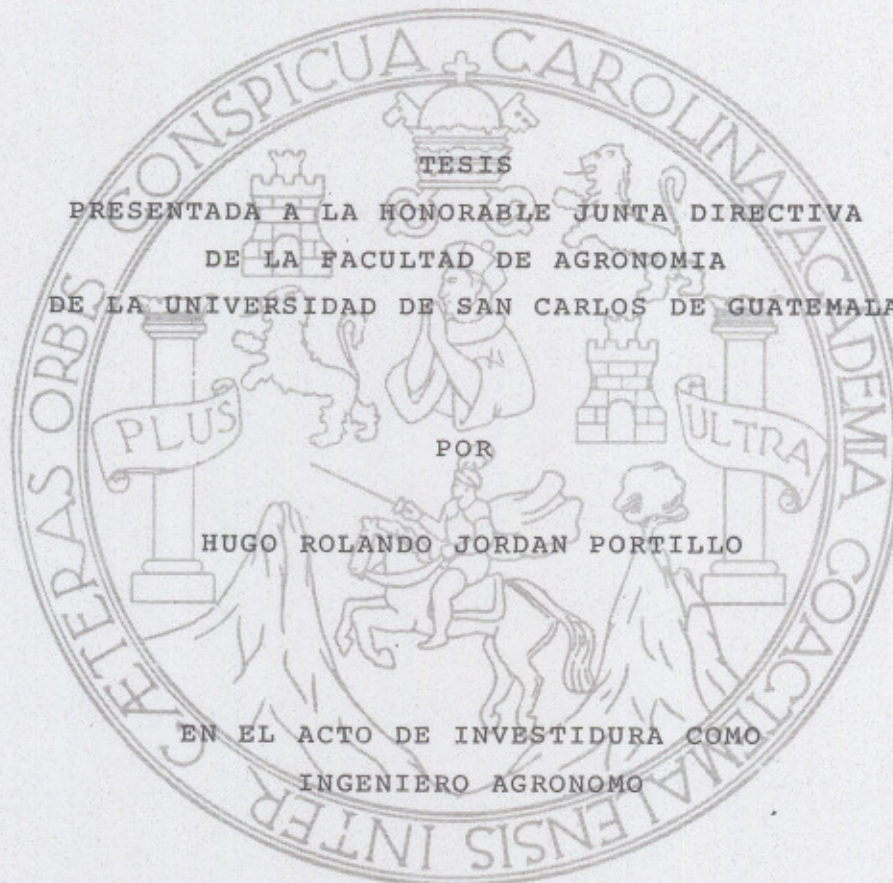


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

EVALUACION DE DOS METODOLOGIAS Y CUATRO RELACIONES Ca/Mg EN LA
ESTIMACION DE CAL PARA LOS SUELOS ACIDOS SERIE CRISTINA EN CONDICIONES
DE INVERNADERO EN ARROZ (Oriza sativa L.) COMO PLANTA INDICADORA



TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

HUGO ROLANDO JORDAN PORTILLO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO

EN
SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1994

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES

ANGEL MARIA JORDAN (Q.E.P.D.)
DOLORES PORTILLO

A MI ESPOSA

AMANDA SANDOVAL DE JORDAN

A MI HIJA

CHRISTEL IVONE

A MIS HERMANOS

CARLOS HUMBERTO, ANGEL MANUEL,
JULIO ENRIQUE (Q.E.P.D),
CESAR RENE, RAMIRO, EDGAR
OTONIEL, CONRADO, RONY

A MIS SOBRINOS

CARLOS GUSTAVO, KARLA MARIA,
ASTRID ASUCENA, JENIFER
EUNICE, ANGEL OTONIEL, JULIO
ENRIQUE

A MIS SUEGROS

CESAR SANDOVAL Y
ETELVINA MOLINA

A MIS CUNADAS(OS)

MARIA ARGELIA BARRIENTOS,
VILMA ENRIQUEZ, ANGELICA
MARIA AGUILAR, ELDER SANDOVAL,
MIRNA, DINA, HELENA Y
PATRICIA SANDOVAL.

A MIS TIOS, TIAS

A MIS AMIGOS

TESIS QUE DEDICO

A:

GUATEMALA

CHIQUIMULA

LABORATORIO DE ANALISIS SUELO
PLANTA "SALVADOR CASTILLO
ORELLANA"

LA FACULTAD DE AGRONOMIA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento sincero a mis asesores Ing. Agr. Anibal Sacabajá Galindo e Ing. Agr. Mc José Jesús Chonay Pantzay por su valiosa colaboración en la asesoría del presente trabajo.

Al laboratorio de análisis Suelo- Planta "Salvador Castillo Orellana" por brindarme su enseñanza.

Al Ing. Agr. Marino Barrientos y Johnny Toledo por su colaboración en la elaboración del presente trabajo.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron para la realización de la presente investigación.

CONTENIDO

CONTENIDO GENERAL

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. DEFINICION DEL PROBLEMA	2
3. JUSTIFICACION	3
4. MARCO TEORICO	4
4.1 MARCO CONCEPTUAL	4
4.1.1 La reacción del suelo o pH	5
4.1.2 Factores que causan acidez	5
4.1.2.1 La lluvia	5
4.1.2.2 Grupos ácidos de los minerales arcillosos	5
4.1.2.3 Grupos ácidos de la materia orgánica	5
4.1.2.4 Acidos solubles	6
4.1.2.5 Hidrógeno intercambiable	6
4.1.3 Principal causa del mal desarrollo de las plantas en suelos ácidos	6
4.1.4 Fósforo	7
4.1.5 Toxicidad del aluminio	7
4.1.6 interacción aluminio fósforo	8
4.1.7 Deficiencia de calcio	8
4.1.8 Deficiencia de zinc	8
4.1.9 Enmienda de suelos ácidos	9
4.1.10 Metodologías de encalado	9
4.1.10.1 Incubación de muestras de suelo con cal	9
4.1.10.2 Titulación del suelo con base	9
4.1.10.3 Método de Schofield y Taylor	10
4.1.10.4 Método de Woodruff	10
4.1.10.5 Método de Mehlich	10
4.1.10.6 Método de S.M.P Buffer simple	10
4.1.10.7 Método de S.M.P Buffer doble	11
4.1.10.8 Método de Adams y Evans	11
4.1.10.9 Aluminio intercambiable	11
4.1.10.10 Saturación de bases	12
4.1.11 Determinación de las necesidades de encalado	12
4.1.12 Materiales que se utilizan para encalar	12
4.1.13 Trabajos sobre encalado de suelos	12
4.2 MARCO REFERENCIAL	14
4.2.1 Descripción del área experimental	14
4.2.2 Localización del experimento	14
4.2.3 Características generales del área de estudio	14
4.2.4 Condiciones climáticas	15
4.2.5 Condiciones edáficas	15
5. OBJETIVOS	16
6. HIPOTESIS	17
7. METODOLOGIA	18
7.1 Método de muestreo	18
7.2 Sorción	18
7.3 Planta indicadora	18

- 7.4.2 Saturación de bases
- 7.5 Relaciones Ca/Mg
- 7.6 Metodología experimental
- 7.7 Modelo estadístico
- 7.8 Unidad experimental
- 7.9 Variable de respuesta
 - 7.9.1 Biomasa
 - 7.9.2 Altura de la planta
- 7.10 Manejo del ensayo
 - 7.10.1 Período de incubación
 - 7.10.2 Fertilización
 - 7.10.3 Siembra
 - 7.10.4 Riego
 - 7.10.5 Cosecha
- 7.11 Análisis de datos
- 8. RESULTADOS Y DISCUSION
- 9. CONCLUSIONES
- 10. RECOMENDACIONES
- 11. BIBLIOGRAFIA
- 12. APENDICE

- 20
- 20
- 23
- 24
- 25
- 25
- 25
- 25
- 25
- 25
- 25
- 26
- 26
- 26
- 26
- 26
- 26
- 27
- 34
- 35
- 36
- 39
- 40
- 41
- 42
- 43
- 44
- 45
- 46
- 47
- 48
- 49
- 50
- 51
- 52
- 53
- 54
- 55
- 56
- 57
- 58
- 59
- 60
- 61
- 62
- 63
- 64
- 65
- 66
- 67
- 68
- 69
- 70
- 71
- 72
- 73
- 74
- 75
- 76
- 77
- 78
- 79
- 80
- 81
- 82
- 83
- 84
- 85
- 86
- 87
- 88
- 89
- 90
- 91
- 92
- 93
- 94
- 95
- 96
- 97
- 98
- 99
- 100

INDICE DE FIGURAS

Figura	INDICE DE FIGURAS	Página
1A.	Altura de la planta expresada en cm con la metodología saturación de bases y aluminio intercambiable	40
2A.	Altura de la planta expresada en centímetros con la relación Ca/Mg	40
3A.	Altura de la planta en centímetros con la aplicación de nutrientes al suelo	41
4A.	Altura de la planta con la aplicación de nutrientes al suelo	41
5A.	Altura de la planta expresada en cm con la interacción relación Ca/Mg con la aplicación de nutrientes al suelo	42
6A.	Biomasa expresada en porcentaje con la aplicación de nutrientes al suelo	42

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pag
1. Análisis, metodologías y fuente de los análisis	19
2. Tratamientos, metodologías, relaciones y nutrientes evaluados	21
3. Compuestos químicos, elementos y niveles expresados en ppm aplicados al suelo	22
4. Cantidad de solución a aplicar por maceta para obtener la concentración adecuada	23
5. Metodologías, relaciones y cantidades de CaO y MgO que se evaluaron al suelo	23
6. Análisis físico y químico de suelo Serie Cristina	27
7. Lecturas de Ph en el suelo 35 días después de haber aplicado cantidad de cal calculado con 2 metodologías y 3 relaciones Ca/Mg en el período de incubación	28
8. Análisis de varianza de la altura en cm y biomasa en g/maceta del cultivo de arroz a nivel de invernadero realizado en la facultad de Agronomía	29
9. Altura promedio en cm por efecto de calcio y magnesio estimada por las 2 metodologías	30
10. Altura promedio por efecto de las relaciones Ca/Mg	30
11. Altura promedio de la planta en la planta por efecto de la metodologías y relaciones Ca/Mg	31
12. Altura promedio de la planta en cm por efecto de nutrientes aplicados al suelo	31
13. Altura promedio en cm con la interacción metodología por nutriente	32
14. Altura promedio de la planta con la interacción relaciones con nutrientes	32
15. Rendimiento de biomasa, con la aplicación de nutrientes al suelo, expresada en porcentaje	33

EVALUACION DE DOS METODOLOGIAS Y CUATRO RELACIONES Ca/Mg EN LA ESTIMACION DE CAL PARA LOS SUELOS ACIDOS SERIE CRISTINA EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN ARROZ (Oriza sativa L.) como planta indicadora.

EVALUATION OF TWO METODOLOGIES AND FOUR Ca/Mg RELATIONSHIPS IN LIME ESTIMATION FOR ACID SOILS CRISTINA SERIES UNDER GREENHOUSE CONDITIONS USING RICE (Oriza sativa L.) AS AN INDICATOR PLANT.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el invernadero de la facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se evaluaron 2 metodologías a) aluminio intercambiable que se extrajo con KCl, b) saturación de bases en donde se determinó la cation exchange capacity con acetato de amonio Ph 7.1 N. Las relaciones Ca/Mg fueron 2:1, 6:1, 10:1 y 0 que corresponde a la proporción nativa del suelo y la adición de los elementos faltantes -K, -P, -Zn,. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de biomasa, expresada en porcentaje y altura en centímetros, se utilizó el diseño bloques completamente al azar, con un arreglo factorial 2x4x5 y 20 unidades experimentales por cada metodología. La unidad experimental consistió en macetas plásticas con 300 g de suelo de la Serie Cristina con Ph 5.5, proveniente de Izabal; se sembró arroz como planta indicadora. Los nutrientes K, Zn y P y todos los nutrientes (N, P, K, Cu, Zn, S, Mo) se aplicaron en solución 5 días antes de la siembra de acuerdo a los tratamientos establecidos. Para el nitrógeno, la segunda aplicación se hizo a los 20

días después de la siembra. A los cuarenta días después de la siembra se midió la altura de la planta de cada unidad experimental y se cortó el tallo a un cm del suelo. Previo a la determinación del peso de cada tratamiento, la materia verde se puso en un horno de convección a 65°, para obtener el rendimiento de biomasa en base seca.

De acuerdo a los resultados se concluye que para las dos metodologías evaluadas, relaciones Ca/Mg y disponibilidad de nutrientes P, K, y Zn no hubo diferencia significativa de la biomasa en arroz. Con la relación Ca/Mg 2:1 estimada y la metodología saturación de bases y sin aplicación de Zinc, se obtuvo la mayor altura en la planta de arroz, siendo los limitantes el fósforo y potasio.

1. INTRODUCCION

Guatemala es un país de vocación forestal y de uso agrícola, se ubica dentro de la faja subtropical del continente americano y permite la adaptación y producción de diferentes cultivos.

El mal desarrollo de las plantas en suelos ácidos es debido a altos niveles de aluminio y manganeso intercambiable.

Fassbender (6) deduce que en regiones tropicales húmedas, con alta precipitación pluvial la percolación del agua a través del perfil es intensa, lo que provoca la acidificación progresiva de los suelos y se debe al reemplazo de las bases cambiables Ca, Mg, Na, K por iones Al, H, Fe y Mn.

El presente trabajo de investigación se realizó en el invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en suelos de la Serie Cristina y utilizando la planta de arroz como indicadora. Se evaluaron 2 metodologías de encalado que fueron: a) neutralización del aluminio intercambiable, b) saturación de bases con 4 relaciones calcio y magnesio (2:1, 6:1 y 10:1 y 0).

Según el Instituto Geográfico Nacional (9), los suelos del departamento de Izabal están ubicados dentro de la provincia fisiográfica tierras bajas del Petén-Caribe, de naturaleza ácida y deficientes en calcio y magnesio. Simmons Tarano y Pinto (23) dice que los suelos de la serie Cristina se localizan en la zona norte de Guatemala y ocupan una extensión de 1,812 hectáreas, 0.017 % del área de la república, estos suelos presentan el problema de acidez, por lo que se recomienda la aplicación de calcio y magnesio.

Guatemala es un país de vocación forestal y de uso agrícola. Se ubica dentro de la zona subtropical del continente americano y permite la adaptación y producción de diferentes cultivos. El mal desarrollo de las plantas en suelos ácidos es debido a bajos niveles de aluminio y manganeso intercambiables.

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

En suelos ácidos la deficiencia de los nutrientes calcio, magnesio, fósforo y toxicidad del aluminio, hierro y manganeso, son una de las posibles causas del bajo rendimiento de los cultivos, lo que se corrige con la práctica de encalado, que consiste en enmiendas a base de calcio y magnesio para reducir los efectos dañinos provocados por la acidez y mejorar las condiciones físicas y biológicas del suelo.

Los suelos en estudio se ubican en el departamento de Izabal, se clasifican en la Serie Cristina, son de naturaleza ácida debido al clima, alta precipitación pluvial y temperatura.

3. JUSTIFICACION

En nuestro medio no han sido evaluadas metodologías para cuantificar el requerimiento de cal y relaciones calcio/magnesio, sobre el rendimiento de los cultivos en suelos ácidos, por lo que se pretende en ésta investigación determinar la cantidad de cal, relaciones calcio/magnesio adecuadas, con 2 metodologías a) aluminio intercambiable b) saturación de bases y 4 relaciones calcio/magnesio (2:1, 6:1, 10:1 y 0 que corresponde a la proporción nativa del suelo) en suelos Serie Cristina ubicados en el departamento de Izabal

4. MARCO TEORICO

4.1 Marco Conceptual.

4.1.1 La reacción del suelo o Ph.

Buol, Hole y McCracken (3) define el Ph como el logaritmo negativo de la actividad del ion hidrógeno, criterio utilizado para determinar la necesidad de cal y la respuesta a los fertilizantes.

Bronsted y Lowry citados por Sánchez (20) definen el término ácido como una sustancia que tiende a dar protones a otra sustancia.

Teusher y Adler (24) opinan que el pH afecta la asimilación de nutrientes, especialmente al fósforo, siendo su disponibilidad baja cuando el suelo es de reacción de moderada o muy ácida.

Millar, Turk y Foth (16) expresan que la acidez total del suelo tiene dos componentes: El hidrógeno activo o en solución y el hidrógeno intercambiable, de reserva o potencial, estas dos formas tienden a alcanzar un equilibrio de manera que un cambio en uno produce un cambio en el otro.

Sánchez (20), define la Acidez activa como la concentración de iones de hidrógeno que se presenta en la solución del suelo y que pueden ser determinada su concentración en solución acuosa. Y la acidez potencial como la concentración de iones de hidrógeno que se presenta en el complejo de intercambio determinándose con soluciones que contienen iones que reemplazan a los hidrógenos.

Kamprath (14) define la acidez intercambiable como aquella porción de la acidez del suelo que pueda ser reemplazada por una sal neutra como el KCl.

Veitch citado por Kamprath (14), menciona que una de las fuentes de acidez intercambiable es el aluminio. Además Paver y Marshall citados por Kamprath (14), confirman la acción del aluminio extraído de arcillas ácidas con una solución de sal neutra y un gran número de investigadores han demostrado que el aluminio intercambiable es el principal componente de la acidez del suelo.

4.1.2 Factores que causan acidez.

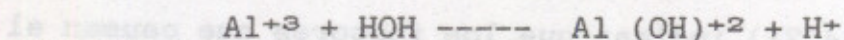
Fassbender y Teuscher (6,24) indican que la acidez de los suelos es causada por los siguientes factores:

4.1.2.1. La lluvia.

La distribución de la precipitación hace variar el Ph en las diferentes estaciones del año, aumentando la acidez en época bajo condiciones de alta precipitación pluvial la percolación del agua a través del perfil es intensa, de ésta manera se lixivian iones de calcio, magnesio, potasio y sodio.

4.1.2.2 Grupos ácidos de los minerales arcillosos.

Es fuente de acidez el aluminio cuando se hidrata libera iones de hidrógeno a la solución del suelo, como se aprecia en la siguiente ecuación:



4.1.2.3 Grupos ácidos de la materia orgánica.

La materia orgánica funciona, al igual que los minerales

arcillosos, como material de intercambio. los radicales activos fenólicos y carboxílicos que se encuentran en la periferia de la molécula de humus, los cuales al disociarse eliminan iones hidrógenos a la solución.

4.1.2.4 Ácidos solubles.

Proviene de fertilizantes de reacción ácida y de la oxidación de las piritas. La otra fuente de ácidos solubles es la mineralización de la materia orgánica en suelos con flora microbiana activada, resultando la liberación de ácidos orgánicos solubles.

4.1.2.5 Hidrógeno intercambiable.

Coleman, citado por Kamprath (14) menciona que muy poco hidrógeno intercambiable existe en los suelos minerales, además indica que al guardarse con humedad la montmorillonita y caolinita saturada con Hidrógeno, espontáneamente cambian para formar arcillas saturadas con Al y Mg. o arcillas saturadas con aluminio, solamente en suelos ácidos con un contenido alto de materia orgánica se encuentra algo de hidrógeno intercambiable.

4.1.3 Principales causas del mal desarrollo de las plantas en suelos ácidos.

Kamprath y Sánchez (14,21) indican que los factores que causan el mal desarrollo de las plantas en los suelos ácidos son: toxicidad provocada por el aluminio, manganeso, deficiencia de fósforo, calcio, magnesio y molibdeno. Estos factores generalmente no se dan de una

manera aislada, sino en forma combinada lo que hace mas complejo el problema.

4.1.4 Fósforo.

Hammond y Salinas (12,19) indican que es uno de los elementos limitantes para el crecimiento de las plantas en suelos ácidos.

Según Scharrer (22) el fósforo, se absorbe en forma de compuesto hidroxilado más oxidado, esto es como ion fosfato de las sales primarias y secundarias de ácido ortofosfórico.

Sánchez (21) opina que la única forma de fósforo es absorbido por las plantas es el ion fosfato de la solución del suelo.

Salinas y Hammond (19,12) deducen que los suelos con elevada capacidad de fijación de fósforo, pueden ser definidos como aquellos que requieren adiciones de por lo menos 200Kg/ha para proporcionar una concentración en equilibrio de 0.2 ppm P en la solución del suelo. En la mayoría de suelos ácidos, las condiciones adversas de la deficiencia de fósforo y la toxicidad del aluminio ocurren en forma simultanea.

4.1.5 Toxicidad del aluminio.

Sánchez (20) describe las concentraciones de aluminio en la solución del suelo superiores a 1 ppm frecuentemente causa la reducción del rendimiento y que la solubilidad del mismo es reducida en el rango de pH 5.5 a 7.5, donde se precipita y permanece insoluble como $Al(OH)_3$, por debajo de pH 5.5 y mayor de 7.5 las concentraciones de aluminio aumentan.

Salinas (19) dice que la toxicidad del aluminio está asociada con

deficiencia de P, K, Ca y Mg.

Ayarza (2) opina que la toxicidad del ion aluminio es un factor limitante en suelos ácidos y que concentraciones de aluminio de 0.2 a 6.0 ppm son suficientes para limitar el crecimiento de varias especies. Otro efecto del aluminio es la reducción de la absorción de calcio; el primer indicador de la toxicidad del aluminio se absorbe en la reducción del crecimiento de raíces.

4.1.6 Interacción aluminio - fósforo.

Mclean y Chiasson, citados por Salinas (19) encontraron que la adición de aluminio reduce la concentración de fósforo en las raíces de cebada, una absorción normal de fósforo puede tener lugar a altos niveles de aluminio.

Wright y Chiasson, citados por Salinas (19) encontraron que el aluminio inactiva al fósforo, primeramente en las raíces, y de este modo interfiere el metabolismo de fósforo en las plantas.

4.1.7 Deficiencia de calcio.

Fried y Peech citados por Kamprath (14) encontraron que la adición de 1000 kg de CaSO_4 /ha. aumentó el aluminio y el manganeso en la solución del suelo.

Roso De (18) indica que en suelos ácidos encontró que acumulación de aluminio disminuye la traslocación de calcio y magnesio.

4.1.8 Deficiencia de Zinc.

Leonardo Agreda, citado por Kamprath (14) deduce que el contenido

de zinc en los suelos oscila desde 10 a 300 ppm de los cuales son disponibles del 1 al 10 % por las plantas.

Kamprath (14) opina que la deficiencia del zinc se relaciona a pH alcalino, la asimilabilidad de zinc, cobre, manganeso y boro, con frecuencia queda reducida cuando los suelos son altamente meteorizados y reciben una aplicación de cal que lleva su pH mayor de seis.

4.1.9 Enmiendas de suelos ácidos.

Fassbender (6) dice que es una práctica agrícola que se utilizó en tiempos remotos para aumentar la productividad de los suelos; pero su uso es limitado en regiones templadas.

Según Kamprath (14) el objetivo de esta práctica es neutralizar el aluminio, hidrógeno intercambiable y manganeso intercambiable y al mismo tiempo suministrar calcio y magnesio.

4.1.10 Metodologías de encalado.

4.1.10.1 Incubación de muestra de suelo con cal.

Es la incubación de muestras de suelo con cantidades crecientes de cal. consiste en mezclar cantidades de cal con una serie de muestras iguales de suelo húmedo y medir su pH, después de mantenerlas en incubación durante el mayor tiempo posible.(1)

4.1.10.2 Titulación del suelo con base.

Consiste en adicionar cantidades crecientes de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ como CaCO_3 , también es muy empleada la titulación en un medio salino KCl 1 N. en similitud con el pH.(1)

4.1.10.3 Método de Schofield y Taylor.

Consiste en equilibrar durante la noche el suelo con una solución de P-nitrofenol neutralizada a pH 7 con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y titular al día siguiente para ver la cantidad de OH consumida por la reacción con el ácido de la muestra.(1)

4.1.10.4 Método de Woodruff.

Emplea como solución buffer una mezcla de acetato de calcio, P-nitrofenol y óxido de magnesio, que tiene como característica dar una curva de amortiguación que es lineal entre pH 6 y 7. La solución se ajusta a pH 7 y cada 0.1 unidad de disminución de pH representa una cantidad de 0.02 meq/100 ml de ácido neutralizado.(1)

4.1.10.5 Método de Mehlich.

Existen dos procedimientos llamados de Mehlich. El original (BaCl_2)+TEA) tamponada a pH 8.20 y una modificación de éste (CH_3COOH , TEA, NH_4Cl , BaCl_2 y glicerofosfato de sodio pH 6.6)

4.1.10.6 Método SMP buffer simple.

Consiste en tratar 5 g de una muestra con 5 ml de agua y 10 ml de una solución buffer que contiene $\text{Ca}(\text{OAc})_2$, TEA, CaCl_2 , K_2CrO_4 y P-nitrofenol ajustada a pH 7.5, agitar a 250 rpm por 10 minutos y reposar por 30 minutos antes de leer el pH. La cantidad de CaCO_3 puro requerido para alcanzar un determinado pH entre 6 y 7 para suelos minerales y 5.2 para suelos orgánicos. Se obtiene de una tabla previamente confeccionada, basada en la existencia de una relación generalizada

entre el cambio de Ph buffer y los requerimientos de cal, determinados por el método de la incubación.(1)

4.1.10.7 Método SMP buffer doble.

Es idéntico al simple, excepto que éste método se hace una segunda medida del Ph, después se adiciona una segunda alicuota de HCl suficiente para disminuir el pH de la solución SMP buffer de 7.5 a 6, se vuelve a agitar por 10 minutos, se deja reposar por 30 minutos y se lee el nuevo pH del sistema.(1)

4.1.10.8 Método de Adams y Evans.

Fue diseñado como un procedimiento rápido para determinar los requerimientos de cal en suelos con baja CIC, baja concentración de materia orgánica y donde los requerimientos de cal son bajos. Se basa en medidas separadas de pH del suelo en agua (1:1) y en una solución buffer (KCl, KOH, P-nitrofenol, ácido bórico). El pH del suelo se usa como una medida de saturación del suelo con ácido, a través de una ecuación empírica.(1)

4.1.10.9 Aluminio intercambiable.

Colocar 5 ml de la muestra de suelo en un vaso de extracción y agregar 50 ml de KCl 1 N a la muestra, agitar durante 10 minutos a 400 rpm, filtrar usando papel Whatman No 1 o 2, o un papel filtro de calidad similar. (5)

4.1.10.10 Saturación de bases.

Para la estimación de cal se necesita calcular las bases intercambiables Ca, Mg, Na y K, la CIC del suelo que se determinan por el método de Peech con acetato de amonio pH 7 1N. (26)

4.1.11 Determinación de las necesidades de encalado.

Fassbender (6) define como necesidad de encalado la cantidad de material de enmienda que se debe aplicar al suelo para producir una elevación a un determinado valor de pH. se expresa en equivalente de carbonato de calcio por unidad de superficie.

4.1.12 Materiales que se utilizan para encalar según Fassbender (6).

Carbonato de calcio (CaCO_3)

Hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Oxido de calcio (CaO)

Cal dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)

Escorias industriales.

Espumas azucareras.

Silicatos de calcio.

4.1.13 Trabajos sobre encalado de suelos:

Tobías (25), en 1,978 realizó un ensayo en condiciones de laboratorio para evaluar 8 niveles de calcio mas magnesio en relación 6:1 y concluye que el pH sube 1 unidad con una enmienda de 6 meq/100 g de suelo y con 8 meq/100 g de suelo de enmienda se obtiene un valor mayor de intercambio de calcio y magnesio y el incremento de 40 % en la saturación de calcio intercambiable para este suelo es de 7 meq/100 g

de suelo.

El nivel de magnesio intercambiable obtenido con 8 meq/100 g de suelo de enmienda, es de 2 meq/100 g de suelo, para Ca/Mg intercambiable equivalente a 4:1 y recomienda :

Aplicaciones de calcio más magnesio en cantidades de 4 a 6 toneladas/ha. y que la fertilización con N-P-K debe realizarse por lo menos 30 días después de la aplicación de la enmienda.

Galicia (7), en 1,981 realizó un trabajo a nivel de invernadero, evaluó el efecto de encalado y respuesta al fósforo en suelos ácidos de Izabal, utilizando el tomate como planta indicadora. Llegó a determinar que el pH subía 1.9 unidades con una enmienda de 8 a 16 meq/100 g de suelo de enmienda. Concluyó también que con 8 meq/100 g de suelo de enmienda se satura el suelo de bases intercambiables en 100 %.

El nivel óptimo de calcio intercambiable se alcanza con 6 meq/100 g de suelo de enmienda y a partir de 16 meq/100 g de suelo de enmienda ya no existe intercambio de calcio quedando en la solución del suelo por la baja CIC del suelo.

Concluyó que el calcio y magnesio disponibles alcanzan su nivel óptimo en el suelo con 6 meq/100 g de suelo de enmienda en una relación 4:1, la disponibilidad puede llegar de 4.8 a 25 ppm de $P_2 O_5$ al aplicarle una enmienda de 6 meq/100 g de suelo.

Posteriormente López Galindo (15) en 1,984 realizó una investigación de la respuesta del arroz a la aplicación de 4 niveles de calcio y 3 dosis de fósforo en suelos ácidos Serie Cristina y concluye: que con cal dolomita el pH se elevó de 5.6 a 7.5 con la adición de 1000

kg/ha de carbonato de calcio y con la adición de 1000 kg/ha de cal dolomita el calcio disponible subió a 7.3 meq/100 g de suelo. El calcio disponible subió a 1.5 meq/100 g de suelo, con la adición de 1000 kg/ha Cal dolomita después del ciclo del cultivo. El magnesio subió de 1.62 meq/100 g de suelo, al final del ciclo del cultivo, hubo un aumento de 0.45 meq/100 g de suelo, mas que el valor inicial.

Las bases quedaron saturadas al 100% con 1000 kg/ha de cal dolomita. Al final del ciclo del cultivo las bases estaban saturadas en 53.45%, es decir, 8.45 unidades arriba del valor inicial.

Dio la recomendación de aplicar 1000 kg/ha de cal dolomita y aplicaciones de fósforo de 90 kg/ha. P_2O_5 .

4.2. MARCO REFERENCIAL.

4.2.1 Descripción del área experimental.

4.2.2 Localización del experimento.

El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero, en la Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad universitaria, zona 12. Su localización geográfica es de 14°35'11" Latitud Norte y 90°31'58" Longitud Oeste, a una altura de 1,502 msnm. (9).

4.2.3 Características generales del área de estudio.

Los suelos que se utilizaron en la presente investigación pertenecen a la Serie Cristina que se ubican en la aldea Cristina, departamento de Izabal, con una extensión de 1,812 hectáreas.

Está ubicada entre las coordenadas 15°25" a 15°24" Latitud Norte y 88°59" Longitud Oeste, la altitud está considerada entre los 100 y 200 msnm. (9). La mayoría de suelos del área se han formado sobre esquistos arcillosos y cenizas volcánicas a elevaciones medias (15), así como también de rocas metamórficas, serpentinitas y aluviones del período cuaternario pertenecen a la provincia geológica denominada cordillera centroamericana. (9)

4.2.4 Condiciones Climáticas.

La temperatura media anual es de 28 °C., con una humedad relativa de 80%, con una precipitación de 1,587 a 2,066 mm anuales (9), zona de vida es bosque muy húmedo subtropical cálido. (10)

4.2.5 Condiciones edáficas.

Simmons Ch.J. Tarano J.M. y Pinto J.H.(23) menciona que las características de la Serie Cristina son poco profundos, mal drenados, de superficie plana a suavemente ondulada. La profundidad oscila a 40 cm. siendo arcillo plástico, de color gris oscuro a pardo grisáceo muy oscuro, se contrae y dilata con los cambios de humedad, quebrándose en agregados angulares. La reacción es fuertemente ácida; con un pH de 4.5 a 5.5.

Esta ubicación entre las coordenadas 15°28' a 15°34' Latitud Norte y 80°22' Longitud Oeste, se sitúa entre coordenadas entre los 100 y 200 años (B). La mayoría de suelos del área se han formado sobre materiales volcánicos y conizas volcánicas a elevaciones medias (10). Así como también se trata de suelos volcánicos, arenosos y aluviales del tipo cuaternario pertenecen a la provincia geológica denominada cuaternaria centroamericana (B).

4.2.4 Condiciones Climáticas

La temperatura media anual es de 28 °C, con una humedad relativa de 80%, con una precipitación de 1.507 a 2.000 mm anuales.

5. OBJETIVOS.

1. Evaluar dos metodologías y cuatro relaciones Ca/Mg en la estimación de requerimiento de cal y la disponibilidad de fósforo, potasio y zinc sobre el rendimiento de biomasa expresada en rendimiento relativo y altura en suelos de la Serie Cristina, en el cultivo del arroz (*Oriza sativa* L.) como planta indicadora.

6. HIPOTESIS

1. Al menos una metodología de estimación de requerimiento de cal y una de las relaciones Ca/Mg afectarán la biomasa expresada en rendimiento relativo y altura de la planta de arroz (Oriza sativa L.) en la Serie de suelos Cristina.
2. Al menos una metodología y relación Ca/Mg afectarán la disponibilidad de nutrientes P,K y Zn sobre la biomasa expresada en rendimiento relativo y la altura en suelos Serie Cristina utilizando arroz (Oriza sativa L.) como planta indicadora.

7. METODOLOGIA

7.1 Método de muestreo.

En base a los datos obtenidos por Tobías, Galicia y Galindo (25, 7, 15) se seleccionaron los sitios de muestreo con pH 5.5 de los cuales se obtuvo una muestra compuesta de 50 kg de suelo, analizados en el laboratorio Suelo-Planta de la subárea de Suelos Salvador Castillo Orellana de la Facultad de Agronomía, los cuales se presentan en el cuadro 1.

7.2 Sorción.

Se realizó para conocer la capacidad de fijación que tiene el suelo sobre P, K, Cu, Zn, Fe y Mn. en base a ésta se aplicó la cantidad para que no fueran limitantes sobre el rendimiento del cultivo.

Este se llevó a cabo añadiendo al suelo una solución, con distintas cantidades y niveles de elementos. La cantidad de solución agregada, es suficiente para saturar completamente la muestra de suelo.

(4)

7.3 Planta indicadora

Se usó el arroz (Oriza sativa) variedad Polochic, como planta indicadora en los suelos Serie Cristina.

Cuadro 1. Análisis, metodología y fuente de los análisis

Tipo de análisis	Metodología	Fuente
pH en agua	electrodo de vidrio	Díaz-Romeu (4)
P, K, Ca, Mg, Zn	Carolina del norte, extraídos con H_2SO_4 0.025 N y HCl 0.05 N. fósforo por colorimetría, K, Ca, Mg, Zn Por absorción atómica	Díaz-Romeu (4)
CIC	Peech NH_4 Ac. 1 N. pH 7 bases intercambiables	Jackson(13)
Curva de sorción	Carolina del Norte	Díaz-Romeu (4)
Textura	Hidrómetro de Bouyucos	Gavande(8)
Materia orgánica	Walkley y Black	Jackson (13)

7.4 Metodologías de encalado evaluadas.

7.4.1 Neutralización del aluminio intercambiable.

La acidez intercambiable del suelo se extrajo agregando 10 g de suelo mas 50 ml de KCl 1N se agitó la muestra durante 10 minutos a 400 rpm, se filtró con papel Wathman # 2 recibiendo el extracto en un erlenmeyer de 250 ml, luego se tomaron 10 ml de alicuota y se agregaron 10 ml de agua destilada y 5 gotas de fenolftaleína, se tituló con NaOH 0.01N. (4). luego se le aplicó la fórmula:

$$\text{meq Ca}/100 \text{ g} : 1.5 \times \text{meq Al}/100 \text{ g. de suelo}$$

Se procedió a encalar el suelo con la cantidad de Ca y Mg. determinado y posteriormente se cuantificó el aluminio, con el propósito de determinar el % neutralizado.

7.4.2 Saturación de bases.

Para la determinación del encalado por el método de saturación de bases fue necesario conocer la CIC y las bases intercambiables: Ca, Mg, Na y K, Los cuales se determinaron por el método de Peech, con acetato de amonio pH 7 1.N

La fórmula que se empleó fue la siguiente :

$$\text{Toneladas de CaCO}_3/\text{ha} = \{(V_1 - V_2) * T\}/100$$

donde: V_1 = % de saturación de bases inicial.

V_2 = los valores de saturación de bases a los que se desea llegar.

$$T = \text{CIC} \quad (26)$$

Los valores que se conocen utilizando el criterio de saturación de bases es el siguiente :

60 % para los cultivos mas sensibles(*)

40% para los cultivos mas tolerantes a la acidez.

7.5 Relaciones.

Se evaluaron 4 relaciones de calcio y magnesio:(cuadro 2) 2:1, 6:1, 10:1 y 0, testigo que corresponde a la proporción nativa del suelo. Como fuente de enmienda se usó: óxido de calcio y óxido de magnesio, fueron determinados de acuerdo a las cantidades que requieren las metodologías de encalado, combinandolos con las relaciones calcio y magnesio y los elementos P, K, Zn.

En el cuadro 2 se presentan 40 tratamientos, 2 metodologías, 4 relaciones Ca/Mg, relación 0 corresponde a la proporción nativa del suelo y nutrimentos evaluados, 0 no se aplicó ninguno y todos P, K, Zn, N, Cu, S, B y Mo.

Cuadro 2. Tratamientos, metodologías, relaciones y nutrimentos evaluados.

Tratamientos	Metodologías	Relación Ca/Mg	Nutrimento
1	Neu. Alum. Intercam.	0	0
2	" " "	0	- K
3	" " "	0	- P
4	" " "	0	- Zn
5	" " "	0	Todos los elementos
6	" " "	2 : 1	0
7	" " "	2 : 1	- K
8	" " "	2 : 1	- P
9	" " "	2 : 1	- Zn
10	" " "	2 : 1	Todos los elementos
11	" " "	6 : 1	0
12	" " "	6 : 1	- K
13	" " "	6 : 1	- P
14	" " "	6 : 1	- Zn
15	" " "	6 : 1	Todos los elementos
16	" " "	10 : 1	0
17	" " "	10 : 1	- K
18	" " "	10 : 1	- P
19	" " "	10 : 1	- zn
20	" " "	10 : 1	Todos los elementos
21	Saturación de bases	2 : 1	0
22	" "	2 : 1	- K
23	" "	2 : 1	- P
24	" "	2 : 1	- zn
25	" "	2 : 1	Todos los elementos
26	" "	6 : 1	0
27	" "	6 : 1	- k
28	" "	6 : 1	- P
29	" "	6 : 1	- Zn
30	" "	6 : 1	Todos los elementos
31	" "	10 : 1	0
32	" "	10 : 1	- K
33	" "	10 : 1	- P
34	" "	10 : 1	- zn
35	" "	10 : 1	Todos los elementos
36	" "	0	0
37	" "	0	- K
38	" "	0	- P
39	" "	0	- Zn
40	" "	0	Todos los elementos

En el cuadro 3, se presentan los niveles en ppm de cada elemento aplicados al suelo, obtenidos de la curva de fijación y niveles críticos establecidos, multiplicados por 3 para evitar deficiencias, de acuerdo a Díaz Romeu (4)

Cuadro 3. Compuestos químicos, elementos y niveles expresados en ppm aplicados al suelo

Compuestos Químicos	Elementos	Niveles ppm
NH_4NO_3	N	50
H_3PO_4 al 85%	P	97.36
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Cu	6.40
ZnCl_2	Zn	6.50
Kcl	K	196
H_2SO_4 al 85%	S	30
H_3BO_3	B	2
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Mo	2

En el cuadro 4, se presenta el compuesto/litro de solución madre que se necesita para preparar la solución, los mililitros aplicados en 300 g de suelo y la concentración de la solución madre del elemento en ml expresada en ppm.

Cuadro 4. Cantidad de la solución a aplicarse por maceta, para obtener la concentración adecuada.

Compuesto/litro de solución madre	ml aplicados en 300g de suelo	Solución madre del elemento en ml.
2.858	15	ml de NH_4NO_3 para 1000 ppm
17	6.51	ml de KCl para 9000 ppm
37.22	3.60	ml de H_2SO_4 para 4000ppm
29.74	2.90	ml de H_3PO_4 para 10000 ppm
0.575	6	ml de H_3BO_3 para 100 ppm
0.37	3	ml de $(\text{NH}_4)_6\text{Mg}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ para 200 ppm

Fuente: Díaz Romeu (4)

En el cuadro 5, se presentan las metodologías, relaciones y cantidades de CaO y MgO que se evaluaron al suelo.

CUADRO 5. Metodologías, relaciones Ca/Mg y kg/ha de CaO y MgO

Metodología evaluada	Relación Ca/Mg	Kg/ha	
		CaO	MgO
Sat. de Bases	2:1	1433.60	516.10
Al Intercambiable	2:1	184.80	66.53
Sat. de Bases	6:1	1843.52	220.95
Al Intercambiable	6:1	237.44	28.63
Sat. de Bases	10:1	1954.40	141.12
Al. Intercambiable	10:1	252	18.14

7.6 Metodología experimental.

Los tratamientos tienen un arreglo factorial 2 X 4 X 5, con un

diseño experimental completamente al azar, ya que las condiciones de temperatura y humedad son homogéneas a nivel de invernadero, con 40 tratamientos y 4 repeticiones.

7.7 Modelo estadístico.

$$Y_{ijkl} = U + M_i + B_j + Q_k + (MB)_{ij} + (MQ)_{ik} + (BQ)_{jk} + (MBQ)_{ijk} + E_{ijkl}$$

De donde :

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

U = Efecto de la media general

M_i = Efecto del i -ésimo nivel de metodologías

B_j = Efecto del j - ésimo nivel de relaciones

Q_k = Efecto del k - ésimo nivel de nutrientes

$M_i B_j$ = Interacción entre la i - ésima metodología y la j - ésima relación

$M_i Q_k$ = Interacción entre i - ésima metodología y el k - ésimo nivel de nutrientes

$B_j Q_k$ = Interacción entre la j - ésima relación y el k - ésimo nivel de nutrientes

$M_i B_j Q_k$ = Interacción entre la i - ésima metodología, j - ésima relación y K - ésimo nutriente

E_{ijkl} = Efecto del error experimental asociado a la $ijkl$ - ésima unidad experimental

M = Metodología

B = Relación

- Q = Nutrientes
i = 1,2 metodologías
j = 1,2,3,4 relaciones
k = 1,2,3,4,5 nutrientes

7.8 Unidad experimental.

Consistió en una maceta de plástico de 300 g. de suelo.

7.9 Variables de respuesta

7.9.1 Biomasa.

Se secó el tejido vegetal de cada unidad experimental a 65 °C. Luego se obtuvo el peso del material seco en gramos por maceta expresado en rendimiento relativo.

7.9.2 Altura de la planta

Al momento de la cosecha (40 días) se midió la altura de cada una de las plantas por maceta para observar el efecto de los niveles de calcio y las relaciones calcio y magnesio evaluadas.

7.10 Manejo del ensayo.

7.10.1 Período de incubación.

Se aplicaron enmiendas de calcio y magnesio al suelo, se dejaron por un período de incubación de 45 días antes de la siembra.

7.10.2 Fertilización.

Los nutrientes: P,K,Zn., se aplicaron 5 días antes de la siembra, en forma de solución de acuerdo a los tratamientos establecidos. cuadro 2, para el nitrógeno la segunda aplicación a los 20 días después de la siembra.

7.10.3 Siembra.

Al concluir el período de incubación, se procedió a efectuar la siembra de la planta de arroz, variedad Polochic. Colocando 8 semillas por maceta, después de germinadas se dejaron 4 plantas por maceta.

7.10.4 Riego.

Al suelo se le aplicaron 75 cc/maceta con agua destilada para llevar a capacidad de campo, para lograr una buena germinación de la semilla. Para controlar la humedad se utilizó el método gravimétrico.

7.10.5 Cosecha.

Se efectuó cuando se observaron diferencias en el desarrollo por falta de espacio, se realizó a los 45 días después de la siembra.

7.11 Análisis de datos.

Con los resultados de biomasa expresado en g/maceta y altura en cm se elaboró una base de datos para el análisis de varianza y prueba de comparación múltiple de medias Tukey al 5 % de significancia.

8. RESULTADOS Y DISCUSION

Cuadro 6. Análisis físico y químico de suelo Serie Cristina, Izabal (1993).

DISPONIBLES	ppm	pH	5.50
		P	0.27
		K	170
		Ca	4.68
		Mg	1.23
		Fe	26
		Cu	1.25
		Zn	1.05
		Mn	108.5
		INTERCAMBIABLES	meq\100 g
CIC	15.4		
Ca	3.99		
Mg	0.74		
Na	0.23		
K	0.43		
RELACIONES	Ca/Mg		3.8/1
	Mg/K		2.9/1
	Ca+Mg/k		14/1
			% S.B.
		% M.O.	4.12
		% ARCILLA	31.46
		% LIMO	23.40
		% ARENA	45.20
		CLASE TEXTURAL	FRANCO-ARCILLO-ARENOSO

Fuente: Laboratorio de suelo, planta y agua Salvador Castillo Orellana. FAUSAG.

En el cuadro 6, se observa que el pH del suelo es medianamente ácido, con contenido de fósforo bajo, Potasio adecuado, calcio y magnesio intercambiable bajo, la concentración de micronutrientes cobre y zinc adecuados no así para Manganeso y Hierro que se reportan elevados, CIC bajo, % de saturación de bases bajo, relación Ca/Mg adecuado, Mg/K bajo, Ca+Mg/K adecuado, con una cantidad de materia orgánica adecuada, y la clase textural franco arcillo-arenoso.

Cuadro 7. Lecturas de pH en el suelo, 35 días después de haber aplicado cantidad de cal calculado con 2 metodologías y 3 relaciones Ca/Mg., en el período de incubación.

Metodología	Relación	pH
Aluminio Intercambiable	2:1	5.60
Aluminio Intercambiable	6:1	5.70
Aluminio Intercambiable	10:1	5.80
Saturación de bases	2:1	6.30
Saturación de bases	6:1	6.50
Saturación de Bases	10:1	6.60

Fuente: Laboratorio de manejo de suelo y agua Salvador Castillo O. FAUSAC.

En el cuadro 7, se observa que al usar la metodología Saturación de bases, el pH se incrementa en mayor proporción comparada con la metodología del Aluminio Intercambiable, debido a las cantidades mayores de calcio y magnesio aplicadas.

Cuadro 8. Análisis de varianza de la altura en cm y biomasa en g/maceta del cultivo de arroz a nivel de invernadero realizado en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. 1,993.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Pr > F	
		Altura	Biomasa
Metodología	1	0.0001*	0.1945 ns
Relación	3	0.0006*	0.0716 ns
Met x Rel	3	0.0023*	0.4387ns
Nutrientes	4	0.0001*	0.0001*
Met x Nut	4	0.0134*	0.8853 ns
Rel x Nut	12	0.0058*	0.7825 ns
Met x Rel x Nut	12	0.0822 ns	0.577 ns
Error	120		
Total	159		
C.V (%)		7.532722	21.57428

C.V = Coeficiente de variación

N.S = No significativo

* = Significativo al 5% de probabilidad

Con base a los datos del cuadro 8, se observa que para la variable altura si existe diferencia significativa al 5%, excepto para la triple interacción (Metodología x relación x nutriente) .

Para la variable biomasa expresada en peso seco se infiere que existe diferencia significativa para las fuentes de variación Nutrientes.

De acuerdo al cuadro 9, la mayor altura se aplicó la dosis de cal, utilizando la metodología Saturación de Bases, se le atribuye a la cantidad de enmienda aplicada.

Cuadro 9. Altura promedio en cm. por efecto de Ca y Mg estimada por las metodologías Saturación de bases y Aluminio intercambiable.

Metodología	Altura (cm)
Saturación de bases	36.166 a
Aluminio Intercambiable	33.688 b

Cuadro 10. Promedio de altura por efecto de las relaciones Ca/Mg.

Relaciones Ca/Mg	Altura (Cm)
2:1	36.131 a
6:1	35.375 b
10:1	33.763 c

En el cuadro 10, se muestra que con la relación 2:1 se obtiene la mayor altura, y la menor se alcanza con la relación 10:1, se deduce que con aplicaciones mayores de calcio y menores de magnesio la altura decrece, éste comportamiento se le conoce como antagonismo.

En el cuadro 11, se aprecia que en la metodología Saturación de bases y la relación 2:1 de Ca/Mg alcanzó la mayor altura con adiciones menores de calcio y mayores de magnesio.

Cuadro 11. Altura promedio de la planta en cm por efecto de la metodología y relaciones Ca/Mg.

Metodología	Relación Ca/Mg	Altura (Cm)
Satur. de Bases	2:1	38.263 a
Sat de bases	6:1	37.150 ab
Sat. de Bases	10:1	34.813 bc
Al. Intercambiable	2:1	34.000 c
Al. intercambiable	6:1	33.600 c
Al. Intercambiable	10:1	32.713 c
Testigo	0/0	34.438

Cuadro 12. Altura promedio en cm por efecto de nutrientes aplicados al suelo.

Nutrimientos	Altura Cm.
Solución completa	40.891 a
(-) Zinc	40.781 a
(-) Potasio	36.453 b
(-) Fósforo	29.164 c
Testigo	27.344 c

En el cuadro 12, se observa que con la aplicación de todos los nutrientes y sin la aplicación de Zinc se obtienen las mayores alturas, se infiere que el zinc no es limitante, mientras que con la aplicación de todos los nutrientes al suelo hay un mejor desarrollo de la planta, con la deficiencia de fósforo en el suelo disminuye la altura.

En el cuadro 13, se observa que la interacción Metodología por Nutriente, Saturación de bases con todos los nutrientes se obtuvo la mayor altura. La aplicación de los nutrientes evaluados dieron las

mayores alturas.

Cuadro 13. Altura promedio con la interacción metodología por nutriente.

Metodología	Nutriente	Altura cm
Satur. de Bases	Todos	43.156 a
Satur. de Bases	(-) Zinc	42.219 ab
Al. Intercambiable	(-) Zinc	39.344 bc
Al. Intercambiable	Todos	38.625 c
Sat. de Bases	(-) Potasio	38.172 c
Al. Intercambiable	(-) Potasio	34.734 d
Sat. de Bases	(-) Fósforo	29.359 e
Al. Intercambiable	(-) Fósforo	28.969 e

Cuadro 14. Altura promedio con la interacción relaciones con nutrientes

Relaciones Ca/Mg	Nutrientes	Altura
2:1	(-) Zinc	42.813 a
2:1	Todos	42.656 ab
6:1	(-) Zinc	41.813 ab
6:1	Todos	41.781 ab
10:1	Todos	41.313 abc
10:1	(-) Zinc	39.313 abc
2:1	(-) Potasio	38.281 bc
6:1	(-) Potasio	37.031 c
10:1	(-) Potasio	33.563 d
2:1	(-) Fósforo	29.344 de
6:1	(-) Fósforo	29.313 de
10:1	(-) Fósforo	28.938 e

El cuadro 14. muestra un incremento en la altura con la relación 2:1 sin aplicar zinc, se infiere que el zinc no es limitante. La mayor altura se obtuvo con la relación Ca/Mg (2:1), menor contenido de calcio y mayor contenido de magnesio, las aplicaciones de calcio en mayores cantidades afecta la disponibilidad de zinc, potasio y fósforo.

Cuadro 15. Rendimiento de biomasa, con la aplicación de nutrientes al suelo expresada en porcentaje.

Nutriente	Biomasa (%)
- Zinc	103.480 a
Todos	100.000 a
- Potasio	89.541 b
- Fósforo	20.581 c
Testigo	18.026 c

En el cuadro 15, se observa que cuando no se le aplica zinc al suelo su rendimiento relativo de biomasa es mayor, esto confirma que no es limitante en el suelo, siendo el fósforo y potasio los limitantes.

9. CONCLUSIONES

1. De las metodologías de estimación de requerimiento de cal y relaciones Ca/Mg evaluadas no hubo diferencia significativa al 5 % de probabilidad con respecto al rendimiento relativo de la biomasa en arroz a nivel de invernadero en los suelos Serie Cristina.
2. Las metodologías de estimación de cal y relaciones Ca/Mg evaluadas no afectan la disponibilidad de nutrientes P, K, Zn. sobre el rendimiento relativo de la biomasa.
3. Independientemente de las metodologías y relaciones Ca/Mg evaluadas, el suelo en estudio tiene limitaciones de fósforo, y potasio, no así de zinc
4. Con la metodología saturación de bases y la relación Ca/Mg 2:1 estimada, se obtuvo la mayor altura en la planta de arroz.
5. El suelo perteneciente a la Serie Cristina, con pH 5.5, contenido de Calcio de 4.68 meq\100g, 1.23 meq\100g, de Mg., fósforo de 0.27 ppm y potasio con 170 ppm. de los nutrientes evaluados no es limitante el zinc, mientras el fósforo y potasio son deficientes.

10. RECOMENDACIONES

1. Evaluar las metodologías aluminio intercambiable y relaciones Ca/Mg 2:1, 6:1, y 10:1 en cultivos de ciclo corto sensibles a la acidez hasta la cosecha a nivel de invernadero.
2. Para los suelos en condiciones similares a las evaluadas aplicar fósforo y potasio para que no sean limitantes en el crecimiento de las plantas.

11. BIBLIOGRAFIA

1. AGUILAR, A.; ETCHEVERS J.; CASTELLANOS R. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. México, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. p. 28-33.
2. AYARZA, M.; SALINAS, J. 1982. Estudio comparativo de la tolerancia al aluminio en tres leguminosas forrajeras. Suelos Ecuatoriales (Ec.) 12(1):111-112.
3. BUOL, S.W.; HOLE, F.; McCracken, R. 1981. Génesis y clasificación de suelos. Traducida al español por Agustín Contin. México, Trillas. 417 p.
4. DIAZ ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 62 p.
5. DROSDOFF, M.; AUBERT, G.; COULTER, J.K. 1974. Suelos de las regiones tropicales húmedas. Buenos Aires, Marymar. p. 171-187
6. FASSBENDER, H.W. 1982. Química de suelos. San José, Costa Rica, IICA. p. 185-193
7. GALICIA, J.H. 1981. Efectos del encalado y respuesta al fósforo en suelos ácidos de Izabal, con plantas indicadoras de tomate. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 109 p.
8. GAVANDE SAMPAT, A. 1976. Física de suelos. México, Limusa. p. 41-45
9. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1962. Atlas geográfico nacional. Guatemala. s.p.
10. -----. INSTITUTO NACIONAL FORESTAL. 1983. Mapa de clasificación de zonas de vida. Guatemala, Instituto Geográfico Militar. Esc. 1:600,000.
11. -----. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Tarjetas de control de estaciones meteorológicas del departamento de Izabal. 1985-1990. INSIVUMEH.

Sin publicar.
12. HAMMOND, L.; LEON, L.A. 1982. Efecto inicial y residual de diez fuentes de fósforo en el rendimiento de maíz (Zea mays). Bogotá, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del

Suelo. p. 5

13. JACKSON, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. Trad. José Beltrán M. 3 ed. Barcelona, España, Omega. 661 p.
14. KAMPATH, E.J. 1967. Acidez del suelo y su respuesta al encalado. Washington, Universidad del estado de Carolina del Norte, estación experimental agrícola, proyecto internacional de análisis de suelo. Boletín técnico no.4. 22 p.
15. LOPEZ GALINDO, H.A. 1984. Respuesta del arroz (Oryza sativa L.) a la aplicación de 4 niveles de calcio y 3 dosis de fósforo en suelos ácidos serie cristina. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 85 p.
16. MILLAR, C.E; TURK, L.M; FOTH, H.D. 1975. Fundamentos de la ciencia del suelo. México, CECSA. 527 p.
17. PERDOMO, R.; HAMPTON, H.E. 1970. Ciencia y tecnología del suelo. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 366 p.
18. ROSO, E.; DE. 1971. Encalamiento en zonas cálidas y húmedas de Colombia. Suelos Ecuatoriales. (Ec.) 12(1):111-112.
19. SALINAS, J. 1980. Adaptación de plantas a toxicidad de aluminio y manganeso en suelos ácidos, fertilidad de suelos diagnóstico y control. Bogotá, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 420 p.
20. SANCHEZ, P.A. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. San José, Costa Rica, IICA. 634 p.
21. SANCHEZ, P.; SALINAS, G. Relaciones suelo - planta que afectan las diferencias entre especies y variedades para tolerar baja disponibilidad de fósforo en el suelo.
Sin publicar.
22. SCHARRER, K. 1960. Química agrícola nutricional de las plantas, suelos y fertilizantes. México, UTHEHA. v. 1, 173 p.
23. SIMMONS, CH.; TARANO, J. M.; PINTO, J. H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado-Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.

- 24. TEUSCHER, H.; ADLER, R. 1976. El suelo y su fertilidad. México, CECSA, 510 p.
- 25. TOBIAS VASQUEZ, H. A. 1978. Efecto del encalado en suelos ácidos de Izabal. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.
- 26. VAN RAIJ, B. 1981. Avaliação da fertilidade do solo. 2 ed. Sao Paulo, Brasil, Instituto Agronômico del Estado de Sao Paulo, 142 p.

V. Bo. Quiam de la Roca



1884. Propuesta del grupo de suelos ácidos en los niveles de color y estructura. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1975. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1976. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1977. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1980. Adaptación de plantas a condiciones de alta acidez y manejo en suelos ácidos. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1981. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1982. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1983. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1984. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1985. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1986. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1987. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1988. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1989. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1990. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1991. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1992. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1993. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1994. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1995. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1996. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1997. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1998. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

1999. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

2000. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 68 p.

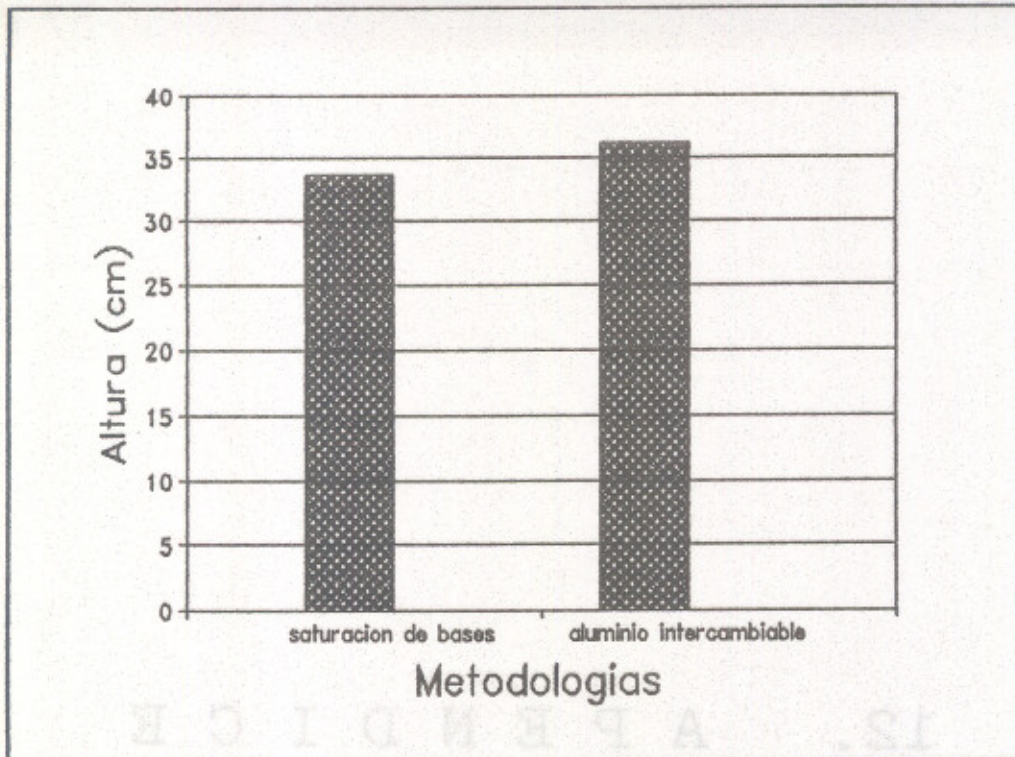


Figura 1.A. Altura expresada en cm. en las metodologías saturación de bases y aluminio intercambiable.

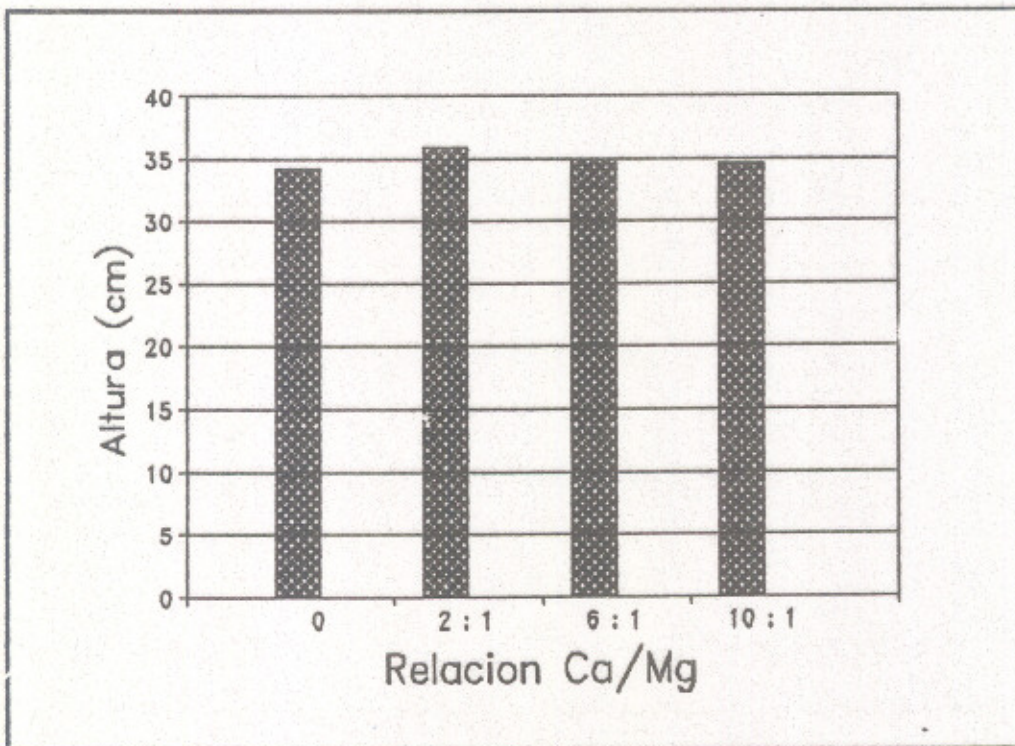


Figura 2.A. Altura expresada en cm. en las relaciones 0, 2:1, 6:1 y 10:1 de Ca/Mg.

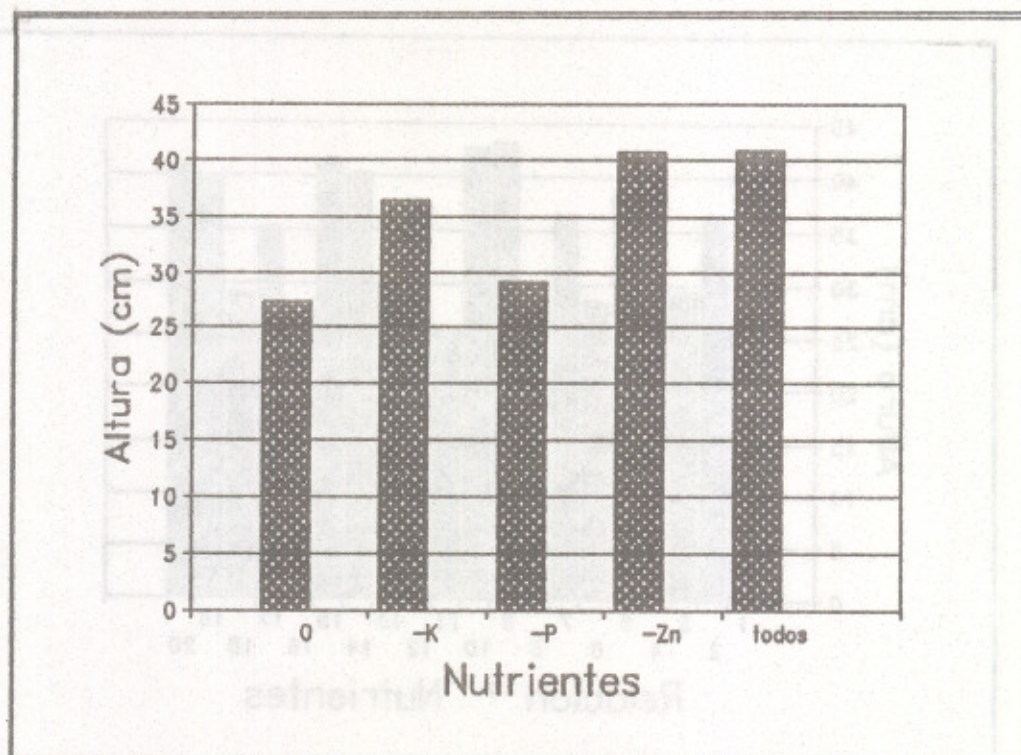


Figura 3.A Altura expresada en cm. con la aplicación de nutrientes al suelo.

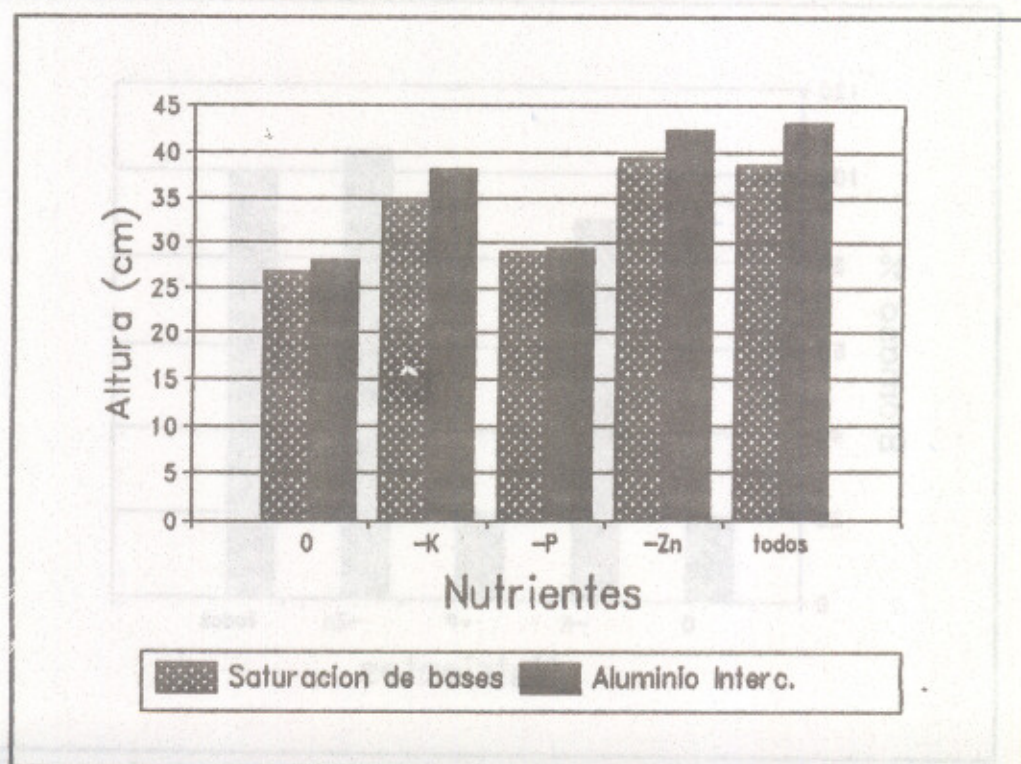


Figura 4.A Altura en cm. con la aplicación de nutrientes al suelo.

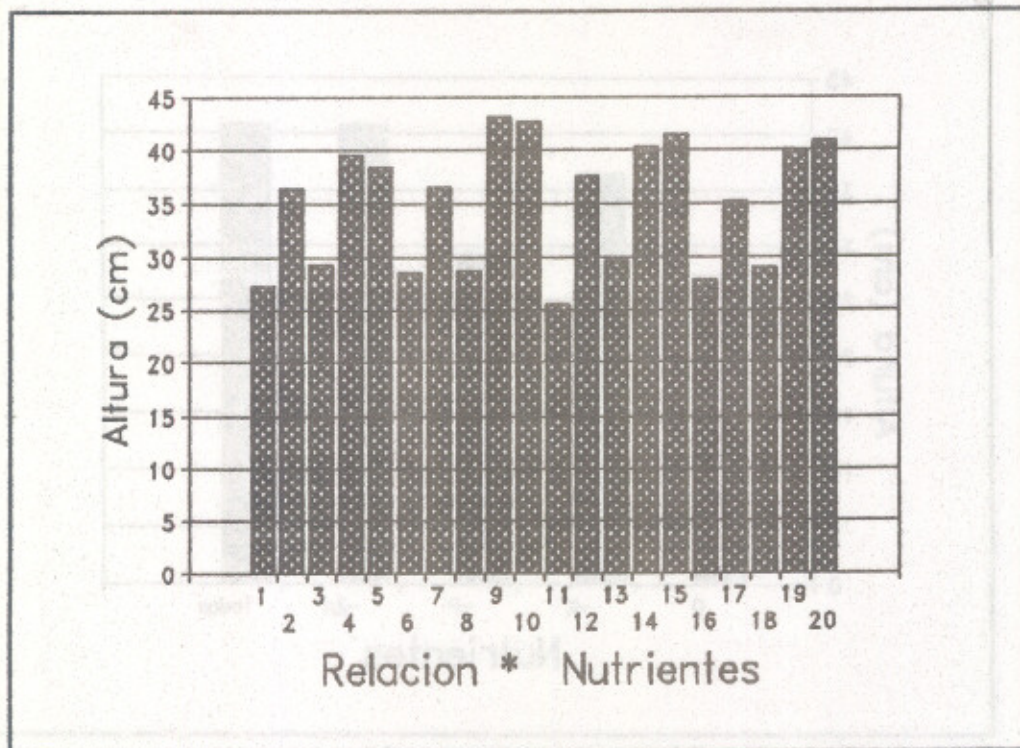


Figura 5.A Altura expresada en cm. con la interacción relación Ca/Mg con la aplicación de nutrientes al suelo.

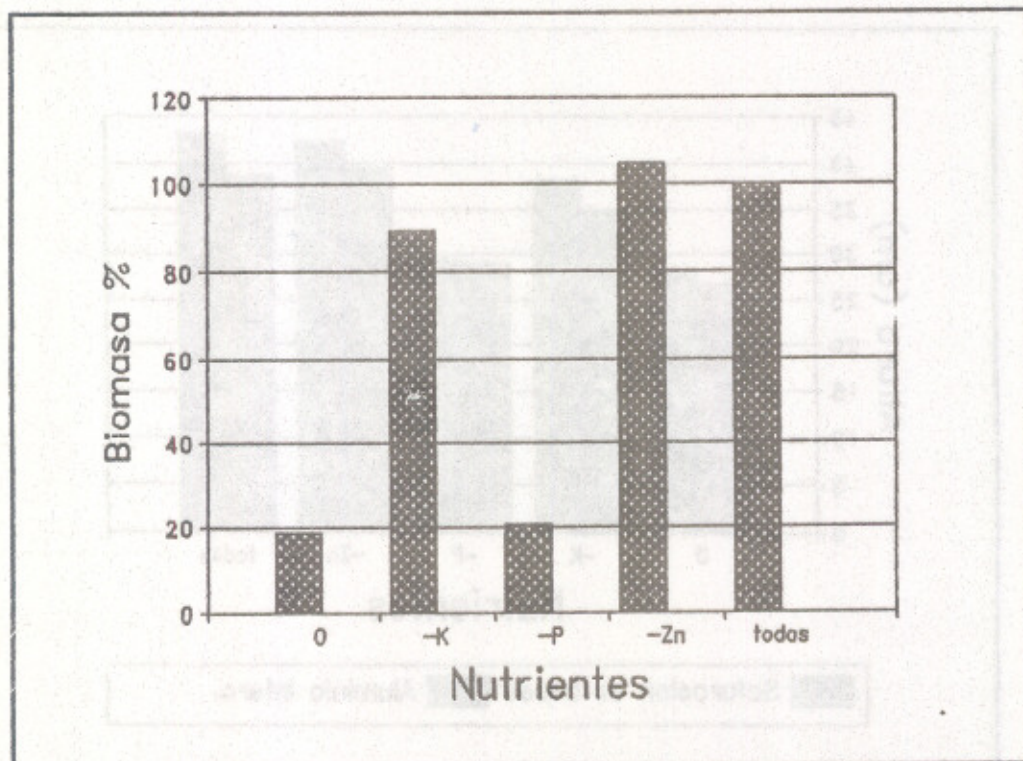


Figura 6.A Biomasa expresada en porcentaje con la aplicación de nutrientes al suelo.

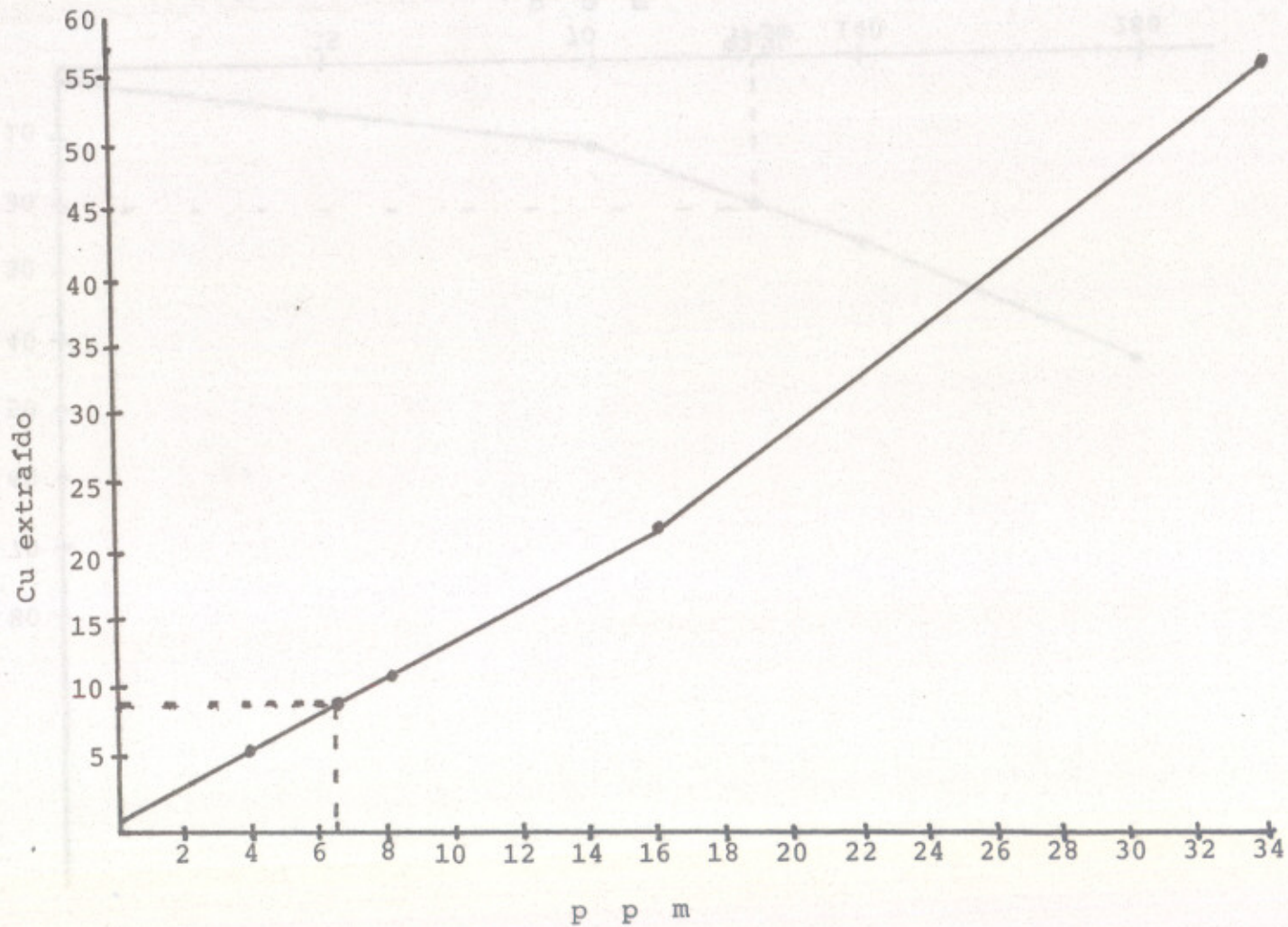


Figura 7a. Cu aplicado, extraído con la solución extractora Carolina del Norte.

INSTITUTO DE ECONOMÍA Y ESTADÍSTICA
SECRETARÍA DE ECONOMÍA

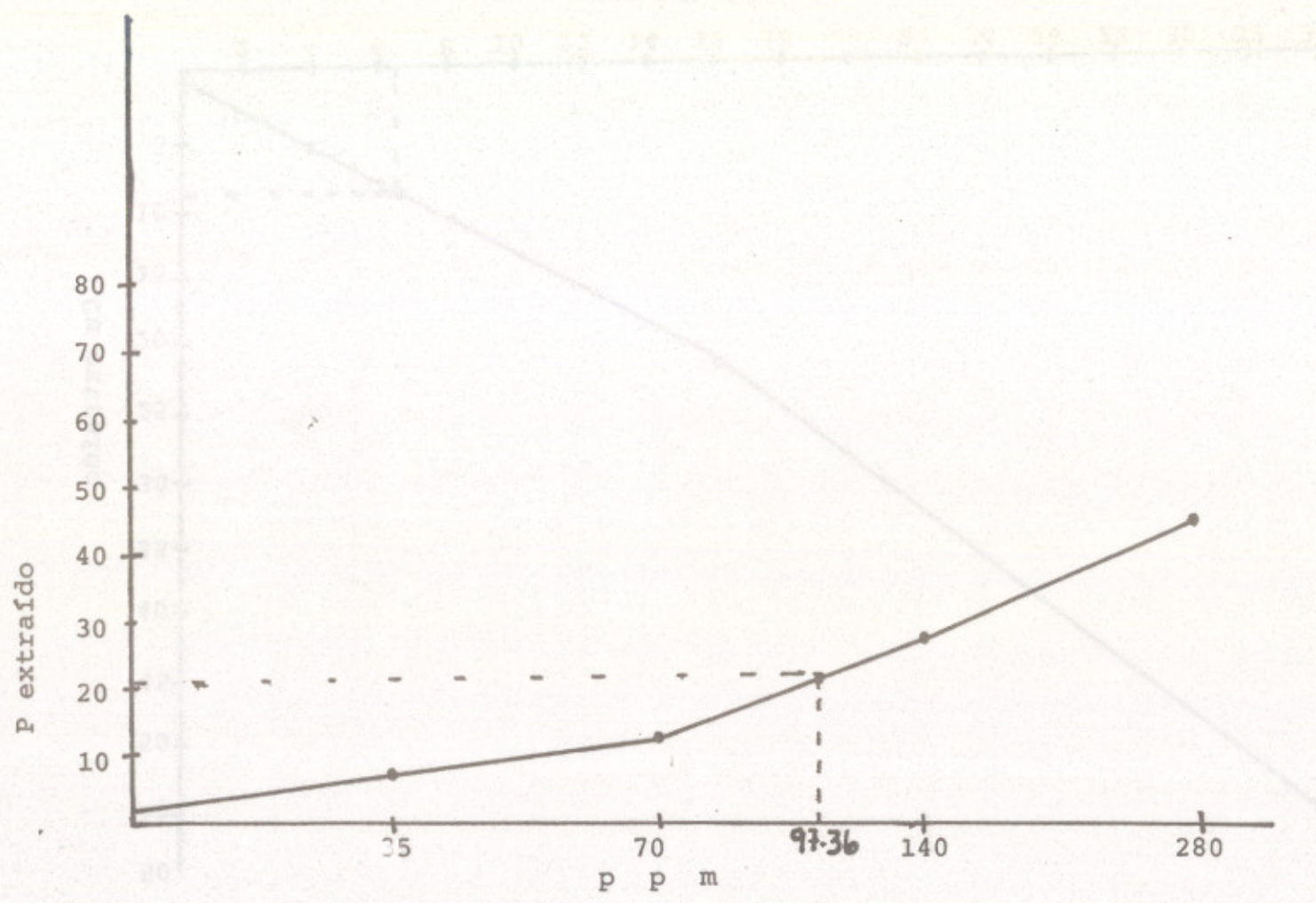


Figura 8a. P aplicado, extraído con la solución extractora Carolina del Norte.



LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DE DOS METODOLOGIAS Y CUATRO RELACIONES Ca/Mg EN LA ESTIMACION DE CAL PARA LOS SUELOS ACIDOS SERIE CRISTINA EN CONDICIONES DE INVERNADERO DE ARROZ (Oriza sativa L.) COMO PLANTA INDICADORA".

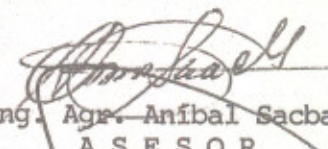
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: HUGO ROLANDO JORDAN PORTILLO


CARNET No: 78-04449


HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Q. Lisely de León
 Ing. Agr. Isaac Herrera
 Ing. Agr. Pedro Armira
 Ing. Agr. Edgar Martínez

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

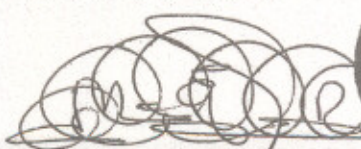

 Ing. Agr. José Jesús Chonay
 ASESOR


 Ing. Agr. Aníbal Sacabajá
 ASESOR


 Ing. Agr. Rolando Lara Alejo
 DIRECTOR DEL IIA.



IMPRIMASE


 Ing. Agr. Maynor Estrada Rosales
 DECANO EN FUNCIONES

