

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

EVALUACION DE NIVELES DE NITROGENO Y AZUFRE EN EL  
SISTEMA DE CULTIVO MAIZ-AJONJOLI EN EL PARCELAMIENTO  
"LA MAQUINA"

TESIS

Presentada a la Honorable Junta Directiva de la  
Facultad de Agronomía de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala

POR

JULIO JAVIER MALDONADO MARTINEZ

En el Acto de Investidura como

INGENIERO AGRONOMO

En el Grado Académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Octubre de 1985

RECTOR

DR. EDUARDO MEYER MALDONADO

JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

<i>Decano:</i>	<i>Ing. Agr. César Castañeda S.</i>
<i>Vocal 1o.:</i>	<i>Ing. Agr. Oscar René Leiva R.</i>
<i>Vocal 2o.:</i>	<i>Ing. Agr. Jorge Sandoval I.</i>
<i>Vocal 3o.:</i>	<i>Ing. Agr. Rolando Lara Alecio</i>
<i>Vocal 4o.:</i>	<i>P. Agr. Leopoldo Jordán</i>
<i>Vocal 5o.:</i>	<i>P. Agr. Axel Gómez Ch.</i>
<i>Secretario:</i>	<i>Ing. Agr. Rodolfo Albizúrez P.</i>

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

<i>Decano:</i>	<i>Ing. Agr. César Castañeda S.</i>
<i>Examinador:</i>	<i>Ing. Agr. Gustavo Méndez</i>
<i>Examinador:</i>	<i>Ing. Agr. Mynor Estrada R.</i>
<i>Examinador:</i>	<i>Ing. Agr. Efraín Medina</i>
<i>Secretario:</i>	<i>Ing. Agr. Rodolfo Albizúrez P.</i>

Guatemala  
abril de 1985.

Señor Decano  
Ing. Agr. César Castañeda  
Facultad de Agronomía  
Presente.


Ingeniero Castañeda:

De acuerdo a la designación emanada de esa Decanatura, he procedido a asesorar al Br. Julio Javier Maldonado Martínez en la elaboración de su trabajo de Tesis intitulado: "Evaluación de niveles de nitrógeno y azufre en el sistema de cultivo Maíz-Ajonjolí en el Parcelamiento La Máquina", a presentarse como requisito parcial para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo.

Habiendo concluido la asesoría y revisado el texto final, me permito indicar al Señor Decano que considero de gran importancia para la agricultura del Parcelamiento La Máquina las conclusiones a que se llegó en este estudio y por lo cual es merecedor de su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Deferentemente,



Ing. Luis A. Estrada Ligorria  
Colegiado Número 140.

Guatemala, agosto de 1985

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos  
Ciudad

Distinguidos Señores:

De conformidad a lo que establece la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado "EVALUACION DE NIVELES DE NITROGENO Y AZUFRE EN EL SISTEMA DE CULTIVO MAIZ-AJONJOLI EN EL PARCELAMIENTO "LA MAQUINA".

Presentándolo como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Atentamente

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is cursive and appears to read "Julio Maldonado".

Br. Julio Javier Maldonado Martínez

## ACTO QUE DEDICO

- A DIOS TODOPODEROSO* Luz divina que ha iluminado el camino de mi vida.
- A mis Padres* Rogelio Fidelino Maldonado Barrios  
Enma Trinidad Martínez de Maldonado  
Con todo mi corazón, ya que con la pureza de sus arduos sacrificios lograron sacarme avante durante estos años maravillosos.
- A mi Hermana* Isabel Cristina Maldonado Martínez  
Con cariño y gratitud por sus sabios consejos.
- A mis Abuelitas* Alicia Urizar Vda. de Martínez  
Romelia Eufrosia Barrios  
Con cariño
- A mi Familia en general*
- A mis amigos*
- Y en especial a:* Carlos y Manuel Manzo, Aida Cifuentes,  
Miguel Mazariegos y Juan José Mazariegos.

## TESIS QUE DEDICO

- A: *MI PATRIA GUATEMALA*
- A: *MI PUEBLO NATAL, SAN FRANCISCO ZAPOTITLAN,  
SUCHITEPEQUEZ*
- A: *LA ESCUELA NACIONAL "15 DE SEPTIEMBRE"*
- A: *EL INSTITUTO "ADOLFO V. HALL" DEL SUR*
- A: *EL COLEGIO "NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO"*
- A: *LA FACULTAD DE AGRONOMIA*
- A: *LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA*
- A: *LOS AGRICULTORES DEL PARCELAMIENTO "LA  
MAQUINA"*

#### AGRADECIMIENTO

*Al Ingeniero Agrónomo Luis A. Estrada Ligorria, por su interés y dedicación en la asesoría y revisión del presente trabajo.*

*Al personal técnico del Laboratorio del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas por su valiosa colaboración.*

## CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	i
INDICE DE GRAFICAS .....	ii
RESUMEN.....	iii
I. INTRODUCCION .....	1
II. OBJETIVOS .....	3
III. HIPOTESIS .....	5
IV. REVISION DE LITERATURA .....	7
4.1) Estudios sobre fertilización de maíz en el parcelamiento "La Máquina" .....	7
4.2) Estudios sobre fertilización de ajonjolí en el parcelamiento "La Máquina" .....	8
4.3) Estudios sobre efectos residuales de fertilización en el sistema de cultivo maíz-ajonjolí en el parcelamiento "La Máquina" .....	9
4.4) El nitrógeno en el suelo .....	9
4.5) El azufre en el suelo .....	11
4.6) Diagnóstico foliar .....	13
4.7) Normas para la toma de muestras de plantas de maíz y ajonjolí.....	15

	<b>Página</b>
V. <i>MATERIALES Y METODOS</i> .....	17
5.1) <i>Localización y características del lugar experimental</i> .....	17
5.2) <i>Materiales</i> .....	17
5.3) <i>Espacios de exploración</i> .....	18
5.4) <i>Diseño de tratamientos</i> .....	18
5.5) <i>Diseño experimental</i> .....	19
5.6) <i>Tamaño de la unidad experimental</i> .....	22
5.7) <i>Manejo del experimento</i> .....	22
5.8) <i>Metodología de análisis e interpretación de resultados</i> .....	23
5.9) <i>Datos a tomar</i> .....	24
VI. <i>RESULTADOS Y DISCUSION</i> .....	27
6.1) <i>De los análisis de suelos</i> .....	27
6.2) <i>De los análisis foliares</i> .....	28
6.3) <i>De los rendimientos</i> .....	29
6.4) <i>De los andevas de rendimientos</i> .....	33
6.5) <i>Del análisis económico</i> .....	35
6.6) <i>Del porque de la no respuesta</i> .....	38

	<b>Página</b>
VII. CONCLUSIONES.....	41
VIII. RECOMENDACIONES .....	43
IX. BIBLIOGRAFIA .....	45

## INDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO 1. Niveles de nutrimentos en la hoja de la mazorca del maíz a la iniciación de la formación del cabello, en varios estados nutricionales de la planta.....	16
CUADRO 2. Tratamientos seleccionados de acuerdo con la matriz Plan Puebla I, y tratamientos contrastes para evaluar la residualidad del azufre así como posible respuesta de fósforo y .....	20
CUADRO 3. Tratamientos seleccionados de acuerdo con la matriz PPI, y tratamientos contrastes para evaluar la residualidad del azufre así como posible respuesta de fósforo y potasio para cada cultivo en forma individual.....	21
CUADRO 4. Disponibilidad de los nutrimentos en el suelo de la localidad en estudio (0-20 cms)	27
CUADRO 5. Promedio del análisis foliar de las hojas de maíz.....	28
CUADRO 6. Rendimientos promedio en Kg/ha de maíz y ajonjolí en forma individual, así como del sistema maíz-ajonjolí corregidos por peso equivalente.....	30
CUADRO 7. Andeva que incluye todos los tratamientos del ensayo.....	34

CUADRO 8.	<i>Andeva que incluye solamente los tratamientos de la matriz Plan Puebla I.....</i>	34
CUADRO 9.	<i>Resultados del análisis económico por el método gráfico estadístico para el sistema de cultivo maíz-ajonjolí.....</i>	36
CUADRO 10.	<i>Resultados del análisis económico por el método gráfico estadístico, para cada cultivo en forma individual.....</i>	37

#### INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA 1.	<i>Efecto del nitrógeno sobre los rendimientos promedio del sistema de cultivo maíz-ajonjolí, corregidos por peso equivalente.....</i>	31
GRAFICA 2.	<i>Efecto del azufre sobre los rendimientos promedio del sistema de cultivo maíz-ajonjolí, corregidos por peso equivalente.....</i>	32

## RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la línea B4 del parcelamiento "La Máquina", Cuyotenango, Suchitepéquez.

Los objetivos del trabajo fueron: Evaluar el efecto de distintos niveles de nitrógeno y azufre sobre el rendimiento del sistema de cultivo maíz-ajonjolí; determinar el efecto residual del azufre aplicado al maíz sobre el rendimiento del ajonjolí y determinar el nivel de fertilización de nitrógeno y azufre en el sistema de cultivo maíz-ajonjolí.

El material experimental usado en maíz fue el híbrido HA-44 y en ajonjolí fue la variedad Cuyumaquí; asimismo se utilizó las siguientes fuentes de nutrimentos: urea, sulfato de amonio, triple superfosfato, muriato de potasio y yeso.

El rango de exploración de los nutrimentos estudiados se determinó con base en estudios realizados anteriormente en el parcelamiento.

El diseño de tratamientos se realizó utilizando la matriz experimental Plan Pueblo I, con los siguientes niveles de nutrimentos: Nitrógeno 60 - 120 - 180 - 240 Kg/ha y Azufre 0 - 50 - 100 y 150 Kg/ha.

El diseño experimental usado fue el de bloques al azar con cuatro repeticiones.

En base a los resultados se concluye que:

Los niveles de nitrógeno y azufre evaluados, no tuvieron efecto significativo sobre el rendimiento del sistema de cultivo maíz-ajonjolí.

Los niveles de azufre aplicados al maíz no tienen efecto residual sobre el cultivo del ajonjolí ya que los resultados tuvieron un abatimiento.

El nivel de nitrógeno y azufre es el mínimo estudiado para

nitrógeno equivalente a 60 Kg de N/ha y 50 Kg de S/ha para un rendimiento de 7596.98 Kg/ha referidos al peso equivalente de maíz y una tasa marginal de retorno al capital de 1.58.

*En base a este estudio se recomienda lo siguiente:*

*No fertilizar al maíz y fertilizar al ajonjolí aplicando 30 Kg de N/ha y 25 Kg de S/ha para obtener un rendimiento de 827.60 Kg/ha de ajonjolí y una tasa marginal de retorno al capital de 3.10.*

*Continuar este tipo de estudios en tierras no descansadas e involucrar densidad de población en maíz para observar una mejor respuesta a la aplicación de fertilizantes.*

## I. INTRODUCCION

En el parcelamiento "La Máquina", Cuyotenango, Suchitepéquez; el maíz y el ajonjolí se siembran en forma intercalada, siendo la siembra de maíz en el mes de mayo y la de ajonjolí en el mes de agosto.

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) en 1977 (11), reporta que el rendimiento promedio de maíz para los tres sectores del cual consta el parcelamiento fue de 2012.34 Kg/ha; y en 1978 (12), informa que el rendimiento promedio de ajonjolí fue de 446.10 Kg/ha; estos rendimientos se consideran bajos, comparados con los que reporta el ICTA en 1974 (9), que son de 4769 Kg/ha de maíz y los que reporta Palencia en 1973 (22) para ajonjolí que son de 1292 Kg/ha.

Sobre fertilización puede considerarse que es una práctica muy poco acostumbrada por los agricultores del parcelamiento, debido a la incertidumbre que se tiene sobre su respuesta, pues en diferentes ensayos realizados en maíz, se ha notado que no responden a niveles de fertilización, porque el tratamiento testigo al cual no se le adiciona fertilizante proporciona un rendimiento estadísticamente igual y más económico sobre los diferentes tratamientos; en cuanto al cultivo del ajonjolí en el parcelamiento no se acostumbra la práctica de la fertilización.

Es de observarse que los estudios de fertilización realizados, han sido dirigidos para evaluar el efecto de fertilización en los cultivos mencionados en forma individual y no como un sistema de cultivo.

## II. OBJETIVOS

- 1)- *Evaluar el efecto de distintos niveles de nitrógeno y azufre sobre el rendimiento del sistema de cultivo maíz-ajonjolí.*
- 2)- *Determinar el efecto residual del azufre aplicado al maíz sobre el rendimiento del ajonjolí.*
- 3)- *Determinar el nivel de fertilización con nitrógeno y azufre en el sistema de cultivo maíz-ajonjolí.*

### III. HIPOTESIS

- 1)- *Los niveles de nitrógeno y azufre aplicados al suelo tendrán igual efecto sobre el rendimiento del sistema de cultivo maíz-ajonjolí.*
- 2)- *Los niveles de azufre aplicados al maíz tendrán igual efecto residual sobre el rendimiento del cultivo del ajonjolí.*
- 3)- *Los niveles de aplicación de nitrógeno y azufre al sistema de cultivo maíz-ajonjolí estarán dentro de los espacios de exploración.*

#### IV. REVISION DE LITERATURA

Según CATIE (3), "investigaciones realizadas en Taiwán y el IIRRI en Filipinas, demostraron que es posible aumentar entre tres a cuatro veces la producción de cultivos mediante el buen uso de sistemas de cultivos".

En resultados preliminares del CATIE se muestra que los sistemas tradicionales de cultivos mixtos o asociados son eficientes en producción y que con algunas mejoras tecnológicas, sin cambiar la tradición del agricultor, producirán aumentos considerables en la producción de cultivos alimenticios.

##### 4.1) Estudios sobre fertilización de maíz en el parcelamiento.

Ortiz Mayén en 1961 (20), informa que en base a experimentos realizados en varias zonas de Guatemala, recomienda para la zona sur, seca a húmeda, una aplicación de 80 Kg de N/ha aplicados cuando la planta tiene una altura de 75 centímetros.

Kuile Ter en 1963 (15), informa que para las regiones de tierra baja (menor de 800 m.s.n.m.) de Guatemala, los rendimientos y las respuestas a los fertilizantes fueron bajos, debido al factor limitante de la sequía. Ninguno de los tratamientos de fertilizantes dio respuesta económica y la máxima respuesta correspondió al tratamiento N - P. En los ensayos la respuesta máxima fue a la aplicación de 150 Kg de N/ha, pero la respuesta más económica se obtuvo con la combinación 75 - 40 - 0.

En el parcelamiento "La Máquina" en el año de 1973 (22), se instaló un ensayo con niveles crecientes de nitrógeno en maíz, no encontrándose respuesta al uso de fertilizantes, ya que el testigo fue el tratamiento de mayor rendimiento.

Con el propósito de evaluar la respuesta del maíz a la

fertilización nitrogenada, se llevó a cabo durante 1974 por parte del ICTA (9), una serie de ensayos en la Costa Sur; 6 de 9 ensayos mostraron respuesta a la fertilización con nitrógeno, hasta el nivel de 85 Kg de N/ha, se incrementaron los rendimientos de 3049 a 4769 Kg/ha de maíz, a una tasa de 20.48 Kg de maíz producidos por Kg de nitrógeno aplicado, equivalente a una relación beneficio/costo de 3.2:1.

Matheu en 1976 (17), informa que en el parcelamiento "La Máquina" en un ensayo de fertilización, observó respuesta a la aplicación de nitrógeno, habiéndose obtenido un incremento en el rendimiento de 835.75 Kg/ha de maíz con una adición de 120 Kg de N/ha en relación a lo observado con 0 Kg de N/ha.

El ICTA en 1976 (10), recomendó a los agricultores del parcelamiento "La Máquina" que no fertilizaran, porque si bien es cierto que aumentaba ligeramente la producción de maíz, también aumentaban los costos de producción, por lo que la rentabilidad era baja y a veces hasta negativa.

#### 4.2) Estudios sobre fertilización de ajonjolí en el parcelamiento

Palencia en 1973 (22), informa que en el parcelamiento "La Máquina" fueron conducidos dos ensayos para nitrógeno y dos para fósforo, de los cuales sólo en un ensayo de nitrógeno se observó respuesta, la cual fue de 9.5 Kg de ajonjolí producidos por Kg de nitrógeno aplicado, con rendimientos que variaron de 640 Kg/ha (testigo) a 1292 Kg/ha de ajonjolí con la aplicación de 69 Kg de N/ha dando una relación beneficio/costo de 4.75:1.

Escobar en 1974 (6), reporta que únicamente el 8.5 o/o de los agricultores que siembran ajonjolí fertilizan, además concluye que la fertilización es una práctica que no se efectúa en el ajonjolí y los pocos casos registrados manifiestan una aplicación incorrecta, siendo los motivos entre otros, la falta de recursos económicos y de asistencia técnica.

#### 4.3) Estudios sobre efectos residuales de fertilización en el sistema de cultivo maíz-ajonjolí en el parcelamiento

Ralda en 1977 (24), informa que en la línea B-6 del parcelamiento "La Máquina", se dieron los siguientes resultados:

Al aplicar 105 Kg de N/ha al maíz, se requieren de 0 Kg de N/ha para obtener un rendimiento favorable de ajonjolí, ya que al adicionar nitrógeno al segundo cultivo se produce un efecto negativo en el rendimiento del mismo.

Cuando la aplicación al maíz es de 75 Kg de N/ha, se requieren de 43.2 Kg de N/ha de aplicación al ajonjolí, con una tasa de respuesta de 28.1 Kg de ajonjolí por Kg de nitrógeno aplicado, para obtener un rendimiento de ajonjolí de 712 Kg/ha.

Cuando la aplicación al maíz es de 45 Kg de N/ha, se requieren de 73.8 Kg de N/ha de aplicación al ajonjolí, con una tasa de respuesta de 28.6 Kg de ajonjolí por Kg de nitrógeno aplicado, para obtener un rendimiento de 727 Kg/ha de ajonjolí.

Cuando la aplicación al maíz es de 0 Kg de N/ha, se requieren de 63.8 Kg de N/ha de aplicación al ajonjolí, con una tasa de respuesta de 23.98 Kg de ajonjolí por Kg de nitrógeno aplicado, para obtener un rendimiento de ajonjolí de 647 Kg/ha.

#### 4.4) El Nitrógeno en el suelo

El nitrógeno del suelo es uno de los elementos más importantes utilizado por las plantas para su crecimiento; su importancia radica en que es el elemento que las plantas necesitan en mayores cantidades para formar parte del protoplasma celular; es un nutriente que generalmente se encuentra deficiente en todos los suelos y el cual se pierde fácilmente por lixiviación (23).

Los procesos de abastecimiento y de pérdida determinan el

nitrógeno neto disponible. Los canales de pérdida y el proceso de absorción determinan la eficiencia de uso de la planta. La naturaleza y el rendimiento del cultivo determinan la necesidad total. Debido a que los procesos de asimilación de la planta no son totalmente eficientes y porque el nitrógeno puede perderse del sistema del suelo, el abastecimiento disponible debe exceder siempre al uso del cultivo.

Los procesos naturales de abastecimiento incluyen: 1) La mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo, residuos del cultivo y del proceso inverso de inmovilización en la descomposición de desechos de plantas, animales y de la materia orgánica del suelo; 2) La fijación del nitrógeno de la atmósfera principalmente a través de procesos biológicos; 3) El nitrógeno añadido por medio de lluvias y otras formas de precipitación, y 4) Algunas liberaciones de nitrógeno a través de la meteorización de los minerales primarios del suelo. Hasta el advenimiento de los fertilizantes químicos, la agricultura dependía solamente de los procesos naturales de abastecimiento para la producción de cultivos (1).

El nitrógeno en la materia orgánica del suelo ha sido y es todavía una fuente importante de abastecimiento de este elemento para la producción agrícola.

Sin embargo el nitrógeno del suelo no es inagotable y debe disminuir en cantidad, ya que abastece con contribuciones netas a los cultivos que crecen en ese suelo. El nitrógeno en el suelo se encuentra principalmente en forma orgánica y es parte integral del sistema de la materia orgánica de éste. Los cambios producidos en la materia orgánica están siempre acompañados con cambios similares en el nitrógeno aplicado (1).

Los procesos de movimiento y pérdida son importantes bajo muchas circunstancias, para regular los abastecimientos de nitrógeno disponible en el suelo. El desplazamiento vertical del nitrógeno por el agua en las zonas radicales de los cultivos, eventualmente culmina en lixiviación dentro del agua subterránea y de drenaje; probablemente

es la razón por la cual se pierde la mayor cantidad de nitrógeno. El grado y severidad del movimiento vertical y de lixiviación dependen totalmente de los regímenes de infiltración de agua y de transpiración de un suelo en particular.

Los procesos de pérdidas volátiles de nitrógeno pueden ocurrir por desnitrificación o por volatilización del amoníaco. Los productos volátiles en la desnitrificación pueden ser óxidos de nitrógeno o gas nitrogenado. Las condiciones del suelo que fomentan la desnitrificación son: 1)- La presencia de nitrógeno en forma oxidada (nitratos y nitritos); 2)- La energía nutritiva para la actividad microbológica y 3)- La presión parcial baja de oxígeno en el aire del suelo (1).

En la volatilización del amoníaco el producto que se pierde es el amoníaco. Las pérdidas de volatilización son variables y dependientes de la naturaleza del suelo y de la clase de amoníaco que produce el fertilizante aplicado. En general, las pérdidas de éste ocurren cuando se aplica al suelo materiales que producen amoníaco en concentraciones que exceden a las capacidades de adsorber y retener el suelo (1).

#### 4.5) El Azufre en el suelo

El azufre es un cuerpo simple que se encuentra en varios estados, es un sólido de color amarillo, frágil, insoluble en agua, poco soluble en alcohol y muy soluble en sulfuro de carbono. La temperatura óptima de su acción modificadora de la flora microbiana del suelo es de 25 a 35°C (16).

La corteza terrestre contiene aproximadamente 0.06o/o de azufre y se halla en forma de sulfuros, sulfatos y en combinación orgánica con carbono y nitrógeno. El azufre, en la mayor parte de los terrenos arables, está en forma de materia orgánica, sulfatos solubles en la solución del suelo o adsorbido en el complejo de intercambio del suelo. En las regiones húmedas predomina la forma orgánica (27).

El azufre orgánico presente en la materia orgánica proviene de los residuos vegetales y animales caídos al suelo. Por consiguiente es un componente de las proteínas, aminoácidos, péptidos y tiocianatos (27).

Las relaciones carbono/azufre orgánico tienen valores que son alrededor de 100 y en casos extremos pueden llegar a valores de 600 a 700. El azufre inorgánico lo encontramos en forma de sulfatos y solamente en casos de anaerobismo se presentan sulfuros como la piritita pero al restablecerse las condiciones aeróbicas los sulfuros se transforman rápidamente en sulfatos. En suelos bien aireados hasta el 10% del azufre inorgánico se presenta como sulfuro, predominando los sulfatos dentro del grupo inorgánico, los cuales se encuentran en la solución del suelo adsorbidos en el complejo de intercambio aniónico y como sulfatos insolubles (7).

El azufre no actúa sobre los fermentos nitrosos, sin embargo favorece la transformación de los fermentos nítricos. La acción favorable del azufre se manifiesta, sobre todo, en los fermentos amonizantes que transforman en el suelo las materias nitrogenadas complejas en amoníaco. El trabajo de los microbios amonizantes del suelo es considerablemente activado por la presencia del azufre; al cabo de 10 días se encuentra un 50% más de amoníaco en suelos que contienen azufre. El nitrógeno total no varía, por lo que las bacterias fijadoras de nitrógeno libre, no son influenciadas por el azufre.

Estas observaciones demuestran que el papel favorable del azufre es debido a la influencia activante que ejerce en las bacterias que reducen las materias nitrogenadas complejas al estado de amoníaco (7).

En presencia de azufre la planta es capaz de adsorber mayores cantidades de sales amoníacales directamente asimilables y se manifiesta ordinariamente en un aumento de los rendimientos. Una adición de azufre produce un consumo mayor de reservas nitrogenadas y es necesario compensar este consumo con aportaciones correspondientes de nitrógeno, para evitar empobrecer rápidamente

*estas reservas.*

*En resumen el azufre no es un elemento catalítico, sino que es un modificador de la flora microbiana del suelo; su acción respecto de las reservas orgánicas nitrogenadas del suelo deben ser bien dilucidadas antes de que se generalice su empleo en la agricultura.*

*El azufre se oxida en el suelo y se transforma en ácido sulfúrico, este fenómeno está relacionado, en parte, con la intervención de los microorganismos. En cultivos extensivos, el azufre se ha mostrado favorable en mezcla con el estiércol, pero su acción ha sido nula en presencia de algunos abonos minerales y orgánicos. Asociado con abonos nitrogenados ha dado resultados idénticos que un abono mineral completo (superfosfato, yeso sulfato de potasa) (7).*

#### **4.6) Diagnóstico Foliar**

*El análisis foliar, como técnica de diagnóstico de las necesidades nutritivas de las plantas, se basa en que las plantas y la hoja requieren una determinada concentración de cada uno de los nutrientes esenciales para el normal desenvolvimiento de las funciones que en ellas tienen lugar y de las cuales depende, en último extremo la producción.*

*Siendo la hoja el órgano principal donde se efectúa la elaboración de las sustancias para el crecimiento y fructificación, ella debe reflejar el estado de nutrición de la planta mejor que otros órganos; sin embargo en ciertos casos, otros son más adecuados (8).*

##### **4.6.1) Interpretación de los resultados analíticos**

*La correcta interpretación de los resultados obtenidos en el análisis de las hojas es la parte más compleja del método, debido a los múltiples factores que intervienen en el contenido de nutrientes en las hojas.*

La correcta interpretación del análisis foliar, así como las recomendaciones sobre fertilización, en un cultivo concreto, requiere un conocimiento de las características físico-químicas del suelo, ya que la absorción de nutrientes por la planta está influenciada por la naturaleza y condiciones del suelo. El análisis foliar nos indica si el cultivo se halla deficiente en un determinado nutriente, pero nada nos dice del porque de la deficiencia. Así un bajo contenido de potasio en la hoja puede proceder de un alto contenido de calcio en el suelo, por tratarse de un suelo calizo o por un excesivo enclamiento. El análisis foliar no excluye por tanto, el análisis del suelo, antes al contrario, ambos se complementan para una acertada solución del problema nutricional. No cabe duda que una evaluación de los demás factores que intervienen en el desarrollo de los vegetales han de tenerse en consideración. Por ejemplo; un bajo contenido de nitrógeno en la hoja de la caña de azúcar, puede deberse a una escasez de riego o bien a un deficiente drenaje (8).

#### 4.6.2) Aplicación del diagnóstico foliar

Una vez estimados los índices de nutrición óptimos, el análisis foliar sistemáticamente aplicado a un cultivo informa si el contenido de nutrientes es satisfactorio o no, en cuyo caso se tomarán las medidas oportunas, teniendo en cuenta los factores que intervienen en la absorción de los nutrientes para la planta.

En aquellas zonas donde se desarrollan programas de fertilización de acuerdo con la experiencia y con los resultados de los ensayos de campo, el análisis foliar es un instrumento valioso al proporcionar información sobre la eficiencia de las recomendaciones.

En la interpretación de los ensayos de campo con fertilizantes el análisis foliar proporciona información sobre el efecto de aquellos en el contenido de nutrientes en la planta, ello puede deberse a que las dosis son bajas, a tiempo y/o lugar de aplicación incorrectos, a interacciones físicas o químicas que impiden su absorción o bien que hay otro nutriente que es factor limitante principal.

Según todo lo anteriormente descrito, el análisis foliar es de innegable valor práctico para establecer el estado nutricional y poder efectuar recomendaciones de fertilizantes en caso necesario, obteniendo así las máximas producciones posibles (8).

#### 4.7) Norma para la toma de muestras de plantas de maíz y ajonjolí

Para maíz, según Chapman (4): Tómesese la primera hoja opuesta y por debajo de la última mazorca cuando se hayan formado por completo los penachos. Usese solamente el tercio central de la hoja. La forma de obtener la muestra es tomando muestras de plantas al azar, o bien dos diagonales (X) o bien las filas de las plantas. Selecciónese como mínimo 50 plantas.

Para ajonjolí: No se encontró ninguna referencia bibliográfica sobre la toma de muestras para análisis foliar, por lo que se hizo el muestreo foliar antes de la floración, tomándose una hoja intermedia por planta.

En el cuadro 1 se muestran los niveles de nutrimentos en maíz en varios estados nutricionales de la planta, a la iniciación de la formación del cabello. Jones (14).

Cuadro 1. Niveles de nutrimentos en la hoja de la mazorca del maíz a la iniciación de la formación del cabello, en varios estados nutricionales de la planta.

Estado nutricional de la planta *					
Elemento	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto	Exceso
o/o N	2.45	2.46-2.75	2.76-3.50	3.51-3.75	3.75
o/o P	0.15	0.16-0.24	0.25-0.40	0.41-0.50	0.50
o/o K	1.25	1.26-1.70	1.71-2.25	2.26-2.50	2.50
o/o S			0.10-0.30		

\*

Deficiente: 80 o/o del rendimiento máximo

Bajo: 80-90 o/o del rendimiento máximo

Suficiente: 90-100 o/o del rendimiento máximo

Exceso: 100 o/o del rendimiento máximo.

## V. MATERIALES Y METODOS

### 5.1) Localización y características del lugar experimental

El presente trabajo se realizó en la parcela No. 372, línea B-4 del parcelamiento "La Máquina", ubicada en el municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez.

Según Holdridge (18), el parcelamiento "La Máquina", está comprendido dentro de la zona tropical seca y zona tropical húmeda. Su posición geográfica es de 14°23' latitud norte y 91°53' longitud oeste, con una altura que varía entre 6 y 150 m.s.n.m., con una temperatura promedio mínima de 24°C y máxima de 37°C. La precipitación anual media es de 1860 mm, distribuidos principalmente entre los meses de mayo a octubre, contando con un promedio anual de 107 días de lluvia. La topografía es generalmente plana, con ligeras ondulaciones, con desniveles del 3 y 4 o/o generalmente, encontrándose también desniveles del 30 o/o (13).

Simmons (26), indica que los suelos del área corresponden a la serie de suelos Ixtán-arcillosos, los cuales son de origen volcánico, cementado aluvial, relieve casi plano, con drenaje bueno, textura arcillo-plástica, color café oscuro, con espesor del horizonte "A" de 10 cms; habiendo también suelos arcillo-arenosos, sin ninguna capa que limite la penetración de raíces.

### 5.2) Materiales

Para maíz se utilizó el híbrido HA-44.

Para ajonjolí se utilizó la variedad Cuyumaquí.

Fuente de nutrimentos aplicados al suelo:

1)- Urea : 46 o/o N

- 2) Sulfato de amonio: 21 o/o N + 24 o/o S
- 3) Yeso: 23.55 o/o S (tamizado a 100 mesh)
- 4) Triple superfosfato: 46 o/o  $P_2O_5$
- 5) Cloruro o muriato de potasio: 60 o/o  $K_2O$

### 5.3) Espacio de Exploración

Los niveles usados de nitrógeno y potasio fueron:

N	=	60	120	180	240	Kg/ha.
S	=	0	50	100	150	Kg/ha.

Los niveles de nitrógeno se tomaron en base a los que reportó Ralda Castillo en 1977 (24), en el cual reporta que con 120 Kg de N/ha aplicados al sistema maíz-ajonjolí se obtendrán los mejores rendimientos.

Los niveles de azufre se tomaron en base a lo que reportó Ranero Cabarrus en 1974 (25), el cual reporta que 50 Kg de S/ha eran suficientes para suplir cualquier deficiencia de este elemento por severa que fuera en el suelo Ixtán; también por la respuesta que dio el azufre a los suelos Ixtán-arcillosos en el invernadero de suelos del ICTA que fue de 60 ppm, equivalentes a 120 Kg de S/ha (\*).

Estos fueron los niveles que se aplicaron a todo el sistema de cultivo maíz-ajonjolí, pero para cada cultivo en forma individual se aplicó el 50o/o de cada nivel.

### 5.4) Diseño de Tratamientos

El diseño de tratamientos corresponde al de la Matriz Experimental Plan Puebla I (PPI), y tratamientos contrastes para evaluar la residualidad del yeso, y respuesta a P y K, los cuales se

---

(\*) MAYORGA, R.M. Laboratorio de suelos del ICTA. Guatemala 1984. Comunicación personal.

muestran en el cuadro 4.2.

El número de tratamientos de la matriz PPI, es de  $2^k + 2k$ , donde  $k$  representa el número de factores involucrados.

Por lo que el número de tratamientos será:

$$k = 2 \text{ (Nitrógeno y azufre)}$$

$$2^2 + 2(2) = 8 \text{ tratamientos de la matriz PPI.}$$

Los niveles segundo y tercero de la matriz PPI (120 - 180 Kg de N/ha y 50 - 100 Kg de S/ha), se usan para integrar el factorial completo  $2^k$ , en tanto que los niveles primero y cuarto de la matriz PPI (60 - 240 Kg de N/ha y 0 - 150 Kg de S/ha), se usan para formar prolongaciones de algunas de las aristas del factorial  $2^k$  (29).

#### 5.5) Diseño Experimental

El diseño experimental usado fue el de bloques al azar, con cuatro repeticiones y 14 tratamientos, cuyo modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = M + R_i + T_j + E_{ij}$$

$$E_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta de la  $ij$ -ésima unidad experimental.

$M$  = Efecto de la media general.

$R_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo bloque.

$T_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo tratamiento.

$E_{ij}$  = Error experimental de la  $ij$ -ésima unidad experimental.

**Cuadro 2.** *Tratamientos seleccionados de acuerdo con la matriz Plan Puebla I, y tratamientos contrastes para evaluar la residualidad del yeso, así como posible respuesta de fósforo v potasio.*

Tratamiento	Nitrógeno (Kg/ha)	Azufre (Kg/ha)	Fósforo (Kg/ha)	Potasio (Kg/ha)
1	120	50		
2	120	100		
3	180	50		
4	180	100		
5	60	50		
6	240	100		
7	120	0		
8	180	150		
9 (*)	180	50		
10 (*)	180	100		
11	180	100	30	0
12	180	100	0	30
13	180	100	30	30
14	0	0	0	0

(\*) Los tratamientos 9 y 10, se aplicó azufre en forma de yeso al maíz, para medir el efecto residual en el ajonjolí.

En este cuadro, se muestran los tratamientos aplicados al sistema de cultivo maíz-ajonjolí, los tratamientos para cada cultivo en forma individual están detallados en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** *Tratamientos seleccionados de acuerdo con la matriz PPI y tratamientos contrastes para evaluar la residualidad del azufre, así como posible respuesta de fósforo y potasio, para cada cultivo en forma individual.*

Tratamiento	Nitrógeno (Kg/ha)	Azufre (Kg/ha)	Fósforo (Kg/ha)	Potasio (Kg/ha)
1	60	25		
2	60	50		
3	90	25		
4	90	50		
5	30	25		
6	120	50		
7	60	0		
8	90	75		
9 (*)	90	50		
10 (*)	90	100		
11	90	50	15	0
12	90	50	0	15
13	90	50	15	15
14	0	0	0	0

Los primeros 8 tratamientos del cuadro 3, corresponden a la matriz PPI y se aplicaron al maíz y al ajonjolí en igual cantidad.

(\*) Los tratamientos 9 y 10 se utilizaron para evaluar el efecto residual del azufre, aplicando yeso, ya que este fue el único material que se encontró disponible en el mercado que contenía azufre en un 23.55o/o. El yeso fue aplicado en medio de los surcos de maíz y no se aplicó al ajonjolí para así poder observar en su rendimiento si había o no efecto residual. El nitrógeno si se aplicó a los dos cultivos.

Los tratamientos 11, 12 y 13; se aplicaron a cada cultivo en igual cantidad, para evaluar la posible respuesta a P y K.

El tratamiento 14 fue el testigo, al cual no se le aplicó nada.

#### 5.6) Tamaño de la Unidad Experimental

Para maíz: se tomaron 5 surcos de 5 mts de largo cada uno y espaciados a 0.90 mts, lo que hace un total de 22.50 mts<sup>2</sup> de área bruta. Para la evaluación de los resultados se tomaron los tres surcos centrales, lo que hace un total de 13.50 mts<sup>2</sup> de área neta.

Para ajonjolí: Se tomaron 4 surcos de 5 mts de largo cada uno y espaciados a 0.90 mts, lo que hace un total de 18 mts<sup>2</sup> de área bruta. Para la evaluación de los resultados se tomaron los dos surcos centrales, lo que hace un total de 9 mts<sup>2</sup> de área neta.

#### 5.7) Manejo del Experimento

Manejo previo = Se reportó que las tierras donde se llevó a cabo el experimento eran tierras que anteriormente estuvieron sembradas de pastos durante 12 años, sin someterlas a ningún tipo de cultivo intensivo; por lo que eran tierras descansadas.

Preparación del terreno = Esta se realizó mediante un paso de arado a una profundidad de 30 cms y 2 pasos de rastra.

Siembra = La siembra se efectuó a mano, para los dos cultivos siendo de la siguiente forma:

Maíz: Se efectuó el 24 de mayo de 1984, a 90 cms entre surcos, 50 cms entre plantas y dos granos/postura.

Ajonjolí: Se efectuó el 16 de agosto de 1984, en medio de los surcos de maíz, por lo que también fue a 90 cms entre surcos y 50 cms entre plantas y de 5 a 8 granos/postura.

Fertilización = Se realizó de la siguiente manera:

*Maíz: La primera fertilización se hizo a los 10 días de haber nacido la planta, aplicando nitrógeno y todo el azufre en forma de sulfato de amonio, el fósforo en forma de triple superfosfato y el potasio en forma de muriato de potasio. La segunda fertilización se hizo a los 40 días de haber nacido la planta, aplicando el resto de nitrógeno en forma de urea, realizándose las dos aplicaciones en forma localizada a 5 cms de la planta.*

*Ajonjolí: Se realizó de la misma forma que la del maíz.*

*Control = Se realizó de la siguiente manera:*

*Maíz: Se hizo control de plagas del follaje con Volatón al 2.50/o (granulado), control de plagas del suelo con Aldrín al 2.50/o incorporándolo con un paso de rastra; el control de malezas se hizo manual, haciéndose 2 limpias.*

*Ajonjolí: El control de plagas del follaje se hizo con Tamaron y el control de malezas se hizo manual, realizándose 2 limpias.*

## **5.8) Metodología de Análisis e Interpretación de Resultados**

*Los análisis e interpretación de resultados se llevaron a cabo de la siguiente forma:*

### **5.8.1) Análisis de suelos**

*Los análisis de suelos se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos del ICTA, de la siguiente manera:*

*La determinación de P, K, Ca y Mg se hizo por medio de la solución extractora de Carolina del Norte (0.05 N de HCl + 0.025 N de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y se tomó la lectura mediante un espectrofotómetro de absorción atómica. La determinación del pH se hizo mediante una lectura en el pHmetro. (5)*

### 5.8.2) Análisis Foliar

Los análisis foliares se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos del ICTA, de la siguiente manera:

La determinación de nitrógeno se hizo por medio del método Micro-Kjeldahl y los restantes elementos por medio de Incineración en seco, siendo tomadas las lecturas también en el espectrofotómetro de absorción atómica (5).

### 5.8.3) Análisis Estadístico

Para evaluar el efecto de los niveles de fertilizantes sobre el rendimiento del sistema de cultivo maíz-ajonjolí, se utilizó un análisis de varianza de acuerdo al modelo estadístico descrito anteriormente. (21)

Las variables de respuesta que fueron dadas en rendimientos de Kgs/ha, fueron transformadas a pesos equivalentes referidos al cultivo del maíz, en base a la ecuación:

$$P.E. = \text{Kgs de maíz} + (\text{Kgs de ajonjolí} \times \frac{\text{precio 1 Kg ajonjolí}}{\text{precio 1 Kg maíz}})$$

### 5.8.4) Análisis Económico

El análisis económico se hizo en base al método gráfico-estadístico para la interpretación económica de experimentos conducidos con la matriz PPI, para determinar la tasa marginal de retorno a capital (TRMC) (28).

## 5.9 Datos a tomar

- i)- Se tomaron muestras de suelo al inicio, intermedio y final del ciclo del sistema de cultivo maíz-ajonjolí, a profundidades de 20 cms.

- ii) *Muestras de tejido vegetal de maíz y ajonjolí, en nuestro caso se tomaron muestras de hojas para su respectivo análisis foliar.*
- iii) *Rendimiento de maíz y ajonjolí al 14o/o de humedad, por unidad experimental en Kg/ha.*

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1) De los Análisis de suelos

Los resultados de la disponibilidad de nutrimentos en el suelo se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Disponibilidad de los nutrimentos en el suelo de la localidad en estudio (0 - 20 cms).

Muestreo	pH	Microgramos/ml		Meq/100 ml de suelo		o/o M.O.
		P	K	Ca	Mg	
Inicial	6.40	9.40	131	13.46	3.65	5.49
Intermedio	6.40	5.29	118	12.39	3.33	
Final	6.00	3.65	153	14.09	3.69	

En el cuadro 4, se observa que el pH se mantuvo adecuado, durante todo el ciclo del cultivo, por lo tanto se esperaba que los nutrimentos se encontraran disponibles para las plantas.

En cuanto al fósforo, este elemento al inicio del ensayo se presentó en cantidades altas (nivel crítico 7 Mg/ml) o adecuadas, y a medida que el ensayo se fue realizando hubo una tendencia a bajar, por lo que al final se presentó como deficiente (22).

El comportamiento del potasio durante el ensayo fue adecuado, de acuerdo al nivel crítico de 60 Mg/ml establecido por Palencia en 1973 (22).

El calcio y el magnesio se comportaron adecuados tanto al principio como al final del ensayo, por lo que se considera que los

mismos no fueron limitantes para el desarrollo del cultivo (7).

La materia orgánica al inicio del ensayo se presentó adecuada según Castillo (2).

## 6.2) De los Análisis Foliare

Los resultados promedio de cada tratamiento aplicado al maíz, se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Promedio del análisis foliar de las hojas de maíz.

No.	Tratamientos (Kg/ha)				Porcentaje Promedio (o/o)			
	N	S	P	K	N	P	K	S
1	60	25			2.64	0.26	1.94	0.42
2	60	50			2.46	0.30	1.91	0.39
3	90	25			3.24	0.30	2.03	0.48
4	90	50			2.63	0.26	2.32	0.47
5	30	25			2.65	0.28	1.99	0.31
6	120	50			2.78	0.30	1.93	0.52
7	60	0			2.59	0.26	2.37	0.38
8	90	75			2.84	0.20	2.05	0.47
9	90	50			2.81	0.28	2.26	0.35
10	90	100			2.76	0.30	2.30	0.45
11	90	50	15	0	2.81	0.27	1.98	0.32
12	90	50	0	15	2.86	0.27	2.33	0.55
13	90	50	15	15	2.78	0.30	1.90	0.57
14	0	0	0	0	2.36	0.30	2.31	0.55

Del cuadro 5, se infiere que la variación de nitrógeno en el maíz fue de 2.36o/o en el testigo absoluto hasta un máximo de 3.24o/o en el tratamiento 3. Aunque de acuerdo a Jones (14), solamente el testigo absoluto se encuentra deficiente en el momento de muestreo.

En cuanto a la absorción de fósforo, la misma se dio en porcentajes que variaron de 0.26 a 0.30o/o, lo cual es un o/o de absorción adecuado (14).

El potasio tiene una variación de 1.90 a 2.37o/o que se considera como adecuada y finalmente el azufre tiene una variación de 0.31 a 0.57o/o que se considera como adecuada (14).

Los análisis foliares de los tratamientos del cultivo del ajonjolí no fueron realizados; debido a que hubo un error en el manejo de ellas en el laboratorio de suelos del ICTA.

### 6.3) De los Rendimientos

En el cuadro 6, se presentan los resultados de los rendimientos promedio para cada cultivo en forma individual, así como para el sistema de cultivo maíz-ajonjolí corregidos a peso equivalente respecto al maíz, habiéndose usado precios de Q 6.50/qq de maíz y Q 25.00/qq de ajonjolí.

En este cuadro 6, los primeros ocho tratamientos corresponden a los resultantes de la matriz PPI y en relación al nitrógeno, se nota que hay un efecto negativo sobre el rendimiento del sistema cuando el nivel de nitrógeno es superior a 60 Kg/ha tanto al nivel de 50 Kg de S/ha como al de 100 Kg de S/ha. Gráficamente, este efecto negativo se muestra en la figura 1, en la cual el azufre permanece constante en dos de sus niveles y el nitrógeno es el que se va incrementando. El efecto de los niveles crecientes de azufre se muestra en la figura 2, en donde se observa que con 120 Kg de N/ha y 100 Kg de S/ha se alcanza el máximo rendimiento que supera en 646.32 Kg/ha al rendimiento obtenido para 120 Kg de N/ha y 0 Kg de S/ha. A un nivel mayor de nitrógeno (180 Kg de N/ha) se observa un efecto negativo de las adiciones de azufre (figura 2 y tratamientos 3, 4 y 8 respectivamente en cuadro 6), ya que los rendimientos decrecen.

Los tratamientos 9 y 10 consignados en el cuadro 6, se

Cuadro 6. Rendimientos promedio en Kg/ha de maíz y ajonjolí en forma individual, así como del sistema maíz-ajonjolí corregidos por peso equivalente.

Tratamientos (Kg/ha)					Rendimiento Promedio (Kg/ha)		
No.	N	S	P	K	Maíz	Ajonjolí	Sistema
1	120	50			4203.70	740.91	7053.34
2	180	100			4455.93	843.37	7699.66
3	180	50			4624.07	733.02	7443.38
4	180	100			4371.85	748.79	7251.80
5	60	50			4413.89	827.60	7596.98
6	240	100			4497.96	677.85	7105.07
7	120	0			4203.70	740.91	7053.34
8	180	150			4035.56	725.14	6824.56
9	180	50	(*)		3909.45	654.20	6425.61
10	180	100	(*)		4329.81	677.85	6936.91
11	180	100	30	0	4413.88	882.78	7809.19
12	180	100	0	30	4371.85	811.84	7494.33
13	180	100	30	30	4624.08	851.25	7898.12
14	0	0	0	0	4287.78	701.40	6895.83

(\*) En los tratamientos 9 y 10 se aplicó nitrógeno a los dos cultivos, y sólo azufre en forma de yeso al maíz, para medir el efecto residual en el ajonjolí.

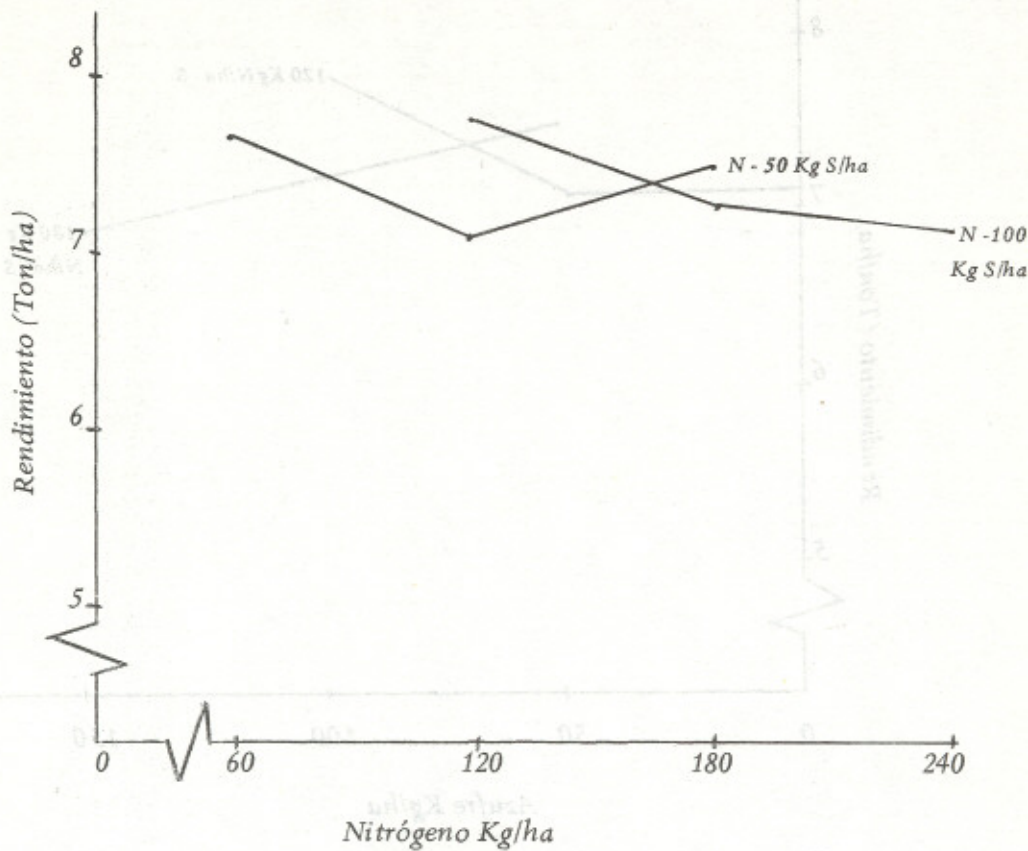


Figura 1. Efecto del nitrógeno sobre los rendimientos promedio del sistema de cultivo maíz-ajonjolí, corregidos por peso equivalente.

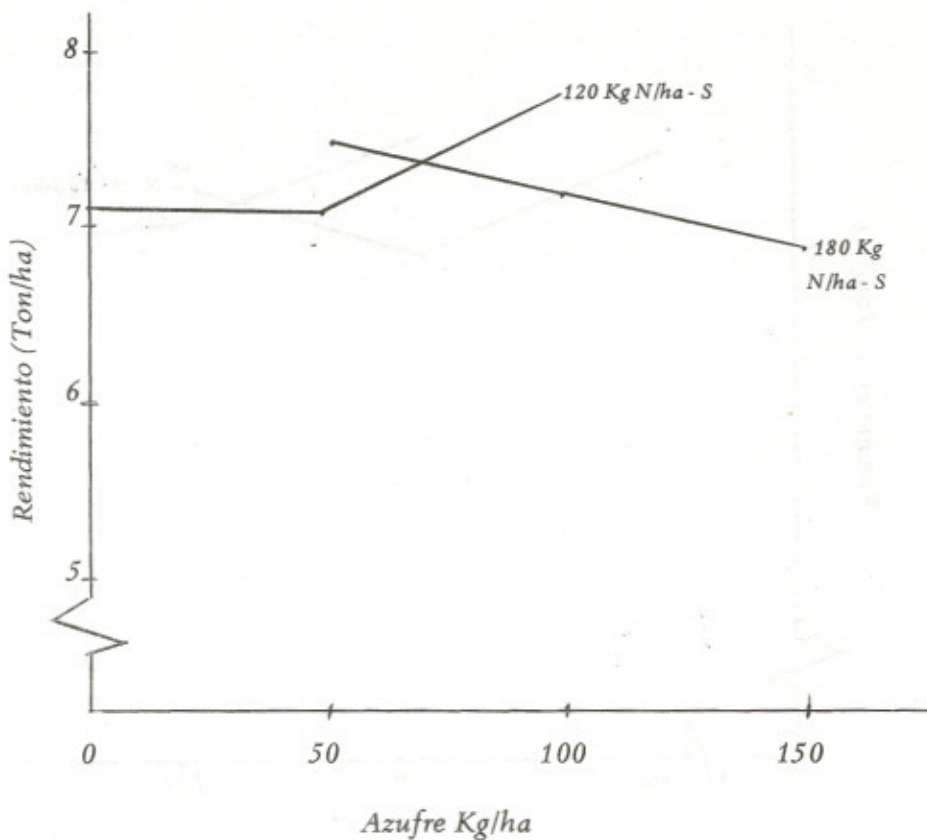


Figura 2. Efecto del azufre sobre los rendimientos promedio del sistema de cultivo maíz-ajonjolí, corregidos por peso equivalente.

evaluaron como contrastes para determinar si el azufre aplicado al maíz como  $\text{CaSO}_4$  (yeso), tenía un efecto residual sobre el ajonjolí y el resultado muestra que tanto para maíz como para ajonjolí, el efecto fue detrimental pues en estos tratamientos se obtuvieron rendimientos menores al obtenido en el testigo absoluto.

Como contrastes también se evaluaron los tratamientos 11, 12 y 13, con el propósito de determinar el efecto de la adición de fósforo (tratamiento 11), potasio (tratamiento 12) y fósforo y potasio (tratamiento 13) en adición a un nivel constante de nitrógeno y azufre.

Al respecto, al comparar el tratamiento 4 con 180 Kg de N/ha y 100 Kg de S/ha con el tratamiento 11 que equivale a 180 Kg de N 100 Kg S - 30 Kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha, se nota que al aplicar fósforo, el rendimiento del tratamiento 4 es superado en 557.39 Kg/ha y cuando se adiciona sólo potasio (tratamiento 12) y se compara con el tratamiento 4, el rendimiento de este último es superado tan solo en 242.53 Kg/ha. Al aplicar fósforo y potasio en adición a nitrógeno y azufre de acuerdo al tratamiento 13 del cuadro 6, se observa que el rendimiento de su comparador (tratamiento 4), se supera en 646.32 Kg/ha en donde el fósforo es el elemento aditivo de mayor contribución en este rendimiento.

#### 6.4) De los andevas de rendimientos

Los rendimientos observados por tratamiento y repetición, sirvieron de base para realizar el análisis de varianza cuyos resultados se presentan en los cuadros 7 y 8.

Cuadro 7. *Andeva que incluye todos los tratamientos del ensayo.*

F. V.	GL	S. C.	C. M.	F. C.	F <sub>t</sub>	
					0.10	0.05
Bloques	3	641029.30	213676.43	0.45		
Tratamientos	13	9115122.83	701163.29	1.47 NS	1.70	1.98
Error	39	18559374.43	475650.63			
Total	55	28306526.56				

NS: No significativo a una probabilidad de cometer error tipo I de 0.10

C.V. = 9.51o/o

Cuadro 8. *Andeva que incluye solamente los tratamientos de la matriz experimental Plan Puebla I.*

F. V.	GL	S. C.	C. M.	F. C.	F <sub>t</sub>	
					0.10	0.05
Bloques	3	1599372.52	533124.17	1.04		
Tratamientos	7	2556995.62	365285.09	0.71 NS	2.02	2.49
Error	21	10797745.07	514178.34			
Total	31	14954113.21				

NS: No significativo a una probabilidad de cometer error tipo I de 0.10

C.V. = 9.89o/o

En los cuadros 7 y 8, se observa que en los análisis de varianza no existe efecto significativo al 10o/o y al 5o/o, por lo que estadísticamente todos los tratamientos son iguales, sin embargo, en el cuadro 6 de rendimientos es observable una diferencia entre el máximo y el mínimo,

de 1472.51 Kg/ha que económicamente puede representar un mejor ingreso al agricultor, por lo que se consideró hacer un análisis económico para determinar cual de los tratamientos presentaba una alternativa económica al agricultor.

#### 6.5) Del Análisis Económico

Los resultados del análisis económico de los tratamientos evaluados se presentan en el cuadro 9, (28)

Para el análisis económico, se tomaron en cuenta los siguientes precios de fertilizantes, proporcionados por DISFERSA en enero de 1,985, siendo:

Urea = Q 15.30 el quintal

Sulfato de amonio = Q 9.00 el quintal

Triple superfosfato = Q 13.90 el quintal

Muriato de potasio = Q 12.65 el quintal

En el cuadro 9, se observa que el tratamiento 60 Kg de N/ha y 50 Kg de S/ha (tratamiento 5), dio la máxima tasa marginal de retorno a capital, con 1.58 unidades de retorno y un incremento de ingreso neto de Q 53.53/ha con respecto del tratamiento testigo al cual no se le aplicó ningún insumo.

Además, se observa que los restantes tratamientos a excepción del tratamiento 120 Kg de N/ha y 100 Kg de S/ha (tratamiento 2) que tiene un TRMC de 0.51, tienen una TRMC negativa, siendo la mayor la del tratamiento 9 (180 Kg de N/ha y 50 Kg de S/ha) que es de -1.66; en donde el azufre fue aplicado en forma de yeso para determinar su residualidad, la cual salta a la vista que fue negativa.

Puesto que el nivel de aplicación es de 60 Kg de N/ha y 50 Kg de S/ha, y es referido al sistema maíz-ajonjolí, se consideró importante determinar cual es la contribución de cada cultivo en forma individual para hacer a este tratamiento el más rentable y así, se procedió a evaluar económicamente los tratamientos por cultivo y los resultados se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 9. Resultados del análisis económico por el método gráfico-estadístico (28) para el sistema de cultivo maíz-ajonjolí.

No.	Tratamientos (Kg/ha)				Rendimiento Promedio (Kg/ha)	Costos Variables	Incremento Rendimiento (Kg/ha)	Incremento Ingreso Neto (Q/ha)	Tasa de retorno marginal	Ingreso Neto
	N	S	P	K						
1	120	50			7053.34	Q 77.66	67.51	-Q 68.01	-0.88	Q 930.97
2	120	100			7699.66	Q 67.73	713.83	Q 34.35	0.51	Q1033.32
3	180	50			7443.38	Q121.46	457.55	-Q 56.03	-0.46	Q 942.94
4	180	100			7251.80	Q111.53	265.97	-Q 73.50	-0.66	Q 925.48
5	60	50			7596.98	Q 33.86	611.15	Q 53.53	1.58	Q1052.51
6	240	100			7105.07	Q155.33	119.24	-Q138.28	-0.89	Q 860.70
7	120	0			7053.34	Q 87.60	67.51	-Q 77.95	-0.89	Q 921.03
8	180	150			6824.56	Q101.59	-161.27	-Q124.65	-1.23	Q 874.32
9	180	50	(*)		6425.61	Q121.46	-560.22	-Q201.57	-1.66	Q 797.40
10	180	100	(*)		6936.91	Q111.53	- 48.92	-Q118.53	-1.06	Q 880.45
11	180	100	30	0	7809.19	Q131.33	823.36	-Q 13.59	-0.10	Q 985.38
12	180	100	0	30	7494.33	Q125.33	508.50	-Q 52.61	-0.42	Q 946.36
13	180	100	30	30	7898.12	Q145.13	912.29	-Q 14.67	-0.10	Q 984.30
14	0	0	0	0	6985.83	-----	-----	-----	---	Q 998.97

(\*) Son los tratamientos en que se aplicó azufre en forma de yeso al maíz, para medir el efecto residual de este elemento en el cultivo del ajonjolí.

Cuadro 10. Resultados del análisis económico por el método gráfico estadístico (28), para cada cultivo en forma individual

Tratamientos (Kg/ha)					Rendimiento Promedio (Kg/ha)		Incremento de Rendimiento (Kg/ha)		Costos variables (Q/ha)		Incremento Ingreso neto (Q/ha)		Tasa de retorno marginal		Ingreso neto (Q/ha)	
No.	N	S	P	K	Maíz	Ajonjolí	Maíz	Ajonjolí	Maíz	Ajonjolí	Maíz	Ajonjolí	Maíz	Ajonjolí	Maíz	Ajonjolí
1	60	25			4203.70	740.91	- 84.08	39.42	38.83	IDEM	- 50.85	-17.15	-1.31	-0.44	562.30	368.67
2	60	50			4455.93	843.37	168.15	141.88	33.86	"	- 9.81	44.17	-0.29	1.30	603.34	429.99
3	90	25			4624.07	733.02	336.29	31.53	60.73	"	- 12.64	-43.39	-0.21	-0.71	600.51	342.43
4	90	50			4371.85	748.79	84.07	47.30	55.76	"	- 43.74	-29.75	-0.78	-0.53	569.41	356.07
5	30	25			4413.89	827.60	126.11	126.11	16.93	"	1.10	52.43	0.06	3.10	614.26	438.25
6	120	50			4497.96	677.85	210.18	- 23.64	77.66	"	- 47.60	-90.66	-0.61	-1.17	565.55	295.16
7	60	0			4203.70	740.91	- 84.08	39.42	43.80	"	- 55.82	-22.12	-1.27	-0.51	557.33	363.70
8	90	75			4035.56	725.14	-252.22	23.65	50.79	"	- 86.66	-37.78	-1.71	-0.74	526.30	348.04
9	90	50	(*)		3909.45	654.20	-378.33	- 47.29	55.76	65.70	-109.86	-91.71	-1.97	-1.40	503.29	294.11
10	90	100	(*)		4329.81	677.85	42.03	- 23.64	45.83	65.70	- 39.82	-78.70	-0.87	-1.20	573.33	307.12
11	90	50	15	0	4413.88	882.78	126.10	181.29	65.66	IDEM	- 47.63	34.05	-0.72	0.52	565.52	419.87
12	90	50	0	15	4371.85	811.84	84.07	110.35	62.66	"	- 50.64	- 1.97	-0.81	-0.03	562.51	383.85
13	-90	50	15	15	4624.08	851.25	336.30	149.76	72.56	"	- 24.47	9.81	-0.34	0.13	588.68	395.63
14	0	0	0	0	4287.78	701.40	—	—	—	—	—	—	—	—	613.15	385.82

(\*) Son los tratamientos en que se aplicó azufre en forma de yeso al maíz, para medir el efecto residual de este elemento en el cultivo del ajonjolí.

En el cuadro 10, de nuevo se observa que el tratamiento 5 es el más económico, en cuanto a maíz tiene un ingreso neto similar al del testigo absoluto y una TRMC mínima de 0.06, mientras que el ajonjolí con 30 Kg de N/ha y 25 Kg de S/ha, produce un ingreso neto que supera al del testigo absoluto en Q52.43 que a su vez permite que este cultivo proporcione una TRMC de 3.10, con lo cual se define como el de mayor contribución económica al sistema maíz-ajonjolí cuando se fertiliza con nitrógeno y azufre.

#### 6.6) Del porque de la no respuesta

La no respuesta o no significancia es debido a que, el contenido de materia orgánica de este suelo, fue de 5.49o/o tal como se muestra en el cuadro No. 4, contenido que se considera como adecuado (2), y que bajo condiciones de humedad y temperatura normales al mineralizarse produce una cantidad de nitrógeno suficiente para el desarrollo del cultivo de maíz y no así para el cultivo de ajonjolí.

Estas dos situaciones, para el caso de maíz se comprueban al observar los datos de absorción promedio de nitrógeno que se reportan en el cuadro 5 y que de acuerdo a Jones (14), demuestran que el nitrógeno no fue limitante para el desarrollo del maíz, lo mismo sucede para el caso del azufre en el maíz en donde su absorción fue mayor a 0.10o/o en el tratamiento testigo y por lo tanto este elemento no fue deficiente en el suelo para el crecimiento del maíz.

En referencia al ajonjolí este cultivo respondió a 30 Kg N/ha y 25 Kg de S/ha, tal como se muestra en el cuadro 10; pero la respuesta fue en el sentido económico.

Lo anterior permite considerar que en el segundo cultivo la respuesta se debe a que en los meses anteriores a su siembra y durante el cultivo del maíz la precipitación pluvial ejerce un efecto de lixiviación de compuestos de nitrógeno y azufre.

Del efecto residual del yeso = El yeso se usó como fuente de

azufre por ser un compuesto de reacción neutra, la que al reaccionar en el suelo liberaría sulfatos por un lado y calcio por el otro. En estos tratamientos (9 y 10), el rendimiento en los dos cultivos tanto individualmente o como sistema, fueron menores a los observables en el resto de los tratamientos, lo cual hace pensar que para este caso la fuente de azufre no fue la adecuada para usarse con el propósito de medir efecto residual de este elemento, pues posiblemente, el calcio liberado reaccionó con el fósforo disponible dando formas no asimilables y de ahí los bajos rendimientos reportados en el cuadro 6 para los tratamientos considerados.

**Del fósforo y potasio** = En estos tratamientos (11 y 13), se muestra ganancia en rendimiento, la cual no llega a ser significativa; para fósforo y potasio en presencia de niveles constantes de nitrógeno y azufre los rendimientos fueron ligeramente superiores al tratamiento 4 que es su comparador. Las diferencias estimadas según la prueba de F del *andeva* realizado y mostrado en el cuadro 7 no son significativas, lo que viene a comprobar el criterio de que el fósforo y el potasio estaban arriba de los niveles críticos establecido por el laboratorio de suelos del ICTA (22), por lo que no se esperaba una respuesta significativa a la adición de estos nutrimentos.

## VII. CONCLUSIONES

### 7.1) De la primera hipótesis

*Los niveles de nitrógeno y azufre evaluados, no tuvieron efecto significativo sobre el rendimiento del sistema de cultivo maíz ajonjolí, por lo que la hipótesis propuesta no se rechaza.*

### 7.2) De la segunda hipótesis

*Los niveles de azufre aplicados al maíz no tienen efecto residual sobre el cultivo del ajonjolí, ya que los rendimientos tuvieron un abatimiento. Lo anterior permite no rechazar la hipótesis planteada.*

### 7.3) De la tercera hipótesis

*El nivel de nitrógeno y azufre es el mínimo estudiado para nitrógeno equivalente a 60 Kg de N/ha y 50 Kg de S/ha para un rendimiento de 7596.98 Kg/ha referidos al peso equivalente de maíz y una tasa marginal de retorno al capital de 1.58. Esto permite rechazar parcialmente la hipótesis planteada.*

## VIII. RECOMENDACIONES

- 1) *En base a este estudio, se recomienda no fertilizar al maíz y fertilizar al ajonjolí aplicando 30 Kg de N/ha y 25 Kg de S/ha para obtener un rendimiento de 827.60 Kg/ha de ajonjolí y una tasa marginal de 3.10 unidades de retorno.*
  
- 2) *Se recomienda continuar este tipo de estudios en tierras no descansadas e involucrar densidad de población en maíz para observar una mejor respuesta a la aplicación de fertilizantes.*

## XI. BIBLIOGRAFIA

- 1) BARTHOLOMEW, W.V. El nitrógeno del suelo, procesos de abastecimiento y requerimiento de los cultivos. *North Carolina, State University at Raleigh. Bol. Tec. No. 6. 1972. 97 p.*
- 2) CASTILLO, S. Cuaderno de copias de fertilidad y fertilizantes. *Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1983. s.p.*
- 3) CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. Sistema de agricultura en el Istmo Centroamericano. *Turrialba, Costa Rica, 1975. 19 p.*
- 4) CHAPMAN, H. Diagnostic criteria for plants and soils. *Riverside, US., University of California, Citrus Research Center and Agricultural Experimental Station, 1965. 787 p.*
- 5) DIAZ, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos; análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. *Anexo 1. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 62 p.*
- 6) ESCOBAR BARRERA, R. Investigación sobre la producción y comercialización del cultivo del ajonjolí en Guatemala. *Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1974. 77 p.*
- 7) FASSBENDER, H.W. Química de suelos. *San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1975. 398 p.*
- 8) GALIANO, F. Diagnóstico foliar; fundamento y empleo en algunos cultivos. *Bogotá, Colombia, s.e., 1972. pp. 201-224.*

- 9) GUATEMALA. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. Informe anual 1974-75. Guatemala, 1975. 298 p.
- 10) -----. El cultivo del maíz en el parcelamiento "La Máquina". Separata del informe de Socioeconomía Rural. Guatemala, 1976. s.p.
- 11) -----. Registros económicos de producción en maíz, ajonjolí y arroz; La Blanca, La Máquina y Nueva Concepción. Guatemala, 1977. 115p.
- 12) -----. Registros económicos de producción en ajonjolí, La Máquina, Suchitepéquez. Guatemala, 1978. 97 p.
- 13) -----. INSTITUTO NACIONAL DE TRANSFORMACION AGRARIA. Recursos naturales renovables de los parcelamientos agrarios de Guatemala. Guatemala, 1974. 86 p.
- 14) JONES, J. and ECK, H. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. In *Soil testing and plant analysis*. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1980. pp. 349-364.
- 15) KUIL TER, C.H. Informe sobre resultados de demostraciones y ensayos con fertilizaciones en maíz durante los años de 1963-64 bajo el programa de fertilizaciones de la FAO. In *Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios*, 11a, Panamá, 1965. pp. 46-52.
- 16) MANUAL DE fertilizantes. México, Centro Regional de Ayuda Técnica, 1970. 48 p.

- 17) MATHEU CASTELLANOS, R.A. Efecto de la materia orgánica en el aprovechamiento de fertilización con N-P-K en el rendimiento del cultivo del maíz. *Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1976. 41 p.*
- 18) OBIOLS, A. Atlas preliminar de Guatemala. 3a. ed. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional, 1966. 22 p.
- 19) OCHSE, J.J. Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. México, Centro Regional de Ayuda Técnica, 1965. v.2. pp. 837-1536.
- 20) ORTIZ MAYEN, O. Algunos resultados sobre fertilizaciones de maíz en Guatemala. Tegucigalpa, Honduras, 1961. 38 p.
- 21) OSTLE, B. Estadística aplicada. México, Limusa, 1981. pp. 399-446.
- 22) PALENCIA, J.A. Programa de nutrición vegetal; informe anual 1973. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, 1974. 76 p.
- 23) PERDOMO, R. y HAMPTON, H.E. Ciencia y Tecnología del suelo. Guatemala, Universidad de San Carlos, Centro de Producción de Materiales, 1970. 266 p.
- 24) RALDA CASTILLO, R.G. Estudio sobre la utilización del nitrógeno (Urea) en el sistema de cultivo maíz-ajonjolí en el parcelamiento "La Máquina". *Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1977. 63 p.*

- 25) RANERO CABARRUS, J.R. Estudio de correlación de un método analítico para la determinación de azufre y de respuesta a la aplicación de ese elemento en 25 suelos de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1974. 38 p.
- 26) SIMMONS, Ch., TARANO, J.M. y PINTO, J.H. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra, 1959. 1000 p.
- 27) TISDALE, S.L. y NELSON, W.L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. por Jorge Balasch y Carmen Piña. México, UTEHA, 1982. 760 p.
- 28) TURRENT FERNANDEZ, A. El método gráfico estadístico para la interpretación económica de experimentos conducidos con la matriz Plan Puebla Uno. *Agrociencia (México)* no. 46:17-42. 1981.
- 29) ----- y LAIRD, R. La matriz experimental Plan Puebla; para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos. *Agrociencia (México)* no. 19:117-143. 1975.

*Olga Ramirez S*



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1546

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia .....

Asunto .....

"IMPRIMASE"



INC. AGR. CESAR A. CASTAÑEDA S.  
D E C A N O