvia total (mm.)	Brillo solar total (horas)	Evaporación total (mm.)	Humedad relativa promedio diario %
	Media	Máxima promedio	Mínima promedio				
Oct./68	21,9	27,6	18,5	198,4	163,5	148,5	86,6
Nov.	21,4	26,4	18,5	216,4	126,0	117,4	86,9
Dic.	20,7	25,9	17,2	266,0	161,8	122,9	85,2
Ene./69	20,8	26,6	16,5	94,8	197,6	151,0	84,0
Feb.	20,7	26,1	16,6	46,7	160,0	139,6	81,4
Mar.	22,1	27,5	18,0	63,4	162,8	160,5	82,5
Abr.	22,2	28,3	18,3	48,6	179,7	174,1	81,8

* Datos de la Estación Meteorológica del IICA-CEI.

3.3.2 Métodos Utilizados en su Caracterización

Los suelos experimentales se analizaron en el laboratorio para su caracterización. Las propiedades determinadas y los métodos utilizados fueron los siguientes:

Textura: se utilizó el método de Bouyoucos descrito por Jacobs y Reed (33).

pH: se determinó en agua (1:1) y en CaCl_2 0,01 M (1:2,5), de acuerdo a las técnicas descritas por Greweling y Peech (29), con un potenciómetro Beckman Zeromatic con electrodo de vidrio.

Carbono: se utilizó el método de Walkley - Black, modificado por Sáiz del Río y Bornemisza (52).

Nitrógeno total: se usó el método Micro-Kjeldahl, modificado por Díaz-Romeu.* A un gramo de suelo se agregaron 1,8 g. de la mezcla catalizadora (100 g. de K_2SO_4 , 10 g. de $CuSO_4$ y 1 g. de selenio), todo en un balón de 100 ml. de capacidad con 5 ml. de ácido sulfúrico concentrado. Se dejó en reposo durante 24 horas y luego se puso en digestión por dos horas; se dejó enfriar y se agregaron 30 ml. de agua destilada. Después de agregar de 12 a 15 ml. de NaOH 1:1, se destiló durante 10 minutos y se recogió el destilado en 20 ml. de H_3BO_3 al 2 por ciento. Por último, se tituló con H_2SO_4 0,02 N.

Fraccionamiento de fosfatos inorgánicos: se llevó a cabo mediante el método de Chang y Jackson (12).

Capacidad de intercambio catiónico: de acuerdo al método de Bower et al, modificado por Díaz-Romeu y Balerdi (17).

Bases cambiables: Ca, Mg, K se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica; se utilizó un espectrofotómetro Perkin Elmer Modelo 303.

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

3.4.1 Experimento con dosis ascendentes de nitrógeno

Se utilizó el diseño de cuadrado latino 4 x 4. Los tratamientos (niveles de fertilización nitrogenada), distribuidos al azar en las unidades experimentales de 10 m. de largo por 5,5 m. de ancho, fueron los siguientes:

N_0	:	Testigo
N_1	:	200 Kg. de N/Ha./año

* Información personal.

N_2 : 400 Kg. de N/Ha./año

N_3 : 600 Kg. de N/Ha./año

La fuente usada fue urea con un 46 por ciento de N.

3.4.2 Experimento con dosis ascendentes de fósforo y dos formas de aplicación

Para este experimento se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con dos tratamientos (formas de aplicación del fertilizante fosfatado) distribuidos al azar en unidades experimentales de 48 m. de largo por 12 m. de ancho. Cuatro subtratamientos (niveles de fertilización fosfatada) distribuidos al azar en subunidades de 12 m. de largo por 6 m. de ancho. Se usaron cuatro repeticiones.

Las formas de aplicación (tratamientos) distribuidos en las parcelas fueron:

a) aplicación al voleo

b) aplicación localizada al fondo del surco

Los niveles de P_2O_5 (subtratamientos) distribuidos en las subparcelas fueron:

P_0 : Testigo

P_1 : 100 Kg. de P_2O_5 /Ha./año

P_2 : 200 Kg. de P_2O_5 /Ha./año

P_3 : 400 Kg. de P_2O_5 /Ha./año

La fuente de fósforo utilizada fue de superfosfato triple conteniendo un 46 por ciento de P_2O_5 .

3.4.3 Experimento con cuatro combinaciones NP nitrógeno-fósforo

Se utilizó un diseño de tratamiento factorial 2^2 , con dos factores: N y P y dos niveles de fertilización. Así, resultaron cuatro tratamientos (combinaciones N P) que se arreglaron en un diseño irrestrictamente al azar, con parcelas o unidades experimentales de 7 m. de largo y 5,5 m. de ancho. Se utilizaron seis repeticiones.

Niveles:

N_1	:	200 Kg. de N/Ha./año
N_2	:	400 Kg. de N/Ha./año
P_1	:	100 Kg. de P_2O_5 /Ha./año
P_2	:	200 Kg. de P_2O_5 /Ha./año

Tratamientos:

N_1P_1
N_1P_2
N_2P_1
N_2P_2

Las fuentes utilizadas fueron: urea del 46 por ciento de N y superfosfato triple del 46 por ciento de P_2O_5 .

3.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.5.1 Experimento con dosis ascendentes de nitrógeno

El experimento comenzó el 6 de enero de 1968. Ese día se cortó el pasto previamente establecido y sembrado en surcos espaciados 60 cm. entre sí.

a) Fertilización

Los diferentes niveles de N se aplicaron al voleo, la mitad de cada dosis al iniciar el experimento, 1/4 de cada dosis después del segundo corte y el 1/4 restante después del cuarto corte. Además, se hizo una aplicación básica de P y de K, la cual constó de 100 Kg. de P_2O_5 /Ha./año en forma de superfosfato (46 por ciento de P_2O_5) y de 100 Kg. de K_2O /Ha./año en forma de muriato de potasio (60 por ciento de K_2O). Tanto el P como el K se aplicaron en su totalidad al iniciar el experimento.

b) Cortes

Se realizaron seis cortes espaciados entre sí, de 7 a 9 semanas, dependiendo de la rapidez de crecimiento y considerando los resultados obtenidos por Roux (51) y Muñoz (44) bajo las condiciones de Turrialba. Las fechas de los cortes se detallan a continuación:

Corte I	Marzo 8/68
Corte II	Mayo 14/68
Corte III	Julio 11/68
Corte IV	Sept. 5/68
Corte V	Oct. 30/68
Corte VI	Dic. 18/68

Los cortes se hicieron a machete, a una altura de corte de 15 cm. e inmediatamente se obtuvo el peso total de la producción de materia verde en cada parcela. De cada una se tomó una muestra de forraje, al azar, en una cantidad equivalente a más o menos 0,5 Kg.

3.5.2 Experimento con dosis ascendentes de fósforo y dos sistemas de aplicación

Este experimento comenzó el 29 de abril de 1968. Ese día se cortó el pasto previamente establecido y sembrado en surcos espaciados entre sí 60 cm. y se procedió a la aplicación de los tratamientos.

a) Fertilización

Los diferentes niveles de P_2O_5 se aplicaron en surcos preparados con un arado subsolador a 20 cm. de profundidad, para el tratamiento localizado; y se aplicó a mano sobre toda la superficie de la parcela para el tratamiento al voleo. La totalidad de las dosis se aplicó al comenzar el experimento. Además, se agregó una fertilización básica que constó de 200 Kg. de N/Ha./año en forma de urea (46 por ciento de N y 100 Kg. de K_2O). El potasio se aplicó en su totalidad al inicio del experimento junto con la mitad de la dosis de nitrógeno, $1/4$ de la dosis de N después del segundo corte y el $1/4$ restante después del cuarto corte.

b) Cortes

Se realizaron seis cortes espaciados entre sí de 7 a 9 semanas. Las fechas de corte fueron:

Corte I	Junio 14/68
Corte II	Agosto 8/68
Corte III	Octubre 7/68
Corte IV	Noviembre 27/68
Corte V	Febrero 4/69
Corte VI	Abril 29/69

Los cortes se hicieron a machete, a 15 cm. de altura; se pesó el total de la producción de materia verde en cada parcela y se tomó la muestra del forraje para el análisis de laboratorio.

c) Muestreo de suelo en las parcelas experimentales

Al finalizar el sexto corte, se procedió a obtener muestras de suelos en todas las parcelas. De cada parcela se tomaron cinco submuestras y se mezclaron. Posteriormente, se reunieron las muestras correspondientes a un mismo tratamiento y se homogenizaron. Así se obtuvieron ocho muestras, cuatro de ellas pertenecientes a los cuatro niveles de P_2O_5 al voleo y las otras cuatro, a los cuatro niveles de P_2O_5 localizado. En las muestras así obtenidas, se procedió al fraccionamiento de fosfatos.

3.5.3 Experimento con cuatro combinaciones de N P nitrógeno-fósforo

Comenzó el 28 de marzo de 1967, se cortó el pasto previamente establecido, sembrado en surcos espaciados 60 cm. entre sí y se procedió a la fertilización.

a) Fertilización

Los diferentes niveles de N y P y una dosis constante básica de 100 Kg. de K_2O en forma de muriato de potasio (60 por ciento de K_2O), se aplicaron al voleo divididos en siete aplicaciones iguales, que correspondieron a los siete cortes efectuados.

b) Cortes

Se realizaron siete cortes a machete, con un intervalo de corte de 7 a 9 semanas. Las fechas de corte fueron:

Corte I	Mayo 16/67
Corte II	Julio 3/67
Corte III	Agosto 22/67
Corte IV	Octubre 19/67
Corte V	Diciembre 21/67
Corte VI	Febrero 21/68
Corte VII	Abril 17/68

Al igual que en los experimentos antes descritos, inmediatamente después del corte, se obtuvo el peso verde de la producción total de cada parcela. Igualmente se tomó la muestra de forraje para el análisis.

3.6 ANALISIS DEL FORRAJE

La muestra de forraje se secó en una estufa a 100°C durante ocho horas y luego se molió en un molino standard Nº 3 Willey-mill con tamiz de 1 mm. de diámetro. Los componentes determinados y los métodos utilizados fueron los siguientes:

3.6.1 Materia Seca

Se utilizó el método publicado por la "Association of Official Agricultural Chemists (AOAC)" (2).

3.6.2 Proteína Cruda

Se determinó multiplicando por el factor 6,25 el contenido de nitrógeno obtenido mediante el método micro-Kjeldahl (43).

3.6.3 Calcio y Fósforo

Se determinó en los extractos foliares obtenidos mediante una digestión con mezcla nitricoperclórica en proporción 5:1, según el método descrito por Wilson (62). El fósforo se determinó por

el método sulfomolibdico descrito por Chang y Jackson (12), empleando un espectrofotómetro Coleman 14, a una longitud de onda de 660 mμ. El calcio se determinó por espectrofotometría de absorción atómica mediante el espectrofotómetro Perkin Elmer Modelo 303.

3.6.4 Fibra

Para su determinación se siguió el método descrito por Holt (31).

3.7 ANALISIS ESTADISTICO

3.7.1 Experimento de Nitrógeno

De este experimento se consideraron cinco variables de respuesta: materia seca, proteína, P, Ca y fibra.

El modelo matemático utilizado para el análisis fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + \epsilon_{ijk} + \gamma_l + (\tau\gamma)_{kl} + \delta_{ijkl}$$

donde:

Y_{ijkl} = variable de respuesta (materia seca, proteína, P, Ca, fibra)

μ = media general

α_i = efecto diferencial de la hilera "i"

β_j = efecto diferencial de la columna "j"

τ_k = efecto diferencial del tratamiento "k"

ϵ_{ijk} = interacción hilera, columna y tratamiento "ijk" (error a)

γ_l = efecto diferencial del corte "l"

$(\tau\gamma)_{kl}$ = efecto de interacción tratamiento por corte "kl"

δ_{ijkl} = interacción hilera, columna, tratamiento, corte "ijkl" (error b)

3.7.2 Experimento Fósforo

En este caso, se consideraron cuatro variables de respuesta: materia seca, proteína, P, Ca. El modelo matemático utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \delta_{ijkl} + \lambda_l + (\alpha\lambda)_{il} + (\gamma\lambda)_{kl} + (\alpha\gamma\lambda)_{ikl} + \rho_{ijkl}$$

donde:

Y_{ijkl} = variable de respuesta (materia seca, proteína, P, Ca)

μ = media general

α_i = efecto diferencial del tratamiento "i" (formas)

β_j = efecto diferencial de repeticiones "j"

ϵ_{ij} = interacción repeticiones tratamientos "ij" (error a)

γ_k = efecto diferencial de subtratamiento "k" (niveles)

- $(\alpha\gamma)_{lk}$ = interacción forma por nivel "ik"
- δ_{ijk} = interacción forma por nivel y repetición "ijk" (error b)
- λ_l = efecto diferencial de corte "l"
- $(\alpha\lambda)_{il}$ = interacción forma por corte "il"
- $(\gamma\lambda)_{kl}$ = interacción nivel por corte "kl"
- $(\alpha\gamma\lambda)_{ikl}$ = interacción forma por nivel y corte "ikl"
- ρ_{ijkl} = interacción forma por nivel, corte y repetición "ijkl" (error c)

3.7.3 Experimento Nitrógeno-Fósforo

Para el análisis estadístico de este experimento se consideraron cinco variables de respuesta: materia seca, proteína, P, Ca, fibra. El modelo matemático utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} + \beta_k + (\alpha\beta)_{ik} + \delta_{ijk}$$

donde:

- Y_{ijk} = variable de respuesta (materia seca, proteína, P, Ca, fibra)
- μ = media general
- α_i = efecto diferencial de tratamiento "i"

ϵ_{ij} = interacción observación por tratamiento
"ij" (error a)

β_k = efecto diferencial del corte "k"

$(\alpha\beta)_{ik}$ = interacción tratamiento por corte "ik"

δ_{ijk} = interacción observación por tratamiento
y corte "ijk" (error b)

4. RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos en la investigación. En primer lugar, se tratará lo concerniente a la descripción y caracterización de los suelos experimentales y luego a los experimentos en sí mismos, con el siguiente orden:

- Experimento con dosis ascendentes de nitrógeno.
- Experimento con dosis ascendentes de fósforo y dos formas de aplicación.
- Experimento con cuatro combinaciones N P.

4.1 DESCRIPCION Y CARACTERIZACION DE LOS SUELOS EXPERIMENTALES

4.1.1 Descripción de los Suelos en el Campo

Los dos suelos experimentales distaban 100 m. entre sí y por lo tanto, sus condiciones generales son comunes, lo mismo que las del lugar.

a) Condiciones Generales del Lugar

Ubicación: potrero 141 de la Finca Ganadera del CEI, colindante con la carretera central hacia las instalaciones de la Finca y con los laboratorios de nutrición animal.

- Altitud: 600 m.s.n.m.
- Topografía: plana
- Posición fisiográfica: terraza aluvial
- Pendiente: 0 - 2%
- Uso de la tierra: pasturas.

b) Condiciones Generales de los Suelos

- Serie: Juray
- Material de partida: fluvio-lacustre

- Drenaje: bien drenado
- Erosión: ninguna
- Pedregosidad: escasa.

c) Descripción del perfil 1. Experimentos con dosis ascendentes de N y con cuatro combinaciones N P

- A₁ 0 - 19 cm. 5 YR 2/2, café rojizo oscuro (húmedo). Franco-arenoso. Estructura granular. Friable. Raíces abundantes.
- A₃ 19 - 32 cm. Horizonte de transición. 5 YR 4/4, café rojizo (húmedo). Franco-arcilloso. Estructura de bloque subangular grueso. Friable. Raíces abundantes.
- B 32 cm. 10 YR 4/4, café amarillo oscuro (húmedo). Franco-arcilloso-arenoso. Estructura de bloque subangular grueso.

d) Descripción del perfil 2. Experimento con dosis ascendentes de P₂₋₅ y dos formas de aplicación

- A₁ 0 - 20 cm. 7,5 YR 3/2, café oscuro (húmedo). Franco-arenoso. Estructura granular. Friable. Raíces abundantes.
- A₃ 20 - 40 cm. 5 YR 4/4, café rojizo (húmedo). Franco-arcilloso-arenoso. Estructura en bloque subangular grueso. Friable. Raíces abundantes.
- B 40 cm. 10 YR 4/4, café amarillo oscuro (húmedo). Franco-arcilloso-arenoso. Estructura de bloque. Consistencia friable.

4.1.2 Análisis mecánico y características químicas de los suelos

Las características químicas y del análisis mecánico de los suelos experimentales se presentan en el Cuadro 3. En general, se puede observar que los dos suelos son muy similares en sus condiciones texturales y químicas. Por otra parte, las condiciones morfológicas del perfil --se ha visto-- son casi iguales. Por ello, los resultados obtenidos se discutirán en conjunto.

Es notoria la predominancia de la arena en todo el perfil. El contenido de arcilla es mucho menor pero se incrementa desde el horizonte superior hacia los subyacentes. Es evidente que la condición textural de estos suelos permite un buen drenaje. Los bajos valores de arcilla y limo, en comparación a los de arena son una demostración de la juventud de estos suelos.

Los valores de pH, tanto en agua como en CaCl_2 0,01 M, son ácidos en el horizonte superior y se incrementan un tanto en los subyacentes. La disminución de la materia orgánica con la profundidad, asociada con la escasa disminución en la saturación de bases, puede explicar esta situación.

El contenido de carbono orgánico es muy alto en los horizontes superiores y decae en los inferiores, siendo muy pequeño en el B. Lo mismo se puede decir del contenido de nitrógeno.

La relación C N es un tanto baja en los horizontes superiores. Esta situación podría considerarse indicativa de una condición no muy favorable para la nitrificación.

Los valores de la capacidad de intercambio catiónico se consideran altos en los dos perfiles. Esta situación está asociada, probablemente, con la abundancia de materia orgánica en los horizontes superiores y el relativo incremento de arcilla con la

CUADRO 3. Resultados del análisis mecánico y principales características químicas de los suelos experimentales.

Horizonte	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura	pH		% C	% N	C/N	CIC m.e./ 100 g.	Bases cambiables m.e./100 g.			Fosfatos inorgánicos (p.p.m. P)			
					Agua	CaCl ₂ 0,01 N					K	Ca	Mg	Al	Fe	Ca	
Perfil 1*																	
A ₁ 0-19 cm.	57	35	8	F.arenoso	5,7	5,7	4,0	0,53	7,5	36,8	0,22	5,6	1,3	19,3	150	165	80
A ₃ 19-32 cm.	77	13	10	F.arenoso	5,8	5,9	1,1	0,14	7,8	25,0	0,08	3,0	0,7	15,1	100	155	50
B > 32 cm.	73	18	9	F.arenoso	6,2	6,0	0,1	0,08	1,2	27,1	0,06	2,4	0,7	11,6	140	215	65
Perfil 2*																	
A ₁ 0-20 cm.	65	28	7	F.arenoso	5,6	5,1	3,8	0,52	7,3	35,6	0,21	4,0	1,4	15,7	90	135	65
A ₃ 20-40 cm.	77	4	19	F.arenoso	5,8	5,4	1,4	0,15	9,3	28,0	0,09	2,6	0,76	12,3	75	105	50
B > 40 cm.	60	24	16	F.arenoso	6,2	5,6	0,1	0,07	1,4	24,1	0,07	2,4	0,76	11,4	140	175	55

* Perfil 1: Experimentos de fertilización nitrogenada y combinaciones N P.

Perfil 2: Experimento de fertilización fosfatada.

profundidad.

Los valores de las bases cambiables (K, Ca, Mg) son bajos y disminuyen con la profundidad. Los valores encontrados en este estudio son muy similares a los obtenidos por Hardy (30) en suelos de la misma serie. No es aventurado pensar que, debido al excelente drenaje de estos suelos y a la alta precipitación que se presenta en la región, las bases cambiables hayan sido lixiviadas, en una cantidad apreciable, provocando así una relativa pobreza de bases.

Consecuente con lo anterior, la saturación de bases es baja y tiende, como las bases cambiables, a disminuir con la profundidad.

En ambos suelos se nota la predominancia de los fosfatos de hierro y aluminio sobre los de calcio. Esta situación concuerda con la encontrada por Fassbender y colaboradores (21) en la misma serie de suelos, y es atribuible a los bajos valores de pH.

De acuerdo a la morfología del perfil, su condición textural y sus características químicas, se puede concluir que los suelos experimentales presentan buenas condiciones físicas y condiciones de fertilidad limitadas un tanto por los bajos niveles de bases cambiables. Esta situación y su relativa alta capacidad de cambio, hace pensar que son suelos para responder muy bien a prácticas de fertilización.

4.2 EXPERIMENTO CON DOSIS ASCENDENTES DE NITROGENO

En el Cuadro 4, se presentan los cuadrados medios obtenidos en el análisis de variancia de este experimento así como los niveles de significancia para cada fuente de variación sobre cada

CUADRO 4. Análisis de variancia del experimento con dosis ascendentes de nitrógeno para materia seca, proteína, fósforo, calcio y fibra.

Fuentes de variación	G.L.	Materia seca	Proteína	Fósforo	Calcio	Fibra
Tratamiento	3	10,217 ##	9,916 *	0,021 ##	0,0033 ns	0,460 ns
N_1	1	30,02 ##	26,555 ##	0,060 ##	0,0039 ns	0,0013 ns
N_q	1	0,172 ns	0,387 ns	0,00008 ns	0,0009 ns	1,00 ns
N_c	1	0,451 ns	2,806 ns	0,004 ns	0,0043 ns	0,320 ns
Error (a)	6	0,647	1,660	0,0015	0,0018	0,928
Corte	5	5,883 ##	34,034 ##	0,0244 ##	0,0114 ##	37,924 ##
C x tratamiento	15	1,185 ##	2,489 ##	0,0022 ns	0,0017 *	1,452 *
$C \times N_1$	5	3,090 ##	4,261 ##	0,003 *	0,0020 *	3,36 ##
$C \times N_q$	5	0,322 ##	2,514 *	0,0029 *	0,0006 ns	0,388 ns
$C \times N_c$	5	0,142 ns	0,693 ns	0,001 ns	0,0025 ##	0,608 ns
Error (b)	60	0,092	1,058	0,0012	0,0007	0,670

* 5% de probabilidad.

~~##~~ 1% de probabilidad.

variable de respuesta. En los Cuadros 1, 2, 3, 4 y 5 del Apéndice, se incluyen los resultados obtenidos para producción de materia seca, contenido de proteína, contenido de fósforo, contenido de calcio y contenido de fibra, respectivamente.

4.2.1 Efecto de los niveles de N sobre las variables de respuesta en estudio

a) Efecto de los niveles de N sobre la producción de materia seca

De acuerdo al análisis de variancia, la producción de materia seca se incrementó en forma lineal altamente significativa ($P < 0,01$) con las dosis de N aplicadas. En la Figura 1 se observa que esta variable se incrementa desde 5.500 Kg./Ha./año sin aplicación de N, hasta 14.000 Kg./Ha./año con una aplicación de 600 Kg./Ha./año de N.

La ecuación de respuesta que se obtuvo para la producción de materia seca fue:

$$Y = 7.779 + 7,5 Z$$

Esto indica que, por cada 100 Kg. de N aplicados, la producción de materia seca se incrementó en 750 Kg./Ha./año. La tendencia es lineal, por lo tanto, con el nivel máximo de 600 Kg. de N/Ha./año todavía no se ha conseguido el máximo de rendimiento. Sin embargo, los mayores incrementos se lograron entre los niveles 0 - 200 y 200 - 400, disminuyendo entre 400 y 600 Kg./Ha./año de N aplicados.

Casi todas las investigaciones han detectado respuestas de importancia del pasto elefante a la fertilización nitrogenada

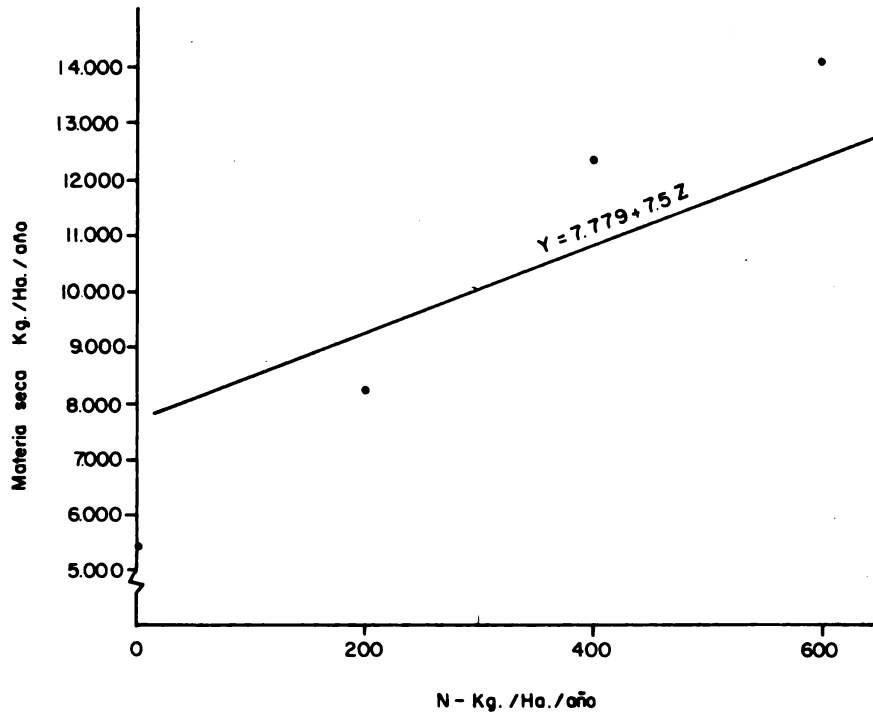


Fig.1 Efecto de los niveles de N sobre la producción anual de materia seca

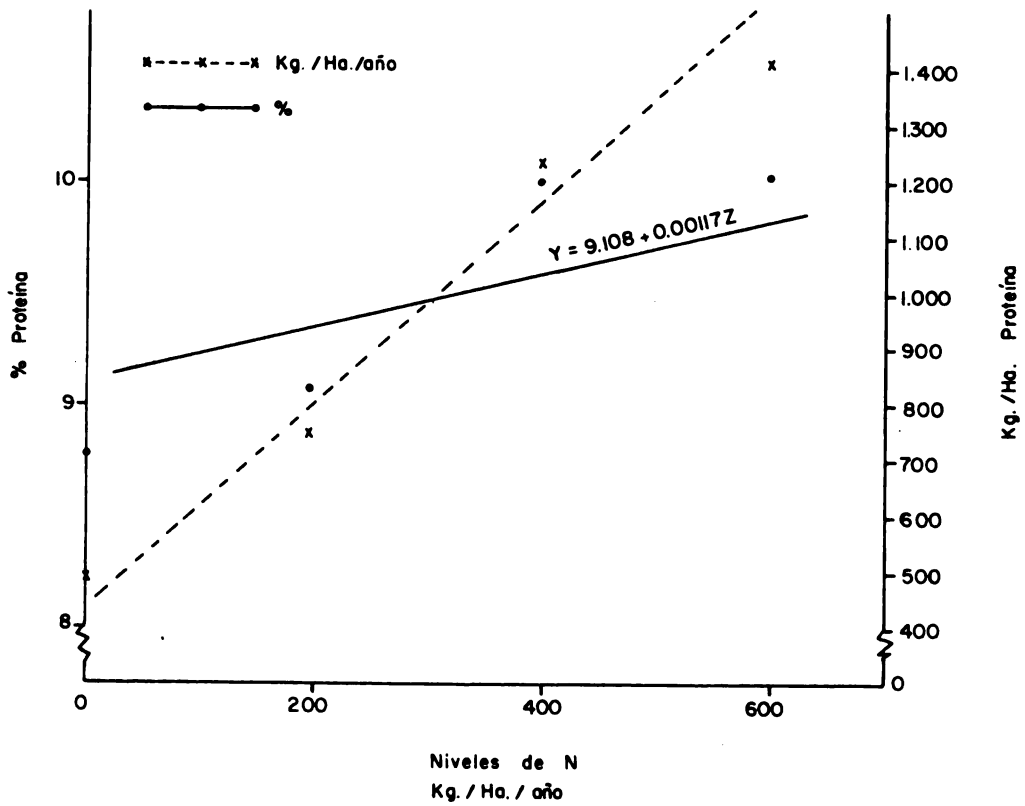


Fig. 2 Efecto de los niveles de N sobre el % y producción promedio anual de proteína

en su producción de materia seca (1, 4, 7, 9, 11, 25, 36, 40, 44, 51, 53, 56, 60, 61, 63).

Las producciones obtenidas en este estudio, para los niveles de N utilizados, son comparables en muchos casos, con las obtenidas en las investigaciones antes citadas. Se exceptúan ciertos casos en donde las variables clima, variedad y suelo son responsables de diferencias más o menos apreciables.

b) Efecto de los niveles de N sobre el contenido de proteína

La proteína se incrementó en forma significativa ($P < 0,05$) debido a las aplicaciones de N. En efecto, fue de tendencia lineal ($P < 0,01$), tal como se observa en la Figura 2, y la ecuación de respuesta fue:

$$Y = 9.108 + 0,00117 Z$$

y a la vez indica que el contenido de proteína se incrementó en 0,117 por ciento por cada 100 Kg. de N/Ha./año aplicados.

En el mismo gráfico, se observa que la producción de proteína se aumentó de cerca de 500 Kg./Ha./año, sin aplicación de N, hasta 1.400 Kg./Ha./año, con la dosis de 600 Kg. de N/Ha./año.

Este efecto positivo de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de proteína, ha sido observado por varios investigadores (1, 4, 9, 10, 44, 19, 40, 51, 56, 60, 61) y evidentemente, es una de las ventajas más importantes que se derivan de la aplicación de N. Phillips et al (49) opinan que el contenido de proteína es uno de los criterios más importantes para evaluar la calidad de un forraje.

Los valores de proteína observados son muy similares a los obtenidos por autores ya citados, salvo diferencias lógicas en función de estado de madurez, época del año e intervalo de corte.

c) Efecto de los niveles de N sobre el contenido de P

Los niveles de N disminuyeron en forma altamente significativa ($P < 0,01$), el contenido de P en el forraje del pasto elefante. La disminución fue lineal y provocó una caída desde 0,380 por ciento hasta 0,320 por ciento de P en el forraje. Este efecto fue encontrado también por Vicente-Chandler y colaboradores (60, 61) en Puerto Rico. El fenómeno de "dilución" del P causado por los incrementos de materia seca con las dosis crecientes de N, parece que es responsable de esta disminución.

Los niveles de P obtenidos en este experimento son muy similares a los obtenidos por Murillo (45) en Turrialba (0,28 a 0,39 por ciento) y de acuerdo a de Alba (15), estos contenidos son suficientes para evitar un déficit de P en la ración del animal que se alimenta de forrajes. Puesto que de Alba opina que un 0,20 por ciento de P es un contenido adecuado, la disminución del contenido de P con la fertilización nitrogenada observada en este experimento, no tendría importancia desde el punto de vista del valor nutritivo del forraje.

d) Efecto de los niveles de N sobre el contenido de Ca y de fibra

Para estas dos variables, los niveles de N no causaron diferencias estadísticamente detectables ($P > 0,05$). Los contenidos de fibra cruda, que según algunos autores (35, 46, 51, 60, 61) se incrementan con la aplicación de N, causando un deterioro en el

valor nutritivo del forraje, no sufrieron, en este caso, variación alguna. Así, en el Cuadro 5 del Apéndice se encuentra que el contenido promedio de fibra, en ausencia de fertilizante, fue de 32,9 y que se mantiene igual con el nivel más alto de fertilización nitrogenada.

Los contenidos de Ca obtenidos en este estudio (0,15 a 0,17 por ciento) son un tanto inferiores a los obtenidos por Murillo (45) en Turrialba (0,20 a 0,26 con 1.000 Kg./Ha./año de N), pero según de Alba (15) no deberían causar ningún problema en la alimentación del ganado.

4.2.2 Efectos de corte y de interacción corte por tratamiento

La fuente de variación corte causó diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en todas las variables de respuesta estudiadas.

a) Efectos de corte e interacción corte por tratamiento sobre la producción de materia seca

Tal como se observa en la Figura 3, la producción de materia seca varió significativamente, a través de los seis cortes.

Esta variación observada también por Roux (51) y Muñoz (44), en Turrialba, así como por varios autores en otras localidades (4, 9, 36, 44, 45, 48, 51, 60, 61), se puede explicar, al menos en parte, por los cambios en las condiciones climáticas -- especialmente la precipitación. Así, en la Figura 3, se observa con claridad, que las fluctuaciones de la producción de materia seca, para cualquier nivel de N, siguen en líneas generales los cambios en la precipitación pluvial. No obstante, la tendencia general es la disminución de la producción desde el primer corte hacia el sexto. En el nivel de

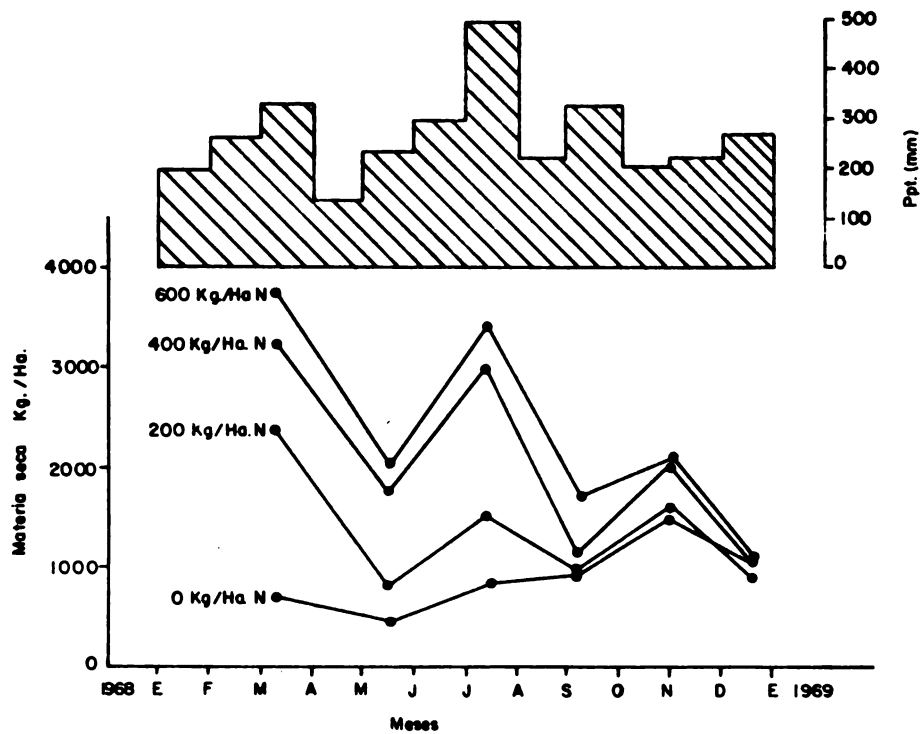


Fig. 3 Relación esquemática entre precipitación total mensual y efecto de corte sobre la producción anual de materia seca del pasto elefante con cuatro niveles de nitrógeno

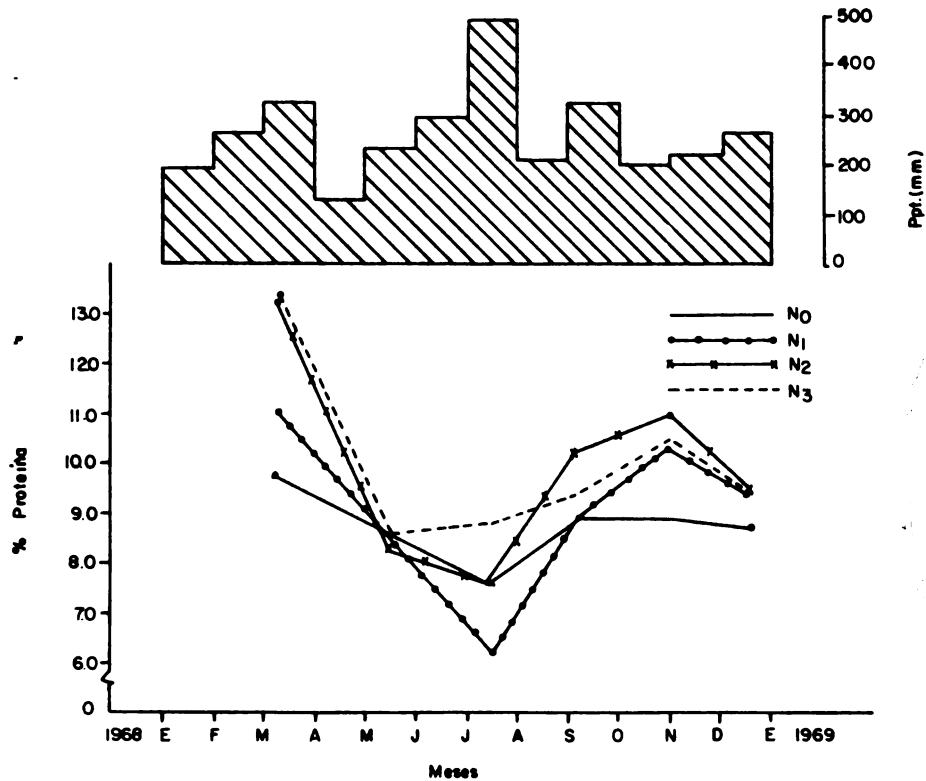


Fig. 4 Relación esquemática entre precipitación total mensual y efecto de corte sobre el % de proteína en el forraje del pasto elefante con cuatro niveles de nitrógeno

600 Kg. de N/Ha./año, la producción cae desde cerca de 4.000 Kg. de materia seca/Ha. en el primer corte, hasta un poco más de 1.000 Kg. en el sexto corte. Este evidente deterioro de la producción de pasto elefante motivada por los cortes sucesivos, ha sido observado por otros investigadores (9, 40, 48, 45, 44, 51, 58, 59, 60, 61).

Aparte de la precipitación, las variaciones en la producción también están relacionadas con la época de aplicación del nitrógeno. Así, después del segundo corte se hizo una aplicación de nitrógeno que correspondió a un aumento en la producción obtenida en el tercer corte, con relación a la obtenida en el segundo. Otro tanto se puede decir de la producción del quinto corte en relación al cuarto ya que una nueva aplicación de N se hizo después del cuarto corte.

El efecto de la interacción corte por tratamiento se hizo presente en forma altamente significativa ($P < 0,01$) sobre la variable materia seca. Esta interacción es observable en la Figura 3. Durante los tres primeros cortes se pueden observar diferencias relativamente grandes en la producción de materia seca motivadas por los diferentes niveles de N. En el cuarto y quinto cortes las respuestas a los niveles de N disminuyen sustancialmente y casi son nulas en el sexto corte.

De esta manera, se puede pensar que en el cuarto y quinto cortes, correspondientes a la época de septiembre y noviembre, la aplicación de nitrógeno fue de dudosa justificación económica y que, durante los meses de noviembre y enero, correspondientes al sexto corte, la aplicación de nitrógeno no se justifica.

De nuevo, la precipitación y la época de aplicación del

fertilizante muestran buena congruencia con la magnitud de las respuestas obtenidas a las aplicaciones de nitrógeno. Por ejemplo, en el tercer corte, que correspondió con un incremento en la precipitación desde mayo hasta un máximo en julio, se nota una excelente respuesta al incremento desde 200 hasta 400 Kg./Ha./año en la dosis de fertilización nitrogenada. De la misma manera, esta buena respuesta coincidió con la aplicación de N efectuada después del segundo corte.

Los resultados indican, pues, que la época comprendida entre marzo y julio presentó muy buenas condiciones para la obtención de respuestas a la fertilización nitrogenada. Lo anterior difiere un tanto de la situación encontrada por Roux (51) y Muñoz (44), también bajo las condiciones de Turrialba, ya que las mejores respuestas las obtuvieron entre junio y septiembre. Esto puede explicarse por las lógicas diferencias tanto en la distribución de la precipitación, como en las dosis de N utilizadas y la época de aplicación del fertilizante. Hay que tener presente, además, que la respuesta a la aplicación de N en un corte dado dependerá no sólo de la época en que se efectúe éste, sino también del número de cortes realizados hasta entonces.

b) Efectos de corte e interacción corte por tratamiento sobre el contenido de proteína

El contenido de proteína varió significativamente con los cortes efectuados ($P < 0,01$). En la Figura 4, se puede observar esta variación. El contenido de proteína disminuye consistentemente desde el primer al tercer cortes. Luego se nota un incremento hasta el quinto corte, para luego decaer de nuevo en el

sexto. Los mayores contenidos de proteína se obtuvieron en el primer corte (10 a 13 porciento) y es interesante notar que en este corte también se obtuvo el mayor rendimiento en materia seca (Figura 3).

Aparentemente, la precipitación no tiene mayor influencia en las variaciones del contenido de proteína a lo largo del año, o por lo menos otros factores "enmascaran" su efecto. Por ejemplo, es de interés notar que casi en todos los tratamientos los niveles más bajos en el contenido de proteína se presentaron en el tercer corte. Esta caída no es atribuible en forma directa al incremento en la precipitación observado entre mayo y julio, sino más bien al incremento de la producción de materia seca entre el segundo y tercer corte que provocó una "dilución" en el contenido proteico.

La interacción corte por tratamiento fue altamente significativa ($P < 0,01$). Tal como se puede apreciar en la Figura 4, esta significancia fue motivada tanto por las diferencias en la intensidad de las respuestas, a lo largo de los cortes efectuados, como por los cambios en la dirección de las mismas. Así, mientras en el primer corte se obtenían incrementos sucesivos en el contenido de proteína con las dosis de N, en el segundo corte los tratamientos no mostraron efecto sobre esta variable y en el tercero el testigo superó la dosis de 200 Kg./Ha. e igualó la de 400 Kg./Ha./año. De nuevo en este caso, la "dilución" motivada por el incremento de materia seca en el tercer corte, parece relacionarse con esta situación.

Tres situaciones, en resumen, se hacen evidentes. Altas producciones de materia seca asociadas con altos contenidos de proteína (primer corte). Altas producciones de materia seca asociadas

con bajos contenidos de proteína (tercer corte) y bajos contenidos de proteína asociados con bajas producciones de materia seca.

c) Efectos de corte e interacción corte por tratamiento sobre el contenido de P y Ca

El corte también causó diferencias significativas ($P < 0,01$) en los contenidos de P y de Ca del pasto elefante.

En la Figura 5, se observa que el contenido de P tuvo variaciones cíclicas a lo largo del año, pero su tendencia general es a incrementar su contenido con el número de cortes realizados. Se hace evidente, asimismo, que las fluctuaciones del contenido de P a lo largo del año, están estrechamente relacionadas y en forma inversa con las variaciones en la producción de materia seca. Es decir, cuando la materia seca se incrementa (Figura 3) el contenido de P decrece (Figura 5) y viceversa. De aquí se puede concluir que en realidad la planta absorbió durante el año cantidades más o menos constantes de P y que las diferencias observadas se deben únicamente, al efecto de "dilución" y "concentración". El primero, al aumentar la producción de materia seca y el segundo al disminuir.

La interacción corte por tratamiento no fue significativa ($P > 0,05$) para la variable de respuesta contenido de P.

El contenido de Ca disminuye casi linealmente, a través de los cortes en forma altamente significativa ($P < 0,01$). La caída es casi constante de 0,21 por ciento en el primer corte, a 0,14 por ciento en el sexto (Figura 5). Este deterioro en el tenor de Ca corresponde con el observado en la producción de materia seca a lo largo del año.

La interacción corte por tratamiento causó diferencias significativas ($P < 0,05$) en el contenido de Ca. Los mayores valores se obtuvieron en el primer corte (0,206 - 0,222 por ciento) y los menores en el último corte (0,118 - 0,160 por ciento) (véase Cuadro 4, del Apéndice). No se insiste en este efecto, por cuanto aún los valores más bajos observados son adecuados, según de Alba (15), para la alimentación del ganado.

d) Efectos de corte e interacción corte por tratamiento sobre el contenido de fibra

El corte causó diferencias significativas ($P < 0,01$) sobre el contenido de fibra. Los menores contenidos se obtuvieron en el primer y sexto cortes (31,3 por ciento y 31,5 por ciento) y el mayor en el tercer corte (35,5 por ciento) (véase Cuadro 5 del Apéndice). Esta variación parece que no está relacionada ni con la precipitación, ni con la época de aplicación del nitrógeno.

4.3 EXPERIMENTO CON DOSIS ASCENDENTES DE FOSFORO Y DOS FORMAS DE APLICACION

En el Cuadro 5 de análisis de variancia, se presentan los cuadrados medios de las variables materia seca, proteína, fósforo y calcio. En los Cuadros 6, 7, 8 y 9 del Apéndice, se presentan los resultados generales obtenidos para las mismas variables, en su orden respectivamente.

4.3.1 Efecto de las formas de aplicación sobre las variables de respuesta

Para las condiciones en que se desarrolló este experimento, la forma de aplicación de fósforo no mostró tener ningún efecto diferencial sobre cualquiera de las variables de respuesta

CUADRO 5. Análisis de variancia para el experimento con dosis ascendentes de P_2O_5 y dos formas de aplicación.

Fuente de variación	G.L.	Materia seca	Proteína	Fósforo	Calcio
Forma	1	3,06 ns	0,28 ns	0,001 ns	0,004 ns
Error (a)	3	0,97	1,67	0,004	0,0016
Niveles	3	0,11 ns	3,183 ns	0,024 **	0,0013 ns
P_1	1	0,31 ns	4,93 *	0,072 **	0,0002 ns
P_q	1	0,012 ns	0,145 ns	0,0003 ns	0,0017 ns
P_c	1	0,008 ns	4,47 ns	0,0017 ns	0,0021 ns
Forma x nivel	3	0,61 *	3,45 *	0,0013 ns	0,0053 **
Error (b)	18	0,123	1,08	0,0021	0,001
Corte	5	67,5 **	114,2 **	0,096 **	0,034 **
Forma x corte	5	0,278 ns	0,358 ns	0,0016 ns	0,0028 ns
Nivel x corte	15	0,541 *	1,186 ns	0,0014 ns	0,0016 ns
F x N x C	15	0,990 **	2,770 **	0,0038 **	0,0047 **
Error (c)	120	0,297	0,864	0,0009	0,0013

* 5% de probabilidad.

** 1% de probabilidad.

($P > 0,05$). No se conocen trabajos sobre este aspecto sobre gramíneas forrajeras del trópico, pero se piensa que en años sucesivos la forma de aplicación del P, tenga influencia sobre alguna de estas variables. Algunas interacciones significativas detectadas entre nivel de P_2O_5 y forma de aplicación, que se discutirán más adelante, dan base a esta afirmación.

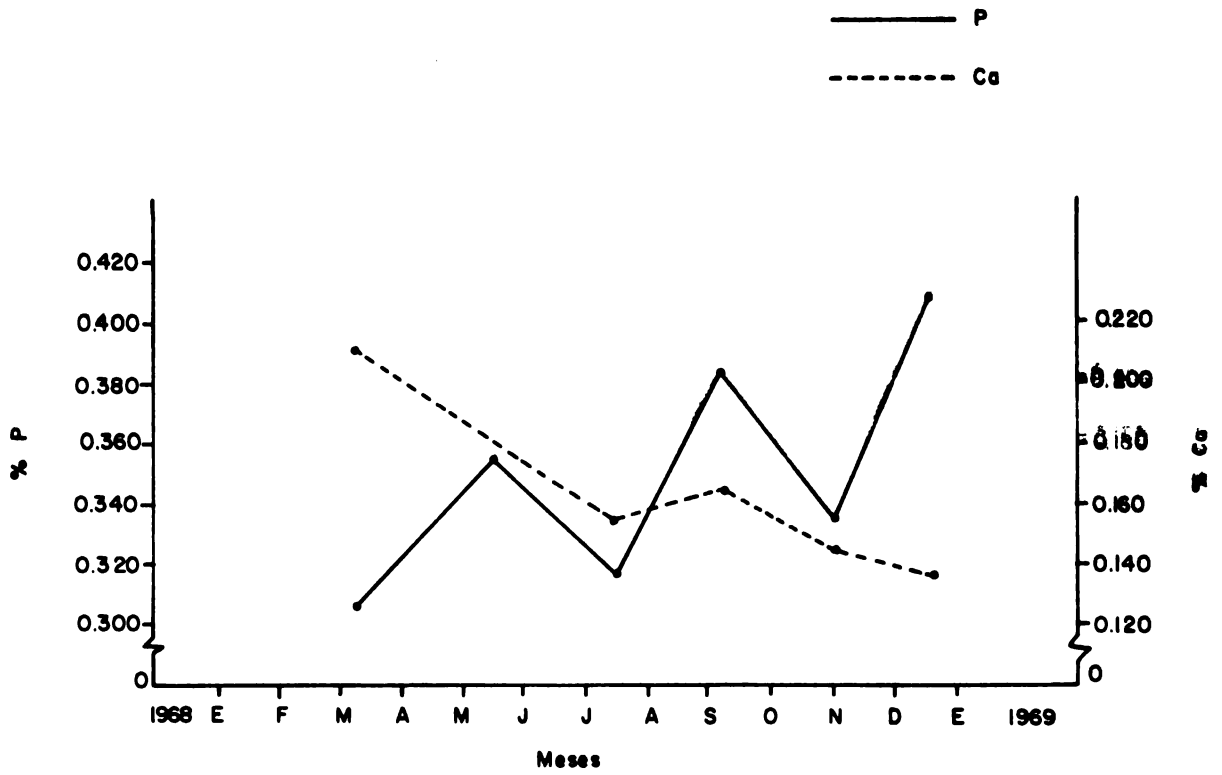


Fig. 5 Variación del contenido de P y Ca en el pasto elefante con cuatro niveles de nitrógeno

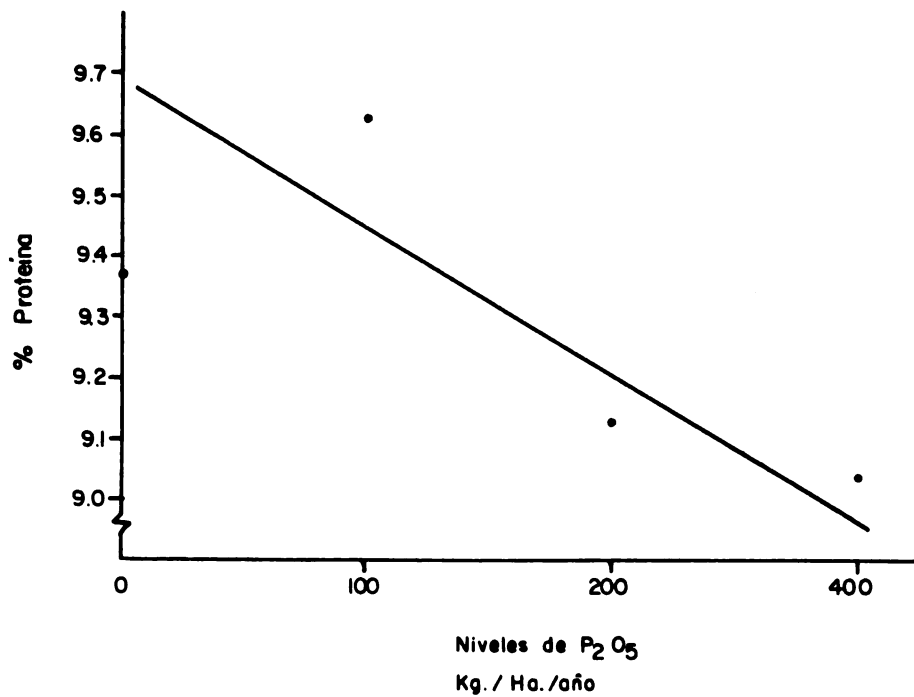


Fig.6 Efecto de cuatro niveles de P₂O₅ sobre el % de proteína en el forraje de pasto elefante

4.3.2 Efecto de los niveles de fósforo sobre las variables de respuesta

De acuerdo al análisis de variancia (Cuadro 5), los niveles de P_2O_5 únicamente tuvieron efecto diferencial, estadísticamente detectable, sobre las variables proteína y fósforo. Las otras variables no mostraron este efecto.

a) Efecto de los niveles de P_2O_5 sobre el contenido de proteína

A pesar de que el cuadrado medio para niveles de la variable proteína (Cuadro 5) no resultó significativo ($P > 0,05$) el análisis de tendencia indicó que esta variable decrecía en forma lineal significativa ($P < 0,05$) con los niveles de fósforo. En la Figura 6 se puede apreciar que el contenido de proteína se incrementó hasta 9,63 por ciento con el nivel de 100 Kg. de P_2O_5 /Ha./año, pero luego decayó sostenidamente, conforme el nivel de P_2O_5 aumentaba. Como la tendencia fue significativamente lineal, el incremento obtenido entre los niveles 0 y 100 Kg./Ha./año no es significativo. A pesar de que la disminución observada en el contenido de proteína fue detectable estadísticamente, se considera que no tiene mayor importancia práctica.

b) Efecto de los niveles de P_2O_5 sobre el contenido de P

Los niveles de P_2O_5 incrementaron significativamente ($P < 0,01$) los niveles de P en el forraje del pasto elefante. El análisis de tendencia indicó que este efecto fue significativamente lineal ($P < 0,01$) y así puede observarse en la Figura 7, que el contenido de P se incrementa desde 0,307 por ciento en el testigo, hasta 0,362 por ciento en el nivel más alto de P_2O_5 .

Los resultados obtenidos para esta variable concuerdan con los obtenidos por Figarella et al (22), en pasto elefante, y por Olivares (47), en pasto pangola. Por otra parte, los tenores de P obtenidos en este experimento sobrepasan ampliamente los niveles mínimos deseables que señala de Alba (15).

c) Efecto de los niveles de P_2O_5 sobre la producción de materia seca y el contenido de calcio

El efecto de los niveles de P_2O_5 sobre estas dos variables no fue estadísticamente detectable ($P > 0,05$). En lo referente a materia seca, este resultado está de acuerdo con el obtenido por Figarella et al (22) en Puerto Rico y por Sheng (53) en la China. Estos autores sólo obtuvieron respuestas significativas después de respectivamente, 3 a 5 años de aplicaciones sucesivas de fósforo. Es probable que esta situación se presente en años venideros en el ensayo que aquí se discute.

4.3.3 Efecto de la interacción forma por nivel sobre las variables de respuesta

La interacción forma por nivel causó diferencias estadísticamente detectables, para las variables de respuesta materia seca, proteína y calcio. En el caso del fósforo esta interacción no fue detectable.

a) Efecto de la interacción forma por nivel sobre las variables materia seca y proteína

La interacción forma por nivel causó diferencias significativas ($P < 0,05$) en las variables materia seca y proteína. En las Figuras 8 y 9, se puede observar la representación gráfica de esta situación. En ambos casos es muy claro que la interacción la

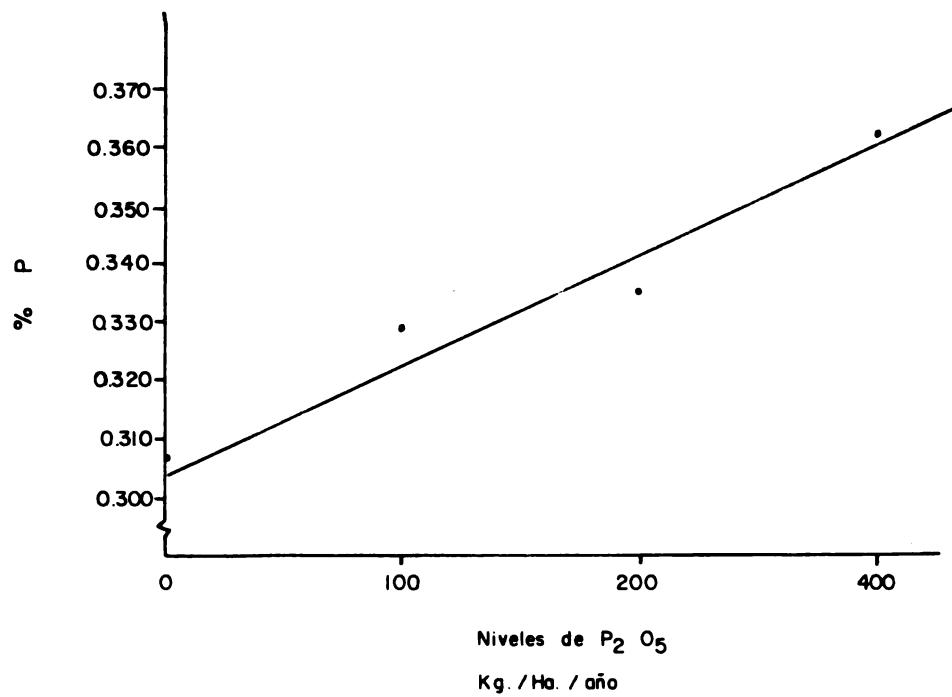


Fig.7 Efecto de cuatro niveles de P_2O_5 sobre el % de fósforo en el forraje de pasto elefante

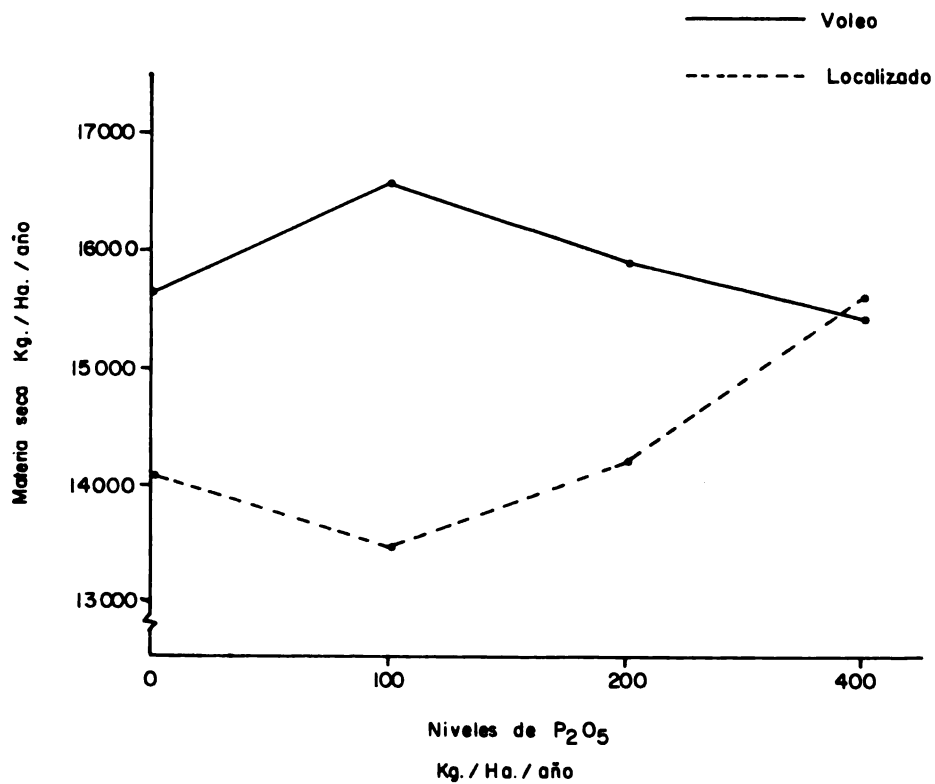


Fig.8 Efecto de cuatro niveles de P_2O_5 en dos sistemas de aplicación (interacción forma x nivel) sobre la producción anual de materia seca de pasto elefante

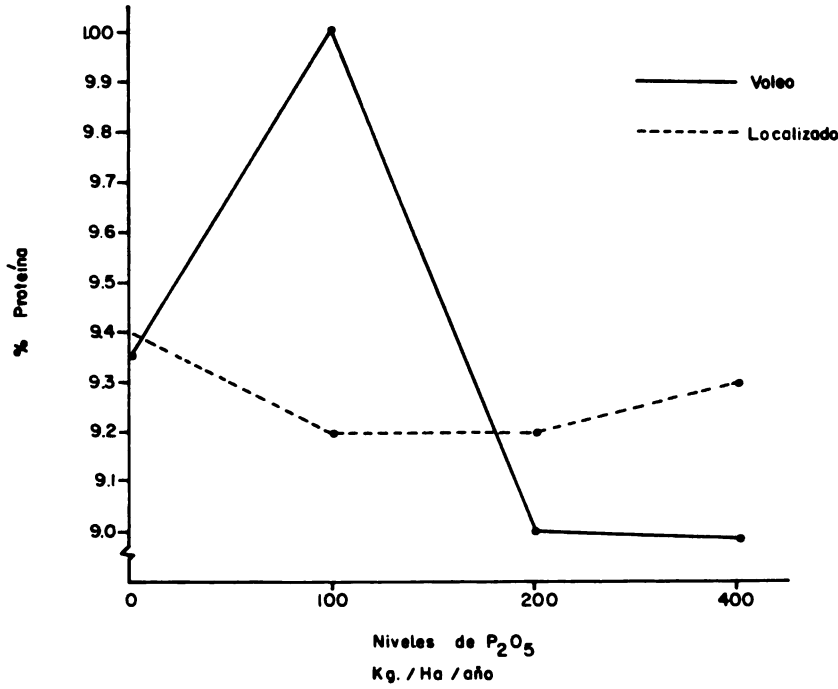


Fig.9 Efecto de cuatro niveles de P_2O_5 en dos sistemas de aplicación (interacción forma x nivel) sobre el % promedio de proteína del pasto elefante

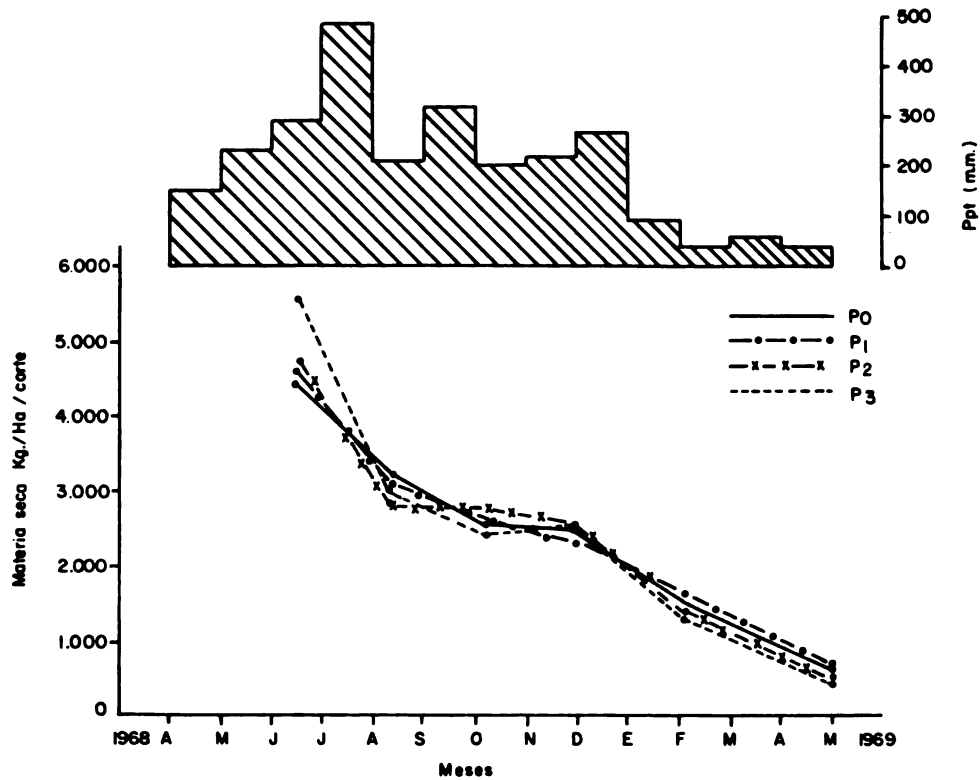


Fig.10 Relación esquemática entre precipitación total mensual y efecto de corte sobre la producción de forraje seco de pasto elefante con cuatro niveles de P_2O_5

determinó la diferencia apreciable en producción de materia seca (13.500 a 16.500 Kg./Ha./año) y en el contenido de proteína (9,2 a 10,0 por ciento), obtenida con el nivel de 100 Kg./Ha./año de P_2O_5 , entre las dos formas de aplicación. En los dos casos, la aplicación al voleo superó a la aplicación localizada.

En el caso de la materia seca, la diferencia entre las dos formas de aplicación disminuye en el nivel de 200 Kg./Ha., aunque todavía el voleo supera a la localización y para el nivel de 400 Kg./Ha./año de P_2O_5 esta diferencia desaparece (Figura 8). En el caso de la proteína, los niveles de 200 y de 400 Kg./Ha./año de P_2O_5 cambia totalmente, la dirección de los efectos de la forma de aplicación ya que en estos casos la localización supera, aunque ligeramente, a la aplicación al voleo.

Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos en avena y cebada por varios investigadores (3, 34, 54, 55) en el sentido de que el efecto de la forma de aplicación depende de la dosis de fertilizante fosfatado aplicado.

Meyer y colaboradores (42), indican que cuando los fosfatos disponibles abundan en el medio radical, disminuye la absorción de compuestos nitrogenados inorgánicos; no se puede descartar la posibilidad de que este fenómeno se haya presentado en el caso del nivel 100 Kg./Ha. de P_2O_5 localizado, causando así una menor absorción de nitrógeno y la consecuente menor producción de materia seca y de proteína.

b) Efecto de la interacción forma por nivel sobre el contenido de calcio

La interacción forma por nivel causó diferencias altamente significativas sobre la variable calcio. Tal como ocurre en el caso de la materia seca y de la proteína, la mayor diferencia en contenido de calcio entre las formas de aplicación se presenta en el nivel de 100 Kg./Ha./año de P_2O_5 , pero en este caso, la aplicación localizada supera a la aplicación al voleo.

El fenómeno que se observa aquí parece no tener una explicación muy clara; sin embargo, cabe anotar que a un incremento en el contenido de calcio entre 0 y 100 Kg./Ha./año de P_2O_5 localizado, corresponde una disminución de la producción de materia seca. Otra vez el efecto "dilución" y "concentración" podría ayudar a explicar esta situación.

4.3.4 Efecto del corte sobre las variables de respuesta

El análisis de variancia indica que el corte causó diferencias altamente significativas en todas las variables de respuesta (materia seca, proteína, P y Ca).

a) Efecto del corte sobre la producción de materia seca

Fue un efecto altamente significativo. La Figura 10 ilustra esta situación. En general, se puede apreciar que la producción de materia seca presentó niveles muy altos de producción (hasta 5.500 Kg./Ha.) en el primer corte, y luego decayó en forma sostenida con los cortes sucesivos hasta los valores mínimos de producción observados en el sexto corte (de 500 a 700 Kg./Ha.).

En la Figura 10 también se puede notar que la caída en la producción de materia seca a lo largo del año coincide con la

disminución casi sostenida en el volumen de precipitación mensual desde julio de 1968 (500 mm.) hasta abril de 1969 (40 mm.). Con base en lo anterior, no es exagerado afirmar que la distribución de la precipitación, tuvo una acción definitiva sobre el deterioro de la producción de materia seca a lo largo del año. Las mayores producciones se obtuvieron en el período comprendido entre junio y agosto.

b) Efecto del corte sobre el contenido de proteína

El corte causó una disminución significativa ($P < 0,01$) y casi sostenida en el contenido de proteína. Este efecto se ilustra en la Figura 11.

El mayor contenido de proteína se obtuvo en el primer corte (12 por ciento), luego el contenido disminuyó con los cortes hasta alcanzar un valor mínimo en el último corte (6,7 por ciento). Es de notar, sin embargo, la recuperación evidente en el tercer corte. Es muy probable que la aplicación de $1/4$ de la dosis de N efectuada después del segundo corte tenga que ver con esta recuperación.

De nuevo, la caída del contenido de proteína parece estar bastante bien relacionada con la disminución en el volumen de lluvia. Los volúmenes de precipitación caídos durante los meses de diciembre de 1968 y enero, febrero, marzo y abril de 1969, fueron muy pequeños y determinaron un período de sequía de 5 meses rara vez observado en Turrialba.

c) Efecto del corte sobre el contenido de calcio y fósforo

El corte tuvo un efecto altamente significativo ($P < 0,01$) sobre estas variables de respuesta. En la Figura 12, se observa que

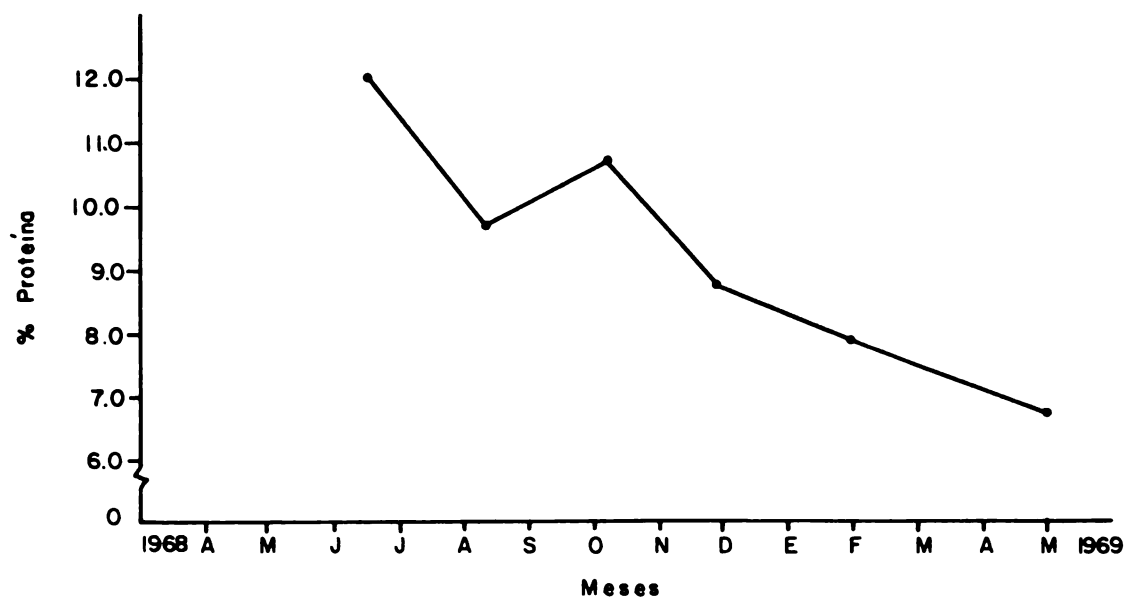


Fig. II Variación del contenido de proteína en el pasto elefante en el experimento de fertilización fosfatada

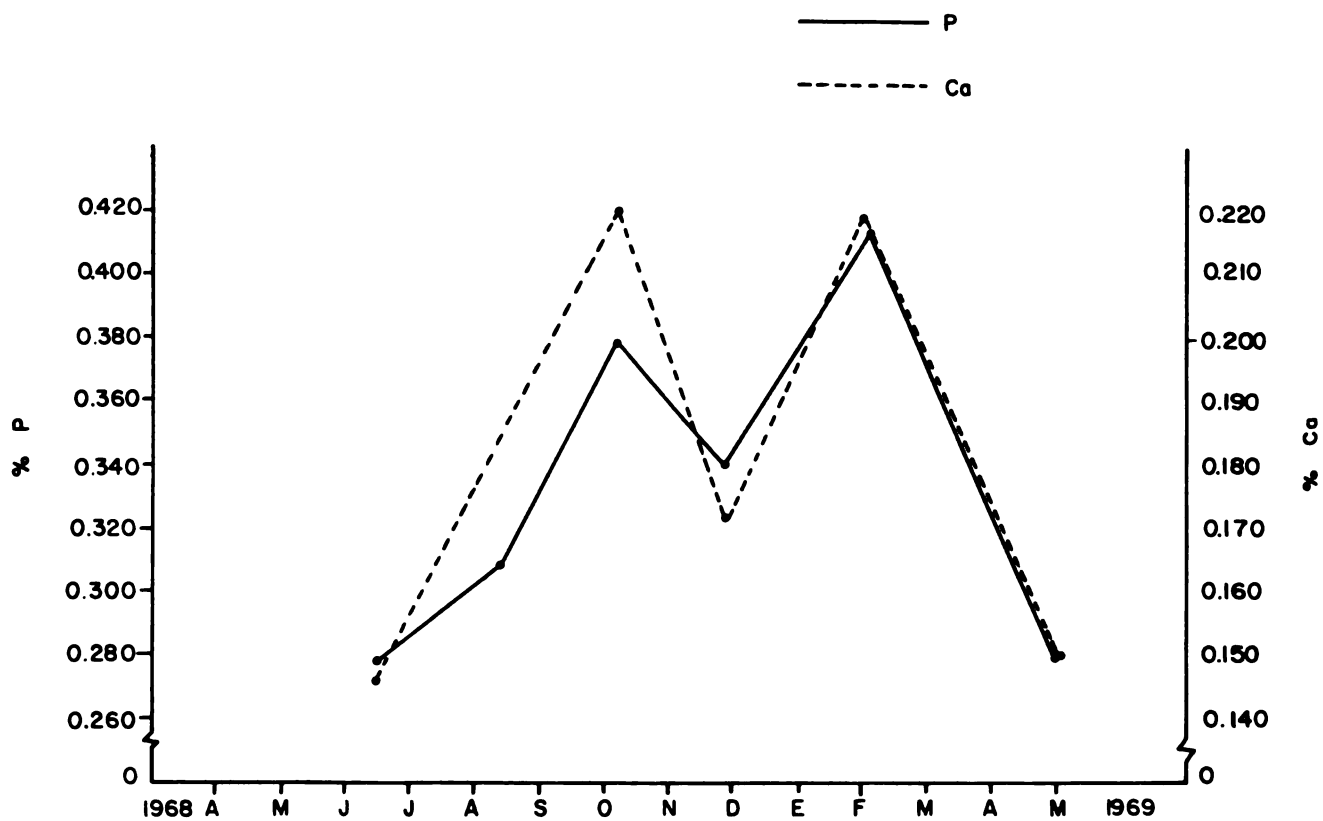


Fig.12 Variación del contenido de P y Ca en el pasto elefante. Experimento de fertilización fosfatada

el P y el Ca siguieron el mismo patrón de variación. Los valores mínimos de estos dos elementos se presentaron en el primero y en el último cortes que son los cortes de mayor y menor producción de materia seca. Aquí cabe pensar que en el primer corte los bajos contenidos de P y Ca se debieron a un efecto de "dilución" en tan alta producción de materia seca (5.500 Kg./Ha.). En el último corte no cabe esta explicación y hay que concluir que el período de extrema sequía disminuyó notablemente la absorción de estos dos elementos.

Las variaciones en los cortes intermedios no pueden ser explicadas ni por la producción de materia seca ni por el efecto de la precipitación. Es posible que las aplicaciones de nitrógeno después del segundo y cuarto cortes produjeron la mayor absorción de P y Ca que se observa en el tercero y quinto cortes. Esta observación la fundamentan Meyer y colaboradores (42), cuando indican que los fosfatos son absorbidos y acumulados más rápidamente cuando se suministra nitrógeno en forma de urea.

4.3.5 Efecto de la interacción nivel por corte sobre la producción de materia seca

La interacción nivel por corte produjo un efecto significativo ($P < 0,05$) solamente en el caso de la materia seca. Esta interacción se ilustra en la Figura 10. Es claro que los cortes cambiaron la dirección de la respuesta. Por ejemplo, mientras en el primer corte la mayor producción se obtuvo con el nivel de 400 Kg./Ha. de P_2O_5 , en el último corte este nivel produjo los menores rendimientos de materia seca. De nuevo, la precipitación y una mayor fijación de fósforo en los niveles más altos de aplicación

de P_2O_5 podrían explicar la interacción observada, pero como los niveles no tuvieron un efecto detectable sobre la producción de materia seca, la interacción pierde interés práctico.

4.3.6 Efecto de la fertilización fosfatada (niveles y formas de aplicación) sobre las fracciones minerales de fósforo en el suelo

Los resultados del fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos en muestras promedio correspondientes a los diferentes niveles de P_2O_5 con sus dos formas de aplicación, se presentan en el Cuadro 6.

Los fosfatos de hierro predominan sobre los de aluminio y calcio en todos los tratamientos. Los niveles de P_2O_5 localizado incrementaron sostenidamente la concentración de fosfatos de hierro desde 165 p.p.m., sin aplicación de P_2O_5 , hasta 195 p.p.m. con una aplicación de 400 Kg./Ha. de P_2O_5 . Es decir, parte del fósforo aplicado precipitó a formas de fosfatos de hierro y esta precipitación se incrementó conforme se aumentó la dosis de fertilización.

En el caso de los fosfatos de aluminio, los niveles de fertilización fosfatada incrementaron, aunque en menor proporción, su concentración en el suelo. Los fosfatos de calcio no mostraron variaciones con los tratamientos. Es muy conocido el hecho de que los fosfatos de calcio son los que más aportan fósforo aprovechable a la planta (20, 21); esto podría explicar su comportamiento en relación a la fertilización fosfórica.

Si se acepta que el suelo fijó gran parte del fósforo aplicado y que esta fijación aumentó con el nivel de fertilización fosfatada, debemos concluir que ésta fue una de las razones por las

CUADRO 6. Resultado del fraccionamiento de fosfatos inorgánicos en el experimento de fertilización fosfatada.

Tratamiento Kg./Ha./año P ₂ O ₅	Fosfatos inorgánicos (p.p.m. P)			
	Solubles en NH ₄ Cl	Aluminio	Hierro	Calcio
0	Trazas	27,5	170	50
100 V *	"	32,5	175	55
200 V	"	32,5	165	50
400 V	"	37,5	165	50
0	"	26,0	165	55
100 L *	"	37,5	170	55
200 L	"	37,5	185	55
400 L	"	37,5	195	55

* V : Aplicación al voleo.

L : Aplicación localizada al fondo del surco.

cuales no se obtuvo respuesta a los niveles de P₂O₅ en la producción de materia seca.

4.4 EXPERIMENTO CON CUATRO COMBINACIONES NITROGENO-FOSFORO

En el Cuadro 7, se presentan los cuadrados medios de las variables de respuesta materia seca, proteína, fósforo, calcio y fibra, correspondientes al análisis de variancia de este experimento. En los Cuadros 10, 11, 12, 13 y 14 del Apéndice, se incluyen los resultados para las mismas variables, en su orden.

CUADRO 7. Análisis de variancia para el experimento con cuatro combinaciones nitrógeno-fósforo.

Fuente de variación	G.L.	Materia seca	Proteína	Fósforo	Calcio	Fibra
Tratamientos	3	3,021 **	2,776 ns	0,038 **	0,008 ns	0,433 ns
N	1	8,350 **	6,680 *	0,074 **	0,024 *	0,105 ns
P	1	0,282 ns	1,43 ns	0,039 **	0,0002 ns	0,186 ns
N P	1	0,432 ns	0,22 ns	0,001 ns	0,0001 ns	1,005 ns
Error (a)	20	0,202	1,001	0,002	0,0034	1,116
Corte	6	9,618 **	37,425 **	0,045 **	0,047 **	20,558 **
Trat. x corte	18	0,146 ns	0,711 ns	0,0011 ns	0,0025 ns	1,631 ns
N x corte	6	0,321 **	0,585 ns	0,001 ns	0,0059 *	1,926 ns
P x corte	6	0,089 ns	1,088 ns	0,0011 ns	0,0011 ns	1,133 ns
N P x corte	6	0,028 ns	0,460 ns	0,0013 ns	0,0003 ns	1,853 ns
Error (b)	120	0,089	0,530	0,0018	0,0024	1,286

** 1% de probabilidad.

* 5% de probabilidad.

4.4.1 Efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta

Las combinaciones N P causaron diferencias significativas sobre las variables de respuesta materia seca y fósforo; el nitrógeno solo, causó diferencias detectables en las variables materia seca, proteína, fósforo y calcio. Además, el fósforo solo, incrementó significativamente el contenido de P.

a) Efecto de las combinaciones N P sobre materia seca y fósforo

Las combinaciones N P causaron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) sobre la producción de materia seca y el

contenido de P.

Como se ve en la Figura 13, la materia seca se incrementó desde 10.250 Kg./Ha./año, en el tratamiento N_1P_1 , hasta 14.000 Kg./Ha./año en el tratamiento N_2P_2 . Los más bajos rendimientos se obtuvieron con las combinaciones N_1P_1 y N_1P_2 , entre las cuales no hubo diferencia. La combinación N_2P_1 produjo, en promedio, 12.600 Kg./Ha./año.

Salta a la vista que el efecto dominante es el del nitrógeno. El P no causó ninguna respuesta en presencia de N_1 , pero sí incrementó, aunque no significativamente (interacción N P no significativa) la producción de materia seca (de 12.600 a 14.000 Kg./Ha./año).

Las combinaciones N P causaron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en los contenidos de P. Este efecto se discutirá más adelante analizando la acción de N solo y P solo.

b) Efecto simple del nitrógeno sobre materia seca, proteína y calcio

El efecto simple de N causó diferencias significativas para las variables materia seca ($P < 0,01$), proteína ($P < 0,05$) y calcio ($P < 0,05$).

La materia seca se incrementó desde 10.200 Kg./Ha./año con el nivel de 200 Kg./Ha., hasta 13.400 Kg./Ha./año, con el nivel de 400 Kg./Ha. de N. Estos niveles de producción son similares a los obtenidos con las mismas dosis en el experimento de fertilización nitrogenada.

El contenido de proteína se incrementó con los niveles de N, desde 9,0 hasta 9,4 por ciento ($P < 0,05$). En la Figura 14,

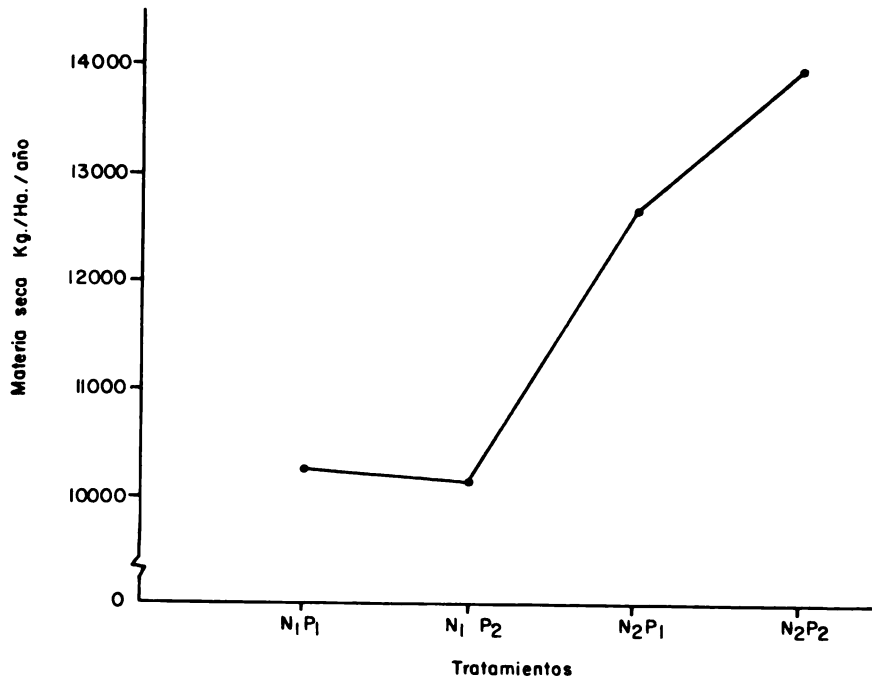


Fig. 13 Efecto de cuatro combinaciones NP sobre la producción de forraje seco de pasto elefante

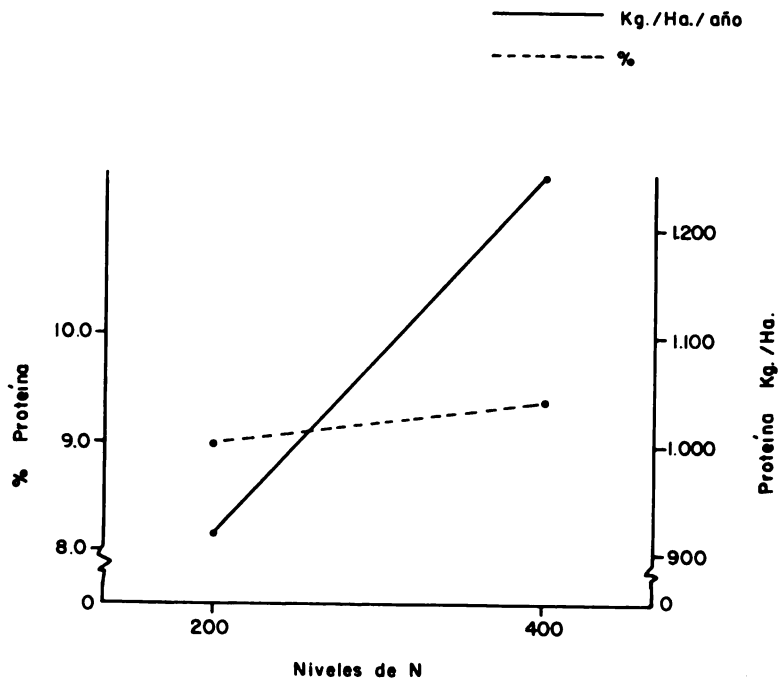


Fig. 14 Efecto simple de N en cuatro combinaciones NP, sobre el % y la producción de proteína en el pasto elefante

se observa que aún siendo pequeño este incremento en el contenido, la producción de proteína se incrementa desde 915 Kg./Ha./año, con N_1 , hasta 1.250 Kg./Ha./año con N_2 .

Otro efecto simple del nitrógeno fue sobre el contenido de calcio ($P < 0,05$). Esta variable se incrementa desde 0,147 por ciento, con el nivel de N_1 , hasta 0,172 por ciento con el nivel N_2 . Este efecto positivo de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de calcio no ha sido encontrado en otras investigaciones. Además, en el experimento de fertilización nitrogenada, antes discutido, tampoco se observó efecto de los niveles de N sobre el contenido de calcio.

La explicación parece estar relacionada con la forma en que se aplicaron los fertilizantes. Hay que recordar que en el experimento de fertilización nitrogenada, la urea y el superfosfato se aplicaron separadamente, en tanto que en el experimento de combinaciones N P el superfosfato se mezcló con la urea para luego aplicarlo después de cada corte.

Efectivamente, Fried y Broeshart (24) citan varias investigaciones según las cuales la solubilidad del fosfato dicálcico, formado en cantidades apreciables cuando se añade superfosfato al suelo, se incrementa cuando el superfosfato se aplica mezclado con un fertilizante amónico. Este mecanismo incrementaría, entonces, la eficiencia de la fertilización fosfatada y también la absorción del calcio. No se descarta la posibilidad de que este fenómeno tenga vigencia en el caso de la urea asociada al superfosfato y explique así, la situación encontrada.

c) Efecto simple de N y de P sobre el contenido de fósforo

El efecto aislado de N y de P sobre el contenido de fósforo fue contrario. Así, los niveles de N causaron disminución en el contenido de P y los niveles de P_2O_5 causaron un incremento. Ambos efectos fueron altamente significativos ($P < 0,01$).

El efecto del nitrógeno sobre el contenido de P ya fue observado y discutido en el experimento con dosis ascendentes de nitrógeno. Igualmente, el efecto de los niveles de P_2O_5 sobre el contenido de P, se discutió en el experimento de fertilización fosfatada.

4.4.2 Efecto del corte sobre las variables de respuesta

a) Efecto del corte sobre la producción de materia seca

Este efecto fue altamente significativo ($P < 0,01$). Esto demuestra que para este experimento también se puso en evidencia la variación estacional en el crecimiento del pasto elefante. En la Figura 15, se ilustra esta situación y se observa que las mayores producciones se obtuvieron en los meses de mayo a octubre. La variación en la producción parece no estar mayormente influenciada por la precipitación. Sin embargo, la mayor producción obtenida en el segundo corte (2.837 Kg./Ha.), correspondió con los mayores volúmenes de precipitación observados durante el ensayo.

b) Efecto del corte sobre el contenido de proteína

La variable de respuesta contenido de proteína fue afectada en forma altamente significativa por la fuente de variación debida a corte.

El más alto valor de proteína se lo obtuvo en el sexto corte (10,7 por ciento) y los valores mínimos observados fueron los del

segundo y cuarto cortes (7,5 y 7,4 por ciento, respectivamente).

Salta a la vista el hecho de que las variaciones estacionales de la proteína corresponden en forma inversa muy exacta a las variaciones de la producción de materia seca. Así, a incrementos en la producción de materia seca corresponden caídas del contenido de proteína y viceversa. Por esta razón, el mayor contenido de proteína (10,7 por ciento) corresponde a la más baja producción de materia seca observada en el sexto corte.

La explicación obvia es el fenómeno de "concentración" de la proteína como resultado de las disminuciones de la producción y su "dilución" como resultado en los incrementos.

El efecto de la época de aplicación del fertilizante nitrogenado, observado en el experimento con dosis ascendentes de N no tiene sentido en este caso porque las dosis de N se repartieron entre los siete cortes.

c) Efecto del corte sobre el contenido de P y Ca

Estos efectos, significativos al nivel de 0,01, se ilustran en la Figura 16. En términos generales, tanto el contenido de P como el de Ca variaron con un patrón muy similar al del contenido de proteína antes explicado.

d) Efecto del corte sobre el contenido de fibra

Fue un efecto significativo ($P < 0,01$). Los mayores contenidos de fibra se observaron en los cortes segundo, tercero y quinto (32,6 por ciento, 32,2 por ciento y 32,2 por ciento) (Cuadro 14 del Apéndice) y los menores en el sexto y séptimo cortes (30,1 por ciento y 30,5 por ciento). Como se ve es una variación relativamente pequeña y se cree no tiene mayor importancia.

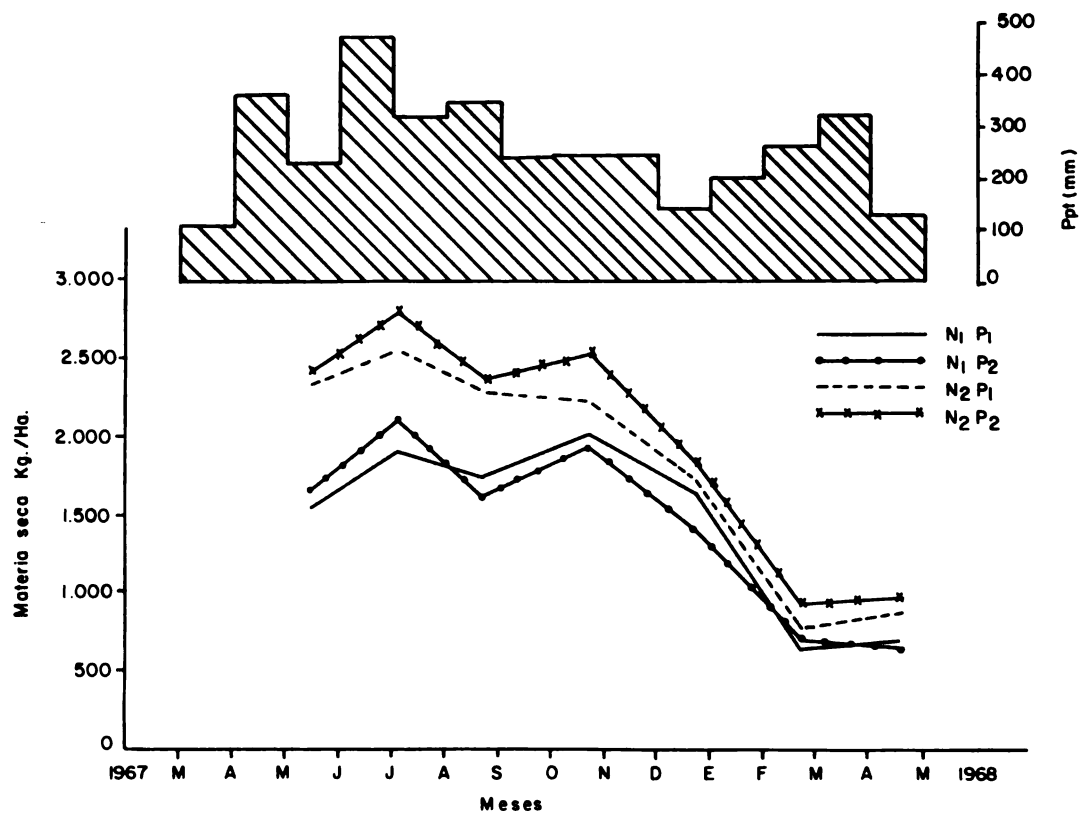


Fig. 15 Relación esquemática entre precipitación total mensual y producción de materia seca de pasto elefante para cuatro combinaciones NP durante 7 cortes

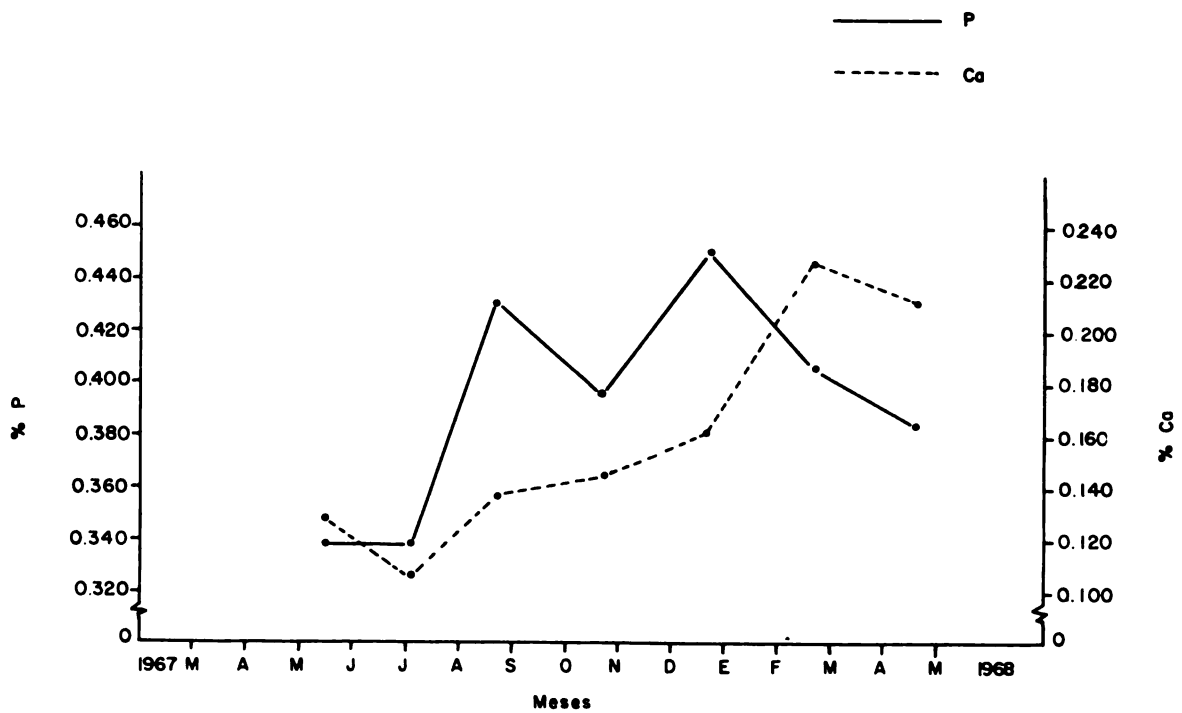


Fig. 16 Variación estacional del contenido promedio de P Ca en el pasto elefante para el experimento con cuatro combinaciones NP

4.4.3 Efecto de la interacción nitrógeno por corte sobre la producción de materia seca y contenido de calcio

Los únicos efectos de interacción detectables estadísticamente, fueron los del N solo por corte sobre las variables de respuesta producción de materia seca ($P < 0,01$) y contenido de Ca ($P < 0,05$).

La interacción N por corte sobre la materia seca se ilustra en la Figura 15. Resultó significativa debido a cambios en las respuestas al N solo, a través de los cortes. Mientras en los primeros cuatro cortes, las respuestas a la aplicación de N son apreciables, éstas disminuyen notablemente en los cortes subsiguientes. El efecto estacional sobre las respuestas que se obtienen a la fertilización nitrogenada se hace de nuevo evidente.

La interacción N por corte para la variable contenido de Ca, se cree no es de mayor interés y se elimina de la discusión.

5. CONCLUSIONES

Experimento con dosis crecientes de nitrógeno

1. Los niveles de N incrementaron significativamente la producción de materia seca desde 5.500 Kg./Ha./año hasta 14.000 Kg./Ha./año.
2. El contenido de proteína se incrementó significativamente con la fertilización nitrogenada, desde 8,7% hasta 10,0% y el contenido de fósforo disminuyó.
3. Los contenidos de calcio y de fibra no mostraron efecto diferencial, estadísticamente detectable, a las aplicaciones de nitrógeno.

Experimento con dosis crecientes de P_2O_5 en dos formas de aplicación

4. Para las condiciones en que se desarrolló el experimento, la forma de aplicación no mostró tener ningún efecto diferencial sobre cualesquiera de las variables de respuesta (materia seca, proteína, fósforo, calcio).
5. Los niveles de P_2O_5 disminuyeron ligeramente el contenido de proteína pero incrementaron el contenido de fósforo.
6. La interacción forma por nivel causó diferencias estadísticamente detectables sobre la producción de materia seca, contenido de proteína y contenido de calcio. Para materia seca y proteína el mejor tratamiento fue 100 Kg./Ha./año de P_2O_5 al voleo. La respuesta de la forma de aplicación dependió del nivel de P_2O_5 .

7. El fraccionamiento del fósforo inorgánico de los suelos en las parcelas experimentales resultó en un incremento de los fosfatos de hierro con el nivel de P_2O_5 aplicado.

Experimento con cuatro combinaciones nitrógeno-fósforo

8. Las combinaciones N P causaron diferencias significativas sobre la producción de materia seca. La combinación de los niveles más altos resultó en la mayor producción, pero este efecto se debió más al nitrógeno que al fósforo.
9. El nitrógeno solo, incrementó el contenido de proteína y de calcio y disminuyó el de P. El P solo, incrementó el contenido de P. El efecto positivo de los niveles de N sobre el contenido de calcio parece estar relacionado con la aplicación conjunta de la urea y el superfosfato.

Para los Tres Experimentos

10. En los tres experimentos el corte causó diferencias significativas sobre las variables de respuesta.
11. La producción de materia seca relacionó bastante bien con las fluctuaciones de la precipitación pluvial, pero la tendencia general fue disminuir con el número de cortes, debido al uso intensivo del pasto.
12. En la época de mayo a agosto se consiguió tanto las mayores producciones de materia seca como las mayores respuestas a la fertilización, especialmente a la nitrogenada. La época de noviembre

a febrero presentó condiciones desfavorables para la producción y la obtención de respuestas de consideración.

13. La fertilización nitrogenada debe distribuirse en tres o cuatro aplicaciones por año. Esto permite fertilizar en épocas más favorables a la obtención de respuestas.
14. En muchos casos los contenidos de proteína, calcio y fósforo se relacionaron en forma inversa con la producción de materia seca. No obstante, las más altas producciones de materia seca coincidieron con los mayores contenidos de proteína y las más bajas con los menores contenidos.
15. De los resultados de la investigación y bajo las condiciones en que se realizó, una fertilización anual con 400 Kg./Ha./año de N, repartidos en tres aplicaciones, y 100 Kg./Ha./año de P_2O_5 , puede mantener una producción de forraje aceptable en cantidad y composición.

6. RESUMEN

La práctica de fertilización en pasturas es un poderoso instrumento de producción para conseguir altos rendimientos de forraje de buena calidad, pero el uso racional de este instrumento conlleva muchos factores que demandan investigación.

El presente trabajo se realizó en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica. Se llevaron a cabo tres experimentos de fertilización del pasto elefante (Pennisetum purpureum, Schum.) en un suelo aluvial. El primer experimento consistió en dosis ascendentes de nitrógeno: 0, 200, 400 y 600 Kg./Ha./año, en forma de urea (46% de N). El segundo experimento se llevó a cabo con dosis ascendentes de P_2O_5 : 0, 100, 200 y 400 Kg./Ha./año, en forma de superfosfato (46% de P_2O_5) aplicadas en dos formas: al voleo y localización al fondo del surco. El último experimento llevó cuatro combinaciones de los niveles 200 y 400 Kg./Ha./año de N (urea del 46% de N), y 100 y 200 Kg./Ha./año de P_2O_5 (superfosfato, 46% P_2O_5).

Los resultados indican que:

La aplicación de 600 Kg. de N/Ha./año triplicó, con relación al testigo, la producción de materia seca. La fertilización nitrogenada incrementó el contenido de proteína y disminuyó el de P pero no influyó sobre el contenido de calcio y de fibra.

La forma de aplicación del superfosfato no tuvo ninguna influencia sobre las variables de respuesta estudiadas (materia seca, proteína, Ca, P), pero la respuesta de materia seca, proteína y calcio a la forma de aplicación dependió del nivel de P_2O_5 .

Por otra parte, los niveles de P_2O_5 disminuyeron el contenido de proteína pero incrementaron el de fósforo.

La combinación N P de los niveles más altos, resultó en la mayor producción de materia seca, pero ese efecto se debió más al N que al P. El efecto principal de N incrementó el contenido de proteína y calcio pero disminuyó el de fósforo. El P aumentó el contenido de fósforo en el forraje.

El corte causó diferencias significativas sobre las variables de respuesta estudiadas (materia seca, proteína, Ca, P, fibra) en los tres experimentos. La producción de materia seca relacionó bastante bien con la precipitación pluvial, pero la tendencia general fue a disminuir con el número de cortes. En la época de mayo a agosto se obtuvieron las mayores producciones de materia seca y las mejores respuestas a las aplicaciones de nitrógeno. La época de noviembre a febrero presentó condiciones desfavorables a la producción y a la práctica de la fertilización.

Cuatrocientos Kg./Ha./año de nitrógeno repartidos en tres aplicaciones permiten fertilizar en las épocas más favorables, y en asociación a 100 Kg./Ha./año de P_2O_5 se puede mantener, bajo las condiciones del estudio, una producción de forraje aceptable en cantidad y composición.

7. SUMMARY

The technique of manuring pastures is a powerful mean to obtain high production of good quality forage but its right utilization involves many factors which demand investigation.

The present work was carried out at the Inter-American Institute of Agricultural Sciences (IICA) in Turrialba, Costa Rica. Three experiments on elephant grass (Pennisetum purpureum, Schum.) manure on aluvial type of soil were conducted. Trial one utilized ascending rates of nitrogen: 0, 200, 400 and 600 Kg./Ha./annual as urea (46 per cent of N). Trial two was carried out with ascending rates of P_2O_5 : 0, 100, 200 and 400 Kg./Ha./annual as superphosphate (46 per cent of P_2O_5) were applied following two methods: broadcasting and localization at 20 cm. deep in the row. The last trial involved four combinations of rates 200 and 400 Kg./Ha./annual of N (urea of 46 per cent of N) and 100 and 200 Kg./Ha./annual of P_2O_5 (superphosphate 46 per cent of P_2O_5).

The results show that:

With applications of 600 Kg./Ha./annual of N the production of dry matter was about three times above the control. Nitrogen fertilization increased the protein content and decreased the P content but did not affect the Ca and fiber contents.

The method of application of superphosphate did not show up effect on the studied responses variables (dry matter, protein, Ca, P), but dry matter, protein and Ca change simultaneously with the method of application and the rate of P_2O_5 . On the other hand,

the P_2O_5 rates decreased the protein content but increased the phosphorus content.

N P combinations at the highest rates produced a higher yield on dry matter, not exactly due to P but probably to N. The main effect of N increased the protein and Ca contents, but decreased phosphorus. The effect of P increased the P content of the forage.

The frequency of cutting produced significant effect on responses variables (dry matter, protein, Ca, P, fiber) on the three experiments. Dry matter production was related quite well with rainfall and the general trend is decreasing with increasing numbers of cutting. Highest yields of dry matter and better responses to nitrogen applications were obtained on May to August period. Poor conditions to production and fertilization practice were presented from November to February period.

Applications of 400 Kg./Ha./annual of N in three different periods permitted to fertilize under more favourable season. Under study conditions, these applications, in association with 100 Kg./Ha./annual of P_2O_5 , were enough to maintain an acceptable yield of forage, not only in quantity but in composition.

8. LITERATURA CITADA

1. ADDISON, K. The effect of various cultural and manurial treatments on napier fodder. Rhodesia Agricultural Journal 53(4): 491 - 506. 1959.
2. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Methods of analysis. 9th ed. Washington, D.C., 1960. 832 p.
3. BASTISSE, E. Placement of phosphorus at depth in soils. Science du Sol 11(1): 3 - 9. 1968. (Original no consultado; compendiado en Soils and Fertilizers 31(6): 4289. 1968.).
4. BLASER, R. Symposium on forage utilization: Effects of fertility levels and stage of maturity and forage nutritive value. Journal of Animal Science 23(1): 246 - 253. 1964.
5. BRESANI, R., JARQUIN, R. y GONZAGA, L. Composición química y digestibilidad de siete plantas forrajeras en Guatemala. Turrialba (Costa Rica) 8(3): 117 - 122. 1958.
6. BUDOWSKI, G. y SCHREUDER, G. The climate at Turrialba. Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Comunicaciones de Turrialba No 68. 1962. 36 p.
7. BUENAVENTURA, P. Respuesta del pasto elefante (Pennisetum purpureum, Schum.) a la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Acta Agronómica (Colombia) 12(1-2): 1 - 15. 1962.
8. BUTTERWORTH, M. Some aspects of the utilization of tropical forages. I Green elephant grass at various stages of growth. Journal of Agricultural Science 65(2): 233 - 239. 1965.
9. CARO-COSTAS, R., VICENTE-CHANDLER, J. y FIGARELLA, J. The yields and composition of five grasses growing in the humid mountains of Puerto Rico, as affected by nitrogen fertilization, season and harvest procedures. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 44(3): 107 - 120. 1960.
10. _____ y VICENTE-CHANDLER, J. Effect of fertilization on carrying capacity and beef produced by napier grass pastures. Agronomy Journal 53(3): 204 - 205. 1961.
11. _____, VICENTE-CHANDLER, J. y FIGARELLA, J. Productivity of intensively managed pastures of five grasses on steep slopes in the humid mountains of Puerto Rico. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 49(1): 99 - 111. 1965.
12. CHANG, S. y JACKSON, M. Fractionation of soil phosphorus. Soil Science 84(2): 133 - 144. 1957.

13. CHILD, R., GOODCHILD, N. y TODD, J. A fertilizer experiment with napier grass. *Empire Journal of Experimental Agriculture* 23: 220 - 225. 1955.
14. DE ALBA, J. Alimentación del ganado en la América Latina. México, D.F., Prensa Médica Mexicana, 1958. 337 p.
15. _____. Carencias minerales en el animal que vive del pastoreo. *Turrialba (Costa Rica)* 9(3): 91 - 97. 1959.
16. DELGADO, E., PAEZ, H. y SILVA, P. Frecuencia de corte en siete variedades de pasto elefante. *Agricultura Tropical (Colombia)* 22(10): 516 - 526. 1966.
17. DIAZ-ROMEY, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1967. 3 p. (Mimeografiado).
18. EDWARDS, D. y GOFF, R. Factors affecting the chemical composition of pasture grasses. Hawaii Agricultural Experiment Station. Bulletin no 76. 1935. 31 p.
19. ELLIS, T. y BURROWES, W. Experiments on yield, composition and responses to fertilizers of napier grass and guinea grass in Jamaica. Jamaica. Department of Agriculture. Bulletin no 43. 1950. 18 p.
20. FASSBENDER, H. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica* 12(6): 512 - 521. 1968.
21. _____, MULLER, L. y BALERDI, F. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relación con las plantas. *Turrialba (Costa Rica)* 18(4): 333 - 347. 1968.
22. FIGARELLA, J. et al. Effects of phosphorus fertilization on productivity of intensively managed grasses under humid tropical conditions. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 48(3): 236 - 247. 1964.
23. FRENCH, M. y CHICCO, C. Estudio de la digestibilidad de los pastos en Venezuela. III. Valor nutritivo de los pastos elefante y guinea durante la estación seca. *Agronomía Tropical (Venezuela)* 10(2): 47 - 55. 1960.
24. FRIED, M. y BROESHART, H. The soil-plant system in relation to inorganic nutrition. Londres, Academic Press, 1967. 358 p.
25. GEORGI, C., LUCY, A. y GUNN, L. Amanurial experiment with merker and napier grasses. *Malayan Agricultural Journal* 29(8): 31 - 39. 1941.
26. GEUS, G. Fertilizer guide for tropical and subtropical farming. Zurich, Centre D' etude de L' azote, 1967. 727 p.

27. GOLDEN, L. Availability of native and radioactive fertilizer phosphorus to oats on Lake Charley clay. Soil Science 91(3): 349 - 355. 1961.
28. _____. The availability of native fertilizer phosphorus to oats on Lake Charles clay. Diss. Abstr. 19: 3077. 1959. (Original no consultado; compendiado en Soil and Fertilizers 22: 2907. 1959.).
29. GREWELING, T. y PEECH, M. Chemical soil tests. Ithaca, New York, Cornell University Experiment Station, 1965. 58 p.
30. HARDY, F. The soils of the I.A.I.A.S. area. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 76 p.
31. HOLT, K. Fourth interim report of the AOCS - AOAC crude fiber liaison committee. Journal of the Association of Official Agricultural Chemists 45(3): 578 - 584. 1962.
32. IGARASHI, T., SAWADA, Y. y NITTA, K. Studies on techniques of fertilization for cultivation of grasses and legumes in Tokachi volcanic-ash soil. Res. Bull. Hokkaido National Agricultural Experiment Station. no 85. 14 - 22. 1965. (Original no consultado; compendiado en Soils and Fertilizers 29: 648. 1966.).
33. JACOBS, H. y REED, M. eds. Soils laboratory exercise source book. Wisconsin, American Society of Agronomy, 1964. 111 p.
34. JACKSON, T., FOOTE, W. y DICKASON, E. Effect of fertilizer treatments and planting dates on yield and quality of barley. Oregon Agricultural Experiment Station. Bulletin no 65. 1962. 20 p.
35. JOACHIM, A. y PANDITTESEKERE, D. The effect of stage of maturity and manuring on the composition of napier grass. Tropical Agriculturist (Ceylan) 89(5): 264 - 269. 1937.
36. JONES, P. Response of nature napier grass to fertilizers and cattle manure in Kenya. East African Agricultural and Forestry Journal 30(3): 276 - 285. 1965.
37. KENNAN, T. The improved west african napier fodders. Rhodesia Agricultural Journal 49(4): 221 - 228. 1952.
38. LEON, J. Forrajicultura y pasticultura. Barcelona, Salvat, 1955. 591 p.
39. _____. Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales. San José, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1968. 487 p.

40. LITTLE, S., VICENTE-CHANDLER, J. y ABRUÑA, F. Yield and protein content of irrigated napier grass, guinea grass and pangola grass as affected by nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 51(2): 111 - 113. 1959.
41. MALDONADO, J. El pasto elefante o grama elefante. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán (Argentina)* 39(1-9): 22 - 29. 1955.
42. MEYER, B., ANDERSON, D. y BOHNING, R. Introducción a la fisiología vegetal. Traducción de la la. edición inglesa por R. Pitterborg y Luis Guilbert. Buenos Aires, Editorial Universitaria, 1966. 569 p.
43. MULLER, L. Un aparato micro Kjeldahl simple para análisis rutinario rápido de materiales vegetales. *Turrialba (Costa Rica)* 11(1): 17 - 25. 1961.
44. MUÑOZ, H. Efecto del corte y la fertilización en el crecimiento estacional del zacate elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.). Tesis Mg. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1960. 76 p.
45. MURILLO, R. Contenido de calcio y fósforo de los pastos elefante y guinea en el valle de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1966. 47 p.
46. MURILLO, L. Uso de fertilizantes en plantas forrajeras. In Mesa Redonda Regional sobre Forrajes en Centro América. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1956. 10 p. (Mimeografiado).
47. OLIVARES, A. Efecto de fuentes y niveles de fertilización fosfata en pasto pangola (*Digitaria decumbens*, Stent.). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1969. 64 p.
48. OYENUGA, V. Effect of frequency of cutting on the yield and composition of some fodder grasses in Nigeria. *Journal of Agricultural Science* 53(1): 25 - 33. 1959.
49. PHILLIPS, T. et al. Chemical composition of some forage grasses. I. Changes with plant maturity. *Agronomy Journal* 46(8): 361 - 369. 1954.
50. RIVERA-BRENES, L., CESTERO, H. y SIERRA, A. Napier grass (*Pennisetum purpureum*) "versus" sugar cane (*Sacharum officinarum*) as forage crops in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 46(4): 307 - 312. 1962.
51. ROUX, H. Efectos estacionales, de edad y fertilización en el crecimiento y aceptación por el ganado del pasto elefante. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1961. 108 p.

52. SAIZ DEL RIO, J. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos. Métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1961. 95 p.
53. SHENG, C. The response of the yield of napier grass to three essential elements. J. Agric. Ass. China 55: 56 - 62. 1966. (Original no consultado; compendiado en Herbage Abstracts 37(3): 1152. 1966.).
54. SHERRELL, C., KETCHESON, J. y MILLER, M. The effect of placement of banded fertilizers on fertilizer phosphorus absorption and yield of oats in greenhouse and field experiments. Canadian Journal of Soil Science 44: 329 - 336. 1964.
55. SUZUKI, T. y FUJINUMA, Y. Crop responses to fertilizers placement in soils with different nutrient levels. Basic studies on manurial practice with volcanic-ash soils. Journal Sci. Soil Manure (Tokyo) 37: 511 - 515. 1966. (Original no consultado; compendiado en Soil and Fertilizers 30: 3622. 1967.).
56. TAKAHASHI, M. y RIPPERTON, J. Napier grass. Hawaii Agricultural Experiment Station. Biannual Report 1944 - 1946. pp 25 - 29.
57. UHLEN, G. y STENBERG, K. The effects of subsurface applied phosphorus on grasslands. Forskn. Förs. Landbr. 16: 115 - 128. 1965. (Original no consultado; compendiado en Soils and Fertilizers 28: 4206. 1965.).
58. VICENTE-CHANDLER, J. y FIGARELLA, J. Effects of five nitrogen sources on yield and composition of napier grass. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 46(2): 102 - 106. 1962.
59. _____ et al. Potassium fertilization of intensively managed grasses under humid tropical conditions. Agronomy Journal 54(5): 450 - 453. 1962.
60. _____, SILVA, S. y FIGARELLA, J. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of napier grass in Puerto Rico. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 43(4): 215 - 227. 1959.
61. _____, SILVA, S. y FIGARELLA, J. The effect of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of three tropical grasses. Agronomy Journal 51(4): 202 - 206. 1959.
62. WILSON, A. Analysis of citrus tissue. Florida Agricultural Experiment Station. Progress Report no 340. 1950.

63. YOUNGUE, R. y OTAGAKI, K. The variation in protein and mineral composition of Hawaii range grasses and its potential effect in cattle nutrition. Hawaii Agricultural Experiment Station. Bulletin no 119. 1958. 27 p.

A P E N D I C E

CUADRO 1. Experimento con dosis ascendentes de nitrógeno.
Resultados obtenidos para materia seca. Datos
en Kg./Ha.

Corte	Tratamiento				Total
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	
I	710,7	2.393,7	3.256,2	3.763,5	10.124,1
II	483,2	836,7	1.750,5	1.990,5	5.060,9
III	823,7	1.527,7	3.011,2	3.417,5	8.780,1
IV	922,7	926,5	1.172,7	1.708,7	4.730,6
V	1.510,7	1.637,7	2.028,7	2.089,7	7.266,8
VI	1.005,7	908,2	1.117,2	1.122,7	4.153,8
Total	5.456,7	8.230,5	12.336,5	14.092,6	

CUADRO 2. Experimento con dosis ascendentes de nitrógeno.
Resultados obtenidos para contenido de proteína.
Datos en porciento promedio.

Corte	Tratamiento				Total
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	
I	9,7	10,9	13,2	13,3	11,8
II	8,7	8,6	8,3	8,6	8,5
III	7,6	6,2	7,6	8,8	7,5
IV	9,0	9,0	10,3	9,4	9,4
V	8,9	10,3	11,0	10,5	10,2
VI	8,7	9,3	9,5	9,4	9,2
Total	8,7	9,0	10,0	10,0	

CUADRO 3. Experimento con dosis ascendentes de nitrógeno.
Resultados obtenidos para contenido de fósforo.
Datos en porcentaje promedio.

Corte	Tratamiento				Total
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	
I	0,347	0,296	0,290	0,296	0,307
II	0,408	0,386	0,312	0,308	0,354
III	0,336	0,368	0,300	0,262	0,317
IV	0,434	0,403	0,351	0,343	0,383
V	0,357	0,332	0,327	0,323	0,335
VI	0,398	0,444	0,407	0,382	0,408
Total	0,380	0,372	0,331	0,320	

CUADRO 4. Experimento con dosis ascendentes de nitrógeno.
Resultados obtenidos para el contenido de calcio.
Datos en por ciento promedio.

Corte	Tratamiento				Total
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	
I	0,202	0,217	0,206	0,222	0,211
II	0,169	0,164	0,208	0,177	0,180
III	0,192	0,122	0,168	0,141	0,156
IV	0,176	0,137	0,184	0,164	0,165
V	0,124	0,140	0,133	0,184	0,145
VI	0,118	0,125	0,149	0,160	0,138
Total	0,163	0,151	0,175	0,175	

CUADRO 5. Experimento con dosis ascendentes de nitrógeno.
Resultados obtenidos para el contenido de fibra.
Datos en por ciento promedio.

Corte	Tratamiento				Total
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	
I	32,0	31,5	30,8	30,9	31,3
II	33,4	33,5	34,3	34,7	34,0
III	34,7	35,0	35,6	35,7	35,3
IV	31,8	32,2	31,4	33,0	32,1
V	33,3	33,0	32,8	32,2	32,8
VI	32,3	31,5	31,0	31,2	31,5
Total	32,9	32,8	32,7	32,9	

CUADRO 6. Experimento con dosis ascendentes de fósforo y dos formas de aplicación. Resultados para materia seca. Datos en Kg./Ha.

Forma de aplicación		Total											
Corte	Voleo	Localizado											
		Niveles					Niveles						
		P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃
I		4.691,2	4.650,0	5.089,0	5.901,0	4.148,7	4.665,2	4.508,0	5.388,5	39.041,7			
II		3.465,2	3.809,2	2.867,0	2.991,7	2.951,7	2.447,7	2.720,2	2.867,0	24.120,0			
III		2.728,0	2.988,0	2.889,2	2.176,0	2.428,2	2.254,7	2.675,0	2.749,2	20.888,5			
IV		2.440,5	2.651,7	2.802,7	2.540,5	2.556,5	2.078,7	2.332,5	2.466,7	19.870,0			
V		1.623,5	1.697,2	1.644,0	1.327,0	1.432,7	1.543,0	1.391,0	1.513,5	12.172,0			
VI		672,5	757,0	558,2	462,2	545,7	485,0	572,7	641,7	4.695,2			
Total		15.620,9	16.553,1	15.850,1	15.398,4	14.063,5	13.474,3	14.199,4	15.626,6				

CUADRO 7. Experimento con dosis ascendentes de fósforo y dos formas de aplicación. Resultados para proteína. Datos en % promedio.

Corte	Forma de aplicación										Total		
	Voleo					Localizado							
	Niveles					Niveles							
P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
I	12,6	13,2	11,0	11,5	12,7	11,7	11,3	11,4	11,7	11,3	11,4	12,0	
II	9,6	11,0	8,7	8,9	10,4	9,0	9,7	10,0	9,0	9,7	10,0	9,7	
III	10,8	11,6	10,3	10,4	10,1	11,0	10,6	10,5	11,0	10,6	10,5	10,7	
IV	8,7	9,4	9,0	8,3	8,7	9,1	8,2	8,8	9,1	8,2	8,8	8,8	
V	7,7	8,3	8,0	7,7	7,6	7,9	8,1	7,7	7,9	8,1	7,7	7,9	
VI	6,5	6,5	7,3	6,3	6,8	6,4	7,0	7,0	6,4	7,0	7,0	6,7	
Total	9,3	10,0	9,0	8,9	9,4	9,2	9,2	9,3	9,2	9,2	9,3		

CUADRO 8. Experimento con dosis ascendentes de fósforo y dos formas de aplicación. Resultados para fósforo. Datos en % promedio.

Corte	Forma de aplicación										Total		
	Voleo					Localizado							
	Niveles					Niveles							
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	
I	0,271	0,296	0,257	0,350	0,257	0,252	0,263	0,279	0,278	0,252	0,263	0,279	0,278
II	0,282	0,300	0,323	0,336	0,285	0,305	0,320	0,314	0,308	0,305	0,320	0,314	0,308
III	0,355	0,367	0,388	0,384	0,338	0,385	0,404	0,416	0,379	0,385	0,404	0,416	0,379
IV	0,288	0,327	0,354	0,398	0,302	0,359	0,327	0,373	0,341	0,359	0,327	0,373	0,341
V	0,378	0,380	0,430	0,473	0,389	0,427	0,393	0,437	0,413	0,427	0,393	0,437	0,413
VI	0,281	0,275	0,273	0,282	0,260	0,276	0,288	0,305	0,280	0,276	0,288	0,305	0,280
Total	0,309	0,324	0,337	0,371	0,305	0,333	0,332	0,354		0,333	0,332	0,354	

CUADRO 9. Experimento con dosis ascendentes de fósforo y dos formas de aplicación. Resultados para calcio. Datos en % promedio.

Corte	Forma de aplicación										Total			
	Voleo					Localizado								
	Niveles					Niveles								
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃		
I	0,139	0,119	0,180	0,133	0,163	0,165	0,124	0,143	0,146					
II	0,188	0,200	0,188	0,164	0,177	0,223	0,164	0,181	0,185					
III	0,194	0,232	0,215	0,227	0,235	0,264	0,188	0,210	0,220					
IV	0,153	0,171	0,211	0,178	0,155	0,171	0,162	0,166	0,171					
V	0,186	0,210	0,186	0,208	0,226	0,234	0,245	0,256	0,219					
VI	0,145	0,119	0,166	0,145	0,174	0,167	0,153	0,129	0,150					
Total	0,168	0,175	0,191	0,176	0,188	0,204	0,173	0,181						

CUADRO 10. Experimento con cuatro combinaciones de nitrógeno-fósforo. Resultados obtenidos para materia seca. Datos en Kg./Ha.

Corte	Tratamiento				Total
	N ₁ P ₁	N ₁ P ₂	N ₂ P ₁	N ₂ P ₂	
I	1.559,5	1.644,0	2.320,1	2.410,0	7.933,6
II	1.893,1	2.095,1	2.401,1	2.837,1	9.226,4
III	1.744,1	1.628,8	2.295,3	2.377,5	8.045,7
IV	2.021,1	1.952,1	2.239,3	2.538,0	8.750,5
V	1.668,8	1.421,8	1.723,1	1.854,8	6.668,5
VI	660,1	697,1	800,6	954,1	3.111,9
VII	715,5	687,0	893,6	986,1	3.282,2
Total	10.262,2	10.126,0	12.673,1	13.957,6	

CUADRO 11. Experimento con cuatro combinaciones de nitrógeno-fósforo. Resultados obtenidos para proteína. Datos en por ciento promedio.

Corte	Tratamiento				Total
	N ₁ P ₁	N ₁ P ₂	N ₂ P ₁	N ₂ P ₂	
I	9,2	9,2	10,2	10,1	9,7
II	7,7	7,2	7,5	7,6	7,5
III	9,0	10,0	9,1	10,1	9,5
IV	7,2	7,1	7,8	7,4	7,4
V	9,5	9,5	9,7	9,8	9,7
VI	10,1	10,6	10,9	11,1	10,7
VII	9,3	10,2	10,1	9,9	9,9
Total	8,8	9,1	9,3	9,4	

CUADRO 12. Experimento con cuatro combinaciones de nitrógeno-fósforo. Resultados obtenidos para fósforo. Datos en porciento promedio.

Corte	Tratamiento				Total
	N_1P_1	N_1P_2	N_2P_1	N_2P_2	
I	0,349	0,374	0,287	0,340	0,338
II	0,324	0,372	0,310	0,345	0,338
III	0,455	0,464	0,375	0,429	0,431
IV	0,412	0,423	0,361	0,392	0,397
V	0,445	0,512	0,413	0,436	0,451
VI	0,421	0,423	0,388	0,393	0,406
VII	0,398	0,414	0,340	0,387	0,384
Total	0,401	0,426	0,354	0,389	

CUADRO 13. Experimento con cuatro combinaciones de nitrógeno-fósforo. Resultados obtenidos para calcio. Datos en porciento promedio.

Corte	Tratamiento				Total
	N_1P_1	N_1P_2	N_2P_1	N_2P_2	
I	0,100	0,119	0,145	0,146	0,128
II	0,098	0,097	0,120	0,110	0,106
III	0,117	0,108	0,158	0,162	0,136
IV	0,116	0,130	0,168	0,162	0,144
V	0,169	0,129	0,186	0,168	0,163
VI	0,197	0,216	0,246	0,252	0,227
VII	0,236	0,229	0,192	0,186	0,211
Total	0,148	0,147	0,174	0,169	

CUADRO 14. Experimento con cuatro combinaciones de nitrógeno-fósforo. Resultados obtenidos para fibra. Datos en porciento promedio.

Corte	Tratamiento				Total
	N ₁ P ₁	N ₁ P ₂	N ₂ P ₁	N ₂ P ₂	
I	32,1	30,4	31,5	32,5	31,6
II	32,5	32,4	32,7	32,9	32,6
III	32,4	32,3	32,3	31,8	32,2
IV	32,0	32,3	31,5	31,6	31,8
V	31,5	32,5	32,0	32,5	32,2
VI	30,6	30,3	30,0	29,6	30,1
VII	30,6	29,9	30,9	30,7	30,5
Total	31,7	31,4	31,6	31,6	

