

633.1
Call
c1

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Facultad de Agronomía

EFFECTO DE LA APLICACION DE NITROGENO SOBRE EL RENDIMIENTO
Y CONTENIDO DE PROTEINA DEL GRANO DE SORGO Y SU
INTERACCION CON LA CLASE DE SUELO, EN EL SURORIENTE DE GUATEMALA

Tesis
Presentada a la Honorable Junta Directiva de la
FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Por
HELMUTH CARDONA MATTA

En el acto de su investidura como
INGENIERO AGRONOMO
en el grado académico de
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Noviembre de 1976

R. de S. Guate, nov. 17/76

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Rector

Dr. Roberto Valdeavellano P.

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO

en funciones:	Ing. Agr. Rodolfo D. Estrada G.
Vocal 1o. :	
Vocal 2o. :	Dr. Antonio Sandoval S.
Vocal 3o. :	Ing. Agr. Sergio Mollinedo B.
Vocal 4o. :	P. A. Laureano Figueroa
Vocal 5o. :	P. A. Carlos Leonardo L.
Secretario :	Ing. Agr. Leonel Coronado Cabarrús

TRIBUNAL QUE EFECTUO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO :	Ing. Agr. Edgar L. Ibarra A.
Examinador :	Ing. Agr. Baltasar Arévalo
Examinador :	Ing. Agr. Salvador Sánchez
Examinador :	Ing. Agr. Salvador Castillo O.
Secretario :	Ing. Agr. Oswaldo Porres

**SECTOR PUBLICO Y AGRICOLA
INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS**

5a. Av. 12-31, Zona 9 - Edificio "El Cortez", 2o. y 3er. Niveles
Teléfonos 66985 - 60581 - 67935
Guatemala, C. A.

11 de noviembre de 1976

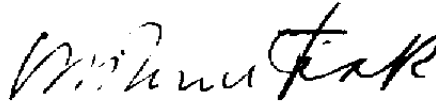
Señor Decano de la
Facultad de Agronomía
Ing. Agr. Rodolfo D. Estrada G.
Su Despacho

Señor Decano:

Tengo el honor de dirigirme a usted para informarle que he asesorado al universitario Helmuth Cardona Matta en la elaboración de su tesis de grado que se titula: "EFECTO DE LA APLICACION DE NITROGENO SOBRE EL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE PROTEINA DEL GRANO DE SORGO Y SU INTERACCION CON LA CLASE DE SUELO, EN EL SURORIENTE DE GUATEMALA".

El trabajo en mención trata de cuantificar la respuesta del cultivo del sorgo a la fertilización nitrogenada, tratando de determinar la interacción existente entre el tipo de respuesta y la clase de suelo. Para realizar este objetivo, se presenta una caracterización detallada de los suelos experimentales, que no es frecuente encontrar en estudios de este tipo. Por lo tanto, considero el trabajo presentado por el Prof. Cardona, como una contribución original y altamente valiosa para el desarrollo de la tecnología agrícola de la región donde se efectuó la investigación.

Del Señor Decano, con toda consideración,


Dr. Víctor M. Urrutia R.
Asesor

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

De acuerdo a las normas que establece la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado: "EFECTO DE LA APLICACION DE NITROGENO SOBRE EL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE PROTEINA DEL GRANO DE SORGO Y SU INTERACCION CON LA CLASE DE SUELO, EN EL SURORIENTE DE GUATEMALA".

Al presentarlo como último requisito para optar al título de INGENIERO AGRONOMO en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas, espero que merezca vuestra aprobación.

Aprovecho la oportunidad a la vez, para presentarles mi respetuoso saludo, como una muestra de mi distinguida consideración y aprecio.

Respetuosamente,



Helmuth Cardona Matta

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
E. S. C. S. C.
DEPARTAMENTO DE REGISTRO-REFERENCIA

ACTO QUE DEDICO

A mis padres

Carlos H. Cardona P.
Gloria Matta de Cardona

A mis hermanos

Humberto René
Gloria Inés
José Guillermo
Nineth

A mi familia

TESIS QUE DEDICO

A la Facultad de Agronomía de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

A mis compañeros de promoción y amigos

AGRADECIMIENTO

Deseo en esta oportunidad, dejar patente mi agradecimiento al Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), por haberme permitido realizar el presente trabajo.

De la misma manera quiero patentizar mi agradecimiento a las siguientes personas:

A mi asesor de tesis, DR. VICTOR MANUEL URRUTIA, por sus valiosas sugerencias y colaboración prestada para la realización del presente estudio.

Al Dr. ALBERT N. PLANT, por su orientación y recomendaciones al respecto.

A los Ingenieros Agrónomos, CARLOS DE LEON PRERA, OTTO FRANCISCO DARDON, MARCO ANTONIO MARTINEZ, MARIO OZAETA, LEEROY GILLESPIE, LEONEL PINEDA Y GUILLERMO MENDEZ.

A todo el personal de los Programas de Manejo de Suelos, Socio-Economía Rural, Prueba de Tecnología de la Región VI y Sorgo del ICTA, quienes en todo momento colaboraron durante el desarrollo del mismo.

El Autor

Los datos presentados en este trabajo fueron obtenidos durante el servicio que el autor prestó como técnico del Programa de Prueba de Tecnología de la Región VI del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. Los resultados son propiedad de dicho Instituto y se publican con la debida autorización.

CONTENIDO

	Hoja
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
II.1 Factores que afectan la utiliza- ción del nitrógeno en el suelo...	3
II.1.1 Agua.....	3
II.1.2 Lixiviación del nitrógeno.....	4
II.1.3 Volatilización del nitrógeno.....	5
II.1.4 Métodos de aplicación.....	8
II.1.5 Fuentes de nitrógeno.....	10
II.2 Nutrición nitrogenada de sorgo...	11
II.2.1 Absorción y distribución del ni- trógeno.....	12
II.2.2 Eficiencia de absorción de nutrien- tes.....	13
II.2.3 Efectos sobre proteína en el gra- no.....	14
II.3 Predicción de la necesidad de ni- trógeno.....	14
II.4 Niveles de fertilización en sorgo	16
II.4.1 Variaciones en la respuesta del cultivo.....	19
III. MATERIALES Y METODOS.....	22
III.1 Localización y características de los sitios experimentales.....	22
III.2 Características de los suelos....	22
III.3 Metodología para el análisis Físi- co-químico de los suelos.....	34
III.4 Material experimental.....	35
III.5 Diseño experimental.....	36
III.6 Manejo de los experimentos.....	37
III.7 Análisis bromatológico.....	38
III.8 Análisis estadístico.....	39

	Hoja
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	40
IV.1 Rendimientos obtenidos en cada ensayo.....	40
IV.2 Interacción entre respuesta a ni- trógeno y clase de suelo.....	40
IV.3 Análisis económico.....	47
IV.4 Efecto sobre la proteína.....	54
V. CONCLUSIONES.....	57
VI. BIBLIOGRAFIA.....	59

I. INTRODUCCION

En Guatemala, el pequeño agricultor siembra el 83% del área dedicada al cultivo del sorgo, con una producción estimada de 980,000 quintales, de lo cual se deduce un rendimiento promedio de 15 quintales por manzana (19). Las investigaciones realizadas hasta la fecha han indicado que dos de los factores de producción más importantes que causan estos bajos rendimientos son la variedad y la falta de fertilización.

Actualmente, se cuenta con variedades mejoradas para el pequeño agricultor. En cuanto a la fertilización, se ha determinado que el nitrógeno es el factor más limitante. Sin embargo, los datos disponibles a la fecha sobre las dosis de aplicación más económicas de este elemento son escasos y limitan la confiabilidad que el asesor agrícola pueda tener para generalizar esa información a un área tan extensa como las regiones donde se cultiva el sorgo en el suroriente. Por lo tanto, se estimó que un nuevo esfuerzo para obtener datos sobre este aspecto está justificado, principalmente si las localidades seleccionadas cubren las áreas más importantes donde se practica este cultivo e incluye suelos que son típicos del estado de fertilidad de la región y si se llevan a cabo estos trabajos en estrecho contacto con el agricultor mismo.

Un nuevo enfoque de este estudio, que hará que los resultados tengan una mejor base para efectuar generalizaciones hacia otras localidades, es el hecho de que la respuesta que se obtuvo a la fertilización se correlacionó en detalle con las características físicas y químicas del suelo por medio de estudios pedológicos in situ y análisis de laboratorio que incluyeron aquellos parámetros edafológicos más íntimamente ligados con el crecimiento de las plantas y la dinámica de los fertilizantes en el suelo.

Los objetivos fundamentales de este trabajo fueron: el determinar la dosis de aplicación de nitrógeno que fuera más eficiente y más rentable para el pequeño agricultor que cultiva sorgo en el suroriente de Guatemala y determinar si existe una interacción entre la clase de suelo y la respuesta a la aplicación de este elemento.

II. REVISION DE LITERATURA

II.1 FACTORES QUE AFECTAN LA UTILIZACION DEL NITROGENO EN EL SUELO

Un problema de importancia en las regiones tropicales es la baja utilización que las plantas hacen del nitrógeno aplicado al suelo. Evidencias bien documentadas en un artículo de Batholomew (5), indican que un cultivo generalmente recobra solamente del 50 al 60% del nitrógeno aplicado. El 40 ó 50% restante se pierde por lixiviación o por volatilización. Igualmente, los resultados experimentales disponibles indican que la utilización del nitrógeno natural del suelo, producto de la mineralización de la materia orgánica, es utilizado con una eficiencia igualmente baja.

II.1.1 Agua

El grado de absorción de nitrógeno soluble del suelo por las plantas depende principalmente de la disponibilidad de agua en éste. El agua está relacionada directamente con el transporte del nitrógeno del suelo a los límites de la raíz (3).

La absorción de nitrógeno por la planta se efectúa

a través de 2 fañes. La primera, es el movimiento del nitrógeno del suelo hacia las superficies de absorción de la raíz. La segunda, es la entrada del nitrógeno en la planta. En situaciones de campo, el factor más limitante para la utilización del nitrógeno por la planta es la falta de humedad en el suelo, suficiente para producir un transporte rápido del nutriente hacia las raíces. Cuando la humedad del suelo es adecuada, el movimiento del nitrógeno se realiza a través de los procesos de difusión y flujo de masa. Cuando falta la humedad, el flujo de masa se interrumpe debido a que el movimiento del agua en el suelo no ocurre (5). En conclusión, cuando las condiciones de humedad del suelo son desfavorables, el transporte de nutrientes se detiene y consecuentemente la absorción de nitrógeno por la planta se reduce. De la humedad existente en el suelo a capacidad de campo, aproximadamente sólo el 50 a 60% se encuentra disponible para ser absorbido por el cultivo (5).

II.1.2 Lixiviación del Nitrógeno

El desplazamiento vertical del nitrógeno por el agua, fuera de la zona radicular del cultivo, se deno-

mina lixiviación de este elemento. Esta lixiviación transporta al nitrógeno hacia las agua subterráneas y de drenaje (5). Este proceso de pérdida es probablemente la razón principal de la reducida utilización del nitrógeno aplicado por las plantas. El grado y la severidad del movimiento vertical de lixiviación depende de la infiltración de agua en el suelo, de su capacidad de retención de humedad y de la capacidad de transpiración del cultivo que se encuentra en el sitio específico bajo estudio. En algunas regiones, las pérdidas de nitrógeno por lixiviación ocurren frecuentemente durante el crecimiento del cultivo. Estas pérdidas pueden ser seriamente aumentadas por la irrigación y lluvias prolongadas (5).

II.1.3 Volatilización del Nitrógeno

Los procesos de pérdida de nitrógeno del suelo por volatilización pueden ocurrir por volatilización de amoníaco y por denitrificación.

Pérdidas gaseosas de amoníaco, que ocurren cuando la urea se aplica superficialmente a algunos suelos reportadas por Martin y Chapman en 1951 (34). Volk (34) indicó la posibilidad de que ocurrieran pérdidas gaseosas

de amonía, aún en suelos que son moderadamente ácidos o muy ácidos, cuando la capacidad de intercambio era baja. La urea se hidroliza muy lentamente en suelos alcalinos y en suelos arenosos que contienen poca materia orgánica (2). La hidrólisis de la urea aumenta el pH de los suelos, en algunos casos puede llegar hasta un pH de 9. La amonía se puede volatilizar a pH mayores de 7. Parece ser que el factor más limitante que controla la pérdida de amonía de los suelos es su capacidad de intercambio de bases. Un aumento en el pH produce un aumento en las pérdidas.

El proceso de denitrificación ocurre cuando el nitrógeno del suelo se convierte en óxidos gaseosos que se pierden a la atmósfera. Los microbiólogos han considerado que la reducción del nitrógeno por procesos microbiológicos constituye la forma más importante de pérdida de nitrógeno del suelo por volatilización. La denitrificación y otros procesos volátiles de pérdida de nitrógeno ocurren en el suelo y son responsables de la ineficiencia en la utilización de este elemento. Sin embargo, a excepción de condiciones de suelo muy

curso de una estación de cultivo (4).

El pH del suelo afecta la forma química del compuesto de nitrógeno presente, lo cual a su vez afecta la energía de formación del compuesto. Por ejemplo, en soluciones ácidas, el nitrito puede termodinámicamente participar en tres reacciones: descomponerse en óxido nítrico y nitrato, oxidarse a nitrato, o reducirse a óxido nitroso. Se resalta el hecho que muchas reacciones que parecen ser termodinámicamente espontáneas, no ocurren sin la presencia de algunos factores críticos, tales como los catalizadores que reducen la energía de activación (17).

Se ha reportado (36) que los metales de transición en su estado reducido, tales como los iones ferroso, cuproso y manganeso participan en la formación de óxido nítrico a partir del nitrito por vía no enzimática.

El término denitrificación, per se, implica un proceso de reducción o respiración anaeróbica que resulta en la formación de productos gaseosos de nitrógeno a partir de la reducción de los nitratos y nitritos.

II.1.4 Métodos de Aplicación

El agricultor puede controlar hasta cierto punto la eficiencia del fertilizante a través de la utilización de métodos de aplicación adecuados (15). Las plantas absorben nitrógeno del suelo en la zona radicular. La mayoría de las raíces de los cultivos se encuentran en los 20 cms superiores del suelo. Si durante el cultivo, las condiciones de humedad son adecuadas y hay movimiento rápido del agua a través de la zona radicular, cualquiera de las formas de aplicación de nitrógeno sería adecuada. Es decir, si se evita el deslave y lixiviación, y las condiciones de humedad son adecuadas, la colocación no es un factor crítico que afecte el rendimiento de las plantas, siempre que los parámetros de intensidad y capacidad de población sean los adecuados para que las raíces del cultivo exploren completamente el volumen de suelo disponible (20, 28, 33).

En algunos casos, se han obtenido rendimientos máximos y pérdidas mínimas de nitrógeno, cuando el fertilizante se aplica inmediatamente antes de que se inicie la etapa de crecimiento acelerado de la planta, lo cual ocurre con el maíz aproximadamente al mes de la emergencia (8, 9, 11, 13). Parece ser que el método más

común de aplicación de nitrógeno al maíz en América Latina y Africa ha sido la aplicación fraccionada, con la primera aplicación al momento de la siembra y la segunda 4 a 6 semanas después que emerjan las plantas (1, 10, 26, 31). Pawson (27) encontró en Africa que el nitrógeno aplicado 6 semanas después de la siembra resultaba significativamente superior al aplicado antes o al momento de la siembra. Sin embargo, es evidente que el mejor sistema dependerá de las características del suelo y del régimen de lluvias para un cultivar específico. También hay que hacer notar que la aplicación de nitrógeno no se debe de retardar tanto que cause daño a la plantación por insuficiencia de este nutriente o por el equipo y/o personal que se utilice en la fertilización. Las aplicaciones tardías de nitrógeno no necesitan hacerse en bandas muy próximas a las plantas, pues el sorgo tiene un sistema radicular secundario bastante extenso. Generalmente, existe un abastecimiento generoso de nitrógeno en el suelo al principio de la estación lluviosa, pero a menudo ocurre una escasez cuando el cultivo se encuentra en sus etapas avanzadas de crecimiento.

II.1.5 Fuentes de Nitrógeno

Las plantas absorben primordialmente nitratos. La mineralización de la materia orgánica y algunos fertilizantes nitrogenados producen amonio. Este compuesto deberá oxidarse a nitratos en el suelo a través del proceso conocido como nitrificación. El proceso de nitrificación es de naturaleza microbiológica y procede rápidamente si las temperaturas y las condiciones de humedad son adecuadas. Por ejemplo, en un estudio realizado en el estado de Florida, USA (35), se encontró que la oxidación de amonio a nitritos, efectuada por las bacterias Nitrosomonas y Nitrosococcus se completaba en aproximadamente 10 días, en presencia de un pH adecuado de 5 a 9. La oxidación de nitritos a nitratos, realizada por la bacteria Nitrobacter, se completaba en aproximadamente 3 semanas, cuando el pH se adecuaba debajo de 7.7 (los nitritos se acumulan en el suelo cuando el pH es mayor de 7.7).

Se puede aplicar cualquier forma de nitrógeno inorgánico al sorgo, que será transformado invariablemente a nitratos a través del proceso de nitrificación. Cuando las condiciones del suelo no son favorables a la nitrificación, las formas de fertilizantes con nitrato se-

rán más eficientes que las que contienen compuestos amoniacales. La eficiencia de la urea es igual que la de otros fertilizantes, exceptuando aquellos casos ya discutidos en donde las reacciones de hidrólisis se detienen (humedad inadecuada, suelos arenosos y pobres en materia orgánica y pH desfavorables), o cuando existen condiciones que favorecen la pérdida de urea por volatilización (condiciones alcalinas, aplicaciones sobre tejido necrótico).

El sulfato de amonio causa una reacción más ácida que la urea o el nitrato de amonio al aplicarse al suelo y por lo tanto, puede ser menos efectivo en suelos ácidos. El sulfato de amonio puede producir mayores rendimientos cuando se aplica a suelos deficientes en azufre. En general, el valor por unidad de nitrógeno favorece a los materiales más concentrados, tales como la urea. El sulfato de amonio tiene un bajo contenido de nitrógeno, lo cual aumenta los costos de transporte por unidad de nutriente.

II.2 NUTRICION NITROGENADA DE SORGO

La zona radicular efectiva para la absorción de agua y nutrientes en el sorgo se extiende hasta una

profundidad de 50 a 60 cms. El requerimiento de agua para el sorgo granífero es máximo en la etapa de hoja bandera. Sin embargo, su necesidad de agua aumenta rápidamente a partir de la emergencia de la séptima hoja, que ocurre generalmente a los 20-30 días después de la germinación; antes de esta etapa, el requerimiento diario es menos de 2.5 mm y después de ella, se incrementa hasta 7.5 mm en aproximadamente 20-30 días, que es lo que tarda la planta en llegar a su etapa de antesis (32).

II.2.1 Absorción y Distribución del Nitrógeno

Lane y Walker (23), llevaron a cabo algunos experimentos con sorgo donde investigaron la acumulación y distribución de N y otros elementos a través del ciclo vegetativo de la planta. Estos autores encontraron que el sorgo seguía el mismo patrón de acumulación y distribución que se había reportado para otros cereales, con la excepción de que este cultivo absorbe una proporción menor de nutrientes en las primeras etapas de crecimiento, comparado con otros granos básicos. La acumulación empieza a aumentar en las primeras etapas de crecimiento y continúa hasta la etapa de emergencia

de la panícula.. El cultivo del sorgo muestra este patrón de acumulación más claramente que el maíz. La planta de sorgo también tiene la habilidad de acumular nitratos en las hojas jóvenes en condiciones de sequía y altas dosis de aplicación de N; sin embargo, estas acumulaciones raramente llegan a alcanzar niveles tóxicos.

II.2.2 Eficiencia de Absorción de Nutrientes

El sorgo tiene un sistema radicular extremadamente extenso en comparación a otros cultivos. Las numerosas raíces secundarias que posee le dan la habilidad de extraer humedad y nutrientes muy eficientemente, principalmente en las capas superficiales del suelo. Los agricultores han observado a través de su experiencia que los rendimientos de un cultivo que se siembra después del sorgo son más bajos que los que se obtienen en rotación con otros cultivos. Esto se puede explicar en función de la gran capacidad de absorción de nutrientes y humedad de esta planta (32).

II.2.3 Efectos Sobre Proteína en el Grano

Para un nivel de aplicación dado de N, a medida que el rendimiento de grano aumenta, el contenido de proteína disminuye (32). Para un rendimiento dado, el contenido de proteína en el grano puede aumentarse solamente por una mayor absorción de N en la planta. Generalmente se observan diferencias muy pequeñas en el contenido de proteína del grano cuando se aplican niveles bajos de N. En un suelo deficiente en N, las bajas dosis de aplicación traen como consecuencia aumentos en el rendimiento de grano tan drásticos, que el contenido de proteína permanece invariable. Al contrario, agregan los mismos autores (32), las dosis altas de aplicación de N, aumentan no solamente los rendimientos, sino también los contenidos de proteína. La relación inversa entre el rendimiento y el porcentaje de N es un fenómeno muy conocido.

II.3 PREDICCIÓN DE LA NECESIDAD DE NITROGENO

Todos los métodos que buscan determinar la necesidad de nitrógeno como fertilizante, hacen evaluaciones de algunos o todos los factores que regulan la disponi-

bilidad de este elemento en el suelo. De acuerdo con Bartholomew (5), estos factores son: 1) aquellos que suministran y regulan el nitrógeno disponible (procesos naturales de abastecimiento); 2) aquellos que influyen al rendimiento o a la cantidad de producción (la necesidad total de nitrógeno); y 3) aquellos asociados con el sitio del suelo y cultivo que influyen la disponibilidad y asimilación de nitrógeno por la planta (la eficiencia de uso).

La selección de un sistema para la determinación depende en parte sobre cuáles de los procesos de abastecimiento, transformación o uso parecen ser los más importantes, así como también, depende del cultivo a sembrarse, del área de terreno y del grado de precisión y control de las aplicaciones de nitrógeno que se justifiquen biológica o económicamente (5).

Actualmente, según Kurtz y Smith (22), muchos de los especialistas en fertilidad de suelos y asesores agrícolas están usando únicamente la experiencia obtenida a través de la experimentación, en cuanto a la respuesta del cultivo para hacer las recomendaciones sobre los fertilizantes nitrogenados.

Bajo ciertas circunstancias, se puede lograr una mayor precisión al hacer las recomendaciones de fertilizantes nitrogenados mediante el uso de información que suplemente la experiencia general que se tiene sobre un área. Esta información adicional puede involucrar el análisis del suelo, la historia detallada de los cultivos de la finca, los factores climáticos locales y la determinación de la capacidad de manejo del agricultor (5).

II.4 NIVELES DE FERTILIZACION EN SORGO

La práctica de fertilizar el sorgo se está extendiendo considerablemente, principalmente entre medianos y grandes agricultores que siembran este cultivo en áreas relativamente extensas. El uso del fertilizante definitivamente debe de relacionarse con el potencial de rendimiento del cultivo y ajustarse a un nivel óptimo desde el punto de vista económico tomando en consideración todos los otros factores que afectan la producción.

Tuckey y Bennett (32) indican que una guía general para estimar las necesidades de nutrientes de un

cultivo es la magnitud de la absorción de éstos a varios niveles de rendimiento. Por ejemplo, con estos datos podemos estimar que un rendimiento de 5679 Kg/Ha de grano necesitará aproximadamente de 62.10 Kg/Ha de N.

CUADRO 1. Contenido total de ciertos nutrientes en la planta de sorgo (32).

Rendimientos	En Kg/Ha			
	N	P	K ₂ O	S
3407	38.64	6.94	33.12	3.22
4543	51.52	15.64	44.16	4.60
5679	62.10	19.32	55.2	5.98
6815	74.52	23.46	66.24	7.82
7951	83.72	27.14	77.28	9.20
9086	92.00	31.28	88.32	11.04

La investigación en Centro América al respecto es escasa. Sin embargo, Rosales, citado por Llano (24), trabajando con sorgo en Nicaragua, encontró como nivel óptimo de fertilización nitrogenada la aplicación de 105 Kg de N/Ha. También Salazar (29) encontró en el mismo país una respuesta de rendimiento en grano a la aplicación de 35 a 65 Kg de N/Ha.

En Guatemala, De León Prera (12), condujo 4 ensayos de niveles de fertilización nitrogenada en el sur-oriental del país, en los cuales estima que 121 Kg de N/Ha, en siembras de primera, y 78 Kg de N/Ha en siembras de segunda, optimizan el ingreso neto que se puede obtener de la aplicación del fertilizante. Asimismo, nos dice que, el nivel de aplicación que maximiza la eficiencia de este insumo fue en 2 ensayos de 0 Kg de N/Ha, y en los 2 ensayos restantes, de 43 y 68 Kg de N/Ha, respectivamente. Estos niveles deberán constituir la cantidad mínima de nitrógeno a aplicar, puesto que son las dosis que le proporcionan al agricultor el mayor ingreso neto por quetzal invertido en fertilizante.

Diferentes niveles de fertilidad también afectan el crecimiento de las plantas. Estas diferencias son importantes porque la densidad de población óptima para un cultivo no es más que la expresión integrada de la competencia entre plantas por nutrientes, humedad, radiación solar y otros factores que afectan el crecimiento. El Programa de Sorgo del ICTA (18) reporta un estudio de los efectos del espaciado entre surcos y entre plantas con diferentes niveles de nitrógeno en

sorgo. Los datos son indicativos de que tanto el ancho de surco como el espaciamiento entre plantas son los más importantes, aún sin fertilizar, para maximizar la ganancia. Estos datos nos indican claramente que antes de pensar en usar fertilizantes, debemos de tener una densidad de población adecuada en el campo. Esta densidad apropiada se consigue con una distancia entre surcos de 40 cms y con plantas espaciadas a 10 cms entre sí. En este estudio, el uso del espaciamiento correcto resultó en un ingreso equivalente a 8.56 veces cada quetzal invertido; sin embargo, si se toma en cuenta la fertilización con nitrógeno, el ingreso por cada quetzal invertido bajó a 3.27.

II.4.1 Variaciones en la Respuesta del Cultivo

Bartholomew (5) indica que en la mayoría de las situaciones de campo, el uso y la necesidad de nitrógeno por los cultivos varía de lugar a lugar, de estación a estación y entre sistemas de manejo. En vista de las grandes variaciones que existen entre sitios y estaciones, tanto en los rendimientos de los testigos como en los óptimos, deberían de hacerse evaluaciones cuidadosas de los patrones de variabilidad.

La economía del uso del fertilizante está muy influenciada y complicada por el amplio rango de variaciones entre estaciones y sitios. Las variaciones de año a año y de lugar a lugar en las respuestas a los fertilizantes nitrogenados son considerables. Las dosis óptimas bien definidas para una localidad y época son muy rara vez óptimas para otra localidad y época, aún teniendo el mismo tipo de suelo.

El examen de los datos de respuesta para maíz, arroz y trigo en la literatura de E.U.A. (5) sugiere que la variación de lugar a lugar y de estación a estación es en exceso de $\pm 15\%$. Si el objetivo es obtener rendimientos moderadamente altos que requieren 200 Kg/Ha de nitrógeno, el rango de variación sería de 170 a 230 Kg.

Una producción de 1500 Kg/Ha de maíz o 1000 Kg/Ha de trigo, en suelos donde los factores de productividad y fertilidad son óptimos y sin aplicar fertilizantes nitrogenados, puede indicar una disponibilidad natural del nitrógeno en ese suelo de aproximadamente 40 Kg/Ha. Un rendimiento de maíz de 3000 Kg/Ha indicaría un nivel de nitrógeno disponible de aproximadamente 90 Kg/Ha,

asumiendo que el único factor limitante es el nitrógeno. Estas estimaciones del nitrógeno disponible en el suelo, hechos en base a los datos del rendimiento del cultivo, pueden ser bastante exactos y los errores son pequeños comparados con los errores cometidos con otros métodos de predecir las necesidades de fertilizantes. En aquellos casos donde el abastecimiento natural de nitrógeno es relativamente bajo y en donde los factores de productividad, exceptuando el nitrógeno, son de moderado a alto, el establecer la necesidad de nitrógeno basándose en el requerimiento total del cultivo, sería tan preciso como basarse en los análisis de suelos y podría costar mucho menos.

Este mismo autor (5) agrega que como consecuencia de las grandes variaciones que existen entre suelos, las variaciones estacionales de la necesidad de nitrógeno y por las bajas cantidades de este nutriente aportados por los procesos naturales de abastecimiento, los especialistas en suelos y los asesores agrícolas se basan principalmente en las experiencias obtenidas a través de la investigación, para obtener datos sobre las necesidades de nitrógeno, poniendo menos énfasis en los análisis de suelos.

III. MATERIALES Y METODOS

III.1 LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

Se evaluaron 5 niveles de fertilización nitrogenada en 7 ensayos localizados en la jurisdicción del departamento de Jutiapa. De acuerdo a la zonificación ecológica de Guatemala (21), los ensayos fueron localizados dentro de la zona subtropical seca.

En el Cuadro 2, se sumarizan los datos de localización, temperatura, precipitación, altura y coordenadas geográficas para cada ensayo.

III.2 CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS

Una vez seleccionados los sitios donde se montaron los ensayos, se procedió a recolectar las muestras correspondientes y luego a la preparación de las mismas, que consistió en secado al aire y tamizado a 2 mm. La muestra así preparada, se analizó en el laboratorio para pH, P, K, Ca y Mg extractables. En el Cuadro 3 se sumarizan los resultados de dicho análisis.

Posteriormente se estudiaron in situ los suelos

CUADRO 2. Localización y características climáticas de los sitios experimentales.

No. Ensa- yo	Localización	Coordenadas Geográficas		Altura s.n.m. mts	Precip. Media Anual mm.	Temp. Media Anual OC
		Latitud Norte	Longitud Oeste			
1	El Quequexque Agua Blanca	14°26'40"	89°39'05"	900	950	24.1
2	San Jerónimo Asunción Mita	14°18'30"	89°42'34"	478	1200	26.68
3	Fca. Agua Fría Atescatempa	14°10'34"	89°44'33"	700	1250	26.68
4	El Peñoncito El Progreso	14°21'13"	89°50'56"	969	1050	25.16
5	El Ovejero El Progreso	14°22'00"	89°50'06"	960	1060	22.25
6	Cuesta García Sta. Cat. Mita	14°27'00"	89°44'35"	700	1000	24.10
7	Yupiltepeque	14°11'00"	89°47'33"	1050	1400	26.68

CUADRO 3. Resultados del análisis químico de suelos realizado previo a la siembra

No. de Ensayo	pH*	ug/ml**		meq/100 ml**	
		P	K	Ca	Mg
1	5.90	0.75	278	7.40	1.55
2	5.80	17.80	325	11.00	3.90
3	6.10	3.00	190	11.40	3.70
4	5.75	1.30	160	7.00	3.25
5	6.55	8.00	192	13.3	4.40
6	6.40	1.75	269	10.90	2.90
7	6.25	0.25	320	6.90	1.95

* Relación suelo/agua 1:2.5.

** Determinado en 0.05N HCl + 0.025 N H₂SO₄; suelo solución: 1:5.

experimentales por medio de calicatas. Se extrajeron muestras a las profundidades de 0-10 cms, 10-25 cms y 25-50 cms, que corresponden a los horizontes Ap. A y B en el perfil respectivo. Estas muestras se analizaron en el laboratorio en mayor detalle y los resultados se presentan en los Cuadros 4, 5 y 6.

En base a los datos de los Cuadros 4, 5 y 6, se identificaron los suelos de acuerdo a la Clasificación de Reconocimiento de Simmons et al (30) y por el sistema de clasificación en base a su Capacidad Potencial de Fertilidad, propuesto por Buol et al (7). Los criterios que se usaron en esta última clasificación están incluidos en el Cuadro 7. El Cuadro 8 incluye la clasificación de los suelos experimentales de acuerdo a estos dos sistemas.

Este sistema de clasificación de suelos por su Capacidad Potencial de Fertilidad, se diseñó para agrupar los suelos de acuerdo con las características que afectan la dinámica del fertilizante en los mismos y su manejo. El objetivo de este sistema es agrupar a todos los suelos del mundo de acuerdo con algunas características relevantes al manejo de su fertilidad.

CUADRO 4. Características físicas de los suelos estudiados

No. Ensayo	Profundidad cms	Densidad Aparente g/cc	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
1	0-10	1.26	44.16	26.72	29.12	Franco Arcilloso
	10-25	1.12	30.16	34.72	35.12	Franco Arcilloso
	25-40	1.18	31.16	37.72	31.12	Franco Arcilloso
2	0-10	1.53	36.80	42.08	21.12	Franco
	10-25	1.16	33.16	38.72	28.12	Franco Arcilloso
	25-40	1.05	22.16	39.72	38.12	Franco Arcilloso
3	0-10	1.27	34.88	35.00	30.12	Franco Arcilloso
	10-25	0.80	28.88	34.00	37.12	Franco Arcilloso
	25-40	0.60	22.88	32.00	45.12	Arcilla
4	0-10	1.10	27.80	33.08	39.12	Franco Arcilloso
	10-28	1.14	22.88	36.00	41.12	Arcilla
	28-50	1.03	30.88	28.00	41.12	Arcilla
5	0-15	1.10	42.16	35.72	22.16	Franco
	15-50	1.25	52.16	30.72	17.12	Franco Arenoso
6	0-15	1.24	48.88	30.00	21.12	Franco
	15-50	1.25	60.88	20.00	19.12	Franco Arenoso
7	0-15	1.00	46.16	30.72	23.12	Franco
	15-50	1.14	38.16	30.72	31.12	Franco Arcilloso

CUADRO 5. Características químicas de los suelos estudiados.

No. Ensa- YO	Prof. Cms	pH H ₂ O 1:2.5	Bases Intercambiables (meq/100 gr suelo)				Extracto KCl 1N				Fe ₂ O ₃ M.O.		
			Ca	Mg	K	Na	Suma*	Ca	Mg	Al	Suma	%	%
1	0-10	5.4	11.97	2.73	1.19	0.81	16.74	17.10	2.44	0.04	19.58	0.13	2.79
	10-25	5.4	11.31	2.38	0.87	0.86	15.46	9.90	2.47	0.04	12.41	0.67	3.57
	25-40	5.3	10.30	2.03	0.89	0.75	13.97	8.51	2.01	0.00	10.52	0.38	3.49
2	0-10	6.0	16.19	5.76	2.37	0.48	24.80	14.19	6.32	0.00	20.51	1.90	4.38
	10-25	6.1	18.79	7.05	1.69	0.60	28.13	16.24	6.84	0.00	23.08	1.90	2.13
	25-40	6.1	24.83	8.49	1.40	0.70	35.42	18.60	8.32	0.00	26.92	2.20	4.10
3	0-10	5.4	16.81	5.71	1.22	0.46	24.20	14.51	6.10	0.00	20.61	0.00	4.12
	10-25	5.3	19.49	6.61	0.91	0.76	27.77	17.52	7.03	0.00	24.55	1.96	4.41
	25-40	5.4	21.13	6.91	0.42	0.64	29.10	18.39	7.45	0.00	25.84	1.76	2.62
4	0-10	5.3	13.16	5.53	1.81	0.64	21.18	11.35	5.90	0.04	17.29	3.21	5.51
	10-28	5.0	14.85	6.39	1.44	0.62	23.35	13.09	6.79	0.05	19.93	2.50	5.31
	28-50	4.8	13.48	7.49	1.20	0.57	22.89	12.84	8.47	0.15	21.46	2.55	3.41
5	0-15	6.1	19.57	6.29	2.29	0.62	28.77	16.44	6.48	0.00	22.92	1.99	4.14
	15-50	6.3	21.05	5.91	0.85	0.63	28.44	16.90	5.79	0.00	22.69	1.96	2.17
6	0-15	6.6	14.86	5.81	1.23	1.10	23.00	11.75	5.87	0.00	17.62	0.31	2.85
	15-50	6.7	12.24	4.66	1.04	1.25	19.19	10.72	5.24	0.00	15.96	1.00	2.25
7	0-15	5.8	21.12	9.49	1.65	0.71	32.97	12.42	7.94	0.00	20.36	0.37	2.60
	15-50	5.5	37.10	14.23	1.16	0.78	53.27	38.81	14.63	0.00	53.44	0.39	1.74

* Suma de Ca, Mg, K, Na y Al.

CUADRO 6. Caracterización de la capacidad de fijación de fósforo de los suelos experimentales.

No. Ensayo	Profundidad cms	----- Tratamientos -----		
		0 ppm	75 P Extraíbles	150
1	0-10	3.66	33.6	80.65
	10-25	2.36	19.47	71.39
	25-40	5.60	18.48	73.92
2	0-10	54.89	88.44	115.89
	10-25	31.90	63.80	92.51
	25-40	19.52	49.28	91.52
3	0-10	8.35	44.35	110.88
	10-25	3.08	30.54	64.47
	25-40	0.31	30.76	61.52
4	0-10	2.55	24.97	62.42
	10-28	0.94	20.77	34.62
	28-50	0.32	10.59	31.77
5	0-15	28.66	57.32	76.42
	15-50	26.02	52.05	91.09
6	0-15	30.49	100.64	140.28
	15-50	19.23	95.90	153.91
7	0-15	92.83	113.8	164.71
	15-50	48.58	100.64	152.70

CUADRO 7. Descripción del sistema de clasificación de suelos de acuerdo a su capacidad de fertilidad (7).

TIPO

Textura promedio de la capa arable o 20 cm de profundidad, el que sea menos profundo.

- S = Arenoso: arena y arenas francas (USDA)
 L = Franco: < 35% arcilla excepto arenas y arenas francas.
 C = Arcilloso: > 35% arcilla
 O = Suelo orgánico: > 30% materia orgánica en los primeros 50 cms.

SUBTIPO

Usado sólo si existe un cambio de textura o una capa dura que impide desarrollo radicular dentro de los primeros 50 cms.

- S = Subsuelo arenoso: igual que en tipo
 L = Subsuelo franco: igual que en tipo
 C = Subsuelo arcilloso: igual que en tipo
 R = Roca u otra capa dura que restringe desarrollo radicular.

MODIFICADORES

En la capa arable o 20 cm el que sea menos profundo excepto cuando marcado con un asterisco (*).

- *g = (Gley):
 Moteadores con cromas ≤ 2 dentro de los primeros 60 cms y debajo de los horizontes A, o suelo saturado con agua por más de 60 días en la mayoría de los años.

- *d = (Seco):
 Régimen de humedad ústico o xérico: suelo seco por más de 60 días consecutivos por un año dentro de 20 a 60 cms de profundidad.

- e = (Baja CIC):
 < 4 meq/100 gr de suelo determinado por suma de bases + aluminio extraído por KCl 1N.
 < 7 meq/100 gr de suelo determinado por suma de cationes a pH 7.
 < 10 meq/100 gr de suelo determinado por suma de cationes + Al + H á pH 8.2.
- *a = (Toxicidad de Al):
 > 60% de la CIC saturada con Al (por suma de bases + Al) en los primeros 50 cms.
 > 67% de la CIC saturada con Al (por suma de cationes a pH 7) en los primeros 50 cms.
 > 86% de la CIC saturada con Al (por suma de cationes a pH 8.2) en los primeros 50 cms.
 ó pH en H₂O (1:1) < 5.0 excepto en suelos orgánicos.
- *h = (Acido):
 10 a 60% de la CIC saturada con Al (por suma de bases + Al) en los primeros 50 cms.
 ó pH en H₂O (1:1) entre 5.0 y 6.0.
- i = (Fijación Fe-P):
 % Fe₂ libre/% arcilla > 0.2, o matices más rojos que 5YR y estructura granular.
- x = (Min. amorfos):
 pH > 10 en NaF 1N, ó prueba de NaF en el campo positivo, u otras evidencias indirectas del alofano como mineral de arcilla predominante.
- v = (Vertisol):
 > 35% arcilla muy plástica y pegajosa y > 50% de la fracción arcilla expandible (2:1), ó COLE > 0.09, ó severo agrietamiento e hincamiento del suelo.
- *k = (K def):
 < 10% minerales meteorizables en la fracción limo o arena dentro de los primeros 50 cms ó un contenido de K intercambiable < 0.2 meq/100 g, ó K < 2% de la suma de base si ésta es < 10 meq/100 g.

- *b = (Calcáreo):
Carbonato de calcio libre dentro de 50 cm (efervescencia con HCl), ó
pH > 7.3.
- *s = (Salino):
> 4 mmhos/cm de conductividad eléctrica en pasta saturada a 25°C dentro de 1 mt de profundidad.
- *n = (Sódico):
> 15% de la CIC saturada con Na dentro de los primeros 50 cms.
- *c = (Cat Clay):
pH en H₂O (1:1) menor de 3.5 cuando seco, moteamiento de jarosita con matices 2.5 Y ó más amarillas y cromas de 6 ó más altas dentro de 60 cms.

CUADRO 8. Clasificación de los suelos experimentales de acuerdo a los sistemas por Simmons et al (30) y Buol et al (7).

No. del Ensayo	Localización	Clase de Suelos	
		Simmons	Buol
1	El Quequexque Agua Blanca	Aluvión	Ld
2	San Jerónimo Asunción Mita	Culma	LCdi
3	Fca. Agua Fría Atescatempa	Mita	Cgdhv
4	El Peñoncito El Progreso	Culma	Cdi
5	El Ovejero El Progreso	Culma	Ldi
6	Cuesta García Sta. Cat. Mita	Aluvión	Ld
7	Yupiltepeque	Aluvión	Ld

Este es un sistema de clasificación simple, específico y lo suficientemente conciso para que pueda ser fácilmente comprendido. Por este motivo, sólo incluye aquellos factores que se sabe juegan un papel directo en la relación suelo-fertilizante. Algunos factores como pedregosidad y pendiente, importantes para el uso de maquinaria o irrigación, no son considerados. El sistema técnico aquí propuesto puede ser usado para interpretar mapas de suelos, siempre y cuando existan ciertos datos analíticos. Está previsto que el principal uso será por los especialistas en fertilidad de suelos con el objeto de extrapolar resultados de un campo a otro.

El sistema consiste de tres niveles: tipo, sub-tipo y modificadores. El tipo es la categoría superior y está determinado por la textura promedio de la capa arable o de los 20 cms superficiales. El sub-tipo es la textura del subsuelo que ocurre dentro de los 50 cms de profundidad. Se incluye sólo si ésta difiere a la textura de la capa arable (tipo) dentro de los límites definidos. Los modificadores, en general, se refieren a las propiedades físicas y químicas de la

capa arable en los 20 cms superficiales, salvo con excepciones indicadas. Los modificadores indican limitaciones específicas de fertilidad con posibilidades de diferente interpretación.

III.3 METODOLOGIA PARA EL ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LOS SUELOS

Las determinaciones analíticas para la caracterización física y química de los suelos experimentales, se llevaron a cabo de acuerdo a la siguiente metodología:

El porcentaje de arena, limo y arcilla fue determinado por medio de la técnica propuesta por Bouyoucos (6), obteniéndose las lecturas a través de un hidrómetro calibrado a 68°F.

El pH fue determinado en una relación agua-suelo 1:2.5, obteniéndose la lectura en un potenciómetro marca Beckman.

Las bases intercambiables fueron analizadas en un extracto de acetato de amonio a pH 7 y una solución de cloruro de potasio normal. En el extracto de acetato de amonio, se determinaron K, Ca, Mg y Na. En el extrac-

to de KCl 1 N, se determinaron el Ca, Mg y Al. El Ca y el Mg se determinaron con un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer, modelo 146. El K y el Na se analizaron con un fotómetro de llama marca Perkin Elmer, modelo 103. El aluminio se determinó por medio de titulación con hidróxido de sodio 0.025 N.

El hierro en forma ferrosa se determinó en el espectrofotómetro de absorción atómica, de acuerdo a la metodología recomendada por Olson (25).

La determinación de la fijación de fósforo se hizo colorimétricamente por medio de un espectrofotómetro Coleman modelo 295, de acuerdo a la metodología recomendada por Fitts y Waugh (14).

III.4 MATERIAL EXPERIMENTAL

En el Cuadro 3 se reportan los datos del análisis de los suelos. Se podrá observar que solamente en el ensayo localizado en San Jerónimo, Asunción Mita, se encontró un nivel adecuado de fósforo (más de 7 ppm de P). También se podrá apreciar que el pH era adecuado para todos los ensayos. El nivel de K era adecuado para todos los suelos. En todos los experimen-

se utilizó la variedad de sorgo Guatecau, recomendada para aquella zona por su adaptabilidad a la región (16). Los niveles de nitrógeno empleados para los fines del presente estudio fueron: 0 - 25 - 50 - 75 y 100 Kg/Ha de nitrógeno, con un nivel fijo de fósforo de 90 Kg/Ha, de acuerdo al análisis del suelo (ver Cuadro 3); las fuentes de nitrógeno y fósforo utilizadas fueron urea (46-0-0) y triple superfosfato (0-46-0), respectivamente. La aplicación del nitrógeno se hizo en dos épocas: 50% al momento de la siembra, al fondo del surco y 50% inmediatamente antes del inicio de la floración (50 días), en banda. La totalidad del fósforo fue aplicado al momento de la siembra al fondo del surco.

III.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los niveles de aplicación de nitrógeno fueron evaluados en cada ensayo, utilizando un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Las unidades experimentales quedaron constituidas de la forma siguiente: 8 surcos de sorgo separados a 0.45 metros y con una longitud de 6 metros. Cada unidad experimental ocupó un área de 21.50 m² (3.60 x 6 mts). La

parcela neta cosechada para obtener los datos fue de 9 m^2 (1.80 x 5 mts). Se cosecharon los 4 surcos centrales y se dejaron bordes de 0.50 metros en los extremos. Además, se dejaron calles de 1.5 metros de separación entre repeticiones. El área total de cada ensayo fue de 513 m^2 (18 x 28.5 mts).

III.6 MANEJO DE LOS EXPERIMENTOS

La preparación del terreno se efectuó utilizando la práctica del agricultor, la cual consistió únicamente en un paso de arado con bueyes o con mula. El control de insectos del suelo, se hizo aplicando 50 lbs/Mz de Volatón granulado al 2.5%, incorporado al fondo del surco.

En la siembra se empleó el método al chorro, colocándose la semilla al fondo del surco, para raleo a 10 cms de distancia, con lo cual se obtuvo una población de 222,000 plantas por hectárea. El raleo se llevó a cabo a los 15 días después de la siembra.

Los ensayos fueron sembrados, de acuerdo al orden establecido en el Cuadro 2, los días 18, 5, 6, 20, 13, 9 y 8 de septiembre de 1975.

El control de malezas se realizó por 2 limpiezas con azadón, la primera a los 15 días y la segunda a los 30 días después de la siembra.

La cosecha se realizó, de acuerdo al orden establecido en el Cuadro 2, los días 30, 25, 11, 23, 18, 14 y 17 de septiembre de 1976. La humedad del grano se determinó con un medidor electrónico y se corrigió al 13%.

III.7 ANALISIS BROMATOLOGICO

El análisis de proteína cruda en el grano cosechado, se realizó en los laboratorios de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), de acuerdo al método de micro Kjeldahl, utilizado por dicho laboratorio (25). Para el efecto, se utilizaron muestras de tres repeticiones de cada nivel de aplicación de nitrógeno en los ensayos localizados en El Quequexque, Agua Blanca; Cuesta García, Santa Catarina Mita y el Ovejero, El Progreso.

III.8 ANALISIS ESTADISTICO

Se hicieron análisis de regresión empleándose los modelos lineal y cuadrático, por medio del método de los cuadrados mínimos. Se interpretaron las regresiones en términos del costo del fertilizante y valor del grano de sorgo para calcular niveles óptimos y más eficientes. Los modelos lineales y cuadrático empleados para el análisis de todos los ensayos fueron los siguientes:

$$Y = a + bx; \quad Y = a + b_1x + b_2x^2$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

IV.1 RENDIMIENTOS OBTENIDOS EN CADA ENSAYO

Los rendimientos de grano de sorgo al 13% de humedad, obtenidos en los siete ensayos para cada nivel de aplicación de nitrógeno, se muestran en el Cuadro 9. En la última columna del mismo cuadro, se consignan los valores "F" para el efecto de los niveles de aplicación obtenidos del análisis de varianza efectuado para cada ensayo. En todos los ensayos se obtuvieron respuestas significativas, hasta el 10% de probabilidad, a la aplicación de nitrógeno, con excepción del experimento realizado en Agua Blanca.

IV.2 INTERACCION ENTRE RESPUESTA A NITROGENO Y CLASE DE SUELO

Se observó que la magnitud de los rendimientos podían relacionarse con la clase de suelo existente en cada ensayo (véase la descripción del sistema de clasificación de suelos utilizado, en la sección III.2 de Materiales y Métodos). Así, por ejemplo, los rendimientos más bajos fueron obtenidos en los ensayos No. 1, 6

CUADRO 9. Efectos de la aplicación de nitrógeno y valores de "F" sobre los rendimientos de grano de sorgo en seis municipios de Jutiapa, Guatemala

No. Ensayo	Municipio	Rendimientos (Kg/Ha)				Valores "F"	
		Con Varios Niveles de Nitrógeno					
		0	25	50	75	100	
1	Agua Blanca	156	265	496	515	544	2.52 N.S.
2	Asunción Mita	2098	2754	2887	3068	3507	3.13*
3	Atescatempa	1028	998	1570	2245	2176	12.33***
4	El Progreso	1715	2452	3082	2850	3672	3.64**
5	El Progreso	2093	2007	2738	2934	3133	6.91***
6	Sta. Cat. Mita	785	1193	1303	1295	1311	3.31**
7	Yupiltepeque	300	622	997	1824	1766	15.39***
	\bar{x}	1168	1470	1868	2104	2301	

* Significativo al 10% de probabilidad.

** Significativo al 5% de probabilidad.

*** Significativo al 1% de probabilidad.

N.S. No significativo hasta el 10% de probabilidad.

y 7, que estaban localizados en suelos clasificados como "Ld" (Cuadro 11). Los rendimientos más altos fueron obtenidos con los ensayos No. 2, 4 y 5, los cuales corresponden a suelos clasificados como "Cdi". El ensayo No. 3, presentó rendimientos intermedios y fue establecido sobre un suelo clasificado como "Cghdv". Por lo tanto, los rendimientos obtenidos fueron combinados o promediados para cada uno de los grupos de ensayos anteriormente mencionados y se consignan en el Cuadro 10. En este cuadro, se puede observar que el rendimiento promedio para los ensayos en suelos "Ld" fue de 891 Kg/Ha, el rendimiento promedio para el ensayo en suelo "Cghdv" fue de 1603 Kg/Ha y el promedio para los ensayos en suelos "Cdi" fue de 2732 Kg/Ha. Los rendimientos en general, se consideran bastante bajos, debido a las condiciones de clima desfavorable prevalecientes en aquella región, durante el tiempo en que se llevaron a cabo estos trabajos.

La respuesta a la aplicación de nitrógeno en los ensayos sobre suelos "Ld" y "Cdi" pueden ser descritas a través del ajuste de los rendimientos a un modelo lineal. Para el caso del experimento No. 3, localizado

CUADRO 10. Rendimientos promedio de grano de sorgo al 13% de humedad, obtenidos en el campo para cada nivel de fertilización.

Niveles	Ensayos 1, 6, 7	Ensayo 3	Ensayos 2, 4, 5
	Kg/Ha		
0	414	1028	1965
25	694	998	2404
50	932	1570	2902
75	1211	2245	2951
100	1207	2176	3437
\bar{x}	891	1603	2732

CUADRO 11. Rendimiento promedio de grano de sorgo al 13% de humedad, calculados para cada nivel de fertilización de acuerdo a las ecuaciones de regresión.

Nive- les	Suelo Clase Ld	Suelo Clase Cqhdv	Suelo Clase Cdi
	Exp: 1, 6, 7*	Exp: 3**	Exp: 2, 4, 5***
	Kg/Ha		
0	466	1028	2026
25	678	955	2377
50	890	1697	2729
75	1102	2118	3080
100	1314	2220	3432
\bar{x}	890	1604	2729

* Ecuación lineal para Exp: 1, 6, 7: $8.48x + 465.92$.

** Ecuación cuadrática para Exp: 3: $1028 + 48.83x - 0.26x^2$

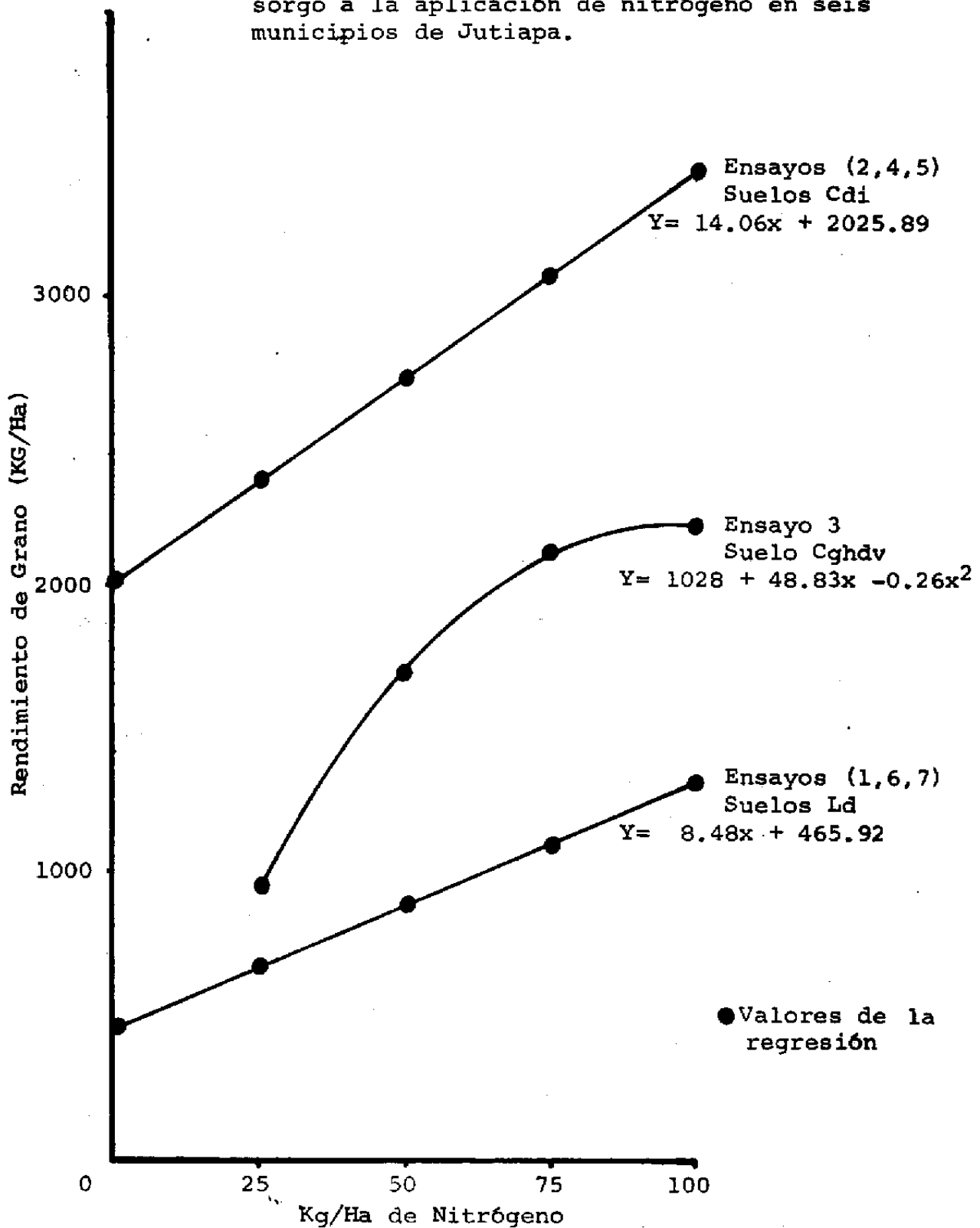
*** Ecuación lineal para Exp: 2, 4, 5: $14.06x + 2025.89$.

sobre suelos "Cghdv", el modelo cuadrático es más apropiado. El Cuadro 11 muestra las ecuaciones de regresión lineales y cuadrática, según el caso, para todos los ensayos; además, se consigna en el mismo cuadro los rendimientos obtenidos para cada nivel de aplicación de nitrógeno, de acuerdo a las ecuaciones de regresión respectivas. Estos rendimientos son reportados en forma gráfica en la Figura 1.

Las diferencias observadas en los rendimientos entre clase de suelos, parecen estar relacionados a la textura de la capa superficial, lo cual a su vez estaría relacionado a la capacidad del suelo para la retención de humedad. Los rendimientos más altos fueron obtenidos en suelos con textura arcillosa (Suelos Cdi y Cghdv). Los rendimientos más bajos se obtuvieron con los suelos que tenían una textura franca.

Otro criterio que parece agrupar los suelos, es su contenido de óxidos libres de hierro, puesto que los rendimientos más altos se obtuvieron con los suelos que tenían un mayor contenido de estos compuestos. Este efecto puede estar relacionado indirectamente con las mejores condiciones físicas que generalmente se encuentran en los suelos que son altos en sesquióxidos de

FIGURA 1. Análisis de regresión de la respuesta del sorgo a la aplicación de nitrógeno en seis municipios de Jutiapa.



hierro, lo cual resultaría en mayores tasas de infiltración y por lo tanto, mayores cantidades de humedad almacenadas dentro de la zona radicular del suelo. Otra posibilidad, aunque se considera remota, es que los mayores rendimientos obtenidos en suelos de mayor concentración de óxidos de hierro, estén relacionados a un tercer factor, que a su vez está correlacionado con la presencia de estos compuestos y que en el presente estudio no se puede identificar.

IV.3 ANALISIS ECONOMICO

Uno de los objetivos de ajustar ecuaciones de regresión a los datos obtenidos en un experimento, es el de disponer de un modelo matemático para la realización del análisis económico respectivo. La decisión sobre qué cantidad de fertilizante se debe de aplicar, es una decisión que se debe de tomar con criterio económico. Las metas que se deben de perseguir son las de optimizar la ganancia obtenida a través de la fertilización, o en su defecto, maximizar la eficiencia del fertilizante aplicado. Este último criterio equivale a optimizar la ganancia obtenida por cada quetzal invertido. Estos

dos parámetros económicos son de suma importancia y deben de ser calculados para poder ajustar la recomendación de fertilización que se le brinda al agricultor, de acuerdo a sus necesidades, recursos económicos disponibles y características del mercado de fertilizantes a nivel nacional y local, que existan al momento de hacer la recomendación.

Para poder calcular niveles de fertilización óptimos y más eficientes, la superficie de respuesta debe de tener un máximo, como el que se encuentra en la regresión cuadrática obtenida para el ensayo No. 3. Para el caso de respuestas lineales, como las que describen los rendimientos obtenidos en los ensayos restantes de esta investigación (1-6-7 y 2-4-5), es imposible determinar niveles más eficientes o aquellos que optimicen la ganancia. En este último caso, el análisis económico consistirá en la determinación de las relaciones beneficio/costo resultantes de la aplicación del fertilizante, las cuales son constantes para todos los niveles de aplicación, puesto que se trata de regresiones lineales con una sola pendiente.

En base a las consideraciones anteriormente mencionadas, se presenta en los Cuadros 12 y 13, las rela-

ciones beneficio/costo para los ensayos 1-6-7 y 2-4-5, que corresponden a las clases de suelos "Ld" y "Cdi", respectivamente. Para el caso del ensayo No. 3, por presentar una regresión cuadrática, se pueden calcular niveles de fertilización óptimos y más eficientes, los cuales se consignan en el Cuadro 14. En estos Cuadros (12, 13 y 14), se presentan los parámetros económicos anteriormente mencionados. Para calcular el precio de nitrógeno, se tomó como base el valor de la urea más el costo de su aplicación, por ser ésta la fuente más usada y barata del elemento en mención. El costo de aplicación se estimó en Q. 1.76 por hectárea. El precio del sorgo producido, se estimó según el valor del quintal de grano puesto en la finca, excluyendo el valor del transporte y el impuesto municipal, pues no se consideró que estos gastos son generalmente efectuados por el agricultor.

Podemos notar en el Cuadro 12, que con los precios actuales para la urea y el grano de sorgo, que se estiman en Q. 8.00 y Q. 6.00, respectivamente, la relación beneficio/costo resultante de la aplicación de nitrógeno será de 1.90, para el caso de suelos "Ld". En el Cuadro

CUADRO 13. Relaciones Beneficio/Costo resultantes de la aplicación de nitrógeno en suelos Cdi*, calculados para diferentes precios de sorgo y nitrógeno.

Precio Grano	Precio Urea		En Quetzales	
	4.00	8.00	12.00	16.00
Q. 4.00	4.50	2.33	1.22	0.64
" 6.00	6.95	3.81	2.21	1.37
" 8.00	10.00	5.66	3.44	2.29
" 10.00	12.45	7.14	4.43	3.02
" 12.00	14.09	8.62	5.41	3.75
				20.00
				24.00
				0.32
				0.90
				1.64
				1.20
				1.69
				2.81
				2.18

Cdi*: Clase de suelo de acuerdo a la nomenclatura de Buol et al (7).

13, podemos determinar que esa misma relación en suelos "Cdi" sería de 3.81. Debido a que en estos dos casos la superficie de respuesta es una línea recta para los rangos de aplicación estudiados, se tomaría como recomendación el nivel más alto, que en este caso sería de 100 Kg/Ha, ya que este nivel maximizaría la ganancia, pues se aplican más unidades de nitrógeno.

Tanto el Cuadro 12 como el 13, tienen una línea trazada a través del mismo, que divide las regiones de precios de la urea y del sorgo en dos partes, dentro de las cuales es rentable y no es rentable fertilizar. Se tomó como criterio para esta división, la existencia de una relación beneficio/costo mayor que 1, aunque en muchos casos el agricultor desearía una mayor rentabilidad para poder fertilizar. Se podrá observar en el Cuadro 12, que en la mitad de las combinaciones de precios, la fertilización no sería aconsejable, debido a que causaría pérdidas.

En el Cuadro 14, se consignan para cada combinación de precios, el nivel de nitrógeno que maximiza la rentabilidad de la fertilización y su relación beneficio/costo, calculado para el caso de suelos "Cghdv". Por ejemplo, cuando el precio del quintal de urea es de

Q. 8.00 y del quintal de sorgo es de Q. 6.00, el nivel de fertilización nitrogenada a recomendar sería de 90 Kg/Ha, obteniéndose una relación de beneficio/costo de 4.53. En igual forma se pueden interpretar los datos proporcionados para las otras combinaciones de precios.

IV.4 EFECTO SOBRE LA PROTEINA

En el Cuadro 15, se muestra el porcentaje y el rendimiento total de proteína obtenido en cada nivel de aplicación de nitrógeno, para tres experimentos, que tipifican los casos de rendimientos bajos, intermedios y altos, respectivamente.

Los porcentajes de proteína más altos fueron obtenidos en el Experimento No. 5, que corresponde a los rendimientos más altos. En este caso, se observó un aumento de 1.4% de proteína con aplicación de 50 Kg/Ha de nitrógeno. Para el caso de los rendimientos intermedios, Experimento No. 6, la proteína aumentó 0.5% con la aplicación del primer nivel de nitrógeno y 1.26%, con la aplicación de 75 Kg/Ha de nitrógeno. En el caso de los rendimientos bajos, el porcentaje de proteína mostró una tendencia a disminuir, con la aplicación de niveles crecientes de nitrógeno.

En general, el porcentaje de proteína de la variedad Guatecau, bajo las condiciones del pequeño agricultor, puede variar desde 7.2 hasta 10.5%. En estos casos de bajos rendimientos, no se manifiestan efectos de concentración o dilución del contenido de nitrógeno causado por un mayor rendimiento, obtenido a través de la fertilización.

Los rendimientos totales de proteína aumentaron, en los tres ensayos, con la aplicación de niveles crecientes de nitrógeno y variaron desde 9 hasta 395 Kg/Ha. Este aumento en el rendimiento de proteína estuvo más relacionado con el aumento obtenido en el rendimiento de grano, que en un aumento del porcentaje, que como se mencionó anteriormente, no varió considerablemente.

V. CONCLUSIONES

1. Se estudió el efecto de la aplicación de nitrógeno sobre los rendimientos de sorgo en el suroriente de Guatemala, habiendo encontrado respuestas significativas en 6 de los 7 ensayos. Los rendimientos obtenidos fueron relativamente bajos debido a la escasez de humedad en el suelo.
2. Las superficies de respuesta ajustadas a los datos de cada ensayo, parecieron agruparse en función de la clase de suelo en que fueron establecidos éstos. Las características del suelo que parecieron agrupar las diferentes respuestas obtenidas fueron la textura del suelo superficial y el contenido de óxidos libres de hierro. Ambas características se considera que están relacionadas a la capacidad de los suelos para abastecer de humedad a las plantas. Para este estudio se utilizó un sistema de clasificación que toma en cuenta aquellas características del suelo que están íntimamente ligadas al crecimiento de las plantas y la dinámica de los fertilizantes y sus reacciones en el suelo.
3. Los niveles óptimos de fertilización nitrogenada obteni-

dos en este estudio variaron de 90 a 100 Kg/Ha de nitrógeno, cuando el precio de la urea se consideró en Q.8.00 y el del sorgo en Q.6.00 por quintal. Estos niveles óptimos variarán de acuerdo a la situación de precios del insumo y del producto de interés. En este sentido, se presenta la información necesaria para determinar bajo qué condiciones de precios no es rentable fertilizar, de acuerdo a la relación beneficio/costo que se desee obtener.

4. El contenido de proteína fue menor en los ensayos que presentaron los rendimientos más bajos y mayor en aquellos que produjeron los rendimientos más altos. Esto implica la ausencia de efectos de dilución y concentración del porcentaje de proteína a causa de cambios en rendimientos. Los porcentajes de proteína variaron de 7.2 hasta 10.5%. Los rendimientos totales de proteína variaron desde 9 hasta 395 Kg/Ha, mostrando una tendencia a incrementarse con el aumento de la cantidad de nitrógeno aplicada. La importancia de esta información es que fue obtenida bajo las condiciones en que se desenvuelve el pequeño productor de sorgo en el suroriente del país.

VI. BIBLIOGRAFIA

1. ABRUÑA, F. & PEARSON, R.W. & ELKINS, C. Quantitative evaluation of soil reaction and base status changes resulting from field applications of residually acid nitrogen fertilizer. IN: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:539-42. 1948.
2. ALLISON, F.E. The fate of nitrogen applied to soils. In: Advances in Agron. 18:219-58. 1966.
3. BARBER, S.A. & OLSON, R.A. Changing patterns in fertilizer use. Madison, Wisconsin; Ed. L.B. Nelson SSSA, 1968. pp 163-88.
4. BARTHOLOMEW, W.V. Soil nitrogen and organic matter. EN: Soils of the humid tropics. National Academy of Sciences, 1972. pp:63-81.
5. BARTHOLOMEW, W.V. El nitrógeno del suelo; proceso de abastecimiento y requerimiento de los cultivos. ISPEI, North Carolina State University at Raleigh, USA Bol, Téc. No. 6, 1972. 97 p.
6. BOUYOUCOS, G.J. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy Journal, 54:(5)464. 1962.
7. BUOL et al. Fertility capability soil classification system. Agronomic Economic Research en tropical soil. Annual report for 1971 and 1972. Soil Science Dep. North Carolina State Univ., contract AID/csd 2806. 1969.
8. BRONFIED, A.R. Uptake of phosphorus and other nutrients by maize in Western Nigeria. Expl. Agric. 5-91-100. 1969.
9. BROWN, P. Maize growing in nyasaland (Malawi) II. Fertilizer Requirement Exp. Agric. 2:49-60. 1966.
10. CUMMINGS, G.A. Nitrogen fertilization on corn, forages, beans and other crops. IN: Research on Soils of the Latin Amer. Trop. Soils, North Carolina State Univ., 1971.

11. CHANDLER et. al. The intensive management of tropical forages in Puerto Rico. Universidad P.R. Agric. Expt. Sta. Bull 187. 1964.
12. DE LEON PRERA, C. Respuesta del cultivo del sorgo a la fertilización con nitrógeno en el Suroriente de la República de Guatemala. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1975. 37 p. (Tesis Ing. Agr.)
13. ENJI, B.A.C. The efficiency of Urea as fertilizer under tropical conditions. P.L. Soil 23:385-96. 1965.
14. FITTS, J.W. & WAUGH, D.L. Estudios de interpretación de análisis de suelo, laboratorio y macetas. Boletín Técnico No. 3. Raleigh, Universidad Estatal de Carolina del Norte, N.C., 1966. 36 p.
15. FOX, R.H. Fertilización con nitrógeno en los trópicos húmedos México, AID/Rtac, 1972. 16 p.
16. FUENTES, J. GUATECAU-Variiedad de sorgo granifero (*Sorghum bicolor* (L) Moench), su desarrollo y evaluación en Guatemala, Guatemala, Universidad de San Carlos, Fac. de Agronomía, 1975. 66 p. (Tesis Ing. Agr.)
17. GASSER, J.K.R. Urea as a fertilizer. In: Soils and Fertilizer, Vol. 27(3):175-80. 1964.
18. GUATEMALA, Ministerio de Agricultura; Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. Informe Anual 1973-74. Guatemala, ICTA, 1975. 125 p.
19. GUATEMALA, Ministerio de Agricultura; Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. Programa de trabajo 1975 del Programa de Sorgo. Guatemala, ICTA, 1975. 44 p. (Mimeografiado).
20. GRANT, P.M. The fertility of sand veld soils under continuous cultivation part I. The effect of manure and nitrogen fertilizer on the nitrogen status of the soil. Rhod Zamb Mal. In: Jour. Agric. Res. 5:71-79. 1967.

21. HOLDRIDGE, L.R. Mapa de zonificación ecológica de Guatemala, según sus formaciones vegetales. Guatemala, Ministerio de Agricultura, SCIDA, 1958. 19 p.
22. KURTZ, L.T. & SMITH, G.E. EN: Advances in corn production. (Ed.) W.H.P. Pierre, S.A. Aldrich and W.P. Martin, 1964. p 197-235.
23. LANE, H.C. & WALKER, H.J. Mineral accumulation and distribution in grain sorghum s. Texas Agr. Exp. Sta. Mp. 533. 1961.
24. LLANO, AURELIO. Efecto del nitrógeno sobre la producción seca del tallo de sorgo y causado por Macrophoina phaseolina (Tassi) Goid. EN: XXI Reunión Anual del PCCMCA Volumen II. San Salvador, El Salvador, PCCMCA, 1975. pp: 356-58.
25. OLSON, R.V.I. In methods of soil analysis part 2. Chemical and microbiological properties, C.A. Black. (Ed) in chief Agronomy 9. American Society of agronomy Inc. 1965. pp: 963-973.
26. ORIHUELA, G. & ESPINOZA, C.J. Efectos de diferentes fuentes y niveles de nitrógeno en el rendimiento del maíz (Zea Mays L.) EN: Oriente Agrop., Venezuela, Vol. 1:33-43. 1968.
27. PAWSON, E. The composition and fertility of maize soils in northern Rhodesia. Emp. J. of Expl. Agric. 25: 79-94. 1957.
28. PEARZON, R.W. & ABRUÑA, F. & CHANDLER, J.V. Effect of lime and nitrogen applications on down ward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soils of Puerto Rico. Soil Sci. 93:77-82. 1962.
29. SALAZAR, B.A. Experimentación con sorgo en Nicaragua. EN: XII Reunión Anual del PCCMCA, Managua, Nicaragua, PCCMCA, 1966. pp: 42-50.

30. SIMMONS, C.S. & TARANO, J.M. & PINTO, J.J. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Guatemala, Ministerio de Educación Pública, Ed. "José de Pineda Ibarra" y; Ministerio de Agricultura, IAN-SCIDA, 1959. 1000 p.
31. STEVENSON, G.K. & BALDWIN, C.S. Effect of time and method of nitrogen on the yield and nitrogen content of corn (*Zea Mays L.*) Agron. J. 61:381-84. 1969.
32. TUCKER, B.B. y BENNETT, W. Fertilizer use on grain sorghum. EN: Changing patterns in fertilizer use. Ed. L.B. Nelson SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 1968. pp. 189-218.
33. VOGT, J.B.M. Efficiency of fertilization in N. Rhodesia. Agrochimica. 10:105-113. 1966.
34. VOLK, G.M. Efficiency of fertilizer Urea as affected by method of application, soil moisture, and lime. Agronomy Journal Vol. 58:249-52. 1966.
35. VERDADE, F.C. Importance of nonsymbiotic organisms in the nitrogen economy of tropical soils. I. Biology and ecology of nitrogen; Proceeding of a Conference. Nat. Acad. of Sci. pp: 129-152. 1969.
36. WULLSTEIN, L.H. Soil nitrogen volatilization. Agricultural Science Review. Vol. 5(2). pp. 8-13, 1967.

Dr. So. [Signature]

PALMIRA R. DE QUAN
BIBLIOTECARIA



PROYECTO DE LEY
DE AGRICULTURA
Y FISCALIDAD

Imprimase:

Ing. Agr. Rodolfo D. Estrada G
Decano en Funciones

