

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA



RELACION ENTRE LAS CONCENTRACIONES De N, P, K, Ca y Mg DEL SUELO
Y DEL TEJIDO FOLIAR CON EL RENDIMIENTO
Y EL DIAGNOSTICO DEL REQUERIMIENTO NUTRICIONAL
EN MAIZ (*Zea Mays L.*)

TESIS

Presentada a la Honorable Junta Directiva
De la Facultad de Agronomía
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por

HERNAN EDUARDO MARROQUIN FLORES

En el Acto de su Investidura como

INGENIERO AGRONOMO

En el grado académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala,
ABRIL DE 1987

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

Lic. Roderico Segura Trujillo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. César A. Castañeda S.
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez G.
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Jorge Sandoval I.
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Mario Melgar
VOCAL CUARTO	Br. Luis Molina Monterroso
VOCAL QUINTO	T. U. Carlos E. Méndez
SECRETARIO	Ing. Agr. Luis Alberto Castañeda

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Agr. César A. Castañeda S.
EXAMINADOR	Ing. Agr. Ricardo Enrique Miyares
EXAMINADOR	Ing. Agr. Manuel Martínez
EXAMINADOR	Ing. Agr. Mike Estrada
SECRETARIO	Ing. Agr. Luis Alberto Castañeda



Referencia
Asunto
.....

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1845

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

25 de febrero de 1987

Ingeniero Agrónomo
César A. Castañeda S.
Decano Fac. Agronomía

Señor Decano:

Respetuosamente nos dirigimos a usted para notificarle que hemos tenido a bien, revisar el trabajo de tesis del estudiante Hernán Eduardo Marroquín Flores, con número de carnet 78-05861, titulado: "RELACION ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE N, P, K, Ca y Mg DEL SUELO Y DEL TEJIDO FOLIAR CON EL RENDIMIENTO; Y EL DIAGNOSTICO DEL REQUERIMIENTO NUTRICIONAL EN MAIZ (Zea mays L.)". El cual reúne las condiciones en base a las normas establecidas por esta facultad para ser aprobado.

En tal sentido, solicitamos a usted su autorización para que dicho estudio sea publicado como tesis de grado.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Marco Tulio Aceituno
Asesor

Ing. Agr. Edgar A. Martínez T.
Asesor

Ing. Agr. José Jesús Chonay P.
Asesor

Guatemala,
10 de marzo de 1987

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

Señores:

De conformidad con las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado: "RELACION ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE N, P, K, Ca Y Mg DEL SUELO Y DEL TEJIDO FOLIAR CON EL RENDIMIENTO Y EL DIAGNOSTICO DEL REQUERIMIENTO NUTRICIONAL EN MAIZ (Zea mays L.)".

Como requisito previo a optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Respetuosamente,



Hernán Eduardo Marroquín Flores

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES

Hernán Marroquín Ordóñez
Hilda Amanda Flores de Marroquín

A MIS HERMANOS

Marco Vinicio, Ligia Carolina
Edwing Rodolfo

A MIS CUÑADOS

Julio Javier Rodríguez
Leticia Hernández de Marroquín

A MIS TIOS Y TIAS

A MIS PRIMOS Y SOBRINOS

Especialmente a Roberto Rafael, Geovani, Walter
Orlando, Derick Uriel y Pedrito

A MI NOVIA

Marta Azucena García Nerio

A MIS AMIGOS Y COMPANEROS DE ESTUDIOS

José Fernando Vega, Delio García
Leonardo Contreras, Jorge Torres, Fernando Navas, Rony
Marroquín, Fernando Sagastume, Estuardo Veras, Alberto
Chamorro, Sapón, Eudine Aragón, Víctor Sabán, Hugo
Tujab, José Pinzón, Vicente Martínez, Rudy del Cid,
Mauricio Corado, Mario Francisco Chonay, Ismar, Ervin
y Rony Cano, Manuel Osuna, Mynor Barillas, Vinicio
Echeverría, Marvin Estrada, Luvia Popol de Sch.,
Miriam de la Roca.

TESIS QUE DEDICO

A GUATEMALA

A LA FINCA SAN VICENTE

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

AL PUEBLO DE GUATEMALA

En especial al Hombre de campo

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

A MIS ASESORES

Ing. Agr. Marco Tulio Aceituno
Ing. Agr. Edgar Martínez Tambito
Ing. Agr. José Jesús Chonay

A

Ing. Agr. Salvador Castillo
Ing. Agr. Efraín Medina
Ing. Agr. Luis Reyes
Ing. Agr. Ricardo Enrique Miyares
Ing. Agr. Ricardo Arturo Miyares
Ing. Agr. Marco Antonio Aguilar

A

Julio Vega, Estela Trangay de Vega
José María Vega, Rafael Santos
Albertina Herrera de Santos
Carolina y Julio Rodrigo, Patricia,
Ana María, Ninoshka García,
Aura Marina Vera, Aracelly Mérida
Guadalupe de Ventura

A LOS TRABAJADORES DE LA FINCA "SAN VICENTE"

en especial

Isaías, Mario, Antonio, Beto

AL PERSONAL DEL LABORATORIO DE SUELOS DE LA

Asociación Nacional del Café,

especialmente

Ing. Oscar H. Jiménez, Byron Arriola
Rolando Cruz, Mirna, Maritza, Lesvia
Don Milo, Don Nehemecio

AL PERSONAL DEL LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS DE LA

Dirección Técnica de Riego y Avenamiento

AL DEPARTAMENTO DE COMPUTACION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

de la Universidad de San Carlos y Facultad de Agronomía

A TODAS LAS PERSONAS que a dondequiera que fui me tendieron
la mano con la única intención de colaborar en la realiza
ción de este trabajo

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	
1. INTRODUCCION	3
2. HIPOTESIS	4
3. OBJETIVOS	5
4. REVISION DE LITERATURA	6
4.1 Antecedentes	6
4.2 Nivel Crítico	8
4.3 Consumo de Lujo	8
4.4 Relación del N con la Producción y los Niveles de N, P, y K en la hoja de Maíz	9
4.5 Comparación del Contenido de N, P y K en la hoja y grano de Maíz, como un Índice para el Diagnóstico	10
4.6 Factores a Considerar para el Muestreo	11
4.6.1 Epoca y parte de la planta a muestrear	11
4.6.2 Tamaño de la muestra	13
4.7 Sistema de Diagnóstico y Recomendación Integrado (DRIS)	13
4.8 Interpretación del Análisis Foliar con propósito de Diagnóstico	16
4.9 Análisis Químico y Mineralógico del Suelo	19
5. MATERIALES Y METODOS	21
5.1 Localización del Experimento	21
5.2 Características del Suelo	22
5.3 Metodología Experimental	24
5.3.1 Diseño experimental	24
5.3.2 Modelo estadístico	24
5.3.3 Niveles de los factores evaluados	25

	Pág.	
5.4	Material Experimental	26
5.5	Manejo del Experimento	27
5.6	Metodología del Análisis de Laboratorio	28
5.6.1	Análisis del suelo	28
5.6.2	Análisis de la hoja	28
5.7	Análisis de la Información	28
5.7.1	Análisis de varianza	29
5.7.2	Comparación múltiple de medias	29
5.7.3	Análisis de correlación	29
5.7.3.1	Correlación lineal simple	29
5.8	Análisis de Diagnóstico y Recomendación	30
6.	RESULTADOS Y DISCUSION	31
6.1	Primer Muestreo	31
6.1.1	Variables de la hoja	31
6.1.1.1	Análisis de varianza	31
6.1.1.2	Comparación múltiple de medias	31
6.1.2	Variables del suelo	40
6.1.2.1	Análisis de varianza	40
6.1.2.2	Comparación múltiple de medias	41
6.2	Segundo Muestreo	41
6.2.1	Variables de la hoja	42
6.2.1.1	Análisis de varianza	42
6.2.1.2	Comparación múltiple de medias	42
6.2.2	Variables del suelo	44
6.2.2.1	Análisis de varianza	44
6.2.2.2	Comparación múltiple de medias	44

	Pág.	
6.3	Recolección de la Producción	45
6.3.1	Análisis de varianza	45
6.3.2	Comparación múltiple de medias	46
6.3.2.1	Rendimiento	46
6.4	Correlaciones	48
6.4.1	Primer muestreo	48
6.4.1.1	Interrelación de las variables en la hoja	50
6.4.1.2	Interrelación de las variables del suelo y de la hoja	51
6.4.2	Segundo muestreo	52
6.4.2.1	Interrelación de las variables en la hoja	52
6.4.2.2	Interrelación de las variables en el suelo	55
6.4.2.3	Interrelación de las variables del suelo y de la hoja	55
6.4.3	Primero y Segundo muestreo conjuntamente	57
6.4.3.1	Interrelación de las variables en la hoja	57
6.4.3.2	Interrelación de las variables en el suelo	60
6.4.3.3	Interrelación de las variables del suelo y de la hoja	60
6.4.4	Producción de grano y diferente dosis de fertilización aplicadas al suelo	61
6.4.4.1	Nitrógeno y Fósforo	61
6.4.4.2	Nitrógeno, Fósforo y rendimiento	63
6.4.4.3	Fósforo, Potasio y rendimiento	63
6.4.4.4	Potasio, Nitrógeno y Fósforo	63
6.5	Diagnóstico del Requerimiento Nutricional	65
6.5.1	Primer muestreo	65
6.5.2	Segundo muestreo	66

		Pág.
7.	CONCLUSIONES	68
8.	RECOMENDACIONES	69
9.	BIBLIOGRAFIA	70
10.	APENDICE	73

INDICE DE CUADROS EN EL TEXTO

Número		Pág.
1	Valores y coeficientes de variación para el rango de las normas usadas en los índices de computación DRIS	15
2	Valores del rango de suficiencia y niveles críticos de N, P, K, Ca y Mg, usados como criterio de diagnóstico	16
3	Comparación de tres métodos de diagnóstico usados en Maíz para requerimiento de nutrimentos con datos de dos experimentos en Illinois	18
4	Precipitación pluvial del municipio de Coatepeque, Quetzaltenango	21
5	Propiedades físicas y químicas del Area experimental	22
6	Disponibilidad de nutrimentos en el suelo del Area experimental	23
7	Niveles de los factores evaluados	26
8	Concentración de N foliar a los 30 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo tres niveles de aplicación de Nitrógeno al suelo	32
9	Concentración de N foliar a los 30 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo diferentes niveles de N y K aplicados al suelo	33
10	Concentración de N foliar a los 30 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo diferentes niveles de N, P y K aplicados al suelo	34
11	Concentración de P foliar a los 30 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo tres niveles de aplicación de Nitrógeno al suelo	35
12	Concentración de P foliar a los 30 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo tres niveles de aplicación de Fósforo al suelo	36

Número		Pág.
13	Concentración de P foliar a los 30 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo diferentes niveles de N y K aplicados al suelo	37
14	Concentración de K foliar a los 30 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo tres niveles de aplicación de Nitrógeno al suelo	38
15	Concentración de K foliar a los 30 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo tres niveles de aplicación de Fósforo al suelo	39
16	Concentración de K foliar a los 30 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo diferentes niveles de aplicación de N y P al suelo	40
17	Concentración de P en el suelo a los 30 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo tres niveles de P aplicados al suelo	41
18	Concentración de N foliar a los 69 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo tres niveles de aplicación de Nitrógeno al suelo	43
19	Concentración de Mg foliar a los 69 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo tres niveles de aplicación de Nitrógeno al suelo	44
20	Concentración de P en el suelo a los 69 días del ciclo vegetativo del Maíz bajo tres niveles de Fósforo aplicados al suelo	45
21	Producción en grano de Maíz bajo tres niveles de aplicación de Nitrógeno al suelo	46
22	Producción en grano de Maíz bajo tres niveles de aplicación de Fósforo al suelo	47
23	Producción en grano de Maíz bajo diferentes niveles de N y P aplicados al suelo	48
24	Coefficientes de correlación y niveles de significancia para las variables estimadas a los 30 días del ciclo vegetativo en Maíz	49
25	Coefficientes de correlación y niveles de significancia para las variables estimadas a los 69 días del ciclo vegetativo en Maíz	53

Número		Pág.
26	Coeficientes de correlación y niveles de significancia para las variables del suelo y de la hoja en los dos muestreos realizados en Maíz	59
27	Coeficientes de correlación y niveles de significancia para la producción en grano de Maíz y las diferentes dosis de N, P y K aplicadas al suelo	62
28	Comparación del nivel crítico, rango de suficiencia e índices DRIS como criterio de diagnóstico en tejido foliar a los 30 días del ciclo vegetativo en Maíz	64
29	Comparación del nivel crítico, rango de suficiencia e índices DRIS como criterio de diagnóstico en tejido foliar a los 69 días del ciclo vegetativo en Maíz	67

INDICE DE FIGURAS EN EL TEXTO

Número		Pág.
1	Representación gráfica del crecimiento como una función de la concentración de un nutrimento en el tejido de la planta	7
2	Tasa de absorción de nutrimentos y crecimiento del Maíz en su relación con los días después del brote	12

INDICE DE CUADROS EN EL APENDICE

Número		Pág.
1	Resultados del análisis de suelo a los 30 días del ciclo vegetativo en Maíz	73
2	Resultados del análisis de suelo a los 69 días del ciclo vegetativo en Maíz	74
3	Resultados del análisis de tejido foliar a los 30 días del ciclo vegetativo en Maíz	75
4	Resultados del análisis de tejido foliar a los 69 días del ciclo vegetativo en Maíz	76
5	Análisis de varianza de la concentración de N, P, K, Ca y Mg en la hoja a los 30 días del ciclo vegetativo en Maíz	77
6	Análisis de varianza para la concentración de P, K, Ca y Mg en el suelo a los 30 días del ciclo vegetativo en Maíz	78
7	Análisis de varianza de la concentración de N, P, K, Ca y Mg en la hoja a los 69 días del ciclo vegetativo en Maíz	79
8	Análisis de varianza para el rendimiento y la concentración de P, K, Ca y Mg en el suelo a los 69 días del ciclo vegetativo en Maíz	80
9	Croquis de campo del Área experimental	81

INDICE DE FIGURAS EN EL APENDICE

Número		Pág.
1	Plano de la finca San Vicente y ubicación del sitio experimental	82

RESUMEN

Guatemala país eminentemente agrícola, pero a la vez y por diversas causas dependiente importador de materias primas y algunos productos básicos que bien se podrían obtener y al mismo tiempo aprovechar de acuerdo a nuestras prioridades, explotando los recursos que se poseen con optimismo, responsabilidad, visión empresarial y sin ningún prejuicio social.

A nadie escapa que actualmente se cuenta con un alto grado de desnutrición, desempleo y otras situaciones que cada día van deteriorando más la calidad de vida del pueblo guatemalteco en todos sus órdenes. Sin embargo, de frente a la problemática nacional surge el ideal de aumentar la producción agrícola como una necesidad imperativa, labor sumamente ardua pero no imposible.

El presente estudio trata sobre la relación del análisis del suelo y de la hoja con el rendimiento, complementado con el diagnóstico nutricional para el maíz. Es congruente mencionar que la importancia de éstas técnicas en programas de fertilización es común a todos los cultivos por el impacto económico que conlleva su utilización no sólo para el agricultor en forma particular sino para el país en general.

La fase de campo se llevó a cabo en la finca San Vicente, jurisdicción del municipio de Coatepeque del departamento de Quetzaltenango. Y para lo cual se instaló un diseño experimental bloques al azar en arreglo factorial $3 \times 3 \times 2$ con tres repeticiones. Por lo tanto se evaluaron tres niveles de nitrógeno, tres de fósforo y dos de potasio.

Igualmente se efectuó dos muestreos tanto para el suelo como para la hoja por unidad experimental, habiendo obtenido resultados significantes al detectar como respuesta a la fertilización; una producción en grano de 5,210 kg/ha, con aplicación de los niveles 60-45-0 kg de M-P-K/ha respectivamente. Asimismo se encontró relación entre variables del suelo y de la hoja con el rendimiento para cada situación. Además se determinó la presencia de un hambre oculta dentro de la planta.

La integración de las técnicas necesarias en la investigación agrícola marcan una pauta como en este caso, ya que el haber obtenido rendimientos aceptables con respecto a la media general en nuestro medio, y a pesar de la presencia de factores limitantes como el requerimiento oculto de nutrimentos en el vegetal, existe la probabilidad de llegar a crear las circunstancias adecuadas para establecer la verdadera capacidad potencial en productividad de las variedades mejoradas que hasta el momento están a disposición del agricultor.

1. INTRODUCCION

Con la evolución del hombre y el crecimiento de los pueblos, la agricultura se ha constituido en un negocio donde cada agricultor es el empresario conciente de los beneficios que aporta el uso racional de los fertilizantes. Por lo tanto, se evidencia cada día más, la demanda de servicios técnicos de diagnóstico en el desarrollo de programas de fertilización.

Generalmente cuando las producciones son altas, los precios de la cosecha favorables, los insumos relativamente baratos y la cantidad de nutrimentos proporcionados por el suelo una fracción del total requerido por la planta, resulta que puede ser desatendido el cálculo de los fertilizantes aplicados. Pero, en condiciones menos favorables, donde el valor de los insumos es relativamente alto, la producción y los precios de la cosecha son bajos, el suministro de nutrimentos al suelo adquiere una importancia considerada que debe estimarse lo más exactamente posible. (1)

El cultivo de maíz (Zea mays L.) como cereal de consumo en la alimentación guatemalteca, posee poco valor por unidad de área, ya que los rendimientos no compensan debidamente la inversión en insumos y demás. Ante lo cual, se puede afirmar que la falta de eficiencia responde a causas de orden técnico y no por carecer de un buen potencial agrícola.

El objetivo fundamental de este tema de investigación se basa en el estudio de la nutrición vegetal del cultivo citado, mediante los instrumentos de diagnóstico, como el análisis del suelo y planta, haciendo énfasis en el análisis de la hoja.

4. REVISION DE LITERATURA

4.1 Antecedentes

Las técnicas de diagnóstico, incluyendo la identificación de síntomas de deficiencia mediante análisis de suelo y planta, constituyen una ayuda para determinar el momento necesario del abonado (1).

Bowen (4), indica que el análisis del contenido de nutrimentos en tejidos vegetales, proporciona información sobre la nutrición vegetal. Sandoval (23), menciona que el análisis nutrimental de partes de la planta, tiene como fin inmediato el determinar el nivel crítico de un nutrimento a partir de una curva de calibración que se obtiene en función con la cosecha, como aparece en la Fig. 1.

Howeler (18), afirma que el análisis foliar es un método para diagnosticar el estado nutricional de la planta, midiendo el contenido total del nutrimento. Mientras que, el análisis de suelo determina el contenido del nutrimento disponible para la planta. Carvajal (5), indica que los datos obtenidos del análisis foliar reflejan una correspondencia de la capacidad de suministro del nutrimento por parte del suelo con la influencia de factores externos.

Dow y Roberts, citados por Medina (19), mencionan cuatro sistemas o criterios para interpretar resultados de análisis foliar los cuales son: el nivel crítico, rango crítico, valor estándar y el sistema de diagnóstico y recomendación integrado (DRIS).

El más común es el nivel crítico y rango crítico, estos sistemas no consideran las interacciones sinérgicas o antagónicas entre nutrientes. En tanto que el valor estándar y el DRIS, que son los más recientemente desarrollados sí incluyen el desbalance entre nutrientes.

Como se ha mencionado, la composición química de la hoja ha sido ampliamente usada como un índice para determinar el estado nutricional de la planta (11). Sin embargo, el éxito del diagnóstico depende de la correcta comprensión de las necesidades de la planta, del suelo y de la interpretación de los datos (21).

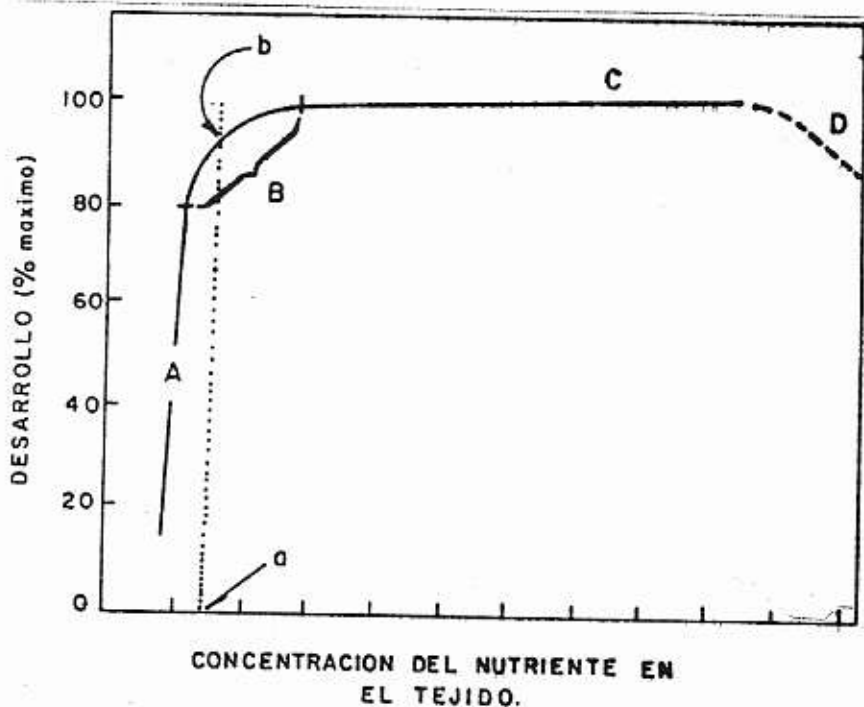


Fig. 1. Representación gráfica del crecimiento, como una función de la concentración de un nutriente en el tejido de la planta. A) Zona de deficiencia; B) Zona de transición; C) Zona adecuada; D) Zona de toxicidad. a) Concentración crítica, y b) 10% de rendimiento se reduce. Tomado de Plant physiology (22).

4.2 Nivel Crítico

El nivel crítico se entiende de varias maneras. Macy, citado por Dumenil (11), lo define como la zona de transición de una región pobre o deficiente hacia una región de consumo de lujo. Ulrich, citado por Dumenil (11), considera el nivel crítico como el rango uniforme de concentración de nutrimentos, abajo de la cual la producción máxima empieza a decrecer en un 10% en relación a plantas con un alto nivel de nutrimentos.

Tyner, citado por Dumenil (11), lo indica como la concentración adecuada para el máximo rendimiento. Macy, Ulrich y Tyner, citado por Dumenil (11), consideran el nivel crítico como un punto limitado de valores. Esta situación se lleva a cabo cuando el nivel de nutrimentos se convierte en un rango limitado de valores únicamente en o muy cerca de la máxima producción y donde todos los demás factores están en su nivel justo para dar un rendimiento máximo.

4.3 Consumo de Lujo

Es un concepto que Macy, citado por Dumenil (11), define como la zona que se encuentra encima del nivel crítico y la concentración de nutrimentos se incrementa sin observar un cambio en la producción. El consumo de lujo, ya sea de N, P, o K, podría ocurrir por debajo de la máxima producción.

4.4 Relación del N con la Producción y los Niveles de N, P y K en la Hoja de Maíz

Según Bennett et al (3), en 1950 se llevó a cabo una serie de 8 experimentos en Iowa, para determinar la efectividad del N aplicado al suelo en el cultivo de maíz. De acuerdo con los resultados, existe efecto significativo con la aplicación de N sobre el incremento del contenido de N y P en la hoja.

Cuando el porcentaje de N en la hoja alcanza un nivel mayor de 2.8%, esta concentración no afecta la producción de maíz. Además los mismos autores indican, que la deficiencia de P es un factor limitante para la producción y que la efectividad del fertilizante nitrogenado aplicado al maíz, es reducida cuando el suplemento de otros nutrimentos aplicados al suelo es muy bajo. Tyner, citado por Bennett et al (3), evaluando el estado del nutrimento en la planta en relación al N aplicado, reporta que aún cuando el nivel de N se aproxima a 3.0%, hay una tendencia de cambio de N en la hoja, asociado con un cambio pequeño en la producción del que se produce con menor contenido de N. El rango crítico en la hojase comprende entre 1.52% y 3.17% de N. Respecto al contenido de P en la hoja de maíz, este se incrementa por la aplicación de N y su rango crítico oscila de 0.173% a 0.331%. Sin aplicar N, el rango de P en la hoja es de 0.17% a 0.21%. En trabajos publicados por Tyner, citado por Bennett et al (3), estos niveles de P en la hoja pueden ser apreciados como un nivel crítico bajo y la respuesta definitiva al fertilizante de P puede ser aceptable que ocurra.

De acuerdo con Krantz y Chandler, citados por Bennett et al (3), en suelos con un índice adecuado de K, la aplicación de N incrementa el porcentaje de K en la hoja. Lo cual se confirma con lo dicho por Tyner, citado por Bennett et al (3), indicando que el K en la hoja para todos los campos en donde se experimentó, se obtuvo un rango entre 1.42% y 2.12% como evidencia de la disponibilidad de K.

4.5 Comparación del Contenido de N, P y K en la Hoja y grano de Maíz como un Índice para el Diagnóstico

El contenido de N en la hoja y grano de maíz está estrechamente relacionado con la producción final y de aquí ambos son de valor determinante del estado de N en la planta, reflejando así el efecto de la aplicación de los fertilizantes nitrogenados. El contenido de N varía más en la hoja con proporcionar N al suelo, y está más relacionado con la producción que el contenido de N en el grano.

En el caso de P, el análisis de la hoja es un indicador del estado de P en la planta que de aquellos del grano. Por lo tanto, en los resultados del análisis de la hoja, P es necesario como una base para el diagnóstico.

La fertilización con N tiene relativamente poco efecto sobre el contenido de K en la hoja. Sin embargo, la hoja puede proporcionar una mejor base que el grano en la determinación del estado de potasio en la planta, ya que el contenido de dicho nutriente en el grano no está apreciadamente afectado por los tratamientos de fertilizante (3).

4.6 Factores a Considerar para el Muestreo

Durante la toma de muestras, es importante seguir cierto método. Howeler (18), afirma que los niveles de nutrientes varían entre las diferentes partes de la planta y cambian de acuerdo a su estado de crecimiento, lo cual hace importante utilizar métodos uniformes de muestreo para cada cultivo.

Bowen (4), menciona que para el muestreo de la planta se debe tomar en cuenta varios factores como: parte de planta a muestrear, frecuencia de muestreo, parte del campo a muestrear y conocer los niveles de cada elemento. Además, recomienda adoptar una hora estándar, ya que el nivel de algunos elementos en los tejidos de la planta como N o K fluctúan con el contenido de humedad de los mismos. Si se toman las muestras en la tarde, cuando la humedad de los tejidos es menor y se usa un nivel crítico derivado de muestras tomadas en la mañana, se introduce un error en la interpretación de la información. Por lo tanto, recomienda realizar el muestreo en la mañana.

4.6.1 Época y parte de la planta a muestrear

Resulta esencial determinar el momento del muestreo y la parte de la planta que indicará su estado de nutrición. Beeson, citado por Muñoz (20), afirma que la concentración de cada elemento en determinado tipo de tejido vegetal, varía con la época. Así mismo, Munson y Nelson, citados por Medina (19), mencionan que existen diferencias en cuanto a la concentración de nutrimentos entre variedades; sin embargo no es significativa.

Wolf, citado por Medina (19), indica que la concentración de nutrimentos dependerá de la velocidad de absorción de los mismos y de la relación de producción de materia seca, como se observa en la Fig. 2. En tanto que Soyre, citado por Sandoval (23), reporta que la velocidad máxima de producción de biomasa en maíz, ocurre entre 36 y 45 días de sembradas las plantas.

Wolf, citado por Medina (19), menciona que las hojas completamente desarrolladas son índice de los niveles de nutrimentos del suelo. Malovolta y Pimentel, citados por Sandoval (23), indican que la posición de la hoja en la planta de maíz no es crítica cuando se analiza de la octava a la tercera hoja, antes de la yema floral. Además, mencionan que las muestras foliares deben recogerse 50 días después de la siembra, ya que determinan el estado nutricional de la planta.

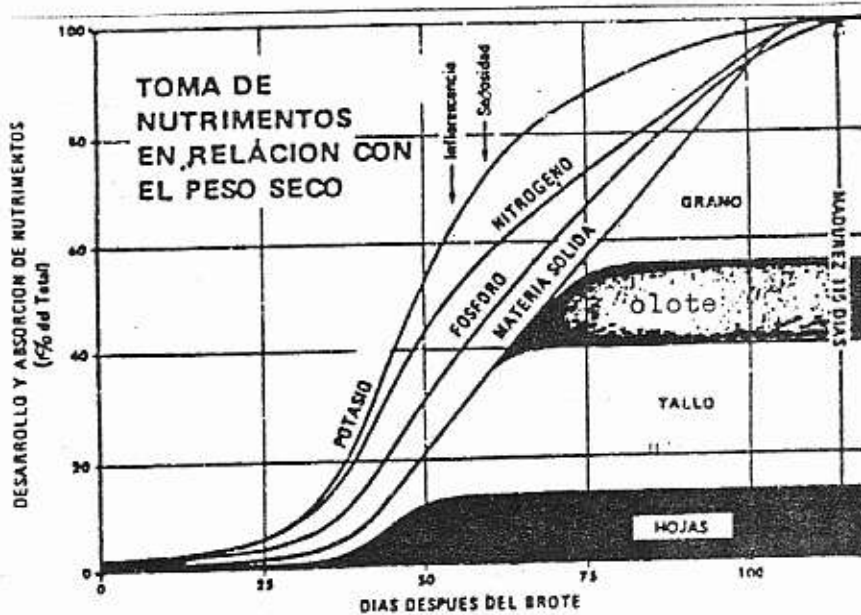


Fig. 2. Tasa de absorción de nutrimentos y crecimiento del maíz en su relación con los días después del brote. Tomado de National Plant Food Institute (29).

En maíz, Jones citado por Howeler (18), recomienda analizar en la mitad central de la planta, todas las hojas hasta el nudo de la mazorca entre el espigamiento y la forma ción del cabello. Chapman, citado por Estrada (12), toma para su muestreo la hoja de la mazorca en el estado de ini ciación del cabello, para los análisis de N, P, K, Ca y Mg.

4.6.2 Tamaño de la muestra

Jackson, citado por Muñoz (20), indica que la mag nitud de la muestra de tejido vegetal necesaria para los aná lisis está determinada por: la finura de la molienda, la con centración del elemento en la planta y la sensibilidad del elemento a determinar. En cuanto al tamaño de la muestra, la cantidad que se utiliza es de 0.50-1.00 gramo, tamizada a 20 mallas para la determinación de los elementos de interés.

4.7 Sistema de Diagnóstico y Recomendación Integrado (DRIS)

La precisión y flexibilidad de varias técnicas folia res han hecho posible el diagnóstico del balance de minerales en las plantas.

El DRIS consiste en hacer diagnósticos sobre un am plio rango a través del desarrollo de la planta hasta la ma durez fisiológica. Además determina el orden de requerimien to de N, P, K, Ca y Mg, con independencia de la posición de la hoja y la porción analizada, muestreada dentro de ciertos límites en la planta de maíz.

El DRIS utiliza índices para calcular el balance de los nutrimentos en su orden de requerimiento por la planta y se calculan de las ecuaciones siguientes:

$$\text{Indice N} = \frac{f(N/P) + f(N/K) - f(Mg/N) - f(Ca/N)}{4}$$

$$\text{Indice P} = \frac{f(P/Mg) - f(N/P) - f(K/P) - f(Ca/P)}{4}$$

$$\text{Indice K} = \frac{f(K/P) - f(Ca/K) - f(N/K) - f(Mg/K)}{4}$$

$$\text{Indice Ca} = \frac{f(Ca/N) + f(Ca/P) + f(Ca/K) - f(Mg/Ca)}{4}$$

$$\text{Indice Mg} = \frac{f(Mg/N) + f(Mg/K) - f(P/Mg) + f(Mg/Ca)}{4}$$

Donde $f(N/P) = 100 \left[\frac{N/P}{n/p} - 1 \right] \frac{10}{CV}$ cuando $N/P > n/p$

o $f(N/P) = 100 \left[1 - \frac{n/p}{N/P} \right] \frac{10}{CV}$ cuando $N/P < n/p$

Ante lo cual,

N/P = Valor real de esta proporción en una hoja determinada

n/p = Valor promedio de la proporción del segmento altamente productor de la población de plantas

CV = Coeficiente de variación de la población de plantas altamente productoras.

CUADRO 1
 VALORES Y COEFICIENTES DE VARIACION
 PARA EL RANGO DE LAS NORMAS USADAS
 EN LOS INDICES DE COMPUTACION DRIS

Rango	Valores para población de plantas de alto rendimiento	Coefficientes de variación para población de plantas de alto rendimiento (%)
n/p	10.04	15
n/k	1.49	22
k/p	6.74	25
ca/n	0.184	47
ca/p	1.880	50
ca/k	0.320	59
mg/n	0.097	45
p/mg	1.074	48
mg/k	0.140	67
mg/ca	0.527	36

FUENTE: Sumner, M. E. (25).

El resto de los términos $f(P/Mg)$, $f(K/P)$, $f(Ca/N)$ y $f(Mg/N)$ se obtienen en forma similar. Los valores promedio de las proporciones y los coeficientes de varianza de las poblaciones de plantas altamente productoras, se presentan en el Cuadro 1.

Con los índices DRIS se obtienen valores positivos y negativos que se anulan entre sí, ya que miden el balance relativo entre N, P, K, Ca y Mg. Según el orden de requerimiento en la planta, el índice más negativo es el elemento

más necesario y el más positivo, el menos requerido (25).

CUADRO 2

VALORES DEL RANGO DE SUFICIENCIA Y NIVELES
CRITICOS DE N, P, K, Ca Y Mg, USADOS COMO
CRITERIO DE DIAGNOSTICO

Nutrimento	Rango de suficiencia (%) (Jones y Eck)			Niveles críticos (%) (Melsted et al)
	Mínimo	Medio	Máximo	
N	2.7	3.1	3.5	3.00
P	0.2	0.3	0.4	0.25
K	1.7	2.1	2.5	1.90
Ca	0.4	0.7	1.0	0.40
Mg	0.2	0.3	0.4	0.25

En el tallo y hoja de la mazorca.

FUENTE: Agronomy Journal (26).

4.8 Interpretación del Análisis Foliar con Propósito de Diagnóstico

El Cuadro 3 incluye los resultados del análisis foliar correspondiente a 100 y 200 series de experimentos llevados a cabo en Illinois, los cuales fueron evaluados por medio de tres sistemas de diagnóstico. Además los porcentajes utilizados como referencia para el rango de suficiencia y nivel crítico, aparecen en el Cuadro 2.

En el experimento Aledo de 100 series (Cuadro 3), el DRIS diagnosticó el requerimiento de P para el tratamiento 2020, mientras que el rango de suficiencia y nivel crítico no establecen diagnóstico. En la aplicación de P con el tratamiento 2120, se obtiene un incremento sustancial en la producción y de acuerdo al orden mostrado por el DRIS, se observa el requerimiento de Mg y seguidamente K. Otra vez, el rango de suficiencia y el nivel crítico no determinan diagnóstico. De cualquier modo, en esta situación un efecto más amplio de la aplicación de K no puede ser evaluado por carecer de niveles adicionales.

Los análisis del suelo, reflejan una pérdida a pH (5.3) y la adición de cal en el tratamiento 2121 resultó en un incremento de la producción y reducción en el requerimiento de Mg. En este tratamiento el DRIS y el nivel crítico se detienen a diagnosticar el requerimiento de K.

El tratamiento 1011 del experimento Aledo de 200 series, muestra un requerimiento para P dado por el DRIS, ya que el rango de suficiencia y el nivel crítico no establecen el diagnóstico.

Al aplicar P en el tratamiento 1111, se obtuvo un incremento sustancial en la producción y desapareció el requerimiento de éste elemento, confirmando que el diagnóstico del DRIS fue correcto. De cualquier modo, no cabe duda que el incremento de la producción entre 2000 y 3500 kg de grano por ha puede ser significativo. Ahora bien, para propósito de comparación, la precisión de diferentes métodos de diagnóstico estadísticamente no es de importancia como la capacidad de un sistema particular para predecir un incremento en la producción (26).

Cuadro 3

Comparación de tres métodos de diagnóstico usados en maíz para requerimiento de nutrimentos con datos de dos experimentos en Illinois, proporcionados por Peck, T.R.

Tratamiento	Composición de la hoja					Índices DRIS					Producción de grano kg/ha	Métodos de diagnóstico						
	N	P	K	L		N	P	K	Ca	Mg		Orden de requerimiento DRIS	Rango de suficiencia Jones y Eck (26)	Nivel crítico de Melsted et al. (26)				
					%													
<u>Experimento Aledo 1968 (100 series)</u>																		
2	0	2	0		3.66	0.26	2.17	0.57	0.26	12	-10	3	0	-5	5303	P>Mg>Ca>K>N	nd*	nd
2	1	2	0		3.82	0.35	2.08	0.79	0.30	5	0	-5	6	-6	8821	Mg>K>P>N>Ca	nd	nd
2	1	2	1		3.76	0.32	1.82	0.76	0.32	8	-2	-8	5	-3	9151	K>Mg>P>Ca>N	nd	K
<u>Experimento Aledo 1968 (200 series)</u>																		
1	0	1	1		3.37	0.26	1.96	0.85	0.33	5	-11	-3	10	-1	7617	P>K>Mg>N>Ca	nd	nd
1	1	1	1		3.63	0.37	2.52	0.86	0.20	3	3	3	13	-22	9910	Mg>N=P=K>Ca	nd	nd

$N_1 = 87$ kg N/ha, $N_2 = 175$ kg N/ha, $P_0 = 0$ kg P/ha, $P_1 = 33$ kg P/ha, $K_1 = 44$ kg K/ha, $K_2 = 88$ kg K/ha, $L_0 = 0$ kg cal/ha.

$L_1 =$ Encalado hasta pH 6.2

* nd = No es posible el diagnóstico

4.9 Análisis Químico y Mineralógico del Suelo

La correcta interpretación del análisis foliar, así como las recomendaciones sobre fertilización en un cultivo, requieren un conocimiento de las características físico-químicas del suelo (Cuadro 4), ya que la absorción de nutrimentos por la planta está influida de acuerdo a la naturaleza y condiciones del mismo. Por lo tanto, el análisis foliar no excluye el análisis del suelo debido a que ambos se complementan para una acertada solución del problema nutricional y una evaluación de los demás factores del suelo que intervienen en el desarrollo de los cultivos, ha de tenerse en consideración (14).

No hay ninguna dificultad en la determinación del contenido de los elementos esenciales en el suelo, mediante métodos químicos adecuados. Sin embargo, la interpretación de resultados del análisis del suelo es complicada porque el factor de disponibilidad de los nutrimentos no es el mismo para todos los suelos. Aunque una ventaja del análisis de suelo por encima del análisis de planta es que el agricultor puede poseer información a tiempo, antes de que pueda sembrar (1).

El análisis cualitativo y cuantitativo de la composición de los suelos es de gran importancia para su descripción y caracterización, así como para la comprensión de sus propiedades. En principio se puede diferenciar entre análisis elemental, el que informa sobre la composición química de un suelo por elementos y el análisis mineralógico el que informa sobre los diferentes minerales que componen cada fracción del suelo.

Los agregados naturales del suelo están formados por partículas de diferentes tamaños, que se les ha dividido en grupos de arena, arcilla y limo, de acuerdo a escalas establecidas (Atterberg, Sociedad Internacional del Suelo, USDA). La separación de estas fracciones se acostumbra hacer por el método de sedimentación (13).

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Localización del Experimento

El presente estudio se llevó a cabo en el municipio de Coatepeque del departamento de Quetzaltenango, ubicado entre los paralelos Latitud Norte $14^{\circ}42'15''$ y Longitud Oeste de $91^{\circ}51'41''$, a una altura de 490 msnm (16).

En base a la clasificación de Thornthwaite (17), esta zona se ubica en una región con clima cálida húmedo sin estación fría ni seca bien definidas y con una vegetación natural selva.

CUADRO 4

PRECIPITACION PLUVIAL DEL MUNICIPIO
DE COATEPEQUE, QUETZALTENANGO 1/

Mes	Precipitación	
	Días	mm
Mayo	16	414.3
Junio	19	513.7
Julio	18	457.9
Agosto	20	456.4
Septiembre	22	541.9
Octubre	18	462.2

1/ Datos tomados de la Estación FEGUA (Coatepeque), en promedio de 4 años de registro.

5.2 Características del Suelo

De acuerdo con el estudio de Reconocimiento de Suelos realizado por Simmons, Tárano y Pinto (24), estos pertenecen a la serie Chocolá, caracterizados por ser profundos, bien drenados, desarrollados sobre cenizas volcánicas de grano fino o sobre material aluvial. Ocupan pendientes suavemente inclinadas a elevaciones moderadamente bajas al sur del país.

CUADRO 5
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS
DEL AREA EXPERIMENTAL

Determinación	Profundidad en cms	
	0-50	50-90
M. Orgánica (%)	3.42	2.78
K Intercambiable (meq/100 grs)	0.67	0.89
Ca Intercambiable (meq/100 grs)	6.63	7.68
Mg Intercambiable (meq/100 grs)	1.60	2.18
Na Intercambiable (meq/100 grs)	0.13	0.15
H Intercambiable (meq/100 grs)	58.00	61.72
Saturación de bases (%)	13.47	15.01
C. T. I. (meq/100 grs)	67.03	72.62
Sumatoria de cationes (meq/100 grs)	9.03	10.90
Densidad aparente	1.0687	1.0005
pH	5.02	4.99
Arena (%)	49.83	22.57
Limo (%)	17.85	16.01
Arcilla (%)	32.32	61.42
Textura	Franco-arcillo-arenoso	Arcilla

Análisis efectuado por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento (7).

El suelo superficial a una profundidad de 0.40 m es franco limoso o franco arcilloso, friable, color café oscuro. Está bien abastecido de materia orgánica. La estructura es granular en la parte superior y granular fina en la interior con reacción ligeramente ácida. El subsuelo a una profundidad de 0.80 m es franco arcilloso limoso, friable o franco arcilloso de color café a café claro, con reacción ligeramente ácida. Los suelos Chocolá son los más productivos de Guatemala. Son convenientes para cultivos al sol y se debe tener cuidado con la erosión.

CUADRO 6
DISPONIBILIDAD DE NUTRIMENTOS EN EL SUELO
DEL AREA EXPERIMENTAL

Determinación	Profundidad en cms
	0 - 20
M. Orgánica (%)	4.00
K Intercambiable (meq/100 grs)	0.45
Ca Intercambiable (meq/100 grs)	6.24
Mg Intercambiable (meq/100 grs)	2.05
pH	5.15
P Aprovechable (ppm)	23.24
Fe (ppm)	71.00
Mn (ppm)	13.35
Zn (ppm)	17.40
Cu (ppm)	6.25
Arena (%)	71.87
Limo (%)	19.77
Arcilla (%)	8.36
Textura	Franco arenoso

Análisis efectuado por el Laboratorio de la Asociación Nacional del Café (9).

5.3 Metodología Experimental

5.3.1 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un bloques al azar con arreglo factorial 3 x 3 x 2 con tres repeticiones.

La unidad experimental ocupó una dimensión de 45 m² la cual consistió de 11 surcos de 4.5 m de largo cada uno. Para la recolección de datos, se muestreo y cosechó la unidad experimental neta, la que constó de 7 surcos de 2 m cada uno, con un área de 14 m². La distancia entre bloques fue de 1.50 m, aparte se contempló 1 m de cabecera al contorno del ensayo, totalizándose un área experimental de -- 2,762.5 m².

5.3.2 Modelo estadístico

El modelo estadístico lineal para el análisis de las variables evaluadas, es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = M + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + Bl + E_{ijkl}$$

$i = 1, 2, 3$ niveles de N

$j = 1, 2, 3$ niveles de P

$k = 1, 2$ niveles de K

$l = 1, 2, 3$ bloques

M = Efecto de la media general

A_i = Efecto del i -ésimo nivel de N

B_j = Efecto del j -ésimo nivel de P

C_k = Efecto del k -ésimo nivel de K

- AB_{ij} = Efecto de la interacción del i -ésimo nivel de N con el j -ésimo nivel de P
 AC_{ik} = Efecto de la interacción del i -ésimo nivel de N con el k -ésimo nivel de K
 BC_{jk} = Efecto de la interacción del j -ésimo nivel de P con el k -ésimo nivel de K
 ABC_{ijk} = Efecto de la interacción del i -ésimo nivel de N con el j -ésimo nivel de P y el k -ésimo nivel de K
 B_1 = Efecto de la 1-ésima repetición
 E_{ijkl} = Error en la $ijkl$ -ésima unidad experimental
 Y_{ijkl} = Variable respuesta de la $ijkl$ -ésima unidad experimental.

5.3.3 Niveles de los factores evaluados

En base a las características del análisis de suelo que aparece en el Cuadro 6, se determinaron los niveles evaluados que se incluyen en el Cuadro 7. Mientras que, como fuente de nutrimentos se utilizó: urea, triple superfosfato y cloruro de potasio.

La fertilización se llevó a cabo aplicando al suelo 50% de urea y 100% de triple superfosfato y cloruro de potasio al momento de la siembra. Y el 50% de urea restante se aplicó a los 32 días después de la siembra.

CUADRO 7
NIVELES DE LOS FACTORES EVALUADOS

Factor	N i v e l		
	1	2	3
	Kgs/ha		
N	0	60	120
P	0	45	90
K	0	120	-

5.4 Material Experimental

La semilla que se utilizó para la siembra fue la variedad de polinización libre ICTA-B1, desarrollada por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (15).

Es una variedad tropical, con las características agronómicas siguientes: mide aproximadamente 2.15 m de la base del tallo a la espiga. Posee caña gruesa y buen desarrollo radicular, lo que la hace resistente a ls vientos fuertes con un 7.3% de acame. El porcentaje de desgrane es alto, aparte de ser una variedad de ciclo intermedio (119 a 115 - días). Estas características contribuyen a que su rendimiento sea más estable a las variables condiciones de lluvia y tipo de suelo en regiones inferiores a 1,000 msnm. Su rendimiento demostrado comercialmente excede las 4.3 ton/ha.

5.5 Manejo del Experimento

El manejo del suelo donde se realizó el estudio, es tá destinado al pastoreo periódico de ganado lechero, asimis mo se abona con estiércol previamente descompuesto a razón - de dos veces por año. Igualmente se contempla una siembra anual de maíz y luego de la cosecha se procede a la siembra de zacatón (Panicum maximun).

La preparación del terreno se hizo mediante un paso de arado a una profundidad de 0.30 cm y dos pasadas de rastra.

La siembra se efectuó a mano, por lo cual se dejó un distanciamiento de 1m entre surcos y 0.50 m entre plantas, colocando 3 granos por postura con el objeto de ralear y dejar finalmente 2 plantas por postura.

Durante el ciclo del cultivo se llevaron a cabo dos muestreos; el primero a los 30 días después de la siembra, recolectando la tercer hoja debajo del ápice. Además, se muestreo el suelo a una profundidad de 0 a 0.20 m recogiendo 8 sub-muestras para obtener una muestra compuesta por unidad experimental.

El segundo muestreo se había programado realizarlo al momento de la floración, la cual ocurrió a los 65 días, pero por motivo de mucha lluvia, se llevó a cabo a los 69 días del ciclo vegetativo, sólo que en este caso se muestreo la hoja de la mazorca. La recolección de muestras de suelo en este período se hizo en forma similar al primer muestreo.

La cosecha se realizó a mano, de la manera como se

acostumbra en la región, o sea corte y desgrane para luego determinar el peso en grano.

5.6 Metodología del Análisis de Laboratorio

Los análisis de laboratorio se llevaron a cabo de la forma siguiente:

5.6.1 Análisis del suelo

El P, K, Ca y Mg se extrajeron con la solución de H_2SO_4 0.025 y HCl 0.05 N. La lectura se obtuvo con el colorímetro para el P y el espectrofotómetro de absorción atómica para el K, Ca y Mg. El pH se midió en el potenciómetro en una relación suelo-agua de 1:2:5 (9).

5.6.2 Análisis de la hoja

El análisis de nitrógeno se determinó mediante el método Micro-Kjeldahl. El P, K, Ca y Mg por el método de incineración en seco. Las lecturas se realizaron en el colorímetro para P y en el espectrofotómetro de absorción atómica para K, Ca y Mg (9).

5.7 Análisis de la Información

Para medir el efecto de los diferentes niveles de fertilizantes aplicados al suelo sobre las variables respuesta, se utilizó para ambos muestreos en forma independiente, los siguientes análisis (8):

5.7.1 Análisis de varianza

Se practicó en las siguientes variables:

- a. N, P, K, Ca y Mg de la hoja
- b. P, K, Ca y Mg del suelo
- c. Rendimiento de grano en kg/parcela neta.

5.7.2 Comparación múltiple de medias

Se llevó a cabo por medio de la prueba de Tukey (DSH = Diferencia significativa honesta 0.01 - 0.05) a las variables que mostraron diferencia significativa en el ANDEVA.

5.7.3 Análisis de correlación

A las variables respuestas consideradas, se les efectuó análisis de correlación como se indica a continuación:

5.7.3.1 Correlación lineal simple

- a. N, P, K, Ca y Mg de la hoja con el rendimiento de grano en ton/ha.
- b. pH, P, K, Ca y Mg del suelo con el rendimiento de grano en ton/ha.
- c. pH, P, K, Ca y Mg del suelo con N, P, K, Ca y Mg de la hoja.
- d. Rendimiento de grano en ton/ha con las 18 dosis de fertilizante aplicadas al suelo.

5.8 Análisis de Diagnóstico y Recomendación

Para evaluar el estado nutricional de la planta, se hizo el análisis en base a los elementos determinados y contenidos en la hoja para ambos muestreos en forma independiente, mediante el uso del sistema de diagnóstico y recomendación integrado (DRIS) (25, 26).



6. RESULTADOS Y DISCUSION

La interpretación y discusión de los resultados se presenta en base a la secuencia en que se efectuó cada análisis.

6.1 Primer Muestreo

6.1.1 Variables de la hoja

6.1.1.1 Análisis de varianza

En el Cuadro 5-A 2/, se presentan los datos de las variables evaluadas en esta etapa de la fase experimental - donde se detectó variabilidad significativa sobre el contenido de N, P, y K en la hoja, causada por las fuentes de variación N, P y NK aplicados al suelo. Con respecto a Ca y Mg no se determinó ningún efecto significativo y el coeficiente de variación para todas las variables puede interpretarse como aceptable.

6.1.1.2 Comparación múltiple de medias

El análisis de comparación de medias se llevó a cabo solamente para aquellas fuentes de variación que resultaron significativas en el análisis de varianza.

6.1.1.2.1 Nitrógeno

La concentración de N en la hoja al primer muestreo que aparece en el Cuadro 8, fue 3.37% cuando se aplicó 60 kg de N/ha, lo cual evidencia un incremento significativo al 1%

2/ La letra A indica que el cuadro está contenido en el apéndice.

con relación a la concentración que se obtuvo con el tratamiento sin aplicación de nitrógeno. Además se encontró diferencia aunque no significativa en el contenido de N en la hoja provocada por los tratamientos 60 y 120 kg de N/ha, - aplicados al suelo. De acuerdo con el Cuadro 2 y los valores obtenidos de N en el tejido foliar (Cuadro 8), estas concentraciones pueden interpretarse como suficientes por encontrarse dentro del rango del mismo.

CUADRO 8

CONCENTRACION DE N FOLIAR A LOS
30 DIAS DEL CICLO VEGETATIVO
DEL MAIZ BAJO TRES NIVELES DE
APLICACION DE NITROGENO AL SUELO

Factor	Nivel en la Hoja
N	N (%)
kg/ha	
60	3.37
120	3.24
0	3.14
DHS 1 %	0.21

En el Cuadro 9 se observa que cuando se aplicó únicamente 60 kg de N/ha, la concentración de N en la hoja fue de 3.44%, siendo este nivel diferente y significativo al 5% con relación al tratamiento sin aplicación de nitrógeno.

Por la combinación de 60-120 kg de N/ha y 0-120 kg de K/ha aplicados al suelo, entre los primeros tres tratamientos que aparecen en el mismo cuadro se presenta diferencia aunque no significativa en el contenido de N foliar. Asimismo en esta etapa del ciclo vegetativo, la concentración de N en la hoja que varía de 3.08% a 3.44% se encuentra dentro del rango de suficiencia.

CUADRO 9

CONCENTRACION DE N FOLIAR A LOS
30 DIAS DEL CICLO VEGETATIVO DEL
MAIZ BAJO DIFERENTES NIVELES
DE N Y K APLICADOS AL SUELO

Factor		Nivel en la Hoja
N	K	N (%)
kg/ha		
60	0	3.44
120	0	3.36
60	120	3.30
0	120	3.20
120	120	3.12
0	0	3.08
DSH	5 %	0.28

En el Cuadro 10 se observa que los tratamientos - 120-0-120 y 0-45-0 kg de N-P-K/ha respectivamente fueron diferentes estadísticamente al 5% del tratamiento 60-90-0 kg

de N-P-K/ha respectivamente, en cuanto a la concentración de N foliar.

En el mismo cuadro la concentración de 3.67% que se obtuvo con la aplicación de niveles 60-90-0 kg de N-P-K por ha respectivamente, puede interpretarse como consumo de lujo. Mientras que las concentraciones obtenidas con el resto de tratamientos se sitúan dentro del rango de suficiencia.

CUADRO 10
CONCENTRACION DE N FOLIAR A LOS 30 DIAS
DEL CICLO VEGETATIVO DEL MAIZ BAJO
DIFERENTES NIVELES DE N, P Y K
APLICADOS AL SUELO

Factor			Nivel en la Hoja N (%)
N	P	K	
kg/ha			
60	90	0	3.67
60	45	0	3.49
60	45	120	3.46
120	90	0	3.39
60	0	120	3.37
0	90	120	3.36
120	0	0	3.35
120	45	0	3.35
120	90	120	3.32
0	0	120	3.18
60	0	0	3.16
0	90	0	3.12
120	45	120	3.12
0	0	0	3.09
60	90	120	3.08
0	45	120	3.07
0	45	0	3.04
120	0	120	2.91
DSH 5%			0.62

6.1.1.2.2 Fósforo

La concentración 0.249 % de P en la hoja que aparece en el Cuadro 11 para el primer muestreo, evidencia un incremento significativo al 1% con el tratamiento 60 Kg de N/ha en relación a la concentración que se obtuvo donde no se aplicó nitrógeno al suelo. Los contenidos de 0.212 % a 0.249 % se encuentran dentro del rango de suficiencia. En tanto que 0.199 % se toma como deficiente.

CUADRO 11

CONCENTRACION DE P FOLIAR A LOS 30 DIAS
DEL CICLO VEGETATIVO DEL MAIZ BAJO TRES
NIVELES DE APLICACION DE NITROGENO AL SUELO

Factor N	Nivel en la Hoja P (%)
----- Kg/ha -----	
60	0.249
120	0.212
0	0.199
DSH 1 %	0.029

En Cuadro 12 muestra que con los tratamientos 45 y 90 Kg de P/ha se obtuvo un incremento significativo al 1 % sobre el contenido de P foliar de 0.228% y 0.252% respectivamente, comparados con la concentración obtenida donde no se aplicó fósforo al suelo. Asimismo en este período del ----

ciclo vegetativo las concentraciones de 0.228% y 0.252% se sitúan dentro del rango de suficiencia, no así 0.181% que aparece deficiente.

CUADRO 12

CONCENTRACION DE P FOLIAR A LOS 30 DIAS
DEL CICLO VEGETATIVO DEL MAIZ BAJO TRES
NIVELES DE APLICACION DE FOSFORO AL SUELO

Factor P	Nivel en la Hoja P (%)
———— Kg/ha ————	
90	0.252
45	0.228
0	0.181
DSH 1 %	0.029

La concentración 0.271 % de P foliar en el Cuadro 13, presenta efecto significativo al 5% con la aplicación - del tratamiento 60-0 de N-K/ha respectivamente, en relación a las concentraciones obtenidas con el resto de tratamientos. En el mismo cuadro los contenidos de P en la hoja que van de 0.201% a 0.271% se consideran dentro del rango de suficiencia no así 0.198% que se encuentra deficiente.

CUADRO 13
 CONCENTRACION DE P FOLIAR A LOS 30 DIAS
 DEL CICLO VEGETATIVO DEL MAIZ BAJO
 DIFERENTES NIVELES DE N Y K APLICADOS AL SUELO

Factor		Nivel en la Hoja P (%)
N	K	
kg/ha		
60	0	0.271
60	120	0.226
120	120	0.216
120	0	0.208
0	0	0.201
0	120	0.198
DSH 5%		0.40

6.1.1.2.3 Potasio

La concentración 2.22 % de K foliar fue significativa al 1% como se observa en el Cuadro 14, cuando no se aplicó fertilizante al suelo. Además se encontró diferencia - aunque no significativa entre los contenidos de la hoja provocados por la aplicación de los niveles 0 y 60 kg de N/ha respectivamente. Los valores obtenidos de K foliar y que aparecen en el mismo cuadro se ubican dentro del rango de su ficiencia.

CUADRO 14

CONCENTRACION DE K FOLIAR A LOS 30 DIAS
DEL CICLO VEGETATIVO DEL MAIZ BAJO TRES
NIVELES DE APLICACION DE
NITROGENO AL SUELO

Factor N	Nivel en la Hoja K (%)
kg/ha	
0	2.22
60	2.06
120	1.87
DSH 1 %	0.27

En el Cuadro 15 se observa que cuando se aplicó 45 kg de p/ha, la concentración de K en la hoja fue de 2.18%, siendo este nivel diferente y significativo al 5% en relación al tratamiento donde se aplicó al suelo 90 kg de P/ha. Igualmente se mostró diferencia aunque no significativa en el contenido de K foliar debida a la aplicación de los tratamientos 45 y 0 kg de P/ha respectivamente. Asimismo las concentraciones obtenidas en este período del ciclo vegetativo se interpretan dentro del rango de suficiencia.

CUADRO 15
 CONCENTRACION DE K FOLIAR A LOS 30 DIAS
 DEL CICLO VEGETATIVO DEL MAIZ BAJO TRES
 NIVELES DE APLICACION DE FOSFORO AL SUELO

Factor P	Nivel en la hoja K en (%)
_____ kg/ha _____	
45	2.18
0	2.06
90	1.92
DSH 5%	0.21

En el Cuadro 16, los tratamientos 120-90, 0-90 y -120-0 kg de N-P/ha respectivamente, fueron estadísticamente diferentes al 5% del tratamiento 0-45 kg de N-P/ha respectivamente, en cuanto al efecto sobre la concentración de K foliar.

En el mismo cuadro, los contenidos de K en la hoja, obtenidos por las diferentes dosis de fertilizante se consideran en el rango de suficiencia.

CUADRO 16
 CONCENTRACION DE K FOLIAR A LOS 30 DIAS
 DEL CICLO VEGETATIVO DEL MAIZ BAJO
 DIFERENTES NIVELES DE N Y P APLICADOS AL SUELO

Factor		Nivel en la Hoja K (%)
N	P	
— kg/ha —		
0	45	2.44
0	0	2.39
60	45	2.16
60	0	2.04
60	90	1.99
120	45	1.94
120	90	1.91
0	90	1.84
120	0	1.75
DSH 5%		0.50

6.1.2 Variables del suelo

6.1.2.1 Análisis de varianza

El Cuadro 6 A, muestra las variables del suelo estimadas en el primer muestreo, observándose un efecto significativo sobre la concentración de P, provocado por la fuente de variación P aplicado al suelo. Los demás elementos como K, Ca y Mg, no evidencian ninguna variabilidad debida a los tratamientos.

En todas las variables el coeficiente de variación se considera normal.

6.1.2.2 Comparación múltiple de medias

6.1.2.2.1 Fósforo

La concentración de P en el suelo que se observa en el Cuadro 17, para el primer muestreo fue de 43.84 ppm, cuando se aplicó 90 kg de P/ha, lo cual manifestó un incremento significativo al 5%, comparado con la concentración del tratamiento sin aplicación de fertilizante fosforado. Los niveles de P determinados y que aparecen en el mismo cuadro, se observan altos (6).

CUADRO 17
CONCENTRACION DE P EN EL SUELO A LOS
30 DIAS DEL CICLO VEGETATIVO DEL MAIZ
BAJO TRES NIVELES DE P APLICADOS AL SUELO

Factor P	Nivel en el Suelo ppm
— kg/ha —	
90	43.84
45	40.96
0	34.04
DSH 5%	8.91

6.2 Segundo Muestreo

6.2.1 Variables de la hoja

6.2.1.1 Análisis de varianza

En el Cuadro 7 A, se aprecian los resultados de las variables determinadas en la hoja a los 69 días del ciclo vegetativo, donde se obtuvo una diferencia significativa, entre los tratamientos aplicados al suelo sobre el contenido de N y Mg, únicamente. El coeficiente de variación se presenta adecuado para todas las variables.

6.2.1.2 Comparación múltiple de medias

6.2.1.2.1 Nitrógeno

En el Cuadro 18, se observa que cuando se aplicó - 120 kg de N/ha, el contenido de N en la hoja fue de 2.57%, manifestando esta concentración un incremento significativo al 1%, en relación a la que se obtuvo con el tratamiento donde no se aplicó fertilizante. También como respuesta de - la aplicación al suelo de los niveles 60 y 120 kg de N/ha, se presentó diferencia no significativa en la concentración de N foliar.

En esta etapa del desarrollo vegetativo, los niveles obtenidos en la hoja que se observan en el mismo cuadro, se interpretan deficientes en base al Cuadro 2.

CUADRO 18

CONCENTRACION DE N FOLIAR A LOS
69 DIAS DEL CICLO VEGETATIVO DEL
MAIZ BAJO TRES NIVELES DE APLICACION
DE NITROGENO AL SUELO

Factor	Nivel en la Hoja
N	N (%)
- kg/ha -	
120	2.57
60	2.42
0	2.35
DSH 1%	0.18

6.2.1.2.2 Magnesio

La concentración de Mg foliar que se observa en el Cuadro 19, para el segundo muestreo fue 0.254%, cuando no se aplicó ninguna dosis de fertilizante nitrogenado, por lo cual se evidenció un incremento significativo al 1%, comparado con el tratamiento 120 kg de N/ha. Asimismo se encontró diferencia aunque no significativa entre las concentraciones de Mg en la hoja debida a la aplicación al suelo de los niveles 0 y 60 kg de N/ha.

El contenido de 0.236% y 0.254% de Mg en el tejido foliar, se interpreta dentro del rango de suficiencia, no así 0.194% que se encuentra deficiente.

CUADRO 19
 CONCENTRACION DE Mg FOLIAR A LOS
 69 DIAS DEL CICLO VEGETATIVO DEL
 MAIZ BAJO TRES NIVELES DE APLICACION
 DE NITROGENO AL SUELO

Factor N	Nivel en la Hoja Mg (%)
- kg/ha -	
0	0.254
60	0.236
120	0.194
DSH 1%	0.051

6.2.2 Variables del suelo

6.2.2.1 Análisis de varianza

En el Cuadro 8 A, se incluyen las variables del suelo evaluadas a los 69 días del ciclo vegetativo y donde se manifestó un efecto significativo sobre la concentración de P, causada por la aplicación al suelo de la fuente de variación P. También se aprecia un coeficiente de variación - aceptable para todas las variables.

6.2.2.2 Comparación múltiple de medias

6.2.2.2.1 Fósforo

La concentración de P en el suelo que se observa -

en el Cuadro 20, para el segundo muestreo fue de 48.28 ppm cuando se aplicó 90 Kg de P/ha, la cual mostró un incremento significativo al 1%, en base al tratamiento sin aplicación de fósforo al suelo. Además, los niveles de P determinados en el sustrato y que se presentan en el mismo cuadro se encuentran altos.

CUADRO 20
CONCENTRACION DE P EN EL SUELO A LOS
69 DIAS DEL CICLO VEGETATIVO DEL
MAIZ BAJO TRES NIVELES DE P APLICADOS AL SUELO

Factor P	Nivel en el Suelo ppm
———— Kg/ha ————	
90	48.28
45	42.12
0	36.13
DSH 1 %	11.25

6.3 Recolección de la Producción

6.3.1 Análisis de varianza

En el Cuadro 8 A, se incluye el rendimiento que fue determinado al momento de la cosecha y el cual muestra diferencia significativa entre tratamientos, causada por la fuente de variación N y P aplicados al suelo. Además se observa un coeficiente de variación normal en esta variable.

6.3.2 Comparación múltiple de medias

6.3.2.1 Rendimiento

La producción en grano de 4842.86 Kg por ha y -- 4735.71 Kg/ha que se observan en el Cuadro 21, presentó un aumento significativo al 1%, con la aplicación de 60 y 120 Kg de N/ha, en relación al rendimiento donde no se aplicó - nitrógeno al suelo. Igualmente se mostró una diferencia - aunque no significativa, entre los rendimientos obtenidos - por la aplicación de 60 y 120 Kg de N/ha.

CUADRO 21

PRODUCCION EN GRANO DEL MAIZ BAJO TRES NIVELES DE APLICACION DE NITROGENO AL SUELO

Factor	Rendimiento
N	Kg/ha
----- Kg/ha -----	
60	4842.86
120	4735.71
0	4364.29
DSH 1 %	321.00

En el Cuadro 22, se observa que cuando se aplicó 90 Kg de P/ha, se obtuvo un rendimiento en grano de 4871.43 kg por ha, el cual fue significativo al 1%, con respecto al obte nido con el tratamiento en el que no se aplicó fósforo al suelo. Tam - bién se presentó una diferencia no significativa entre la pro ducción causada por la aplicación de los niveles de 45 y 90 Kg de P/ha.

CUADRO 22
 PRODUCCION EN GRANO DEL MAIZ BAJO TRES
 NIVELES DE APLICACION DE FOSFORO AL SUELO

Factor P	Rendimiento Kg/ha
90	4871.43
45	4685.71
0	4378.57
DSH 1%	321.00

En el Cuadro 23, se observa que cuando se aplicó - 60-45 Kg de N-P/ha respectivamente, el rendimiento en grano de 5128.57 Kg/ha manifestó un incremento significativo al - 5% con relación a la producción obtenida sin aplicar nitrógeno y fósforo al suelo.

CUADRO 23

PRODUCCION EN GRANO DEL MAIZ BAJO
DIFERENTES NIVELES DE APLICACION DE
NITROGENO Y FOSFORO AL SUELO

Factor		Rendimiento Kg/ha
N	P	
kg/ha		
60	45	5128.57
120	90	5100.00
60	90	5000.00
120	45	4721.43
0	90	4500.00
60	0	4392.86
120	0	4385.71
0	0	4371.43
0	45	4214.29
DSH	5%	600.00

6.4 Correlaciones

El análisis de correlación se practicó para medir el grado de asociación entre las variables determinadas, en las diferentes fases del estado vegetativo.

6.4.1 Primer muestreo

En el Cuadro 24, se presentan los coeficientes de correlación y niveles de significancia de las variables -

Cuadro 24

Coefficientes de correlación y niveles de significancia para las variables determinadas a los 30 días del ciclo vegetativo en maíz.

Variables respuesta	pHs	Ps	Ks	Cas	Mgs	R	Nf	Pf	Kf	Caf	Mgf
pHs	1.00	0.04	-0.33	-0.24	-0.33	-0.15	-0.22	-0.32	-0.01	-0.00	-0.07
Ps		1.00	-0.10	-0.20	0.02	0.67**	0.23	0.67**	-0.08	-0.05	0.02
Ks			1.00	-0.02	0.32	-0.18	-0.17	-0.06	-0.11	0.38	0.01
Cas				1.00	0.55*	-0.09	0.16	0.08	-0.34	-0.29	-0.29
Mgs					1.00	0.04	0.01	-0.01	-0.31	-0.06	-0.26
R						1.00	0.46	0.57*	0.09	-0.02	0.08
Nf							1.00	0.69**	0.25	-0.52*	-0.31
Pf								1.00	0.02	-0.24	-0.15
Kf									1.00	-0.09	0.27
Caf										1.00	0.57*
Mgf											1.00

* 0.468 = Coeficiente de correlación al 5% de significancia

** 0.590 = Coeficiente de correlación al 1% de significancia

s = Distintivo de la variable correspondiente al suelo

f = Distintivo de la variable correspondiente al tejido foliar

R = Rendimiento

respuesta determinadas a los 30 días del período vegetativo.

6.4.1.1 Interrelación de las variables en la hoja

6.4.1.1.1 Nitrógeno y Fósforo

Entre el contenido de nitrógeno y fósforo foliar, se establece una correlación positiva altamente significativa (Cuadro 24). Cole et al, citados por Arnon (1), afirman que el estímulo del aumento en la asimilación del fósforo, puede ser descrito por los cambios metabólicos dentro de la planta. Ellos indican que el nitrógeno causa un estímulo en el sistema metabólico, resultando en un mayor cambio de reacciones NADH y ATP, al unirse con el fósforo asimilado. Además, Reichman et al, citados por Arnon (1), establecieron que el porcentaje de nitrógeno y fósforo en hojas de maíz de bajo crecimiento, manifiestan alta correlación con efecto - sobre la producción y la acción total de los nutrimentos en la cosecha. Por lo tanto, el nitrógeno actúa como indicador de la producción, pero el fósforo es igualmente importante.

6.4.1.1.2 Fósforo y rendimiento

El contenido de fósforo foliar presenta correlación significativa con efecto positivo sobre el rendimiento (Cuadro 24). Bennett et al (3), reportan que el incremento de fósforo en la hoja está asociado con una respuesta en la - producción y demuestra ser independiente al efecto de otro elemento.

6.4.1.1.3 Nitrógeno y Calcio

Entre el nitrógeno y el calcio foliares se establece una correlación significativa con efecto negativo sobre el segundo (Cuadro 24). Teuscher (27), indica que el calcio dentro de la planta se comporta como un regulador de translocación, ya que beneficia la absorción de otras sustancias y su correcta distribución en los tejidos. Contrariamente, la ausencia de este elemento provoca la alteración en el crecimiento de la planta, probablemente a causa del trastorno que sufre el proceso de absorción del nitrógeno, que al ser absorbido disminuye el contenido de calcio en la planta.

6.4.1.1.4 Calcio y Magnesio

Entre estos dos elementos se observó una correlación significativa, con efecto positivo en la hoja (Cuadro 24). Teuscher (27), afirma que el calcio tiende a incrementar y estabilizar la concentración de magnesio dentro de la planta, ya que el calcio tiene un efecto regulador en la absorción de magnesio.

6.4.1.2 Interrelación de las variables del suelo y la hoja

6.4.1.2.1 Fósforo y rendimiento

El fósforo del suelo disponible para la planta, presentó correlación altamente significativa con efecto positivo sobre el rendimiento y el contenido de fósforo en la hoja (Cuadro 24). Hanway, citado por Arnon (1), trabajando en maíz encontró que la relación entre el contenido de

fósforo en la hoja y la producción, se incrementa a causa - de la fertilización a base de fósforo de manera favorablemente confiable.

6.4.2 Segundo muestreo

En el Cuadro 25, se presentan los coeficientes de correlación y niveles de significancia de las variables respuesta determinadas a los 69 días del ciclo vegetativo. Es importante señalar que en esta fase de la edad fenológica el contenido de algunos nutrimentos en la hoja, ha disminuido sustancialmente, debido a que se ha iniciado la translocación de estos por diversas funciones del proceso metabólico en el inicio de la formación del grano.

6.4.2.1 Interrelación de las variables en la hoja

6.4.2.1.1 Nitrógeno, Calcio y Magnesio

El contenido de nitrógeno foliar presenta una correlación altamente significativa con efecto negativo sobre el calcio y magnesio en la hoja (Cuadro 25). En relación a este efecto antagónico, Viets et al, citados por Arnon (1), - indican que aplicando nitrógeno al suelo, el contenido de - éste y potasio aumenta en la hoja. Consecuentemente, el - nivel de calcio y magnesio disminuye, lo cual decrece la proporción de la relación $\frac{Ca+Mg}{K}$.

6.4.2.1.2 Fósforo, Calcio y Magnesio

La concentración de fósforo foliar evidencia correlación significativa y altamente significativa, con efecto

Cuadro 25

Coefficientes de correlación y niveles de significancia para las variables determinadas a los 69 días del ciclo vegetativo en maíz.

Variables respuesta	pHs	Ps	Ks	Cas	Mgs	R	Nf	Pf	Kf	Caf	Mgf
pHs	1.00	-0.43	0.38	0.05	-0.06	-0.46	0.26	-0.40	-0.54*	-0.42	-0.39
Ps		1.00	0.01	-0.18	0.23	0.49*	-0.22	0.60**	0.25	0.26	0.22
Ks			1.00	0.50*	0.64**	-0.27	-0.08	-0.01	-0.27	-0.05	0.03
Cas				1.00	0.38	0.08	-0.10	-0.07	0.13	-0.05	-0.08
Mgs					1.00	-0.02	-0.02	0.35	0.22	0.32	0.30
R						1.00	0.04	0.18	0.56*	0.07	-0.12
Nf							1.00	-0.39	-0.05	-0.68**	-0.78**
Pf								1.00	0.13	0.53*	0.60**
Kf									1.00	0.14	0.02
Caf										1.00	0.80**
Mgf											1.00

* 0.468 = Coeficiente de correlación al 5% de significancia

** 0.590 = Coeficiente de correlación al 1% de significancia

s = Distintivo de la variable correspondiente al suelo

f = Distintivo de la variable correspondiente al tejido foliar

R = Rendimiento

positivo para calcio y magnesio respectivamente, en la hoja (Cuadro 25). Albaum, citado por Bastín (2), manifiesta que el fósforo juega un papel central en la transformación de energía, principalmente bajo la forma de ATP por formación de ésteres fosfóricos. Asimismo el calcio desempeña funciones catalíticas, dentro de estas activa la adenosintrifosfatasa (ATP-asa). Devlin (10), menciona que en las reacciones que necesitan magnesio activador dentro del metabolismo de la planta, se requiere de la intervención de un transportador de fosfato. Por lo cual es posible que el magnesio participe en estas transferencias como transportador intermedio.

6.4.2.1.3 Calcio y Magnesio

Los niveles de calcio y magnesio en la hoja demuestran una correlación positiva altamente significativa, (Cuadro 25). Hanway, citado por Arnon (1), establece que al momento de la madurez fisiológica, el potasio emigra juntamente con los compuestos nitrogenados, incrementándose el contenido de calcio y magnesio en la hoja, con el transcurso de la madurez. Asimismo, Carlés et al, citados por el mismo autor (1), observaron que el efecto del calcio en un período de crecimiento dado, cesa antes que el de magnesio con el comienzo de la maduración del grano. Por consiguiente, el calcio es finalmente ubicado en la lámina de la hoja y el magnesio en el grano donde su acción es más constante y continua sobre su madurez. Casi la mitad del magnesio total y sólo una fracción del calcio es translocado al grano.

6.4.2.1.4 Potasio y rendimiento

La concentración de potasio en la hoja evidencia correlación significativa con efecto positivo sobre el rendi-miento (Cuadro 25). Mulder, citado por Arnon (1), concluye que en el maíz cuando el potasio no es elemento de importancia en los componentes de la planta (protoplasma, grasas o celulosa), tiene un papel esencial en un tiempo u otro en todos los procesos fisiológicos importantes. De tal modo, determina directamente la tasa de crecimiento y rendimiento.

6.4.2.2 Interrelación de las variables en el suelo

6.4.2.2.1 Potasio, Calcio y Magnesio

En el suelo, el nivel de potasio presenta correlación significativa con efecto positivo sobre el calcio y magnesio (Cuadro 25). Fassbender (13), establece que la influencia de la concentración intermicelar es de tal magnitud, que entre más se diluye mayor es la proporción de cationes divalentes adsorbidos, disminuyendo la proporción de iones monovalentes en el complejo coloidal. Por lo tanto, a mayor lluvia, habrá más cantidad de agua en el suelo y mayor adsorción de cationes divalentes (Ca y Mg) y trivalentes (Fe y Al) comparados con los monovalentes (K).

6.4.2.3 Interrelación de las variables del suelo y de la hoja

6.4.2.3.1 Fósforo y rendimiento

El nivel de fósforo del suelo presenta correlación positiva significativa y altamente significativa con el ---

rendimiento y el contenido de fósforo de la hoja respectivamente (Cuadro 25). Sayre, citado por Arnon (1), establece que el maíz acumula fósforo a lo largo de la etapa de crecimiento con una asimilación máxima entre la tercer y sexta semana del estado vegetativo. En tanto que Hanway, citado por el mismo autor (1), determina que la acumulación del fósforo en la planta, empieza ligeramente antes y generalmente en forma paralela al desarrollo de la materia seca, hasta el comienzo de la formación del grano. En consecuencia, el consumo prácticamente cesa después del inicio de la formación del grano. Igualmente considera que la cantidad de fósforo acumulada por la planta, depende en gran manera del estado del nutrimento en el suelo.

6.4.2.3.2 pH y Potasio

El pH del suelo muestra correlación significativa con efecto negativo sobre el contenido de potasio en la hoja (Cuadro 25). En todos los ensayos experimentales, se ha demostrado que la pérdida de potasio en la planta comienza en las hojas y al emigrar se va acumulando en la caña. De cualquier forma, Hanway, citado por Arnon (1), afirma que hay una pérdida relativa de potasio desde las hojas, envoltura de la mazorca y caña de maíz. Al parecer, con una alta disponibilidad de potasio, la acción de este nutrimento es mayor alrededor de 55 días del ciclo vegetativo. Por lo tanto, la acumulación en la planta cesa antes de llegar la madurez y el potasio se va perdiendo hacia el final del período de crecimiento.

Arnon (1), afirma que el potasio al no formar parte de compuestos orgánicos, se encuentra libre dentro de la --

planta siendo un elemento sumamente móvil. Por lo cual, los niveles de potasio en los tejidos de conducción son muy sensibles a los cambios del medio ambiente.

De acuerdo al Diagrama de Truog, citado por Castillo (6), un pH dentro del rango fuertemente ácido reduce la disponibilidad de potasio en el sustrato. Mientras que Nelson y Tisdale (21), enfatizan que bajo condiciones de alta intensidad y frecuencia de lluvia, las pérdidas de potasio por lixiviación son mayores en suelos con pH bajo.

6.4.3 Primero y segundo muestreo conjuntamente

En el Cuadro 26, se presentan los coeficientes de correlación y niveles de significancia entre las variables de los dos muestreos evaluados conjuntamente.

6.4.3.1 Interrelación de las variables en la hoja

6.4.3.1.1 Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Calcio

El nitrógeno manifestó una correlación altamente significativa positiva con potasio y fósforo, y negativa sobre el calcio en la hoja (Cuadro 26). El contenido de los elementos esenciales en la planta puede ser alterado dependiendo de las condiciones existentes en el suelo, tales como: el nivel de nutrimentos, el pH y el clima. Mengel, citado por Arnon (1), indica que el nitrógeno es tomado en grandes cantidades por el maíz y por eso la forma dominante en que este es proporcionado tiene una influencia marcada sobre el balance anión-cación en la planta. Generalmente tan pronto el ión amonio es absorbido, la acción de otros cationes como el potasio, calcio y magnesio, disminuye. A la inversa, la

acción de aniones y en particular, la del fósforo es favorecida.

El incremento del contenido de potasio en la hoja, probablemente es debido a que no ha alcanzado su nivel adecuado en relación al nitrógeno foliar, el cual actúa como regulador en éste caso. Mientras tanto, Bennett et al, citados - por Arnon (1), consideran que la acción del nitrógeno resulta en un incremento de la necesidad y absorción de fósforo en la planta.

6.4.3.1.2 Fósforo y Potasio

La concentración de fósforo presenta correlación positiva altamente significativa con el contenido de potasio - en la hoja (Cuadro 26). Bennett et al (3), establece que la producción de maíz se considera una función del contenido de fósforo y potasio interaccionados en la hoja.

6.4.3.1.3 Potasio y Calcio

La concentración de potasio varió inversamente proporcional y altamente significativa con el contenido de calcio en la hoja (Cuadro 26). Bastín (2), afirma que de las bases principales en la planta como K, Ca y Mg, el potasio - es el más activo. El mismo autor indica que con la aplicación frecuente de fertilizantes de potasio al suelo, sin compensación de otros nutrimentos, aumenta como consecuencia la concentración de potasio en las hojas, en tanto que el contenido de calcio y magnesio disminuye fuertemente. Consecuencia de lo anterior la planta presenta todos los signos de - una carencia de magnesio.

Cuadro 26

Coefficientes de correlación y niveles de significancia para las variables del suelo y de la hoja en los dos muestreos realizados en maíz.

Variables respuestas	pHs	Ps	Ks	Cas	Mgs	R	Nf	Pf	Kf	Caf	Mgf
pHs	1.00	-0.18	-0.13	-0.19	-0.21	-0.30	-0.14	-0.34	-0.17	-0.04	-0.25
Ps		1.00	-0.18	-0.26	0.11	0.55*	-0.21	0.28	-0.23	0.28	0.17
Ks			1.00	0.36	0.37	-0.17	0.53*	0.35	0.58*	-0.43	-0.01
Cas				1.00	0.45	-0.03	0.45	0.32	0.39	-0.44	-0.15
Mgs					1.00	0.02	0.04	0.09	0.00	0.06	0.08
R						1.00	0.11	0.34	0.04	0.02	-0.05
Nf							1.00	0.69**	0.91**	-0.86**	-0.24
Pf								1.00	0.60**	-0.45	0.07
Kf									1.00	-0.77**	-0.01
Caf										1.00	0.49*
Mgf											1.00

* 0.468 = Coeficiente de correlación al 5% de significancia

** 0.590 = Coeficiente de correlación al 1% de significancia

s = Distintivo de la variable correspondiente al suelo

f = Distintivo de la variable correspondiente al tejido foliar

R = Rendimiento

6.4.3.1.4 Calcio y Magnesio

El contenido de calcio y magnesio en la hoja, demostró una correlación positiva y significativa (Cuadro 26). Bastín (2), indica que en muchos casos parece confirmarse la necesidad de una relación Ca/Mg conveniente para lograr un buen rendimiento de los cultivos, para el caso del maíz, la establece 2 a 1.

6.4.3.2 Interrelación de las variables en el suelo

6.4.3.2.1 Fósforo y rendimiento

Se aprecia una correlación positiva significativa entre el contenido de fósforo del suelo y el rendimiento -- (Cuadro 26). Krantz y Chandler, citados por Arnon (1), reportan que al aplicar fertilizantes fosforados al suelo, se obtiene como respuesta un aumento en la producción de maíz, principalmente cuando los niveles de fósforo en el suelo son bajos o son suelos fijadores del mismo.

6.4.3.3 Interrelación de las variables del suelo y de la hoja

6.4.3.3.1 Potasio y Nitrógeno

El nivel de potasio del suelo presentó una correlación positiva y significativa con el contenido de nitrógeno y potasio de la hoja (Cuadro 26). Arnon (1), afirma que al aplicar solamente potasio en el suelo, se reduce la concentración de nitrógeno en plantas jóvenes; pero, cuando se aplica juntamente con nitrógeno, el potasio incrementa el contenido de nitrógeno y potasio en la planta.

6.4.4 Producción de grano y diferentes dosis de fertilización aplicadas al suelo

En el Cuadro 27, se presentan los coeficientes de correlación y niveles de significancia de las variables consideradas.

En algunos casos el efecto de un nutrimento sobre la acción de otro, no puede ser explicada en forma específica, probablemente por el resultado de asociaciones metabólicas, sinérgicas o antagónicas entre nutrimentos.

6.4.4.1 Nitrógeno y Fósforo

Se establece una correlación positiva altamente significativa entre el nitrógeno y fósforo (Cuadro 27). Algunos investigadores demuestran que con la aplicación de fertilizantes nitrogenados, se mejora considerablemente la utilización de los fertilizantes fosforados por el maíz.

Miller y Ohlrogge, citados por Arnon (1), obtuvieron un 100% de incremento de la acción del fósforo en la planta cuando el nitrógeno fue mezclado con fertilizantes fosforados.

En consecuencia, Dormaar y Ketcheson, citados por el mismo autor (1), indican que la influencia de los fertilizantes nitrogenados sobre el fósforo aprovechable, difiere con la forma en que el nitrógeno es aplicado y de las condiciones del suelo. Generalmente el ión amonio incrementa la acción del fósforo más que el ión nitrato. Este efecto es más pronunciado cuando existe un incremento de temperatura en el suelo.

Cuadro 27

Coefficientes de correlación y niveles de significancia para la producción en grano de maíz y las diferentes dosis de nitrógeno, fósforo y potasio aplicadas al suelo.

Variables respuesta	N	P	K	R	NP	NK	PK
N	1.0000	0.0000	0.0000	0.4056	0.6124**	0.5345*	0.0000
P		1.0000	0.0000	0.5120*	0.6124**	0.0000	0.5345*
K			1.0000	0.1546	0.0000	0.6546**	0.6546**
R				1.0000	0.6922**	0.3074	0.5001*
NP					1.0000	0.3273	0.3273
NK						1.0000	0.4286
PK							1.0000

* 0.468 = Coeficiente de correlación al 5% de significancia

** 0.590 = Coeficiente de correlación al 1% de significancia

R = Rendimiento

6.4.4.2 Nitrógeno, Fósforo y rendimiento

La interacción nitrógeno-fósforo presenta una correlación positiva en forma altamente significativa, con el rendimiento (Cuadro 27). Davidescu, citado por Arnon (1), establece que la síntesis intensiva de proteínas que conlleve un efecto sobre la producción, requiere una adición adecuada de los niveles de nitrógeno, así como un balance proporcionado de fósforo y potasio aplicados al suelo.

6.4.4.3 Fósforo, Potasio y rendimiento

La interacción fósforo-potasio muestra una correlación positiva y significativa con el rendimiento (Cuadro 27). Albaum, citado por Bastín (2), menciona que el suministro de fósforo sólo o combinado con potasio, aumenta significativamente la producción y favorece la formación del grano.

6.4.4.4 Potasio, Nitrógeno y Fósforo

El potasio evidencia una correlación positiva y altamente significativa con el nitrógeno y fósforo (Cuadro 27). Stangel, citado por Arnon (1), afirma que el potasio proporcionado al suelo por sí sólo no tiene efecto final sobre el contenido de nitrógeno en el grano. Sin embargo, Burkensroda, citado por el mismo autor (1), indica que la aplicación combinada entre nitrógeno y potasio mejora la calidad del grano. Además, Davidescu, citado por el mismo autor (1), manifiesta que el potasio contrarresta los efectos desfavorables de altas aplicaciones de nitrógeno sobre la calidad del grano. De tal forma que el efecto general del potasio, excepto cuando es suministrado en altas dosis, es para incrementar la eficiencia de nitrógeno conjuntamente con la del fósforo.

Cuadro 28

Comparación del nivel crítico, rango de suficiencia e índices DRIS como criterio de diagnóstico en tejido foliar a los 30 días del ciclo vegetativo en maíz.

Tercer hoja debajo del ápice

Composición de la hoja									Índices DRIS					Producción de grano	Métodos de diagnóstico		
Tratamientos			N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	Orden de requerimiento DRIS		Rango de suficiencia Jones y Eck (26)	Nivel crítico de Melsted et al. (26)	
kg/ha			%											kg/ha			
0	0	0	3.09	0.17	2.32	0.70	0.27	11	-32	13	9	-1	4400	P>Mg>Ca>N>K	P	P	
0	0	120	3.18	0.17	2.45	0.47	0.23	16	-29	17	-2	-2	4360	P>Mg=Ca>N>K	P	P,Mg	
0	45	0	3.04	0.20	1.96	0.63	0.20	11	-17	5	9	-8	4140	P>Mg>K>Ca>N	P	P,Mg	
0	45	120	3.07	0.19	1.80	0.57	0.23	13	-18	3	5	-2	4310	P>Mg>K>Ca>N	P	P,K,Mg	
0	90	0	3.12	0.23	1.73	0.50	0.21	12	-8	0	1	-5	4520	P>Mg>K>Ca>N	nd*	P,K,Mg	
0	90	120	3.36	0.23	2.02	0.50	0.21	13	-11	4	0	-6	4500	P>Mg>Ca>K>N	nd	P,Mg	
60	0	0	3.16	0.18	1.99	0.50	0.21	16	-22	8	2	-4	4270	P>Mg>Ca>K>N	P	P,Mg	
60	0	120	3.37	0.19	2.09	0.53	0.22	17	-22	7	2	-5	4620	P>Mg>Ca>K>N	P	P,Mg	
60	45	0	3.49	0.29	2.12	0.60	0.23	7	-3	1	2	-8	5210	Mg>P>Ca>K>N	nd	Mg	
60	45	120	3.46	0.24	2.19	0.50	0.21	13	-11	6	-1	-7	5070	P>Mg>Ca>K>N	nd	P,Mg	
60	90	0	3.67	0.34	2.06	0.47	0.22	9	4	0	-5	-8	4650	Mg>Ca>K>P>N	nd	Mg	
60	90	120	3.08	0.24	1.99	0.60	0.24	6	-8	3	4	-4	5380	P>Mg>K>Ca>N	nd	P,Mg	
120	0	0	3.35	0.18	1.76	0.53	0.21	21	-23	2	4	-5	4690	P>Mg>K>Ca>N	P	P,K,Mg	
120	0	120	2.91	0.18	1.73	0.63	0.25	12	-22	2	8	0	4100	P>Mg>K>Ca>N	P	N,P,K,Mg	
120	45	0	3.35	0.21	1.99	0.57	0.24	13	-16	4	3	-3	4590	P>Mg>Ca>K>N	nd	P,Mg	
120	45	120	3.12	0.23	1.89	0.60	0.23	8	-10	1	5	-4	4870	P>Mg>K>Ca>N	nd	P,K,Mg	
120	90	0	3.39	0.23	1.80	0.57	0.22	14	-11	-1	3	-6	4960	P>Mg>K>Ca>N	nd	P,K,Mg	
120	90	120	3.32	0.24	2.02	0.57	0.25	10	-11	3	2	-3	5270	P>Mg>Ca>K>N	nd	P,Mg	

* nd = No es posible el diagnóstico

6.5 Dagnóstico del Requerimiento Nutricional

Con el objeto de tener una mejor visualización de los resultados y para mayor comprensión, en los cuadros 28 y 29 se incluye la evaluación de los elementos contenidos en el tejido foliar para cada caso, mediante el uso del DRIS, rango de suficiencia y el nivel crítico como criterios de diagnóstico.

6.5.1 Primer muestreo

En el Cuadro 28, el DRIS diagnosticó requerimiento de fósforo para el tratamiento 0-0-0, igualmente el rango de suficiencia y el nivel crítico. Generalmente donde no se aplicó fósforo se manifestó una tendencia de requerimiento similar.

La aplicación de fósforo en el tratamiento 0-90-0 de N-P-K respectivamente, resultó en un aumento de la producción en relación al tratamiento testigo sin fertilización. Asimismo en el tratamiento 0-90-0, el DRIS determinó la necesidad de fósforo, magnesio y potasio, en su orden de requerimiento para la planta, lo cual no sucede con el nivel crítico, que únicamente establece la deficiencia de fósforo, potasio y magnesio, sin ningún orden de importancia, en cuanto a la necesidad dentro de la planta. Para el caso del rango de suficiencia, no es posible el diagnóstico.

Con el tratamiento 60-45-0 de N-P-K respectivamente se obtuvo un incremento de 810 kg en grano de maíz/ha, con respecto al tratamiento testigo, desapareciendo el requerimiento de fósforo de acuerdo al DRIS. En este tratamiento

el DRIS y el nivel crítico diagnostican el requerimiento de magnesio. Al igual que en el caso anterior, el rango de suficiencia no determina síntomas de deficiencia de fósforo y magnesio.

6.5.2 Segundo muestreo

El Cuadro 29 evidencia el requerimiento de potasio y fósforo en su orden de deficiencia, estimado por el DRIS, y nitrógeno, fósforo y potasio por el rango de suficiencia y el nivel crítico para todos los tratamientos durante el segundo muestreo.

En términos generales, se observa la capacidad del DRIS como un criterio de determinación de síntomas, ya que -predecir el grado de deficiencia de un nutrimento dentro de la planta, por medio del análisis de la hoja, también considera el balance de los mismos dentro de la planta, los cuales se derivan del orden proporcionado por los índices DRIS.

Cuadro 29

Comparación del nivel crítico, rango de suficiencia e índices DRIS como criterio de diagnóstico en tejido foliar a los 69 días del ciclo vegetativo en maíz.

Hojas de la mazorca

Composición de la hoja									Índices DRIS					Producción de grano kg/ha	Métodos de diagnóstico		
Tratamientos			N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	Orden de requerimiento DRIS		Rango de suficiencia Jones y Eck (26)	Nivel crítico de Melsted et al. (26)	
kg/ha			%														
0	0	0	2.48	0.16	0.65	0.77	0.22	24	-13	-41	28	2	4400	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K, Mg	
0	0	120	2.24	0.14	0.82	0.77	0.25	13	21	-24	26	6	4360	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K	
0	45	0	2.35	0.17	0.72	0.90	0.27	14	-13	-38	32	5	4140	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K	
0	45	120	2.63	0.18	0.75	0.87	0.25	18	-11	-38	28	2	4310	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K	
0	90	0	2.13	0.21	0.69	1.00	0.30	2	-1	-46	37	8	4520	K>P>N>Mg>Ca	N, K	N, P, K	
0	90	120	2.27	0.18	0.82	0.83	0.23	8	-7	-28	28	0	4500	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K, Mg	
60	0	0	2.58	0.17	0.72	0.70	0.22	23	-12	-35	22	1	4270	K>P>Mg>Ca>N	N, P, K	N, P, K, Mg	
60	0	120	2.44	0.18	0.78	0.73	0.24	15	-8	-31	21	3	4620	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K, Mg	
60	45	0	2.45	0.18	0.82	0.83	0.23	13	-11	-29	28	-1	5210	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K, Mg	
60	45	120	2.27	0.18	0.85	1.07	0.26	5	-15	-30	40	0	5070	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K	
60	90	0	2.39	0.19	0.88	0.87	0.26	8	-10	-26	26	2	4650	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K	
60	90	120	2.48	0.18	0.82	0.73	0.21	15	-7	-28	22	-2	5380	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K, Mg	
120	0	0	2.53	0.16	0.82	0.73	0.21	19	-15	-26	24	-2	4690	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K, Mg	
120	0	120	2.58	0.14	0.69	0.63	0.17	32	-19	-31	24	-6	4100	K>P>Mg>Ca>N	N, P, K, Mg	N, P, K, Mg	
120	45	0	2.69	0.17	0.82	0.63	0.17	24	-10	-26	19	-7	4590	K>P>Mg>Ca>N	N, P, K, Mg	N, P, K, Mg	
120	45	120	2.48	0.16	0.85	0.87	0.23	16	-20	-26	30	0	4870	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K	N, P, K, Mg	
120	90	0	2.62	0.16	0.78	0.77	0.17	25	-17	-28	30	-9	4960	K>P>Mg>N>Ca	N, P, K, Mg	N, P, K, Mg	
120	90	120	2.53	0.16	0.78	0.67	0.21	22	-15	-27	20	0	5270	K>P>Mg>Ca>N	N, P, K	N, P, K, Mg	

7. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas de acuerdo con los resultados son:

1. La aplicación de nitrógeno y fósforo al suelo separados o combinados, afectó el contenido foliar de nitrógeno, fósforo y potasio a los 30 días, así como de nitrógeno y magnesio a los 69 días durante el ciclo vegetativo.
2. El máximo rendimiento de maíz se obtuvo con la aplicación de 60 y 45 kg de nitrógeno y fósforo por hectarea, respectivamente.
3. Existe diferentes relaciones entre variables del suelo y de la planta con el rendimiento:
 - a) El nivel de fósforo del suelo con el rendimiento en grano y el contenido de fósforo en la hoja a los 30 días del estado vegetativo.
 - b) El nivel de potasio del suelo con el contenido de nitrógeno y potasio en la hoja.
 - c) El contenido de fósforo en la hoja y el rendimiento en grano a los 30 días del período vegetativo.
 - d) Las interacciones de nitrógeno-fósforo y fósforo-potasio aplicados al suelo con la producción en grano.
4. El análisis del suelo y de tejido foliar son importantes en el estudio de la relación suelo-planta, ya que se complementan para fines de diagnóstico en el estado nutricional de la planta.

8. RECOMENDACIONES

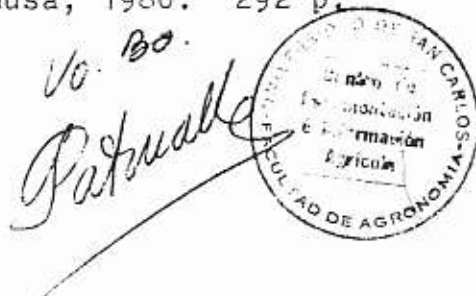
1. Utilizar los métodos de análisis del suelo y de la planta, con el objeto de elaborar programas de fertilización en los cultivos.
2. Realizar investigaciones sobre otros sistemas de diagnóstico existentes y que incluyan el balance de los nutrimentos dentro de la planta, con el fin de determinar el más factible de adaptar a los diferentes cultivos en nuestro medio.
3. Practicar el uso del DRIS en los cultivos con que ya se cuenta información.

9. BIBLIOGRAFIA

1. ARNON, I. Mineral nutrition of maize. Bern-Worblaufen, Switzerland, International Potash Institute, 1975. 452 p.
2. BASTIN, R. Tratado de fisiología vegetal. Traducido por Manuel Serrano García. España, CECSA, 1970. 514 p.
3. BENNETT, W. F., STANFORD, G. y DUMENIL, L. Nitrogen phosphorus and potassium content of corn leaf and grain as related to nitrogen fertilization and yield. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 17:252-258. 1953.
4. BOWEN, J. E. Análisis de tejidos vegetales; guía precisa para fertilización. Agricultura de las Américas (U.S.A.) 28(12):56-59. 1979.
5. CARVAJAL, C. J. F. La fertilización científica del cafeto. In Seminario sobre Fertilización Efectiva en Café (segunda etapa). Guatemala, INTECAP, 1976. p. irr.
6. CASTILLO, S. Curso de fertilidad y fertilizantes. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1983. s.p.
7. CHAPMAN, H. D. y PRATT, P. F. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Traducido por Agustín Contín. 4 ed. México, Trillas, 1984. 195 p.
8. COCHRAN, W. G. y COX, G. M. Diseños experimentales. 2 ed. México, Trillas, 1976. 661 p.
9. CRUZ, R. Análisis químico de suelos. Guatemala, ANACAFE, Departamento de Suelos y Fertilización, 1982. p. irr.
10. DEVLIN, R. M. Fisiología vegetal. Traducido por Xavier Llimona Pagés. 3 ed. Barcelona, Omega, 1980. 517 p.

11. DUMENIL, L. Nitrogen and phosphorus composition of corn leaves and corn yields in relation to critical levels and nutrient balance. *Soil Sci. Soc. Proc.* 1961:295-298. March 1961.
12. ESTRADA O, H. L. Determinación del nivel crítico de potasio por análisis foliar, en dos estados fenológicos del maíz (Zea mays L.). Tesis Ing. Agr. - Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1984. 43 p.
13. FASSBENDER, H. W. Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA, 1982. 422 p.
14. GALIANO, F. Diagnóstico foliar; fundamento y empleo en algunos cultivos. In Francisco Silva Mojica. Ed. Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. Bogotá, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1980. pp. 201-204.
15. GUATEMALA. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLA. Maíces para el trópico. Guatemala, 1981. 24 p. (Folleto No. 14).
16. -----, INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. Atlas climatológico. Guatemala, 1964. p. irr.
17. -----, Atlas climatológico. Guatemala, 1981. p. irr.
18. HOWELER, R.H. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales; algunos cultivos tropicales. Cali, Colombia, CIAT, 1983. 29 p.
19. MEDINA G., E. Relationship of the composition of plant tissue in mesquite (Prosopis velutina) and grapefruit (Citrus paradisi) to soil composition. Thesis Mag. Sc. U.S., Texas University, 1983. 62 p.
20. MUÑOZ A., L. H. Análisis foliar del fósforo en dos estados fenológicos del maíz (Zea mays L.) con fines de fertilización. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1984. 41 p.
21. NELSON, W. L. y TISDALE, S. L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Traducido por Jorge Balasch y Carmen Piña. México, UTEHA, 1982. 760 p.

22. SALISBURY, F. B. y ROSS, C. W. Plant physiology. - 2 ed. California, U. S., Wadsworth Publishing - Company Inc., 1978. 422 p.
23. SANDOVAL, J. L. El nivel crítico del nitrógeno en - maíz (Zea Mays L.). Tesis Ing. Agr. San José, - Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, - 1971. 71 p.
24. SIMMONS, CH. S., TARANO T., J. M. y PINTO, J. H. Cla - sificación de reconocimiento de los suelos de la - república de Guatemala. Traducido por Pedro Tira - do-Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra, - 1959. 1000 p.
25. SUMNER, M. E. Effect of corn leaf sampled on N, P, - K, Ca and Mg content and calculated DRIS indices. - Commun Soil Sci. Plant Anal. 8:269-280. 1977.
26. ----- Interpretation of foliar analyses for diag - nostic purposes. Agronomy Journal 71:343-348. 1979.
27. TEUSCHER, H. y ADLER, R. Suelo y su fertilidad. Tra - ducido por Rodolfo Vera y Zapata. 5 ed. México, - CECSA, 1980. 510 p.
28. U. S. NATIONAL PLANT FOOD INSTITUTE. Manual de ferti - lizantes. Traducido por Modesto Rodríguez de la - Torre. 3 ed. México, Limusa, 1980. 292 p.



10. APENDICE

Cuadro 1

Resultados del análisis de suelo a los 30 días del ciclo vegetativo en maíz.

Tratamiento			pH	ppm		meq/100 gr.	
N	P	K		P	K	Ca	Mg
kg/ha							
0	0	0	4.83	34.73	90	3.08	0.55
0	0	120	4.70	37.57	78	2.93	0.55
0	45	0	4.77	39.71	105.33	2.91	0.59
0	45	120	4.53	40.57	103.33	3.29	0.67
0	90	0	4.90	44.09	90	3.22	0.62
0	90	120	4.63	42.38	87.33	3.43	0.63
60	0	0	4.53	30.12	87.33	3.49	0.63
60	0	120	4.60	34.96	113.33	3.21	0.58
60	45	0	4.33	43.09	104	3.08	0.62
60	45	120	4.73	44.44	85.33	3.24	0.60
60	90	0	4.60	43.78	82.67	3.39	0.53
60	90	120	4.63	47.94	79.33	2.91	0.52
120	0	0	4.77	35.49	76.67	3.51	0.59
120	0	120	4.63	37.33	95.33	3.16	0.52
120	45	0	4.57	40.38	88.67	3.00	0.62
120	45	120	4.50	42.60	98.67	3.74	0.72
120	90	0	4.67	40.32	84	3.12	0.63
120	90	120	4.80	47.19	92.67	3.06	0.59

Cuadro 2

Resultados del análisis de suelo a los 69 días del ciclo vegetativo en maíz.

Tratamiento			pH	ppm		meq/100 gr.	
N	P	K		P	K	Ca	Mg
kg/ha							
0	0	0	4.97	39.35	76.67	2.97	0.56
0	0	120	4.80	34.77	79.33	3.06	0.58
0	45	0	4.57	39.81	73.33	2.89	0.56
0	45	120	4.73	43.93	88.67	3.00	0.71
0	90	0	4.67	48.57	74	2.97	0.56
0	90	120	4.67	51.74	90.67	3.12	0.65
60	0	0	4.80	36.58	84	3.14	0.63
60	0	120	4.57	38.65	78	3.00	0.58
60	45	0	4.57	49.66	71.33	3.02	0.58
60	45	120	4.70	42.29	84	3.12	0.66
60	90	0	4.50	51.78	68.67	3.00	0.62
60	90	120	4.60	48.88	79.33	3.14	0.58
120	0	0	4.70	33.51	75.33	3.29	0.60
120	0	120	4.90	38.30	86.67	3.10	0.55
120	45	0	4.90	41.23	69.33	2.83	0.55
120	45	120	4.53	39.42	66.67	2.93	0.54
120	90	0	4.60	42.90	69.33	2.97	0.57
120	90	120	4.67	51.22	80.67	2.97	0.60

Cuadro 3

Resultados del análisis del tejido foliar a los 30 días del ciclo vegetativo en maíz.

Tratamiento			Composición de las hojas (%)				
N	P	K	N	P	K	Ca	Mg
kg/ha							
0	0	0	3.094	0.173	2.319	0.700	0.267
0	0	120	3.178	0.173	2.450	0.467	0.233
0	45	0	3.038	0.199	1.960	0.633	0.200
0	45	120	3.066	0.191	1.797	0.567	0.233
0	90	0	3.122	0.228	1.731	0.500	0.207
0	90	120	3.360	0.232	2.025	0.500	0.213
60	0	0	3.164	0.181	1.993	0.500	0.213
60	0	120	3.374	0.193	2.091	0.533	0.220
60	45	0	3.486	0.295	2.123	0.600	0.227
60	45	120	3.248	0.237	2.189	0.500	0.207
60	90	0	3.668	0.337	2.058	0.467	0.220
60	90	120	3.080	0.243	1.993	0.600	0.240
120	0	0	3.346	0.180	1.764	0.533	0.207
120	0	120	2.912	0.177	1.731	0.633	0.247
120	45	0	3.346	0.213	1.993	0.567	0.240
120	45	120	3.122	0.232	1.895	0.600	0.233
120	90	0	3.388	0.232	1.797	0.567	0.220
120	90	120	3.318	0.239	2.025	0.567	0.247

Tercer hoja debajo del ápice.

Cuadro 4

Resultados del análisis del tejido foliar a los 69 días del ciclo vegetativo en maíz.

Tratamiento			Composición de la hoja (%)				
N	P	K	N	P	K	Ca	Mg
kg/ha							
0	0	0	2.478	0.159	0.653	0.767	0.220
0	0	120	2.240	0.145	0.817	0.767	0.253
0	45	0	2.352	0.169	0.719	0.900	0.267
0	45	120	2.632	0.184	0.751	0.867	0.253
0	90	0	2.128	0.206	0.686	1.000	0.300
0	90	120	2.268	0.185	0.817	0.833	0.233
60	0	0	2.576	0.166	0.719	0.700	0.220
60	0	120	2.436	0.181	0.784	0.733	0.240
60	45	0	2.450	0.178	0.817	0.833	0.227
60	45	120	2.268	0.177	0.849	1.067	0.260
60	90	0	2.394	0.187	0.882	0.867	0.260
60	90	120	2.478	0.184	0.817	0.733	0.213
120	0	0	2.534	0.163	0.817	0.733	0.207
120	0	120	2.576	0.138	0.686	0.633	0.167
120	45	0	2.688	0.173	0.817	0.633	0.173
120	45	120	2.478	0.156	0.849	0.867	0.233
120	90	0	2.618	0.156	0.784	0.767	0.173
120	90	120	2.534	0.159	0.784	0.667	0.213

Hoja de la mazorca.

Cuadro 5

Análisis de varianza de la concentración de N, P, K, Ca y Mg en la hoja a los 30 días del ciclo vegetativo en maíz.

Fuente de variación	Grados de libertad	F Calculada					F Tabulada	
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	5%	1%
Bloque	2	4.04	20.51	18.22	19.10	4.10	3.28	5.30
Treatm	17	2.80**	6.98**	2.59**	0.90NS	0.73NS	1.94	2.57
N	2	5.93**	14.43**	8.30**	0.60NS	0.45NS	3.28	5.30
P	2	2.35NS	28.79**	4.55*	0.60NS	0.25NS	3.28	5.30
K	1	1.55NS	2.99NS	1.46NS	0.20NS	0.71NS	4.13	7.46
NP	4	1.21NS	1.94NS	3.22*	0.30NS	1.16NS	2.66	3.92
NK	2	3.83*	4.28*	0.83NS	2.16NS	0.37NS	3.28	5.30
PK	2	0.26NS	1.38NS	0.03NS	0.80NS	0.25NS	3.28	5.30
NPK	4	3.86*	2.53NS	0.55NS	1.40NS	1.12NS	2.66	3.94
Error	34							
Total	53							
C.V.		6.15%	12.86%	12.76%	21.88%	15.75%		

* = Significancia al 5% de probabilidad

** = Significancia al 1% de probabilidad

NS = No significativo

Cuadro 6

Análisis de varianza para la concentración de P, K, Ca y Mg en el suelo a los 30 días del ciclo vegetativo en maíz.

Fuente de variación	Grados de libertad	F Calculada				F Tabulada	
		Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	5%	1%
Bloque	2	7.23	0.40	1.24	0.52	3.28	5.30
Tretem	17	0.59NS	0.98NS	0.50NS	0.59NS	1.94	2.57
N	2	0.02NS	0.15NS	0.19NS	0.36NS	3.28	5.30
P	2	3.66*	1.91NS	0.02NS	1.53NS	3.28	5.30
K	1	0.93NS	0.31NS	0.02NS	0.00NS	4.13	7.46
NP	4	0.28NS	1.16NS	0.57NS	0.83NS	2.66	3.94
NK	2	0.12NS	1.15NS	0.46NS	0.28NS	3.28	5.30
PK	2	0.01NS	0.76NS	1.80NS	0.80NS	3.28	5.30
NPK	4	0.10NS	0.95NS	0.30NS	0.18NS	2.66	3.94
Error	34						
Total	53						
C.V.		13.96%	19.73%	17.36%	19.74%		

* = Significancia al 5% de probabilidad

** = Significancia al 1% de probabilidad

NS = No significativo

Cuadro 7

Análisis de varianza de la concentración de N, P, K, Ca y Mg en la hoja a los 69 días del ciclo vegetativo en maíz.

Fuente de variación	Grados de libertad	F Calculada					F Tabulada	
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	5%	1%
Bloque	2	0.20	9.94	5.02	24.53	16.56	3.28	5.30
Tratam	17	2.11*	0.75NS	1.29NS	1.07NS	1.54NS	1.94	2.57
N	2	7.35**	2.07NS	2.47NS	2.43NS	7.09**	3.28	5.30
P	2	0.84NS	1.78NS	1.69NS	2.28NS	0.70NS	3.28	5.30
K	1	0.22NS	0.34NS	1.19NS	0.01NS	0.03NS	4.13	7.46
NP	4	1.91NS	0.59NS	0.57NS	0.50NS	0.11NS	2.66	3.94
NK	2	0.80NS	0.27NS	2.47NS	0.37NS	0.59NS	3.28	5.30
PK	2	0.58NS	0.05NS	0.02NS	2.25NS	1.23NS	3.28	5.30
NPK	4	2.21NS	0.41NS	1.30NS	0.38NS	1.62NS	2.66	3.94
Error	34							
Total	53							
C.V.		7.27%	19.67%	12.55%	24.74%	21.46%		

* = Significancia al 5% de probabilidad

** = Significancia al 1% de probabilidad

NS = No significativo

Cuadro 8

Análisis de varianza para el Rendimiento y la concentración de P, K, Ca y Mg del suelo a los 69 días del ciclo vegetativo en maíz.

Fuente de variación	Grados de libertad	F Calculada					F Tabulada	
		Rendimiento	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	5%	1%
Bloque	2	1.50	8.23	1.19	0.04	3.16	3.28	5.30
Tratam	17	4.64**	0.89NS	0.73NS	0.50NS	0.81NS	1.94	2.57
N	2	11.64**	0.48NS	0.53NS	0.51NS	0.94NS	3.28	5.30
P	2	11.19**	5.30**	0.51NS	0.86NS	0.13NS	3.28	5.30
K	1	1.55NS	0.11NS	4.07NS	0.57NS	1.27NS	4.13	7.46
NP	4	3.80*	0.09NS	0.66NS	0.45NS	0.33NS	2.66	3.94
NK	2	1.14NS	0.41NS	0.17NS	0.56NS	2.00NS	3.28	5.30
PK	2	2.45NS	0.30NS	0.40NS	0.83NS	1.72NS	3.28	5.30
NPK	4	2.33NS	0.43NS	0.60NS	0.15NS	0.40NS	2.66	3.94
Error	34							
Total	53							
C.V.		6.71%	13.02%	19.62%	10.09%	15.53%		

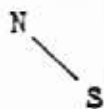
* = Significancia al 5% de probabilidad

** = Significancia al 1% de probabilidad

NS = No significativo

Cuadro 9

Croquis de campo del áreas experimental



10	6	4	1	8	14	17	5	11
12	15	7	18	3	9	16	13	2

BLOQUE I

16	5	13	10	12	6	8	4	9
11	7	18	15	17	2	1	3	14

BLOQUE II

14	1	8	3	18	10	13	16	12
4	11	9	7	15	6	2	17	5

BLOQUE III

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Referencia _____
Prescribe _____

FACULTAD DE AGRONOMIA
Ciudad Universitaria, Zona 12.
Apartado Postal No. 1545
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

"IMPRIMASE"



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