



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

RESPUESTA DEL MAÍZ A LA APLICACIÓN DE CAL, YESO Y POTASIO EN LA FRAILESCA, CHIAPAS

RAUSEL CAMAS PEREYRA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



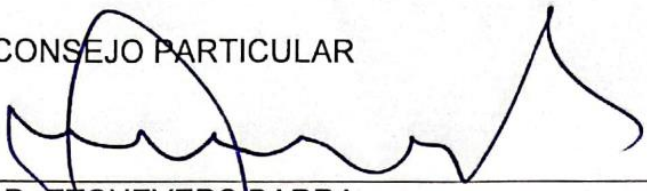
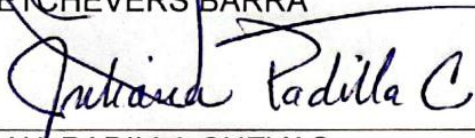
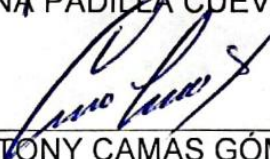
COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Respuesta del maíz a la aplicación de cal, yeso y potasio en la Frailesca, Chiapas**, realizada por el estudiante: **Rausel Camas Pereyra**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR	FIRMA	
		JORGE D. ETCHEVERS BARRA
ASESORA	FIRMA	
		DRA. JULIANA PADILLA CUEVAS
ASESOR	FIRMA	
		DR. ROBERTONY CAMAS GÓMEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, noviembre de 2022

RESPUESTA DEL MAÍZ A LA APLICACIÓN DE CAL, YESO Y POTASIO EN LA FRAILESCA, CHIAPAS

Rausel Camas Pereyra, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

Los suelos de la Frailesca, Chiapas presentan problemas de acidez intercambiable, bajo pH, saturación de aluminio >20 % y rendimientos de maíz entre 0.8 a 1.2 t ha⁻¹. Se conocen los efectos de aplicar cal dolomítica pero no de su interacción con yeso y potasio en el control de la acidez de los suelos. El diseño fue factorial compuesto: (2017) con cuatro niveles de yeso (0, 1.25, 2.5 y 5 t ha⁻¹) y cuatro de potasio (0, 60, 120 y 180 kg K₂O ha⁻¹). En 2019 las parcelas tratadas con yeso se dividieron en dos, agregando a la mitad de cada una, misma cantidad de yeso aplicada en 2017 y la otra mitad para evaluar el efecto residual. Las dosis de potasio fueron las mismas que las originales. Variables medidas fueron: NDVI, SPAD, longitud radicular, rendimiento y biomasa. Para el suelo fueron pH, bases intercambiables, aluminio, y su porcentaje de saturación y fósforo en las profundidades (0 a 7 y 7 a 14 cm) del suelo. La aplicación de yeso incrementó el rendimiento con el tratamiento de 2.5 t ha⁻¹ 2017 (año 1) con efecto residual al tercer año (2019); también con la aplicación de 1.25 t ha⁻¹ de yeso en el año 2017 y otra similar en 2019. A 2 años de evaluado, el pH y las bases intercambiables mantienen su efecto en ambas profundidades. Además, aumentó el fósforo, calcio intercambiable y pH, éste último en los 0 a 7 cm, incrementó al presentar carbonatos como contaminante con PRNT de 32%. Nueva adición de yeso disminuyó el magnesio, sodio, crecimiento radicular, aluminio intercambiable y su porcentaje de saturación debajo del nivel crítico. Se recomienda tener cuidado con las dosis de yeso ya que, una aplicación excesiva genera una descompensación en el potasio y magnesio del suelo siendo fundamental su incorporación en la fertilización.

Palabras clave: Acidez, yeso, potasio, aluminio, bases intercambiables.

RESPONSE OF CORN TO THE APPLICATION OF LIME, GYPSUM, AND POTASSIUM IN LA FRAILESCA, CHIAPAS

Rausel Camas Pereyra, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

ABSTRACT

The soils of La Frailesca, Chiapas, have problems of interchangeable acidity, low pH, aluminum saturation >20% and corn yields between 0.8 and 1.2 t ha⁻¹. The effects of applying dolomitic lime are known, but not so its interaction with gypsum and potassium in controlling soil acidity. The design was compound factorial: (2017) with four levels of gypsum (0, 1.25, 2.5, and 5 t ha⁻¹) and four of potassium (0, 60, 120, and 180 kg K₂O ha⁻¹). In 2019, the plots treated with gypsum were divided into two, adding to half of each one the same amount of gypsum applied in 2017, and leaving the other half to evaluate the residual effect. The potassium doses were the same as the original ones. The measured variables were: NDVI, SPAD, root length, yield, and biomass; the soil variables were: pH, exchangeable bases, aluminium and percentage of saturation and phosphorus at depths (0 to 7 and 7 to 14 cm). The application of gypsum increased the yield with the treatment of 2.5 t ha⁻¹ 2017 (year 1) with a residual effect in the third year (2019) also with the application of 1.25 t ha⁻¹ of gypsum in 2017 and a similar one in 2019. After two years of evaluated, the pH and the interchangeable bases maintained its effect at both depths. In addition, phosphorus, exchangeable calcium and pH increased, the later in the 0 to 7 cm, increased when presenting carbonates as contaminant with PRNT of 32%. A new addition of gypsum decreased magnesium, sodium, root growth, exchangeable aluminum and its saturation percentage below the critical level. It is recommending to be careful with the doses of gypsum since an excessive application generates an imbalance in potassium and magnesium of the soil, their incorporation being fundamental in the fertilization.

Key words: Acidity, gypsum, potassium, aluminum, interchangeable bases.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por permitirme ser acreedor de una beca durante dos años, recurso que fue vital durante mi estancia en Texcoco.

Al Colegio de Postgraduados (COLPOS) Campus Montecillo, por ser la institución que me brindó la oportunidad de conocer y profundizar más en mi quehacer profesional, particularmente a los profesores con quienes tuve el placer de recibir clases y de esta forma me compartieron sus conocimientos que contribuyen en mucho a mi formación profesional.

Al posgrado en Edafología, área que me acogió y brindó las herramientas necesarias para entender y aprender con una visión científica acerca de los problemas del mundo y las formas posibles de aterrizarlas en nuestra realidad para beneficio del agro mexicano.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Centro de Chiapas (CECECH), institución que me permitió hacer uso de sus instalaciones durante las diversas actividades de campo desarrolladas.

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) por permitirme hacer uso de la parcela experimental ubicada en el municipio de Villacorzo, Chiapas en el ciclo agrícola Primavera Verano 2019.

Al Dr. Jorge Dionisio Etchevers Barra, por ser mi consejero, motivarme y enseñarme de sus conocimientos y experiencias para fortalecer mi acervo científico. También, por brindarme gran parte de su tiempo y esfuerzo para concluir con calidad el presente trabajo junto con el artículo científico y que pese a todas las circunstancias fuera de nuestro control logramos concluir nuestro objetivo. Ha sido un privilegio haber sido tutorado suyo y una satisfacción decir ¡lo logramos!

Al Dr. Robertony Camas Gómez, quien ha sido pilar clave de enseñanza desde mis inicios en la agronomía y las ciencias agrícolas, además de ser principal motivador para decidirme en emprender la maestría en el Colegio de Postgraduados. También

agradezco por el apoyo brindado durante el desarrollo del experimento y estar pendiente en cada momento a fin de obtener resultados fiables de campo. Gracias por todo.

A la Dra. Juliana Padilla Cuevas, quien con su experiencia me brindó los apoyos necesarios mientras realizaba los diferentes análisis de las muestras de suelos a la par de corroborar la fiabilidad de los datos que defiendo en este trabajo.

Al Dr. José Gustavo Ramírez Valverde, quien fue mi docente y colaboró en el análisis estadístico de los resultados plasmados empleando diferentes programas estadísticos. Gracias, pues sin su apoyo no hubiese sido posible argumentar mis resultados.

A los técnicos de Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados del departamento de Edafología (Maciel, Karen y Francisco) quienes en todo momento estuvieron atentos aconsejándome durante el desarrollo de las distintas metodologías de laboratorio aprendidas y desarrolladas para la obtención de los datos que presento.

Al Dr. Juan Uriel Avelar Robledo, por su apoyo en la realización de los mapas del sitio de estudio, además de brindarme su amistad y apoyo incondicional en mi instancia.

Al M.C. Luis Guerra Zitlalapa, investigador del CIMMYT quien desde mis inicios en la agronomía ha colaborado en compartir de su experiencia en el manejo de diferentes equipos portátiles como lo es el GreenSeeker. Gracias infinitas por todo.

Al Dr. Pedro Cadena Íñiguez y M.C. Walter López Baez, investigadores del INIFAP en Chiapas, quienes han contribuido en mi formación profesional desde hace varios años y que además siempre me han compartido de sus experiencias y conocimientos para enriquecer mis saberes.

DEDICATORIA

A mi familia por brindarme siempre de su apoyo motivándome para seguir adelante para cumplir uno de mis objetivos de vida.

A mis padres Lic. Rausel Camas Gómez y María de Jesús Pereyra Teco por ser ejemplo proveyéndome siempre amor y apoyo cuando lo necesité. Además de mi eterna gratitud por el apoyo económico brindado que sirvió para desarrollar algunas actividades en campo y también mantenerme desde que finalizó mi beca hasta la conclusión de este trabajo.

A mis abuelos por compartir de conversaciones que remontaban desde años atrás y daban un soplo de alivio al escuchar.

A mis hermanos René Camas Pereyra y Cristina del Rocío Camas Pereyra, por estar siempre pendientes y en comunicación motivándome durante mi estancia en Texcoco y estar parcialmente en Puebla para adelantar en mis avances del manuscrito.

A las personas que conocí y a las amistades que logré generar durante mi estancia y que se mantuvieron firmes hasta la conclusión de este trabajo, su apoyo es invaluable y les estaré agradecido además de llevarme gratos recuerdos con todos ustedes.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vii
LISTAS DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
2.3. Hipótesis	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Acidez de los suelos	5
3.2. Cal dolomítica	6
3.3. Yeso agrícola	8
3.4. Planta indicadora de la respuesta: maíz H-318.....	9
3.5. pH	11
3.5.1. pH en agua.....	11
3.5.2. pH en KCl	11
3.6. Longitud radicular.....	12
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
4.1. Selección del sitio experimental.....	14
4.2. Caracterización de la fertilidad del suelo de la parcela.	14
4.3. Ubicación del área de estudio.....	14

4.4.	Suelo experimental.	15
4.5.	Características agronómicas.....	16
4.6.	Tratamientos experimentales.....	17
4.6.1.	Aplicación de cal dolomítica.	17
4.6.2.	Aplicación de yeso y potasio.	18
4.7.	Variables de respuestas.....	20
4.7.1.	Variables de respuesta del cultivo	20
4.7.2.	Variables de respuesta de laboratorio.	26
4.8.	Análisis estadístico.....	29
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
5.1.	Variables de respuesta del cultivo de maíz.....	31
5.1.1.	Evaluación del rendimiento.....	31
5.1.2.	Biomasa de la parte aérea.....	34
5.1.3.	Estimación de la longitud radicular.	36
5.1.4.	Altura de planta.	38
5.1.5.	Monitoreo de datos NDVI: GreenSeeker.	39
5.1.6.	Monitoreo de clorofila en las hojas de maíz: SPAD.....	39
5.1.7.	Análisis foliar.	41
5.2.	Variables de respuesta de laboratorio.....	41
5.2.1.	pH.....	44
5.2.2.	Acidez intercambiable.....	48
5.2.3.	Bases intercambiables.....	52
5.2.4.	Fósforo extraíble Bray II.	60
6.	CONCLUSIONES	63
7.	LITERATURA CITADA.....	64

LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1. Datos de maíz de grano blanco producido en México.	5
Cuadro 2. Características químicas y composición de CaMg (CO ₃) ₂	7
Cuadro 3. Eficiencia relativa granulométrica de la cal con base en el tipo de malla.	8
Cuadro 4. Características químicas del yeso.	9
Cuadro 5. Esquema de cuadrículas según la longitud de raíces.....	13
Cuadro 6. Descripción de tratamientos.	19
Cuadro 7. Diseño experimental de tratamientos establecidos en campo.....	19
Cuadro 8. Rendimientos de grano de maíz.	32
Cuadro 10. Biomasa total t ha ⁻¹ con aplicaciones de yeso en el año 2017 y 2017+2019, y potasio.....	35
Cuadro 11. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en la altura de planta del maíz (p<0.05).....	39
Cuadro 12. Valores obtenidos de pH, bases intercambiables, aluminio intercambiable, saturación de aluminio y fósforo de la profundidad de 0 a 7 cm.	42
Cuadro 13. Valores obtenidos de pH, bases intercambiables, aluminio intercambiable, saturación de aluminio y fósforo de la profundidad de 7 a 14 cm.	43
Cuadro 14. Efecto del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) y el potasio en el calcio intercambiable.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la parcela experimental.	15
Figura 2. Mapa de tipo de suelo de la región cercana a la parcela experimental.....	16
Figura 3. Proceso de cosecha en parcela útil.	20
Figura 4. Proceso de estimación de biomasa total aérea.....	21
Figura 5. Barreno hechizo para muestreo de raíces.	22
Figura 6. Esquema de muestreos realizados para raíces.	22
Figura 7. Proceso de lavado, selección y conteo de raíces.	23
Figura 8. Toma de dato altura de planta con apoyo de un bastidor marcado en centímetros.....	24
Figura 9. Toma de datos NDVI con GreenSeeker.....	24
Figura 10. Ubicación del área para toma de dato SPAD.....	25
Figura 11. Proceso de colecta de hojas en R1.....	26
Figura 12. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el rendimiento de grano de maíz ($p<0.05$).	33
Figura 13. Efecto de la aplicación de yeso hecha en 2017 y 2019 (2017+2019) en la biomasa total de maíz ($p<0.05$).	35
Figura 14. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en la longitud radical en la profundidad de 0 a 14 cm ($p<0.05$).....	36
Figura 15. Efecto combinado de dos aplicaciones de yeso 2017 y 2019 (2017+2019) y potasio sobre la longitud radical en la profundidad de 0 a 7 y de 7 a 14 cm.	36
Figura 16. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en la longitud radical en la profundidad de 0 a 7 y de 7 a 14 cm ($p<0.05$).....	37
Figura 17. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en las unidades SPAD ($p<0.05$).....	40
Figura 18. Efecto comparativo de pH (H ₂ O vs KCl) en dosis crecientes de yeso en la aplicación del 2017 y 2019 (2017+2019) en profundidad de 0 a 14 cm.	44
Figura 19. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el pH del suelo a 0 a 14 cm de profundidad ($p<0.05$).	45

Figura 20. Efecto de la dosis total de yeso aplicada (2017+2019) en el pH del suelo en la profundidad de 0 a 7 y de 7 a 14 cm de profundidad ($p < 0.05$).	46
Figura 21. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el pH del suelo de 0 a 14 cm de profundidad ($p < 0.05$).	47
Figura 22. Efecto de la aplicación de K_2O en el % de saturación de aluminio en la profundidad de 0 a 14 cm ($p < 0.05$).	49
Figura 23. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el contenido de aluminio intercambiable en el suelo en dos profundidades de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm ($p < 0.05$).	50
Figura 24. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el porcentaje de saturación con aluminio en el suelo a la profundidad de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm ($p < 0.05$).	50
Figura 25. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el porcentaje de saturación con aluminio ($p < 0.05$).	51
Figura 26. Efecto de la dosis total de yeso (2017+2019) en el Ca intercambiable del suelo en la profundidad de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm ($p < 0.05$).	53
Figura 27. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+ 2019) en el Ca intercambiable del suelo ($p < 0.05$).	55
Figura 28. Efecto de la aplicación total de yeso en el 2019 (2017+2019) en el calcio intercambiable del suelo en la profundidad de 0 a 14 cm ($p < 0.05$).	55
Figura 29. Efecto de la aplicación de dosis total de yeso en el año 2019 (2017+2019) en el Mg intercambiable del suelo ($p < 0.05$).	56
Figura 30. Efecto combinado del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) en el Mg intercambiable del suelo en la profundidad de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm ($p < 0.05$).	56
Figura 31. Efecto combinado del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) en el K intercambiable del suelo de 0 a 14 cm ($p < 0.05$).	58
Figura 32. Efecto del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) en profundidades de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm en el K intercambiable ($p < 0.05$).	58
Figura 33. Efecto del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) en el K intercambiable del suelo en la profundidad de 0 a 14 cm ($p < 0.05$).	59

Figura 34. Efecto del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) en el Na intercambiable del suelo a 0 a 14 cm de profundidad ($p < 0.05$).....	60
Figura 35. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el fósforo disponible en la profundidad de 0 a 7 y de 7 a 14 cm.	61

1. INTRODUCCIÓN

En la región Frailesca del estado de Chiapas se estima que existen alrededor de 33,500 ha⁻¹ de suelos cultivados con maíz de temporal, las cuales presentan pH promedio de 4.7, acidez intercambiable elevada y saturación de aluminio >20 %. Estas condiciones generan pérdidas de 0.8 a 1.4 t ha⁻¹ (Hibon *et al.*, 1992; Nieuwkoop *et al.*, 1992). De acuerdo con Zoca and Penn (2017) existe evidencia de las bondades de la aplicación simultánea de cal dolomítica y yeso agrícola en suelos ácidos; sin embargo, se desconoce la dosis de yeso requerida por los diferentes tipos de suelos y sistemas de producción.

En el año 2012 (Robertony Camas, Comunicación personal. Febrero 2022) analizó prácticas de cultivos y propiedades físicas y químicas del suelo en parcelas de 25 productores, las cuales resultaron tener saturación de aluminio arriba del 20 % en la capa arable (0 a 14 cm) y el subsuelo (14 a 30 cm) con pH de 4.4, siendo estas características las principales limitantes del cultivo de maíz, (Castellanos *et al.*, 2000). La acidez del suelo se presenta como resultado de las características químicas del material parental del suelo, uso de sulfato de amonio, lavado de bases por la erosión y escaso contenido de materia orgánica del suelo (MOS).

Tasistro y Camas (2015) realizaron cuatro experimentos exploratorios en el 2014 y observaron respuestas positivas del rendimiento de grano de maíz con la aplicación de cal dolomítica, yeso agrícola y potasio (K) en la capa arable (0 a 15 cm) y subsuelo (15 a 30 cm). El efecto del K se debió a la característica arenosa, la acidez y bajo nivel de este elemento en los suelos. Sin embargo, Camas *et al.* (2018) reportaron que en la localidad Santa Inés de la Frailesca, no se presentó efecto positivo de la aplicación de yeso agrícola en la capa inferior a 7.5 cm de profundidad; atribuyéndole a que el yeso se aplicó muy superficialmente.

Cuando la acidez se localiza a una profundidad 0 a 15 cm se recomienda la aplicación de cal dolomítica (Bossolani *et al.*, 2020), cuya dosis se puede calcular de acuerdo a lo propuesto por Yost *et al.* (1991) modificada y ajustada para el caso de la Frailesca, Chiapas por Camas *et al.* (2019). Cuando la acidez se encuentra a más de 15 cm de

profundidad se ha empleado la incorporación de yeso agrícola. Si bien el yeso es una sal neutra, no neutraliza la acidez del suelo, sin embargo, mejora la fertilidad al adicionar Ca y S.

Zoca and Penn (2017) señalaron que no existe un método científico para estimar las cantidades de yeso que deben adicionarse a los suelos. Sin embargo, estudios experimentales conducidos durante 4 años en La Frailesca Chiapas por Tasistro *et al.* (2015) han permitido definir que una aplicación de 1.25 t ha⁻¹ de yeso es agronómica y económicamente recomendable. El uso de yeso ha sido mencionado como una manera para contribuir en la corrección de problemas de acidez en los subsuelos (Shainberg *et al.*, 1989; Summer 1990 y 1993).

En el presente trabajo se estudió el efecto residual del yeso aplicado en 2017 (año 1) y evaluado en 2019; año en que se repitió la adición de esa enmienda con iguales cantidades a las del año 1, y se observó su interacción con el potasio aplicado previamente.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto residual de la aplicación de yeso y potasio hecha en el 2017 y una adicional en el 2019 en el rendimiento de maíz y en las bases intercambiables en el suelo y subsuelo de una parcela previamente tratada con cal dolomítica para reducir la saturación de aluminio inicial en la capa arable.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto residual en el rendimiento del maíz después de 2 años de haber aplicado yeso agrícola superficialmente al suelo y el efecto de una segunda aplicación hecha a profundidad de 7 a 14 cm en un sitio previamente encalado en 2017 en la Frailesca, Chiapas.
- Medir los cambios de las bases intercambiables del suelo experimental como consecuencia de una segunda aplicación de yeso agrícola a una profundidad de 7 a 14 cm a 2 años después de una aplicación generalizada de cal dolomítica.
- Estimar el rendimiento de maíz como respuesta al adicionar potasio para compensar su posible pérdida por la adición de concentraciones elevadas de calcio mediante el uso de enmiendas.

2.3. Hipótesis

- La incorporación de yeso agrícola en la profundidad 7 a 14 cm de un suelo ácido previamente tratado con cal resulta en un incremento en el rendimiento de maíz.
- Una nueva aplicación de yeso agrícola genera aumentos en la concentración de fósforo y calcio en los intervalos de 0 a 7 cm y 7 a 14 cm de profundidad, y a medida que aumentan las concentraciones de calcio se obtienen pérdidas de potasio.
- Una segunda aplicación con las mismas dosis de yeso y su adición anual de potasio al suelo genera una interacción positiva en el rendimiento de biomasa.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

La situación de producción de alimentos para la población en México es preocupante debido al número de su población (126 millones de habitantes), a la degradación del suelo y al gran número de pequeñas unidades de producción donde los rendimientos son generalmente bajos.

El consumo de alimentos a nivel mundial y en México ha presentado, en las últimas décadas, cambios considerables como: el elevado consumo de una densa energía, alimentos pobres en nutrientes y altos en grasas, azúcares y sales ocasionando un problema global. Además, existe una tendencia conocida como la transición nutricional, donde las poblaciones de países en desarrollo actualmente consumen dietas con más productos animales, aceites vegetales, edulcorantes y alimentos procesados, y pocos granos enteros (Popkin, 2002).

El incremento en el consumo de estos alimentos en países en desarrollo, se debe en gran medida a la falta de tiempo para preparar alimentos y al incremento del mundo urbanizado (Haddad, 2003).

En general, la transición se modifica constantemente por el crecimiento poblacional, desarrollo económico desequilibrado basado en la acumulación de capital, menor disponibilidad de alimentos y problemas universales de salud y nutrición. Esta tendencia implica que la manera de producir alimentos ha debido ajustarse y seguirá haciéndolo para incrementar la producción y simultáneamente mejorar la sostenibilidad de los factores medioambientales, económicos, sociales y para satisfacer los requerimientos de creciente demanda por el incremento de la población (Planeación Agrícola Nacional, 2017-2030).

Según datos del SIAP (2021) en México se siembran anualmente entre 6 y 7 millones de hectáreas de maíz, de las cuales 15 % son de riego en el ciclo Otoño Invierno (OI) y 85 % en régimen de temporal Primavera-Verano (PV), aunque para enero de 2021 se tenían registradas 5.8 millones de hectáreas sembradas.

Cuadro 1. Datos de maíz de grano blanco producido en México.

Esquema de producción maíz de grano blanco para México.		
Año	Acción	Cantidad
2016	Producción	24.56 millones de toneladas
2017	Producción	24.54 millones de toneladas
2018	Producción	23.56 millones de toneladas
2019	Producción	23.81 millones de toneladas
2020	Producción	24.76 millones de toneladas
2021	Estimada	26.9 millones de toneladas
2024	Estimada	34.99 millones de toneladas

Fuente: Elaboración propia a partir de datos publicados por (SIAP, 2021).

México satisface su demanda interna de maíz blanco; sin embargo, hasta octubre de 2021 ocupa el segundo lugar en importaciones de 14.6 millones de toneladas de maíz de grano amarillo destinadas principalmente para la alimentación animal y consumo industrial en el mundo (CONAFAB, 2021). De acuerdo con datos del SIAP (2021) a partir del año 2016 la producción nacional de maíz blanco decreció (Cuadro 1), pero experimentó un leve repunte a partir del año 2020 y se espera que continúe aumentando hasta el año 2024, con una producción aproximada de 35 millones de toneladas.

El destino de la producción de maíz blanco del año 2020 fue para consumo humano (52.3 %), autoconsumo (19.5 %), consumo pecuario (20 %), exportaciones (3.8 %), semilla para siembra (0.6 %) y mermas (3.8 %). Además, el rendimiento promedio nacional de producción de maíz blanco en condiciones de temporal PV fue de 2.2 t ha⁻¹, pero en el estado de Chiapas la media es de 1.5 t ha⁻¹ y en la región Frailesca, Chiapas, es de 3.4 t ha⁻¹ (SIAP, 2021).

3.1. Acidez de los suelos

Uno de los problemas, que atentan en el aumento de los rendimientos de grano de maíz en muchas partes de México y el mundo, es la acidificación de los suelos que presentan pH inferior a 5.5 (FAO, 2020) debido a que en la mayoría de los casos se debe a la

presencia de Al intercambiable generado por el uso excesivo de fertilizantes amoniacales.

El pH ácido del suelo se asocia a la toxicidad que puede causar el Al y las deficiencias de Mo, cuya disponibilidad disminuye a medida que aumenta la reacción del suelo a diferencia de lo que ocurre con otros micronutrientes (FAO, 2020). Además del uso excesivo de fertilizantes acidificantes del suelo, éste presenta procesos naturales de acidificación provocados por la descomposición de la materia orgánica del suelo (MOS), la respiración microbiana y la absorción de cationes (NH_4^+) (Martens 2001; Tang y Rengel, 2003).

Otros procesos naturales, son las abundantes precipitaciones, la aguda meteorización, lixiviación y descomposición de materia orgánica relacionadas con el envejecimiento de los suelos, que al intemperizarse experimentan pérdida de bases (K, Ca y Na), provocando el aumento de iones Al y Fe. Este último es el causante de las coloraciones rojizas, amarillentas o anaranjadas que presentan generalmente los suelos naturalmente ácidos (Tasistro, 2018).

Otra causa de la acidificación es debido a las malas prácticas agrícolas como el uso irracional de fertilizantes nitrogenados amoniacales y la quema de residuos de cosecha (Cihacek *et al.*, 2021). Cuando la acidez del suelo alcanza $\text{pH} < 5$ es probable observar baja disponibilidad de nutrientes como nitrógeno (N), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg) y molibdeno (Mo); mientras que otros nutrientes como el manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn) tienden a ser más disponibles.

FAO (2020) señala que un enfoque integral de manejo de los suelos ácidos comprende la adición de cal, el empleo de variedades tolerantes a la acidez, el uso eficiente de fertilizantes, abonos verdes, rotaciones de cultivos adecuadas y la diversificación de cultivos.

3.2. Cal dolomítica

La dolomita es un mineral de carbonato doble de calcio y magnesio. Su fórmula química es $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ y su contenido en la forma pura es 21.6 % de Ca y 13.1 % de Mg (Cuadro

2). Este mineral se caracteriza por ser un material usado como enmienda cuando los suelos presentan deficiencias de Ca y Mg; sin embargo, éste se considera de reacción lenta aunque en ocasiones puede aportar Mg, elemento que frecuentemente se encuentra deficiente en los suelos ácidos (IPNI, 1999).

La capacidad para neutralizar la acidez del suelo depende de la composición química y de la pureza del material enmendante (Espinosa *et al.*, 1999). Para medir este último, se utiliza el Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT) que indica el equivalente químico (EQ) que es capaz de reaccionar en un lapso de 3 meses, aunque éste no es el único factor que interviene en la efectividad de una enmienda calcárea, sino también el tamaño de la partícula o fineza del material que determina la velocidad de su reacción con la acidez del suelo; ya que al reducirse el tamaño de la partícula aumenta la superficie específica del material (Cuadro 3).

Cuadro 2. Características químicas y composición de CaMg (CO₃)₂

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	
Color	Blanco crema
Humedad	<10 %
Brillo	Vítreo algo perlado
Dureza	3.5 a 4
Densidad	2.9 a 3.1 g/cm ³
pH	8.5

COMPOSICIÓN			
CaO	37.1 %	CaO	66.1 %
MgO	13.3 %	Fe ₂ O ₃	.54 %
MgCO ₃	26.3 %	K ₂ O	.32 %

Fuente: (Chávez, 1991).

Cuadro 3. Eficiencia relativa granulométrica de la cal con base en el tipo de malla.

Número de malla mesh*	Tamaño de los orificios mm	Eficiencia relativa %
<8	>2.36	0
8-20	2.4-0.85	20
20-40	0.85-0.42	40
20-60	0.85-0.25	60
>60	<0.25	100

*Mesh o malla: Número de orificios por pulgada lineal.

Fuente: Espinosa and Molina (1999).

En suelos ácidos tropicales como los existentes en nuestro país (Chávez, 1991) menciona que la dosis de enmienda calcárea a utilizar debe estar en función del porcentaje de saturación de Al del suelo, factor que incluye la acidez ligada al Al intercambiable o potencialmente intercambiable, elemento tóxico y principal responsable de la acidez en suelos tropicales.

3.3. Yeso agrícola

El yeso se obtiene de yacimientos o depósitos naturales de evaporitas sedimentarias (Shainberg *et al.*, 1989). De acuerdo con Melgar y Camozzi (2002) la composición del yeso varía de 22 a 23 % Ca y de 17 a 19 % de S (Cuadro 4). Su aplicación al suelo, mejora las propiedades de éste al desplazar el Na y ocupar estos sitios de intercambio con Ca aumentando la fuerza iónica alrededor de las partículas del suelo y por la formación de complejos iónicos con SO₄ durante la solubilización del yeso (Renjasamy y Olsson, 1991).

Cuadro 4. Características químicas del yeso.

Tipo de sulfato de calcio	Fórmula y composición	Solubilidad
Di-hidratado (Yeso)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (23% Ca, 18% S y 21% agua)	2.05 g/L
Anhidrita	CaSO_4 , (29% Ca y 23% S)	2.05 g/L
Hemihidratado (Yeso de París)	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	Se convierte en yeso al agregar agua

Fuente: IPNI (1999).

De acuerdo con IPNI (1999) el efecto de solubilidad del yeso al incorporarse en el suelo varía dependiendo el tamaño de las partículas, la humedad del suelo y las propiedades edáficas sin presentar efecto directo sobre el pH del suelo aunque si genera un ambiente radical positivo en el subsuelo.

El calcio contenido en la enmienda permite la agregación y estructuración del suelo facilitando la floculación de sus partículas elementales. Además, mantiene las relaciones catiónicas en concentraciones idóneas aumentando la disponibilidad de nutrientes como fósforo, potasio y calcio.

La aplicación de yeso como enmienda para suelos ácidos ha sido promovida especialmente para corregir problemas de acidez en los subsuelos aprovechando su movilidad, capacidad para aportar Ca y disminuir contenidos de Al intercambiable (Shainberg *et al.*, 1989; Summer 1990 y 1993).

Según Peregrina (2005), además de los efectos producidos por el yeso en la acidez del suelo, el aumento de Ca y la disminución del Al, se generan pérdidas en el Mg, Na y K; pudiendo llegar a inducir deficiencia de los mismos.

3.4. Planta indicadora de la respuesta: maíz H-318

Para este estudio se utilizó como planta indicadora el híbrido de maíz H-318 por sus características idóneas para la región experimental y por preferencia del productor cooperante. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias INIFAP (2008) indica que los híbridos trilineales son más uniformes que las cruza dobles

y están formados por tres líneas endogámicas, de las cuales dos de ellas forman la cruz simple hembra, y la tercera se utiliza como macho, requiriéndose de cinco lotes aislados para formar el híbrido.

Para producir semilla certificada de este híbrido, se requiere de una relación H:M 4:2, ya que la línea macho tiene menos vigor que una cruz simple y por tanto produce menor cantidad de polen y su periodo de producción es más corto.

La formación de este material se obtiene a partir de los progenitores B-35 * B-188 y B-41 que presentan características como: adaptabilidad a regiones tropicales y subtropicales entre 800 a 1,900 m de altitud, tolerancia al acame de la raíz y del tallo, mazorca sana con buena cobertura y grano dentado color blanco-cremoso, de ciclo intermedio-tardío (INIFAP, 2004).

Las características principales del híbrido H-318 son: periodo de crecimiento y desarrollo de 2.6 a 3 m con la mazorca principal insertada a 1.3 m y floración media a los 65 días. Su grano es pequeño y se caracteriza por tener valores de 63.5 y 69.5 % de reflectancia en instrumentos de Agtron y HunterLab respectivamente, textura muy dura asociada a un elevado porcentaje de endospermo córneo y alto peso hectolítrico.

Además tiene germen grande (13.7 %), del cual el 5 % de su contenido es aceite pudiendo limitar su aprovechamiento por parte de los industriales de harina nixtamalizada; ya que éstos prefieren maíces con porcentajes de germen menores al 13 % para evitar atasques en los molinos y rancidez de las harinas en el almacenamiento.

Dentro del germen, se encuentra la proteína de mejor calidad nutritiva, que junto al 90 % de su aceite mejoran la textura de las tortillas y su calidad nutricional, mientras que el resto de los componentes del grano es lo demandado por la industria de harina nixtamalizada (Twillman y White, 1988; INIFAP, 2008).

Debido a estas características y a que es un híbrido muy uniforme se alcanzan rendimientos en siembras de temporal de 7 a 8 t ha⁻¹ y en riego 10 a 11 t ha⁻¹ dependiendo de las condiciones de suelo favorable y al buen manejo agronómico (INIFAP, 2004)

3.5. pH

El pH es una propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad de las soluciones acuosas. Cuantitativamente se expresa como el logaritmo negativo de la actividad de los protones (H^+) en una solución acuosa (Osorio, 2012). También señala que el pH del suelo se refiere a la concentración de iones H^+ en la solución del suelo en equilibrio con la fase sólida. Este dato se presenta en escala de 0 a 14, donde un pH 7 corresponde a un suelo neutro y cantidades mayores a éste resultan ser básicos e inferiores ácidos.

Osorio (2012) señala que cuando el suelo es demasiado ácido abundan los hidrogeniones y el Al impidiendo la permanencia del Ca, Mg, Na y K en el suelo, y por consiguiente se vuelven susceptibles a ser lixiviados por la lluvia. Las determinaciones de pH que requieren mayor exactitud emplean el método electrométrico donde las mediciones se basan en el potencial eléctrico de un electrodo sensible a los iones hidrógeno que se encuentran presentes en una solución y usan como referencia un electrodo de calomelanos o de Ag/AgCl, el cual no varía su potencial eléctrico al cambiar la concentración de iones hidrógeno. El pH del suelo se mide en diferentes soluciones de equilibrio (agua, soluciones salinas, neutras, entre otras).

3.5.1. pH en agua

Denominado también como pH actual, se mide en una suspensión suelo/agua desprovista de sales en varias relaciones (1:1, 1:2). Al agregar la solución, los iones H^+ retenidos en el complejo de cambio se equilibran hasta que la concentración en la solución no experimenta cambio; sin embargo, no todos los cationes son retenidos por lo que los libres presentan actividades químicas dentro del suelo actuando como reguladores del funcionamiento general del suelo (Soriano, 2022).

3.5.2. pH en KCl

También llamado pH potencial, en este caso el catión K de la sal en solución reacciona desplazando los cationes retenidos (H^+) por el complejo de cambio, de forma que al estar en equilibrio refleja la acidez intercambiable del suelo (Soriano, 2022).

3.6. Longitud radicular

Los cultivos experimentan estrés por causa del Al presente en el suelo, ya que las raíces tienden a ser gruesas, quebradizas, cortas y muy ramificadas con color pardusco (Marín *et al.*, 2010), condiciones que según Feixa (2001) hacen que la planta explore un volumen de suelo muy reducido.

Casierra *et al.* (2008) señalan que el aluminio no afecta la germinación de las semillas, pero sí en el crecimiento de las raíces secundarias, y con ello limita aún más la adaptabilidad de las plantas generando un desequilibrio que trae como consecuencia un decrecimiento en el rendimiento.

El yeso agrícola promueve el desarrollo de condiciones favorables para el crecimiento del sistema radical en capas subsuperficiales del suelo haciendo que su crecimiento sea vigoroso y el aprovechamiento del agua disponible sea mayor, brindándole al cultivo mayor tolerancia en épocas de seca (IPNI, 1999). Además, la planta desarrolla un sistema radical vigoroso y profundo capaz de explorar mejor el perfil del suelo y aprovechar los nutrientes, reflejándose en mejores rendimientos.

El análisis del sistema radical de la planta es lento, tedioso y a menudo impreciso por lo que se conoce poco sobre la longitud total de las raíces (Zoon and Van Tierderen, 1990). Por su parte, Hirtle *et al.* (2017) estimaron que analizar la longitud radicular (LR) implica extraer muestras de suelo, separar las raíces, conservarlas y almacenarlas antes de realizar la medición de su longitud.

Esta misma fuente señala que las actividades son laboriosas y que las mediciones tienden a presentar un alto coeficiente de variación lo que obliga a maximizar el número de repeticiones. Sin embargo, cuando hablamos de parcelas experimentales, lo más recomendable es aplicar el método de muestreo de cilindros de suelo con barreno para examinar la distribución vertical y lateral del sistema radical. Tenant (1975) recomienda que, para medir la LR el tamaño de cuadrícula a usar debe seleccionarse acorde al tamaño de raíces que se hayan obtenido, por ejemplo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Esquema de cuadrículas según la longitud de raíces.

Cuadrícula (cm)	Longitud de raíces (cm)	Factor de conversión
1x1	65 a 700	0.7857
2x2	275 a 1100	1.5714
3x3	Igual o mayor a 600 cm	2.3571

Fuente: Tenant (1975).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Selección del sitio experimental.

El objeto de estudio se realizó en el terreno perteneciente al Sr. Edray Velázquez, ubicado en el predio Santa Inés, municipio de Villacorzo, Chiapas; ya que el suelo presentaba 47 % y 64 % de saturación de Al en las profundidades 0 a 13 cm y 13 a 27 cm respectivamente, además de contar con buena accesibilidad al terreno de estudio y disponibilidad del productor en cooperar en las actividades.

4.2. Caracterización de la fertilidad del suelo de la parcela.

Para caracterizar el suelo y particularmente conocer la acidez al inicio del experimento en el ciclo agrícola PV 2017, se obtuvo una muestra compuesta de 38 submuestras de suelo de 0 a 13 cm y 13 a 27 cm de profundidad. Estas se analizaron para determinar el pH en agua en relación suelo/agua 1:2, conductividad eléctrica, bases intercambiables, materia orgánica y acidez intercambiable de acuerdo con lo descrito por (Van Reeuwijk, 1999).

4.3. Ubicación del área de estudio.

El sitio experimental se ubica en la intersección de las coordenadas en grados decimales 16.2025 LN y -93.3382 LO, en el predio Santa Inés perteneciente al municipio de Villa Corzo, Chiapas, México (Figura 1).

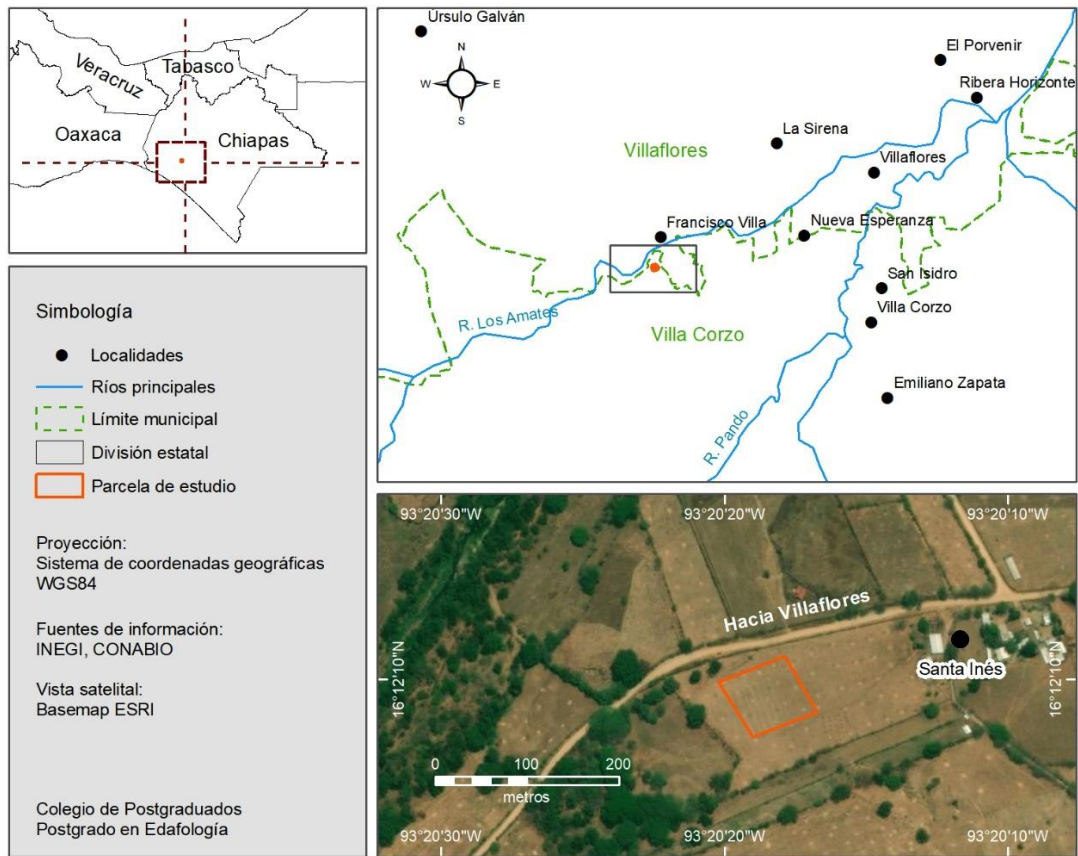


Figura 1. Mapa de ubicación de la parcela experimental.

4.4. Suelo experimental.

El suelo de la zona está descrito como un complejo Luvisol crómico, Cambisol eútrico y Cambisol crómico (LVcr+CMeu+CMcr/3) (INEGI, 2021) (Figura 2).

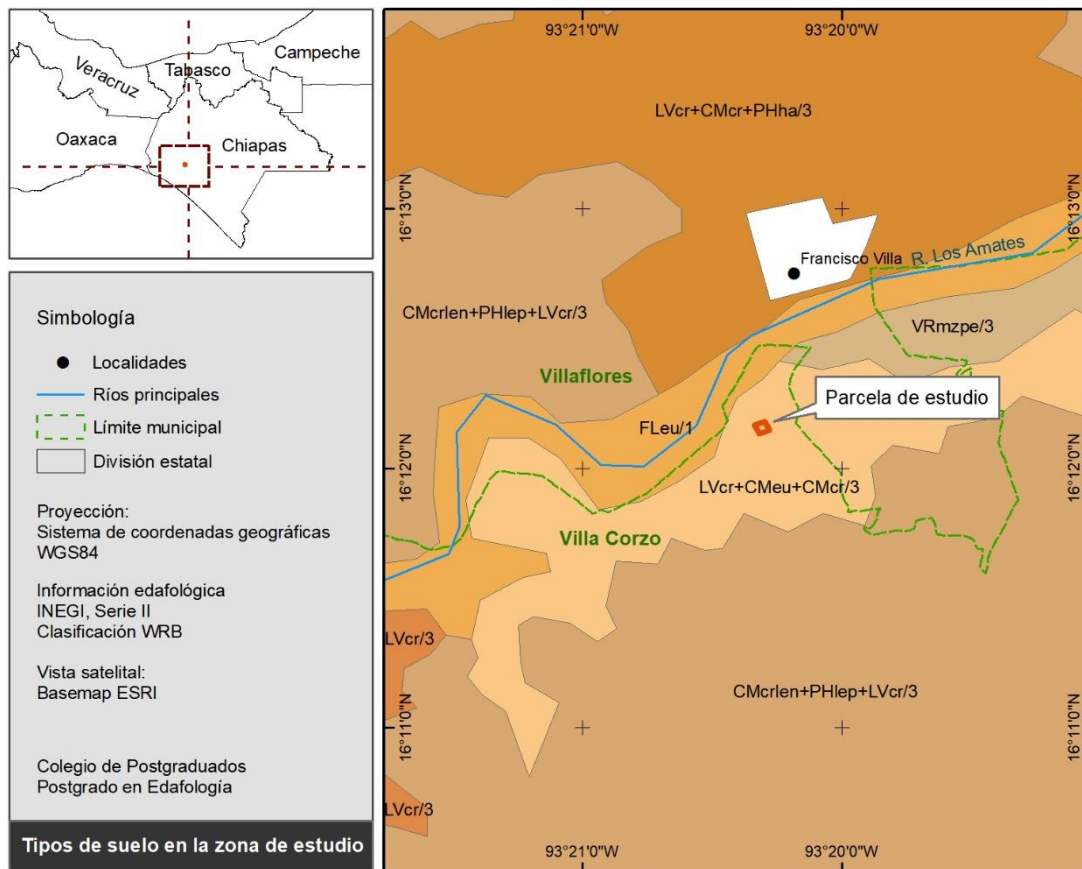


Figura 2. Mapa de tipo de suelo de la región cercana a la parcela experimental.

4.5. Características agronómicas

A continuación se presenta una descripción de los manejos agronómicos de mayor relevancia.

- El tamaño de la parcela experimental en el ciclo experimental PV 2017 fue de 6 m de longitud con 8 surcos a una distancia de 0.8 m entre sí. En 2019 estas parcelas fueron divididas en sentido longitudinal en dos mitades iguales. A una de ellas se le hizo una nueva aplicación de yeso y potasio con las mismas dosis aplicadas en 2017 dejando la otra mitad para evaluar el efecto residual de las enmiendas.
- El cultivo indicador de respuesta en rendimiento y biomasa con los tratamientos aplicados fue el híbrido de maíz H-318.

- La siembra se realizó manualmente depositando una semilla por golpe a cada 19 cm con una separación de 0.8 m entre surcos para obtener una densidad aproximada de 65,000 semillas ha⁻¹.
- Para el control de malezas se aplicó atrazina + S metolachlor a razón de 3 L ha⁻¹ al momento de la siembra y cuando emergieron malezas durante el desarrollo del cultivo se eliminaron en forma manual empleando coas y azadones.
- Previo a la siembra se trató la semilla de maíz con Thiodicarb con dosis de 1 L/20 kg de semilla y para prevenir la presencia y afectación del gusano cogollero se aplicó clorpirifos etil+permetrina a razón de 0.8 L ha⁻¹. Posteriormente, cuando la altura del cultivo no permitía ingresar con bombas aspersoras manuales de mochila, se aplicó 10 kg ha⁻¹ de cipermetrina granulado al 2 % directo al cogollo de la planta de maíz empleando un bote de plástico con orificios en la tapa, simulando un salero.
- Presencia de virus o enfermedades: durante el desarrollo del cultivo se hicieron observaciones visuales para prevenir enfermedades y se aplicó de manera preventiva azoxistrobin 18.20 % y ciproconazol 7.27 % ante la supuesta presencia del Complejo Mancha de Asfalto (CMA). Además, se tomó muestras de follaje y se envió al Laboratorio de Fitopatología en el Colegio de Postgraduados para su respectivo análisis y detectar en tiempo la problemática presente.

4.6. Tratamientos experimentales.

4.6.1. Aplicación de cal dolomítica.

En el ciclo agrícola PV 2017 se hizo una aplicación generalizada a todo el sitio experimental con 1.9 t ha⁻¹ de cal dolomítica con Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT) de 62 %, distribuida homogéneamente en toda la parcela experimental. Este cálculo de la dosis se fundamentó en la saturación de Al previamente reportada de 47 % en la profundidad de 0 a 13 cm utilizando la siguiente fórmula (Yost *et al.*, 1991).

$$\text{CaCO}_3 \text{ (t/ha}^{-1}\text{)} = \underline{1.5 \text{ (Al - PRS) (CICE)}} * F$$

AI = A_{int} (%) actual

PRS = A_{int} (%) deseado

CICE= Capacidad de intercambio catiónico efectiva

F= 100 / PRNT

PRNT (Poder Relativo de Neutralización Total) = $(EG * EQ) / 100$

EG= Eficiencia granulométrica

EQ= Equivalente químico

4.6.2. Aplicación de yeso y potasio.

Para evaluar el efecto residual del yeso agrícola y potasio aplicado en 2017 y una nueva adición de yeso en el 2019, tanto en el rendimiento de grano como en las bases intercambiables del suelo, se diseñó el experimento con un arreglo factorial 4^2 . Para ello, cada unidad experimental establecida en 2017, se dividió en dos, como se explicó previamente. En una mitad se midió el efecto residual de los tratamientos originales y en la otra el efecto del tratamiento aplicado en 2019.

Las dosis de potasio se aplicaron a una distancia de 5 cm de separado de las plantas incorporándose con azadones a una profundidad de 7 cm.

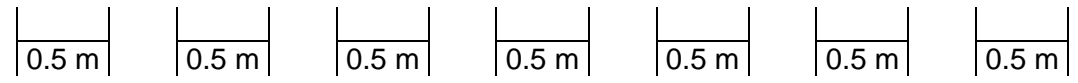
Cuadro 6. Descripción de tratamientos.

Trat.	Yeso t ha ⁻¹	K ₂ O kg ha ⁻¹
Aplicado en 2017		
1	0	0
2	0	60
3	0	120
4	0	180
5	1.25	0
6	1.25	60
7	1.25	120
8	1.25	180
9	2.5	0
10	2.5	60
11	2.5	120
12	2.5	180
13	5	0
14	5	60
15	5	120
16	5	180
Aplicación 2017+2019		
17	2.5	0
18	2.5	60
19	2.5	120
20	2.5	180
21	5	0
22	5	60
23	5	120
24	5	180
25	10	0
26	10	60
27	10	120
28	10	180

Cada unidad experimental se conformó por 4 surcos de 6 m de largo distanciados a 0.8 m entre hileras y separados entre tratamientos por una calle de 0.5 m (Cuadro 7) de tal forma que se tuvo un área para evaluación de 19.2 m² y un área útil de 4.8 m² correspondientes a dos surcos de tres metros.

Cuadro 7. Diseño experimental de tratamientos establecidos en campo.

	6 m	6 m	6 m	6 m	6 m	6 m	6 m	6 m
R3								
	312	301	323	315	328	305	321	307
	324		311	327	316	317	309	319
	325	310	318	302	304	303	320	314
313	322	306	308				326	
R2	208	228	214	221	212	202	223	203
	220	216	226	209	224		211	
	215	204	219	205	222	213	201	218
	227		207	217	210	225		206
R1	111	122	116	120	104	109	127	105
	123	110	128	108		121	115	117
	103	107	118	113	101	126	112	102
		119	106	125		114	124	



Simbología: el primer dígito corresponde a repetición y los dos números subsiguientes representan el número de tratamiento.

4.7. Variables de respuestas.

4.7.1. Variables de respuesta del cultivo

4.7.1.1. Evaluación de rendimiento

La evaluación del rendimiento se realizó el 26 de diciembre del 2019 considerando dos surcos centrales con cuatro metros de longitud de las cuatro hileras que conformaban cada unidad experimental dejando 1 m de bordo a cada extremo de las hileras y se tomó en cuenta el número de plantas totales, sanas y jorras; y el número de mazorcas totales, enfermas, deformes y mal polinizadas. Posteriormente, se tomó el peso total de mazorcas que se desgranaron con un equipo mecánico pesando por separado el grano y olote. Del grano cosechado, se mezcló homogéneamente tomando una muestra de 100 granos al azar para su posible determinación de nutrientes en laboratorio (Figura 3).



Figura 3. Proceso de cosecha en parcela útil

4.7.1.2. Biomasa de la parte aérea.

La estimación de la biomasa aérea se obtuvo cortando las plantas cosechadas para la estimación de rendimiento a ras de suelo y junto con las hojas caídas que se recolectaron se trituraron en una picadora; este material se mezcló homogéneamente para su determinación de peso total en fresco, adicionalmente se tomó una muestra de 300 g que se depositaron en bolsas de papel para secado en estufa a 65°C por 48 horas en el

Campo Experimental Centro de Chiapas (CECECH) del INIFAP y así poder registrar el peso seco al final. Con este dato, se determinó un factor para calcular el peso seco total de cada tratamiento (Figura 4).



Figura 4. Proceso de estimación de biomasa total aérea

4.7.1.3. Estimación de la longitud radicular.

Se realizaron muestreos en el suelo con barrenos hechizos de 3 cm de diámetro y 7 cm de altura (Figura 5) extrayendo 3 submuestras en cada tratamiento para obtener una muestra compuesta con un volumen total de 148.44 cm^3 (Figura 6) en profundidades de 0 a 7 cm y 7 a 14 cm respectivamente cuando el maíz estaba en la fase de R1 libre de malezas, por lo que no había presencia de éstas que pudieran interferir en la veracidad de la evaluación.



Figura 5. Barreno hecho para muestreo de raíces

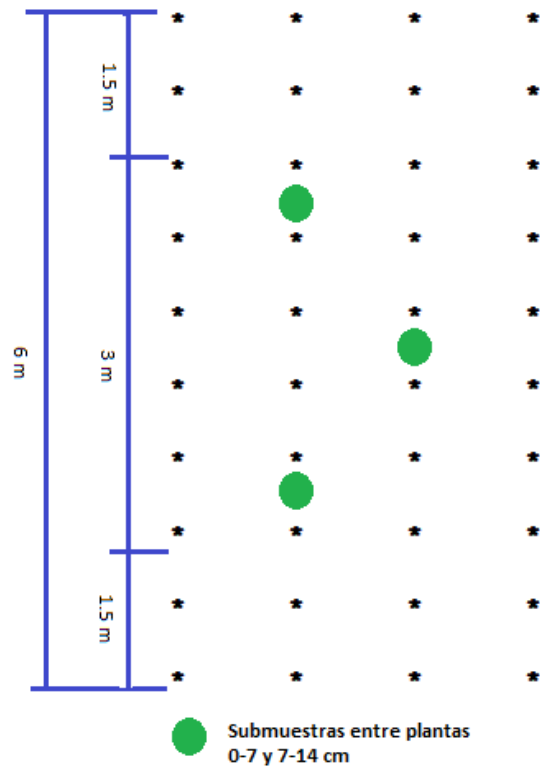


Figura 6. Esquema de muestreos realizados para raíces.

La muestra obtenida se colocó en una estufa de aire forzado durante 48 horas a 65°C para su secado. Posteriormente la muestra seca se colocó sobre una malla fina para

separar el suelo de las raíces con la acción del agua de llave (Figura 7), éstas raíces se colocaron sobre papel estraza para su secado y luego realizar la estimación de la longitud de raíces, empleando el método de intersección lineal de Newman (1966) modificado por Marsh (1971) y Tenant (1975).

$$LR = (N) * (F)$$

donde:

R: Longitud Radical

N: Número de intercepciones

F: Factor de conversión de la longitud a cm

En dicha fórmula se consideró el factor $1 \times 1 = 0.7857$



Figura 7. Proceso de lavado, selección y conteo de raíces.

4.7.1.4. Altura de planta

Se evaluaron tres plantas al azar con competencia completa en la fase de R1 a R2, ésta medición se hizo desde el punto de inserción de las raíces adventicias hasta la base de la espiga (Figura 8).



Figura 8. Toma de dato altura de planta con apoyo de un bastidor marcado en centímetros.

4.7.1.5. Monitoreo de datos NDVI: GreenSeeker.

Los datos se tomaron con un equipo Green Seeker el 10 de agosto de 2019 y el 18 de agosto del mismo año en las etapas fenológicas V10 y V12 respectivamente, según la escala de Ritchie & Hanway (1982). En cada una de estas fases se capturó el índice digital de vegetación normalizado (NDVI) en dos hileras de 4 m lineales en cada tratamiento dejando 1 m de bordo en cada extremo, que en teoría serían las mismas cosechadas al final. El sensor se desplazó a 0.8 m sobre la parte aérea de las hileras para tener la menor variación posible de las lecturas (± 0.02) (Figura 9).



Figura 9. Toma de datos NDVI con GreenSeeker.

4.7.1.6. Monitoreo de clorofila en las hojas de maíz: SPAD

Se seleccionaron seis plantas en R1 según la escala (Ritchie & Hanway, 1989) con competencia completa, omitiendo 1 m de bordo en cada extremo. Previo a la captura del dato se eliminaron las impurezas de la hoja con un paño húmedo a fin de obtener mayor fiabilidad de los datos seleccionando la primera hoja opuesta al primer jilote, ubicando el instrumento en la mitad de la parte longitudinal de la hoja y al lado derecho de la nervadura central (Figura 10).



Figura 10. Ubicación del área para toma de dato SPAD.

4.7.1.7. Análisis foliar.

Cuando el cultivo presentó la fase R1 de su desarrollo fenológico, según la escala de Ritchie & Hanway (1989). En cada unidad experimental, se eligieron cuatro plantas dentro del área útil mencionada anteriormente tomando en cuenta la hoja opuesta al primer jilote. Éstas fueron desprendidas y se limpiaron con paños húmedos, luego se empaquetaron e introdujeron dentro de hieleras (Figura 11) para trasladarlas al cuarto frío del LAFER en donde permanecieron por 8 horas previo al proceso de recorte longitudinal e ingreso a la estufa de secado a 65°C por 48 horas continuas.



Figura 11. Proceso de colecta de hojas en R1.

En el mes de abril de 2020 las muestras de tejido vegetal recolectadas en R1 se molieron en un molino Thomas Wiley provisto de tamiz malla 20. El material molido se colocó en sobres de papel kraft debidamente etiquetados conforme al número de ingreso otorgado por el LAFER.

4.7.2. Variables de respuesta de laboratorio.

Previo a la siembra del ciclo PV 2019 y posterior a la cosecha, se recolectaron muestras de suelo en los 16 tratamientos originales establecidos en 2017 y en los 28 tratamientos resultantes de la división de los tratamientos previos, excepto los testigos en donde no se adicionó yeso. Se recolectaron muestras en cada una de las tres repeticiones, en los incrementos de profundidad 0 a 7 cm y 7 a 14 cm con barrenas muestreadoras cromadas para evitar su contaminación.

Éstas fueron etiquetadas, secadas al aire y bajo sombra por 48 horas, tamizadas a través de malla #10 y enviadas al Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del programa de Edafología del Colegio de Postgraduados para la determinación de pH en agua relación 1:2 y pH KCl 1.0 N, acidez intercambiable, bases intercambiables y fósforo Bray II. De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

4.7.2.1. pH H₂O

Se realizó en todos los tratamientos previo a la siembra y posterior a la cosecha del ciclo PV 2019 con base a la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000). Se

pesaron 10 g de suelo, previamente secado al aire bajo sombra y tamizado con malla de 2 mm.

El suelo se depositó en vasos de plástico de 100 ml y se le adicionó 20 ml de agua tipo II. La boca del recipiente se cubrió con una lámina de nylon y se tapó para evitar contaminación al agitarlo mecánicamente con un aparato de acción recíproca por 5 minutos.

Las lecturas se realizaron en un pHmetro provisto de una celda de dos electrodos (sensitivo y de referencia) agitando manualmente la muestra, previo a tomar la lectura y dejando decantar por 30 segundos antes de tomar la lectura correspondiente. Posterior a obtener la estabilización del instrumento por 30 segundos se retiraba la muestra, se limpiaban los electrodos y se proseguía con las demás muestras.

4.7.2.2. pH KCl.

El procedimiento fue similar a la determinación en H₂O pero en vez de ésta se le adicionó al vaso de plástico 20 ml de KCl 0.01 M, que se preparó disolviendo 74.555 g de KCl en agua y aforando a 1 litro.

4.7.2.3. Acidez intercambiable.

Se pesaron 10 g de suelo seco al aire en balanza AND mod. HF-2000-G y se colocaron en matraces Erlenmeyer de 125 ml, posteriormente se les añadió 50 ml de KCl 1N. Estos se sellaron con tapones de hule recubiertos con un film plástico y agitaron mediante acción recíproca durante 30 minutos. El sobrenadante se filtró en papel Whatman #5. El suelo se lavó con cinco porciones de aproximadamente 10 ml de KCl 1N y se aforó a 100 ml con KCl 1N.

De este extracto se tomaron dos alícuotas de 25 ml cada una. Una se usó para evaluar la acidez intercambiable total (H + Al) y otra para medir el hidrógeno intercambiable, usando como indicadores fenolftaleína y anaranjado de metilo respectivamente. En ambos casos el titulante fue NaOH 0.005 N.

$$Acidez \frac{meq}{100g} = \frac{(N NaOH) * (mL NaOH) * 100 * 100}{25 ml (10g)}$$

$$Al\ int = Acidez\ int - H\ int$$

$$H\ int = \frac{(N NaOH) * (mL NaOH) * 100 * 100}{25 ml (10g)}$$

donde:

N NaOH. Normalidad exactamente conocida de NaOH

Vol. NaOH. Volumen de NaOH gastado en la titulación

25 mL. Alícuota del extracto original

10 g. Peso de la muestra de suelo

Para conocer la normalidad exacta del NaOH se realizaron estandarizaciones por triplicado con KHC8H4O4 como el titulante.

4.7.2.4. Bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na).

La extracción de bases del suelo, se realizó en un extractor de vacío automatizado CENTURION con CH₃COONH₄ 1N pH7 como solución desplazante. Se pesó 1 g de pulpa de papel y se compactó en el fondo del cuerpo de una jeringa de plástico de 50 mL misma a la que previamente se le había separado del embolo; posteriormente, se agregaron 5 g de suelo y se montó en un extractor. A cada jeringa se le adicionó 50 ml de CH₃COONH₄ 1N pH7 con el auxilio de una probeta graduada y se procedió a realizar la extracción replicando dos veces hasta obtener 100 mL de extracto. Mismo que fue diluido para medir por espectrofotometría de absorción atómica las concentraciones de las bases intercambiables. Dicho procedimiento se calculó con las siguientes fórmulas:

$$Ca \left(\frac{meq}{100g} \right) = \frac{ppm\ CC * Dm * Dv * 100}{20.04 * 1000 * muestra}$$

$$Mg \left(\frac{meq}{100g} \right) = \frac{ppm\ CC * Dm * Dv * 100}{12.15 * 1000 * muestra}$$

$$K \left(\frac{meq}{100g} \right) = \frac{ppm\ CC * Dm * Dv * 100}{39.1 * 1000 * muestra}$$

$$Na \left(\frac{meq}{100g} \right) = \frac{ppm \text{ CC} * Dm * Dv * 100}{23.0 * 1000 * muestra}$$

donde:

ppm CC= partes por millón en la curva de calibración

Dm= dilución de masa (volumen de extractante / g de muestra)

Dv= dilución de volumen (aforo/alícuota)

20.04, 39.1, 12.15 y 23.0= factores usados para expresar las concentraciones miliequivalentes.

4.7.2.5. Fósforo extraíble Bray II.

Se pesaron 2.5 g de suelo tamizado y se depositó en matraces Erlenmeyer de 50 ml para posteriormente adicionar 25 ml de solución extractante. Se agitó durante 5 minutos en un agitador de acción recíproca para después vaciar el extracto en filtros de papel Whatman #42 tratados con ácido ya que algunos papeles filtro llegan a contener cantidades relativamente altas de P y el utilizarlos sería inadecuado para el análisis mismo.

Una vez que se había filtrado el extracto se tomaron alícuotas de 2 ml y se depositaron en tubos de ensayo de 20 ml para agregarles 5 ml de agua. A esto se le adicionó 2 ml de $(NH_4)_5Mo_7O_{24}$. Posteriormente se agregó 1 ml de la solución diluida de $SnCl_2$ y se mezcló con ayuda de un agitador de Vortex. Para finalizar mediante un espectrofotómetro se tomó la lectura de la intensidad de color desarrollado después de 10 minutos y antes de 20 minutos a 660 nm.

4.8. Análisis estadístico.

Para la verificación de los supuestos necesarios se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante la prueba descrita por Shapiro-Wilk ($\alpha=0.05$) para determinar la normalidad, y la prueba de Levene ($\alpha=0.05$) sirvió para comprobar la homogeneidad de varianzas.

Para las variables de rendimiento, biomasa aérea, pH, bases intercambiables, aluminio, porcentaje de saturación de aluminio, fósforo y longitud radicular, el análisis se desarrolló bajo un diseño factorial en bloques completos al azar, donde los factores fueron:

profundidad (0 a 7 cm y 7 a 14 cm), número de aplicaciones de yeso (2017 y 2017+2019), dosis de potasio: (0, 60, 120 y 180 kg K₂O ha⁻¹) con ajuste de Tukey ($\alpha=0.05$).

Para el caso de pH se transformaron los valores de éste, en antilogaritmo de la concentración molar a iones hidrógeno, y para la saturación de aluminio se transformaron los datos porcentuales en arcoseno de la raíz cuadrada. El ANOVA se realizó con el software INFOSTAT V.20181 y cuando se encontró diferencia significativa, se realizó comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Adicionalmente se ajustaron modelos de regresión.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Variables de respuesta del cultivo de maíz.

5.1.1. Evaluación del rendimiento.

El rendimiento de grano de maíz se vio afectado por el yeso, pero no por el potasio o por la interacción yeso x potasio. Es importante señalar que aunque los niveles de K intercambiable en el suelo aumentaron acorde a incrementos en las cantidades de K_2O , éstos no superaron el nivel crítico $0.23 \text{ meq}/100 \text{ g}$ (FAO, 2013), razón a la que se atribuye la ausencia de su efecto en el rendimiento.

El mayor rendimiento medio en maíz (6.2 t ha^{-1}) se obtuvo con el tratamiento de 2.5 t ha^{-1} de yeso aplicado en 2017, similar al alcanzado con la aplicación de 2.5 t ha^{-1} (6.0 t ha^{-1}) parcializada en dosis de 1.25 t ha^{-1} de yeso, una aplicada en 2017 y otra en 2019. Por lo tanto, una prueba evidente es que aplicando el yeso en cualquiera de las dos modalidades se pueden obtener aproximadamente los mismos rendimientos (Cuadro 8).

En el (Cuadro 8) se presentan los rendimientos de grano de maíz obtenidos en los tratamientos testigos y dosis crecientes de yeso y potasio en la aplicación del 2017 y una nueva en 2019 (2017+2019).

Cuadro 8. Rendimientos de grano de maíz.

Tratamiento	Yeso t ha ⁻¹	K ₂ O kg ha ⁻¹	Rendimiento t ha ⁻¹		Medio	Error estándar	Dosis media Yeso	Media del año
			Mínimo	Máximo				
Efecto residual, aplicación 2017								
1	0	0	3.3	4.4	4.0	0.3		
2	0	60	4.4	5.9	5.0	0.4		
3	0	120	3.6	5.1	4.5	0.4	4.8	4.8
4	0	180	4.6	6.8	5.8	0.6		
5	1.25	0	4.4	7.1	5.7	0.7		
6	1.25	60	5.7	7.5	6.8	0.5		
7	1.25	120	3.7	5.8	4.8	0.5	5.5	
8	1.25	180	3.3	6.2	4.7	0.8		
9	2.5	0	4.4	7.1	5.8	0.7		
10	2.5	60	4.2	5.2	4.7	0.2		
11	2.5	120	7.3	8.4	7.8	0.3	6.2	
12	2.5	180	5.9	7.1	6.4	0.3		
13	5	0	4.4	6.0	5.1	0.4		5.8
14	5	60	4.7	7.8	5.9	0.9		
15	5	120	5.8	7.3	6.4	0.4	5.9	
16	5	180	5.1	6.8	6.1	0.5		
Efecto residual aplicación 2017 + 2019								
17	2.5	0	6.3	6.3	6.3	0.2		
18	2.5	60	6.1	6.5	6.3	0.1		
19	2.5	120	5.3	6.3	5.7	0.3	6.0	
20	2.5	180	3.7	8.3	5.8	1.3		
21	5	0	6.2	7.0	6.6	0.2		
22	5	60	5.3	6.9	6.1	0.4		
23	5	120	6.2	7.6	6.7	0.4	6.3	
24	5	180	5.6	5.8	5.7	0.5		
25	10	0	4.8	6.8	6.1	0.6		6.0
26	10	60	5.4	5.9	5.7	0.1		
27	10	120	5.6	5.6	5.6	1.0	5.9	
28	10	180	4.7	6.8	6.0	0.6		

Tasistro *et al.* (2015) definieron que en suelos de la zona, una aplicación con 1.25 t ha⁻¹ de yeso es la dosis más adecuada al primer año de aplicarla; sin embargo, nuestros datos sugieren que después de dos años es necesario realizar una nueva aplicación con

dosis de 1.25 t ha⁻¹ debido a la pérdida de residualidad de la enmienda, o considerar la aplicación de 2.5 t ha⁻¹ de yeso en el primer año con un efecto residual hasta el tercer año. No obstante, el aplicar 5 o más t ha⁻¹ de esta enmienda presenta una tendencia a reducir el rendimiento de grano de maíz (Figura 12).

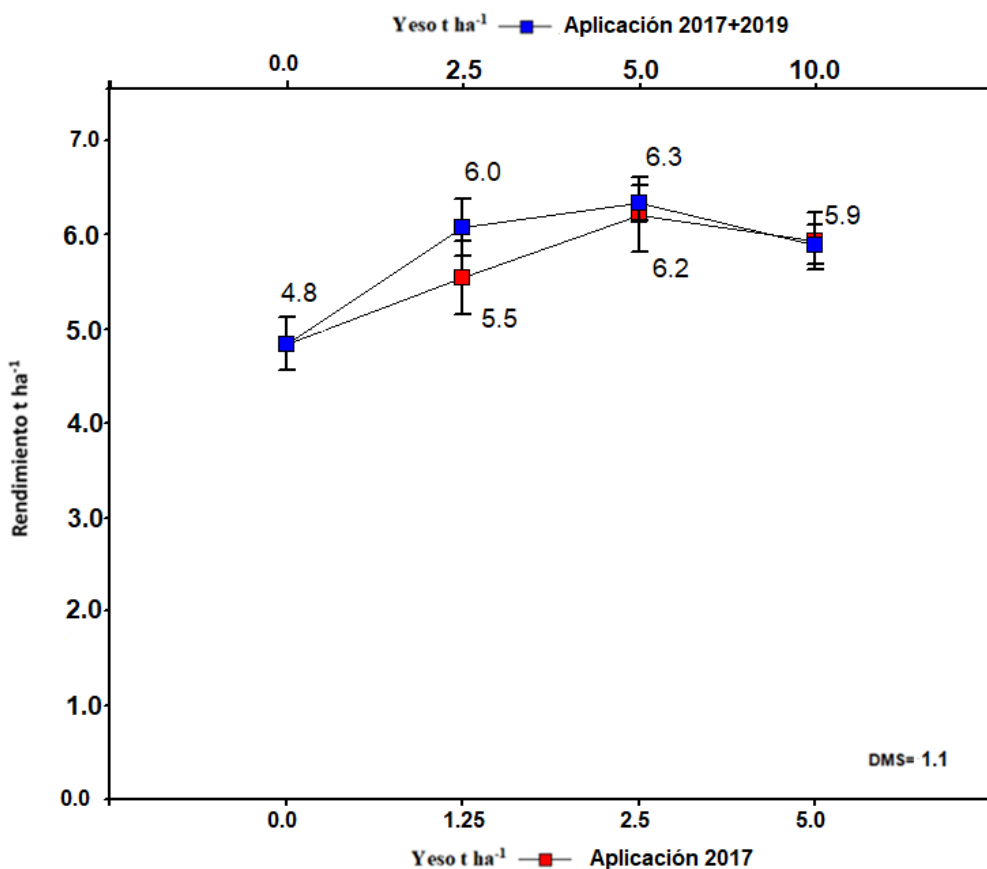


Figura 12. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el rendimiento de grano de maíz ($p < 0.05$).

En el año 2017, previo al encalado del suelo, se registró un contenido de 47 y 63 % de saturación con Al en profundidades de 0 a 13 y de 13 a 27 cm respectivamente. Estos valores porcentuales son considerados superiores al nivel tolerable para maíz; sin embargo, éstos decrecieron por acción de las enmiendas por debajo de 10 % en la medición realizada a inicio del ciclo PV 2019 aunque no repercutió en aumentos de los rendimientos del maíz de ese ciclo agrícola.

Tiecher (2018) señaló que cuando un suelo presenta saturación de Al <10 % y se aumenta el contenido de Ca por la aplicación de dosis crecientes de yeso, se puede lograr un aumento en el rendimiento de grano de maíz; sin embargo, aunque ambas condiciones se cumplieron en este estudio no se observó un incremento significativo en el rendimiento de grano de maíz.

Una segunda aplicación de yeso realizada en el año 2019 causó una disminución en el contenido de K y Mg intercambiable del suelo afectando sus relaciones con otros cationes de forma que pudo reflejarse en la respuesta esperada en el rendimiento de grano.

Por su parte Caires *et al.* (1998) reportó que la aplicación de 6 a 15 t ha⁻¹ de yeso en un latosol rojo distrófico en Ponta Grossa Brasil, provocó un decrecimiento en el rendimiento de maíz como consecuencia de una lixiviación de K y Mg. Además, Sousa *et al.* (2007) quienes trabajaron en un Latosol rojo de Paraná, reportaron que cuando aplicaron de 6 a 15 t ha⁻¹ de yeso se presentaron mayores contenidos de P y S, pero no incrementos en el rendimiento de maíz, lo cual atribuyeron a un menor contenido de K y Mg en el suelo.

5.1.2. Biomasa de la parte aérea.

En el (Cuadro 10) se presenta la biomasa total cosechada de las parcelas testigo y las tratadas con yeso y potasio en el año 2017; así como el efecto conjunto de las aplicaciones del 2017+2019 con misma cantidad de enmienda y K₂O.

En la biomasa total no se observó diferencia significativa entre la aplicación de yeso agrícola realizada en 2017 y la conjunta del 2017 + 2019 (Cuadro 10). Sin embargo tomando en consideración la dosis media de yeso se observó diferencia para el tratamiento de 2.5 t ha⁻¹ de yeso aplicado en 2017, misma que fue mejor en el rendimiento de grano. Al igual que en rendimiento, dosis superiores a 5 t ha⁻¹ de yeso presentan un decrecimiento en la biomasa total del cultivo de maíz (Figura 13).

Cuadro 9. Biomasa total t ha⁻¹ con aplicaciones de yeso en el año 2017 y 2017+2019, y potasio.

Biomasa total t ha ⁻¹									
kg K ₂ O ha ⁻¹	Yeso 2017 t ha ⁻¹				Dosis media K ₂ O 2017	Yeso 2017 + 2019 t ha ⁻¹			Dosis media K ₂ O 2017+2019
	0	1.25	2.5	5.0		1.25+1.25	2.5+2.5	5+5	
0	3.7	3.9	4.0	3.8	3.8	3.8	4.0	4.3	4.0
60	4.0	4.7	4.7	4.2	4.4	5.1	4.7	4.1	4.6
120	3.9	3.9	5.0	4.8	4.4	4.7	4.9	5.0	4.8
180	4.3	3.8	4.4	4.5	4.2	4.3	4.2	4.1	4.3
Dosis media Yeso	3.9	4.0	4.5	4.3		4.4	4.4	4.3	
Media de año	3.9	4.2				4.3			

DMS=0.6 (p<0.05)

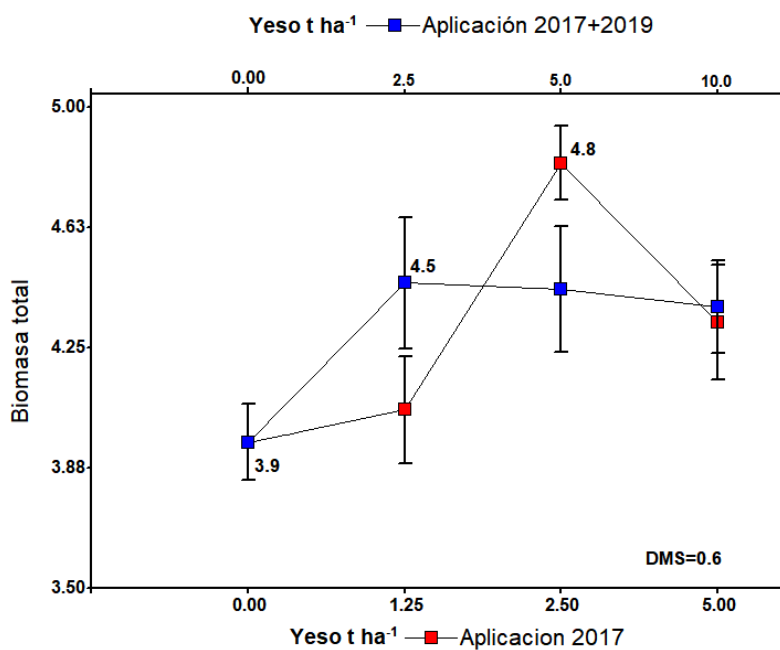


Figura 13. Efecto de la aplicación de yeso hecha en 2017 y 2019 (2017+2019) en la biomasa total de maíz (p<0.05).

5.1.3. Estimación de la longitud radicular.

Con la aplicación de niveles crecientes de yeso en 2017 y 2019 se observó efecto en el crecimiento de las raíces. Así también una segunda aplicación de yeso en 2019 afectó significativamente la longitud radicular (Figura 14) y la mejor respuesta obtenida fue al aplicar 2.5 t ha⁻¹ de yeso en 2017.

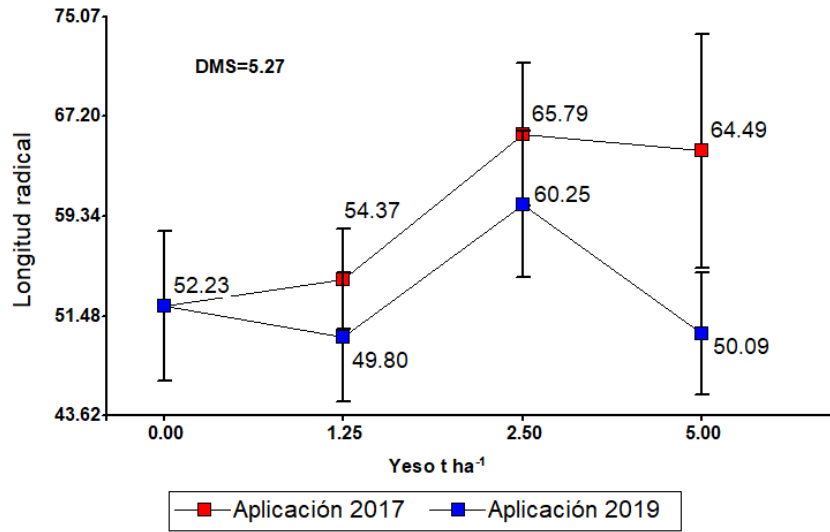


Figura 14. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en la longitud radicular en la profundidad de 0 a 14 cm ($p < 0.05$).

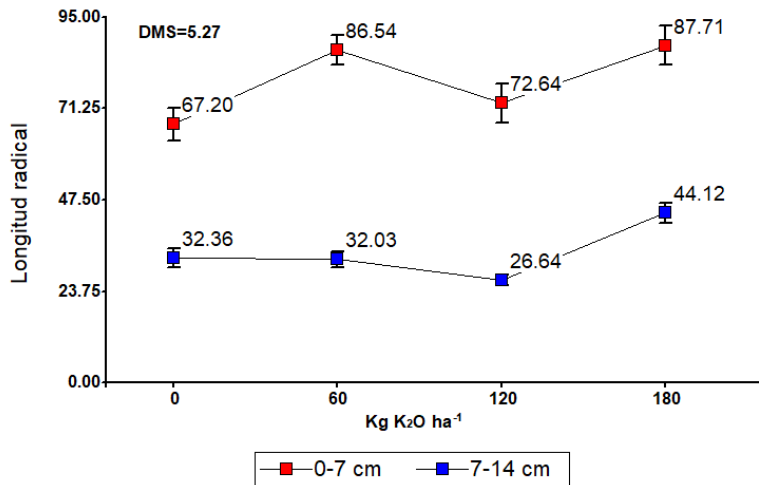


Figura 15. Efecto combinado de dos aplicaciones de yeso 2017 y 2019 (2017+2019) y potasio sobre la longitud radicular en la profundidad de 0 a 7 y de 7 a 14 cm.

En nuestros datos se observó que el porcentaje de saturación de Al descendió por debajo del nivel crítico y se aumentaron las concentraciones de P principalmente en la capa arable (0 a 7 cm), mientras que el efecto fue menor en el subsuelo (7 a 14 cm) debido a que los suelos degradados como los de la región de estudio tienden a generar una capa compacta, además, esto se atribuye a que durante 2 años continuos no se ha roturado el suelo (Figura 15). Lo anterior lo confirmaron López *et al.* (2018), quienes en un ejido con características edáficas similares al sitio de estudio, detectaron la presencia de capa compacta en los 12.4 cm de profundidad.

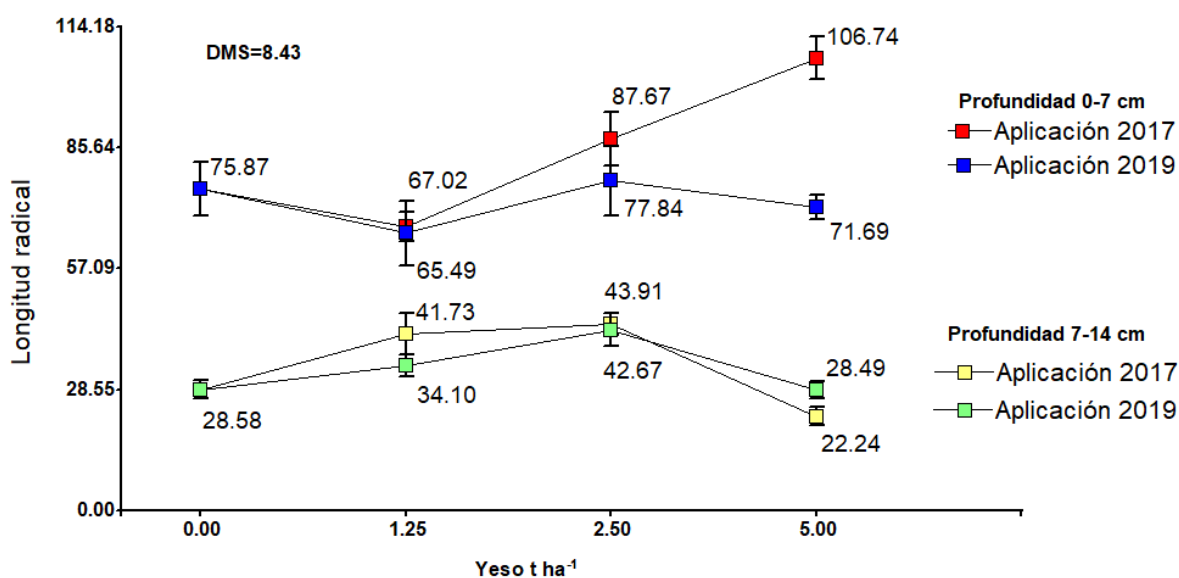


Figura 16. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en la longitud radical en la profundidad de 0 a 7 y de 7 a 14 cm ($p < 0.05$).

Entre las dos profundidades existió una marcada diferencia en la longitud radical de los tratamientos siendo mayor en la profundidad de 0 a 7 cm. Sin embargo, dentro de cada profundidad la aplicación respecto al incremento de yeso no fue significativa (Figura 16). Lo anterior indica que dosis mayores a 2.5 t ha⁻¹ de yeso no presentaron incremento radical; sino por el contrario, reflejaron un decrecimiento a excepción de realizar una sola aplicación evaluada en los 0 a 7 cm.

Hammer *et al.* (2009) señala que a mayor densidad radical se favorece la absorción de agua permitiendo una mayor acumulación de biomasa que a su vez repercute en un

incremento en la producción de grano. Sin embargo, como se mostró anteriormente no se encontraron aumentos significativos en la biomasa total.

Por su parte, (Drew and Goss 1973; Onderdonk and Ketcheson, 1973) dieron a conocer que cuando el suelo tiene una alta densidad aparente y presenta bajo contenido de agua, la acción de la impedancia mecánica bloquea la elongación radical.

Aguilera *et al.* (2015) mencionan que cuando la planta llega a presentar toxicidad a causa del Al, se pueden generar daños en la membrana celular generando un crecimiento desproporcional y también una mayor elongación celular de las raíces. Por su parte, Ma *et al.* (2001), señalan que uno de los efectos del Al en las plantas es la inhibición del crecimiento radical y la alteración en la adquisición de nutrientes, dando como resultado un decrecimiento en la productividad, mayor susceptibilidad ante sequía y alteración en la calidad nutricional de las plantas sobre suelos ácidos.

5.1.4. Altura de planta.

Aunque el yeso no interviene directamente en crecimiento de las plantas, éste mejora el crecimiento radicular que a su vez puede llegar a proveer en mejor cantidad de nutrientes pudiendo reflejarse en un crecimiento más vigoroso del cultivo.

Todos los tratamientos con dosis crecientes de yeso resultaron ser iguales estadísticamente, pero diferentes al testigo 0 yeso (Cuadro 11).

Cuadro 10. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en la altura de planta del maíz ($p < 0.05$).

kg K ₂ O ha ⁻¹	Altura de planta (m)						
	Yeso 2017 t ha ⁻¹				Yeso 2017+2019 t ha ⁻¹		
	0	1.25	2.5	5	1.25+1.25	2.5+2.5	5+5
0	1.9	2.0	2.0	2.1	1.9	2.0	2.1
60	2.1	2.2	2.2	2.1	2.3	2.2	2.1
120	2.0	2.2	2.2	2.1	2.2	2.1	2.2
180	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.0	2.2

DMS para efecto simple= 0.07

DMS para interacción= 0.09

($p < 0.05$)

5.1.5. Monitoreo de datos NDVI: GreenSeeker.

Los datos NDVI obtenidos en la etapa fisiológica de maíz V10 y V12 según la escala de Ritchie & Hanway (1982) se observaron en un rango promedio de 0.79 a 0.81 en ambas fases. Estudios más recientes por Roacho (2020) señala que un valor de 0.83 se debe considerar crítico mientras que, Xinhua y McClure (2013) mencionan como valor crítico 0.80 para ambas fases y Woli *et al.* (2016) señalan un valor de 0.75 como crítico en la fase vegetativa V10.

La poca diferencia de datos obtenidos se atribuye a que el tiempo de lectura entre una fase vegetativa y otra fue muy corta, y que además la cantidad fertilizada de nitrógeno en nuestro sitio de estudio fue la misma dosis para cada tratamiento, por lo que no se esperaban grandes diferencias de esta variable. Sin embargo, es importante notar que nuestros valores obtenidos se encontraron cercanos a los niveles críticos por lo que se debe considerar las cantidades de nitrógeno en la fertilización.

5.1.6. Monitoreo de clorofila en las hojas de maíz: SPAD.

Nuestros datos reflejaron diferencia significativa a partir del incremento de las dosis de yeso, siendo todas diferentes al testigo 0 yeso (Figura 17) el cual se encontró con 36.2

unidades SPAD, cercano al nivel crítico de 35.3 para las hojas de maíz como lo señalan Novoa y Villagrán (2002) quienes indican la necesidad de aplicar N.

Por su parte, (Villagrán, 2002; Sainz y Echeverría, 1998) determinaron que un valor superior a 50 unidades SPAD resulta adecuado para un buen rendimiento de grano de maíz. Sin embargo, el valor más alto obtenido fue de 43 unidades cuando se adicionó al suelo 10 t ha⁻¹ de yeso (Figura 17) indicándonos una deficiencia del N. Mismos autores señalan que un contenido de 35.3 unidades SPAD es equivalente a tener 1.83 % de N en la planta de maíz y que lecturas menores a 56 unidades representan un 2.3 % de N, considerado como crítico. Datos por Roacho (2020) señalan que para la fase R1 del cultivo de maíz, un valor de 47 unidades se considera como nivel crítico mientras que Shapiro *et al.* (2016) considera 57 unidades.

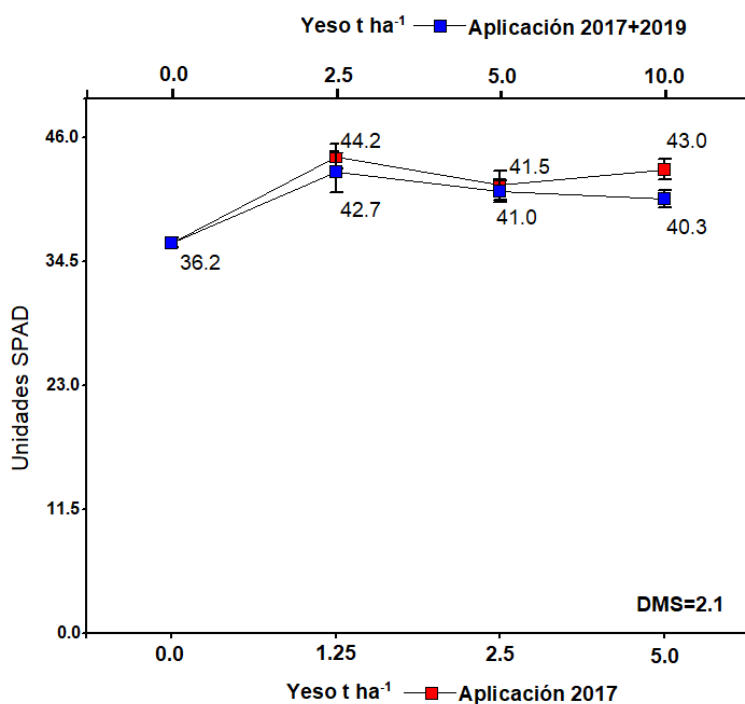


Figura 17. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en las unidades SPAD ($p < 0.05$).

5.1.7. Análisis foliar.

Debido a situaciones ajenas a nuestro control, el tiempo en laboratorio fue limitado por lo que no fue posible brindar el seguimiento analítico de las mismas. No obstante las muestras molidas se conservan para posible análisis en un futuro.

5.2. Variables de respuesta de laboratorio.

En general, la aplicación de yeso (2017 y 2019) afectó el pH, bases intercambiables y saturación de aluminio, excepto por el sodio en donde no se observó respuesta en las profundidades de 0 a 7 y de 7 a 14 cm con la aplicación 2017 y 2017 + 2019, aunque el pH y Ca incrementaron en ambas profundidades, el Mg, K, Al y su saturación se vieron disminuidos en los incrementos de profundidad.

En el Cuadro 12 se presentan los resultados químicos de pH, bases intercambiables, aluminio intercambiable, porcentaje de saturación de aluminio y fósforo correspondientes a la profundidad de 0 a 7 cm del suelo tratado con yeso en 2017 (tratamientos 1 al 16) y 2017+2019 (tratamientos 17 al 28).

En el (Cuadro 13) se presentan los resultados de análisis químicos para pH, bases intercambiables, Al intercambiable, porcentaje de saturación de Al y fósforo correspondientes a la profundidad de 7 a 14 cm del suelo tratado con yeso en 2017 (tratamientos 1 al 16) y 2017+2019 (tratamientos 17 al 28).

Cuadro 11. Valores obtenidos de pH, bases intercambiables, aluminio intercambiable, saturación de aluminio y fósforo de la profundidad de 0 a 7 cm.

Trat.	Yeso t ha ⁻¹	K ₂ O kg ha ⁻¹	pH	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	% Sat Al.	P ppm
			H ₂ O 1:2	KCl 1N							
1	0	0	5.0	4.2	1.0	0.5	t	0.3	0.1	2.9	51
2	0	60	5.5	4.6	1.3	0.6	t	0.3	0.1	3.2	56
3	0	120	5.3	4.7	1.6	0.7	t	0.3	0.0	0.4	57
4	0	180	5.0	4.2	1.1	0.4	t	0.3	0.3	10.9	32
5	1.25	0	4.8	4.0	1.3	0.5	0.1	0.2	0.1	6.7	33
6	1.25	60	5.5	4.6	1.8	0.7	0.1	0.2	0.0	0.8	41
7	1.25	120	5.3	4.6	1.8	0.6	0.1	0.3	0.0	0.6	47
8	1.25	180	5.7	4.8	1.6	0.5	t	0.2	0.0	1.1	35
9	2.5	0	5.1	4.3	1.8	0.5	0.1	0.2	0.0	1.2	47
10	2.5	60	5.5	4.8	2.0	0.5	t	0.2	0.1	2.9	35
11	2.5	120	5.7	4.9	1.8	0.5	t	0.2	0.0	2.2	40
12	2.5	180	5.2	4.4	1.5	0.5	t	0.3	0.2	9.1	48
13	5	0	5.2	4.5	1.7	0.4	t	0.1	0.1	6.4	46
14	5	60	6.1	5.3	1.8	0.3	t	0.2	0.0	1.2	34
15	5	120	5.7	5.1	2.3	0.5	t	0.2	0.0	1.0	29
16	5	180	6.0	5.3	3.1	0.5	t	0.3	0.0	0.3	33
17	2.5	0	5.5	4.6	1.8	0.4	0.03	0.2	0.1	5.2	72
18	2.5	60	5.8	4.8	2.2	0.4	0.01	0.2	0.1	2.8	83
19	2.5	120	5.7	4.7	1.9	0.3	0.02	0.2	0.1	3.2	71
20	2.5	180	5.6	4.8	2.3	0.4	0.02	0.2	0.0	0.0	77
21	5	0	5.8	4.8	2.7	0.3	0.03	0.2	0.0	1.2	80
22	5	60	6.0	5.0	2.7	0.2	0.02	0.2	0.1	2.3	83
23	5	120	6.1	5.2	3.0	0.3	0.04	0.2	0.0	0.0	85
24	5	180	6.0	5.1	2.4	0.3	0.02	0.2	0.0	0.0	91
25	10	0	6.2	5.7	4.8	0.2	0.02	0.1	0.0	0.3	75
26	10	60	6.1	5.3	3.2	0.3	0.02	0.2	0.0	0.0	73
27	10	120	6.5	5.9	4.7	0.3	0.02	0.2	0.0	0.7	90
28	10	180	6.1	5.5	3.4	0.2	0.03	0.2	0.0	0.0	92

Trat.= tratamiento; Sat= saturación; Al= aluminio; P= fósforo

Ca, Mg, Na y K son elementos bases intercambiables; t= trazas

Los tratamientos 1 al 16 corresponden a la aplicación de yeso 2017, evaluada en 2019.

Tratamientos del 17 al 28 corresponden a la aplicación de yeso 2017+2019.

Fecha de muestreo de suelo: 8 de septiembre de 2019.

Cuadro 12. Valores obtenidos de pH, bases intercambiables, aluminio intercambiable, saturación de aluminio y fósforo de la profundidad de 7 a 14 cm.

Trat.	Yeso t ha ⁻¹	K ₂ O kg ha ⁻¹	pH	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	% Sat Al	P ppm
			H ₂ O 1:2	KCl 1N							
1	0	0	4.6	3.8	0.4	0.2	0.03	0.1	0.6	37.0	46
2	0	60	4.7	3.8	0.4	0.2	0.03	0.2	0.8	28.2	50
3	0	120	5.3	4.2	0.6	0.3	0.02	0.1	1.3	33.4	25
4	0	180	5.5	4.7	1.1	0.4	0.03	0.2	1.5	42.6	26
5	1.25	0	4.8	4.1	0.4	0.1	0.04	0.1	2.0	49.6	21
6	1.25	60	5.1	4.1	1.0	0.4	0.05	0.2	2.2	13.3	25
7	1.25	120	5.7	4.8	0.7	0.2	0.05	0.1	2.7	25.8	34
8	1.25	180	4.9	4.1	0.6	0.2	0.04	0.2	3.2	41.6	31
9	2.5	0	4.7	3.9	1.1	0.3	0.05	0.1	3.5	26.8	46
10	2.5	60	4.6	3.8	0.7	0.1	0.05	0.1	3.6	30.9	37
11	2.5	120	4.9	3.9	0.8	0.3	0.01	0.1	3.8	12.5	36
12	2.5	180	4.6	3.7	0.4	0.1	0.03	0.2	4.5	48.4	44
13	5	0	4.5	3.7	1.0	0.3	0.02	0.2	4.8	33.7	33
14	5	60	5.4	4.2	0.9	0.2	0.01	0.1	4.7	16.2	37
15	5	120	4.4	3.8	0.6	0.1	0.04	0.2	5.2	37.4	42
16	5	180	4.6	3.7	0.5	0.1	0.04	0.1	5.6	30.6	52
17	2.5	0	5.4	4.3	1.5	0.4	t	0.2	1.1	9.5	85
18	2.5	60	5.6	4.5	1.9	0.4	t	0.2	1.4	4.1	76
19	2.5	120	5.2	4.2	1.5	0.3	t	0.2	5.9	10.6	76
20	2.5	180	5.4	4.3	1.4	0.3	t	0.2	6.1	8.4	71
21	5	0	5.8	5.0	2.2	0.3	t	0.1	6.3	0.0	74
22	5	60	5.6	4.8	2.3	0.2	t	0.1	6.7	0.9	79
23	5	120	5.6	4.7	2.1	0.3	t	0.2	7.0	1.1	75
24	5	180	5.5	4.3	1.5	0.2	t	0.2	7.5	10.9	77
25	10	0	5.6	4.7	2.4	0.2	t	0.1	7.8	4.9	81
26	10	60	5.7	4.8	2.2	0.3	0.1	0.2	8.1	3.6	91
27	10	120	5.8	5.0	2.6	0.3	0.1	0.2	8.4	4.3	86
28	10	180	5.6	4.7	2.2	0.1	t	0.2	8.7	2.7	93

Trat.= tratamiento; Sat= saturación; Al= aluminio; P= fósforo

Ca, Mg, Na y K son elementos bases intercambiables; t= trazas

Los tratamientos 1 al 16 corresponden a la aplicación de yeso 2017, evaluada en 2019.

Tratamientos del 17 al 28 corresponden a la aplicación de yeso 2017+2019.

5.2.1. pH.

De acuerdo con los datos obtenidos, Soriano (2022) señala que cuando la diferencia de pH (KCl vs H₂O) es igual o mayor que 1.0 unidades se presupone que el complejo de cambio del suelo está ocupado por H⁺ o Al³⁺, lo que indicaría un riesgo con tendencia a la acidificación causando también un descenso en el pH.

Misma fuente señala que cuando la diferencia llega a ser entre 0.6 y 0.8 unidades o menos, el suelo se clasifica como saturado y con ello se descartaría el riesgo de acidificación.

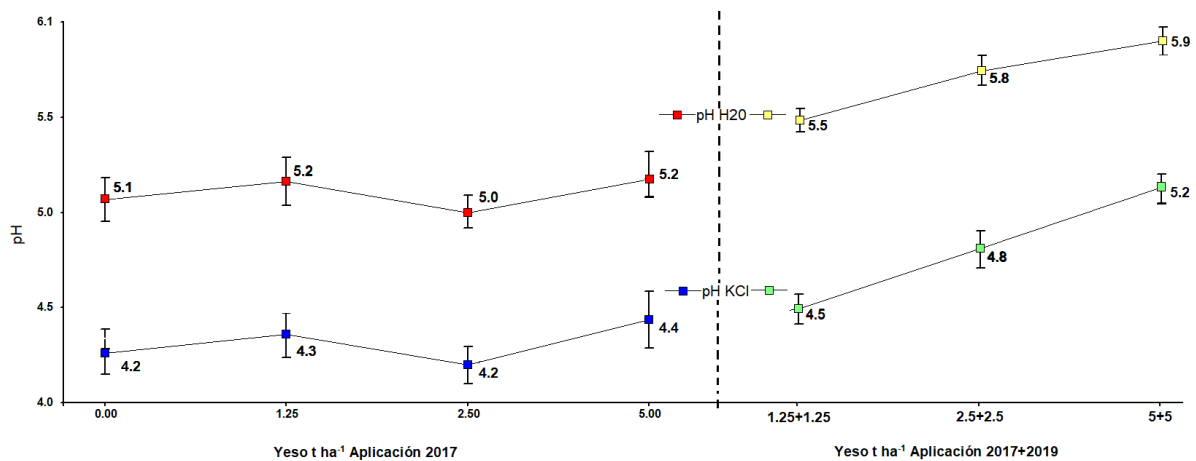


Figura 18. Efecto comparativo de pH (H₂O vs KCl) en dosis crecientes de yeso en la aplicación del 2017 y 2019 (2017+2019) en profundidad de 0 a 14 cm.

En la aplicación realizada en 2017 no existe riesgo de acidificación (Figura 18) debido a que se observan diferencias inferiores a 1.0 unidades, mismas que Soriano (2022) considera como alarmantes. Sin embargo cuando se realizó una segunda aplicación de yeso en el 2019 los tratamientos con dosis de 1.25+1.25, 2.5+2.5 y 5+5 t ha⁻¹, los cuales son considerados riesgosos con tendencia a la acidificación generando con el tiempo un descenso en el pH del suelo.

5.2.1.1. pH H₂O.

A diferencia del efecto residual de lo aplicado en 2017 en donde se observa un comportamiento poco variable entre las dosis crecientes de yeso junto con el tratamiento testigo (0 yeso), nuestros resultados muestran que una nueva aplicación de esta enmienda realizada en el 2019 dio como resultado un incremento estadístico significativo (Figura 19).

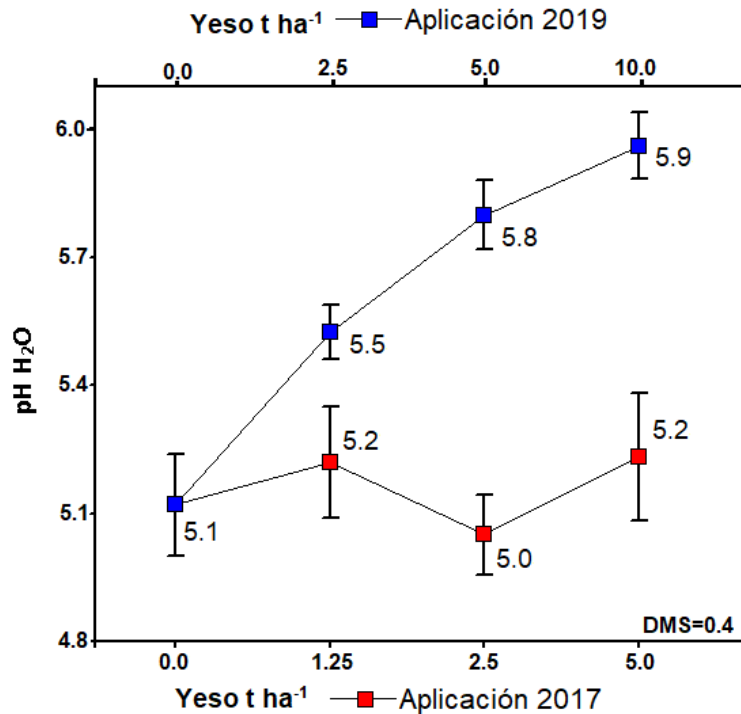


Figura 19. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el pH del suelo a 0 a 14 cm de profundidad ($p < 0.05$).

Zoca and Penn (2017) mencionan que los aumentos de pH con la enmienda yeso son causados por la presencia de carbonatos como impurezas que normalmente provienen de depósitos naturales de donde se extrae existiendo la probabilidad de que pueda ocasionar cambios en el pH del suelo. Un análisis del yeso utilizado en este estudio, realizado *a posteriori*, determinó como impureza el contenido de carbonatos con un PRNT de 32 %, lo que explicaría su influencia en el pH del suelo de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm.

5.2.1.2. pH KCl.

El efecto combinado de las dos aplicaciones de yeso en 2017 y 2019 incrementaron el pH medido en KCl 1N en la profundidad de 0 a 7 cm del suelo (Figura 20) y a medida que las dosis se incrementaban, también lo hacía el pH. Este efecto coincide con los observados por Tasistro *et al.* (2022) cuando evaluaron el pH medido en CaCl_2 0.01M en el año 2017 al reportar incrementos significativos acorde al aumento de las cantidades de yeso a una profundidad de 0 a 7.5 cm.

En la profundidad de 0 a 7 cm la reducción de la concentración de los iones H^+ en la solución de suelo fue aproximadamente 10 veces (pH 4.4 a 5.3) cuando la dosis de yeso se incrementó hasta 10 t ha^{-1} ; sin embargo, no fue así en la capa de 7 a 14 cm, ya que los resultados muestran que a pesar de la alta solubilidad del yeso considerada como alta, tuvo escasa movilización en dicha profundidad.

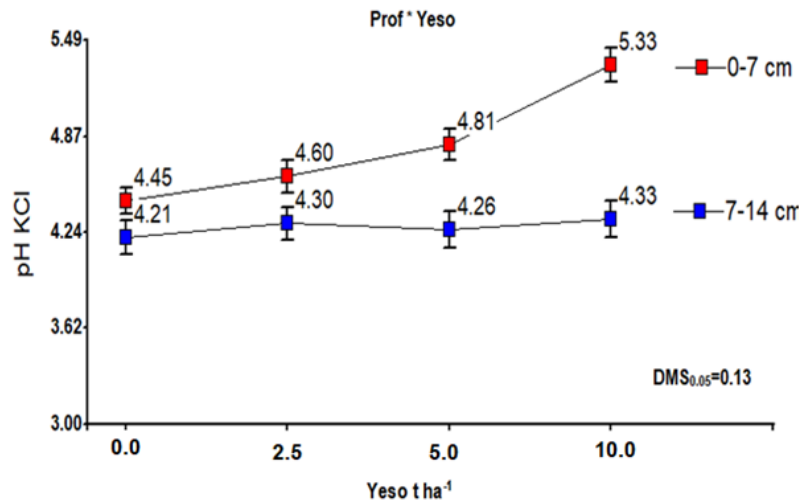


Figura 20. Efecto de la dosis total de yeso aplicada (2017+2019) en el pH del suelo en la profundidad de 0 a 7 y de 7 a 14 cm de profundidad ($p < 0.05$).

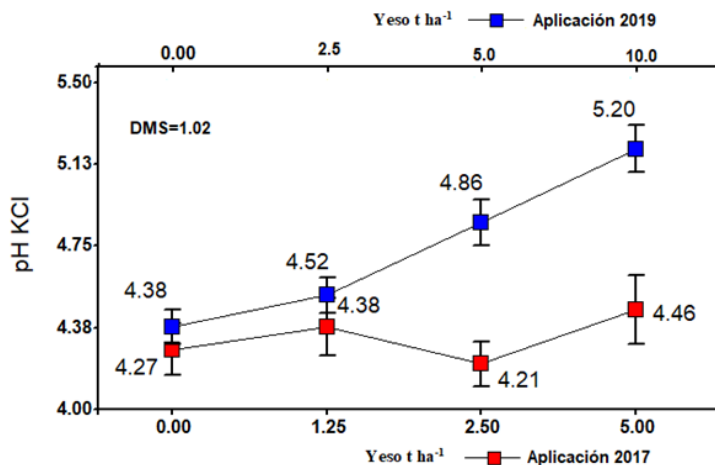


Figura 21. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el pH del suelo de 0 a 14 cm de profundidad ($p < 0.05$).

En la (Figura 21) se muestra que el pH del suelo en profundidad combinada de 0 a 7 y de 7 a 14 cm en las parcelas tratadas con yeso aumentaba conforme se adicionaba más yeso siguiendo un modelo cercano al lineal, siendo más notorio con la aplicación realizada en 2019.

Estos datos sugieren que una parte de la enmienda aplicada en 2017 se había movido a capas más profundas o lixiviadas después de 2 años debido al efecto erosivo del suelo al presentar textura arenosa y escasa cobertura de residuos de cosecha causado por el intenso pastoreo a que es sometido al final de cada año.

Por su parte Baquero *et al.* (2018) encontraron que después de 5 años de haber aplicado hasta 2.5 t ha⁻¹ de yeso, el pH en CaCl₂ aumentó en rango de 4 a 5.5 unidades, éste efecto fue atribuido a la neutralización del aluminio y a una mayor disponibilidad de calcio.

Siendo el yeso una sal neutra, no tiene efecto sobre el pH (Bacca *et al.*, 2011). Sin embargo, Tasistro *et al.* (2022) quienes trabajaron en el mismo suelo del experimento en el año 2017 reportaron variaciones en el pH en el orden de 0.2 a 0.3 al aumentar las cantidades de yeso y aunque esta enmienda no neutraliza ni forma ácidos mencionan que se puede atribuir los incrementos del pH a la presencia de carbonatos como impurezas.

Al igual que los autores anteriores, Michalovicz *et al.* (2014) reportaron incrementos en el pH a los 6 meses de aplicar dosis de hasta 6 t ha⁻¹ de yeso en un suelo Oxisol en Paraná Brasil. Por su parte, Caires, (1999) reportó incremento de pH en la profundidad 20 a 40 cm a los 14 meses de aplicar dosis crecientes de yeso en un mismo tipo de suelo.

Así mismo, en nuestro sitio de estudio, existe la posibilidad que los incrementos de pH se debieron a la presencia de carbonatos de calcio como impureza a medida que se aumentaron las cantidades aplicadas de yeso. Lo anterior se comprobó al analizar *a posteriori* la enmienda y determinar que contenía carbonatos como impureza con 32 % de PRNT.

Caires *et al.* (2011) reportaron que cuando los suelos presentan valores bajos de Al intercambiable (≤ 4 mmolc dm⁻³) también aumentaron su pH con las dosis de la enmienda yeso. Esto concuerda con nuestros datos obtenidos en el ciclo PV 2019 en un suelo de la Frailesca, Chiapas cuando el Al descendió por debajo del nivel crítico considerado para maíz (20 %) en la profundidad de 0 a 7 y de 7 a 14 cm.

5.2.2. Acidez intercambiable.

5.2.2.1. Aluminio intercambiable y saturación de aluminio.

La fertilización con K por si sola tuvo efecto significativo sobre el porcentaje de saturación con Al y con la aplicación generalizada de cal en 2017 y de yeso en 2017 y 2019, ésta bajó a 8.1 % y en el tratamiento con 60 kg K₂O decreció a 4.3 % respectivamente con similar comportamiento con cantidades superiores (Figura 22).

Lo anterior indica que al corregir el exceso de Al aplicando cal y yeso, se libera parte del K que estaba temporalmente no disponible, y que al adicionar K₂O puede participar activamente neutralizando las cargas de la capacidad de intercambio en los sitios antes ocupados por el Al y liberados a la solución de suelo por la aplicación de la enmienda.

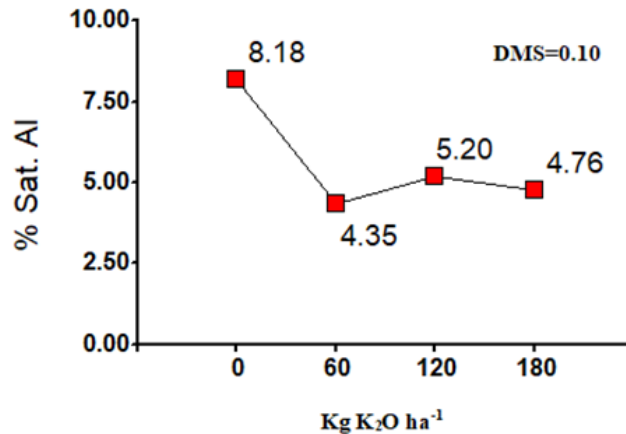


Figura 22. Efecto de la aplicación de K₂O en el % de saturación de aluminio en la profundidad de 0 a 14 cm (p<0.05).

En general, el contenido de Al intercambiable y el porcentaje de saturación con Al se vieron afectados por las aplicaciones de yeso (2017+2019) y a las profundidades estudiadas (0 a 7 cm y 7 a 14 cm) (Figura 23 y 24). En la profundidad de 0 a 7 cm la cantidad de Al intercambiable y el porcentaje de saturación de éste, no presentaron diferencias significativas entre las dos aplicaciones. Sin embargo, en ambas profundidades evaluadas se observaron lecturas por abajo del nivel crítico 0.2 meq/100 g (Casierra & Aguilar, 2007) y una saturación con Al menor de 20 % Tasistro (2012), indicando que aún persiste el efecto residual de la cal dolomítica y yeso aplicados en 2017.

En la profundidad de 7 a 14 cm se observó cambios significativos en el Al intercambiable (Figura 24) y en el porcentaje de saturación. Dos años después de haber aplicado las enmiendas, el Al intercambiable se ubicó por arriba del nivel crítico, lo cual sugiere que el yeso pudo haber sido removido a capas más profundas.

A esa misma profundidad, una segunda aplicación de yeso disminuyó el Al intercambiable en 0.35 meq situándose en 0.14 meq y el porcentaje de saturación con Al disminuyó en promedio de 28 % a 7 %.

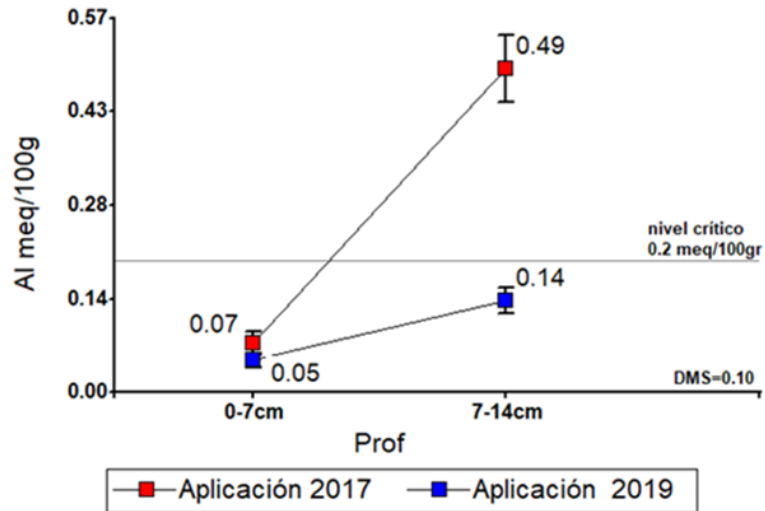


Figura 23. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el contenido de aluminio intercambiable en el suelo en dos profundidades de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm ($p < 0.05$).

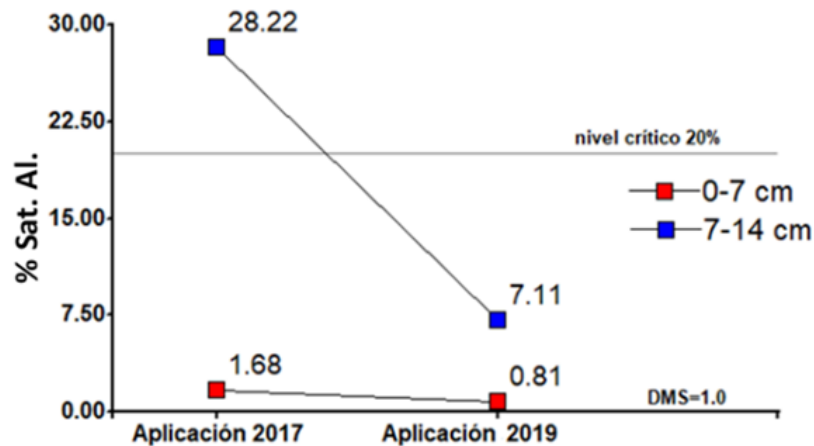


Figura 24. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el porcentaje de saturación con aluminio en el suelo a la profundidad de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm ($p < 0.05$).

Es notorio que la aplicación de cal dolomítica realizada en 2017 cumplió su función al disminuir las concentraciones de Al intercambiable por debajo del nivel crítico reportado para maíz, y que dicho valor decreció aún más con una nueva aplicación de yeso. Por su parte, Michalovicz *et al.* (2014) encontraron que la aplicación de dosis crecientes de yeso de 0 a 6 t ha⁻¹ en una profundidad de 0 a 10 cm en un suelo Oxisol en Paraná, Brasil

disminuyeron la concentración de Al de 0.3 a 0.1 cmol kg⁻¹. Este comportamiento fue similar en nuestro sitio de estudio.

González *et al.* (2005) observaron en un Typic Paleixerul tratado con 10.8 t ha⁻¹ de yeso un decrecimiento del Al de 0.86 a 0.47 cmol kg⁻¹ en la profundidad de 0 a 12 cm después de 2.4 años de haber aplicado dicha enmienda. En cambio, Caires *et al.* (1999) reportaron que los contenidos de Al se redujeron a 0.1 cmol kg⁻¹ en la profundidad de 0 a 10 cm después de 1.2 años de aplicarse superficialmente yeso en un Latosol rojo oscuro distrófico.

En nuestro sitio de estudio, la aplicación generalizada de cal dolomítica (0 yeso) mantuvo el porcentaje de saturación con Al por debajo del nivel crítico situándose en 13.0 %, aún después de 2.5 años. Y con la aplicación de 1.25 t ha⁻¹ de yeso en 2017 el valor porcentual decreció hasta 10.5 % mientras que al aplicar 2.5 t ha⁻¹ de yeso parcializadas en dos de 1.25 t ha⁻¹ una en 2017 y otra en 2019 el valor disminuyó aún más hasta 3.21 % sin encontrar diferencias estadísticas significativas en dosis superiores para ambas aplicaciones (Figura 25).

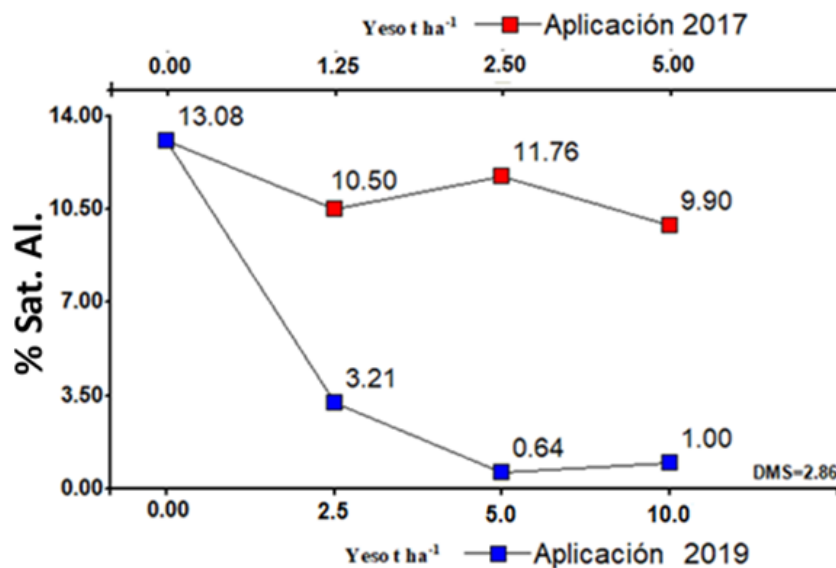


Figura 25. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el porcentaje de saturación con aluminio ($p < 0.05$).

Casierra & Aguilar (2007) sugieren que el efecto del Al en el desarrollo de las plantas depende en gran medida de la tolerancia de las especies, de las propiedades físicas y químicas del suelo. Según Ryan *et al.* (2011) no se conocen con precisión los mecanismos de absorción del Al; sin embargo Klug & Horst (2010) menciona que el Al interactúa con los sitios del apoplasto y simplasto aunque la translocación no se ha elucidado.

Feixa (2001) postuló que una de las vías de acceso del Al se puede atribuir a la permeabilidad de la membrana celular de algún agente quelante, transportador de fosfolípidos o estructuras micelares lipídica. Por su parte Ma *et al.* (2001) postula que en suelos con pH <4.5 los aniones orgánicos serían los responsables del transporte del Al al citoplasma.

5.2.3. Bases intercambiables.

En las profundidades de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm la relación Ca/Mg fue de 11.6 y 9.1 respectivamente indicando que existió una deficiencia de Mg al superar un valor de 4, considerada como nivel ideal por (Moro 2015).

Misma fuente señala que en la relación Ca/K un valor de 18 se considera alerta ante una posible deficiencia de K. Sin embargo nuestros datos estuvieron por debajo de dicho nivel con 16.4 y 13.6 respectivamente.

5.2.3.1. Calcio intercambiable.

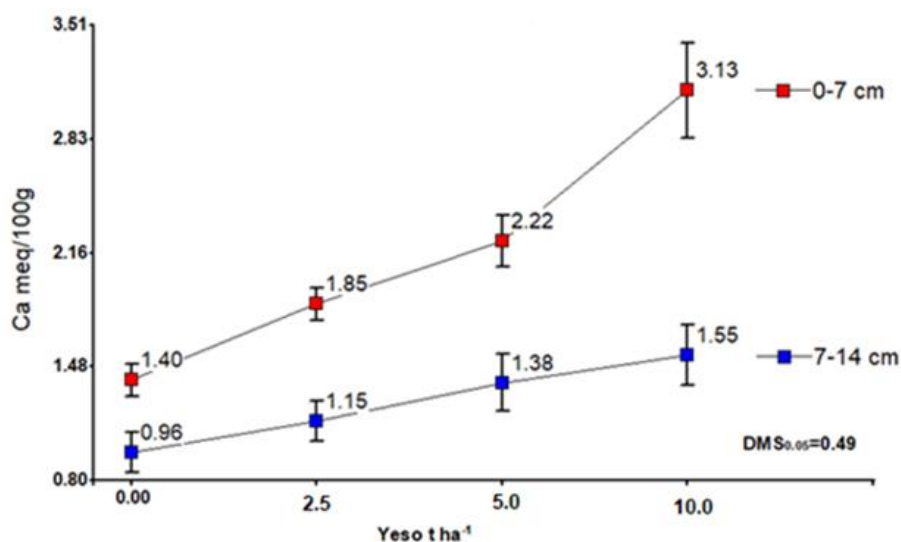
Las concentraciones de Ca intercambiable en las profundidades de 0 a 7 y de 7 a 14 cm (Figura 17) fueron afectadas al incrementar la dosis total de yeso aplicadas en 2017+2019 (Cuadro 14) siendo mayor en la primera profundidad. Según Caires (2004) podría explicarse por presentar mayor radio iónico que el Mg y K y que la movilidad de éste es menor en el perfil del suelo.

Cuadro 13. Efecto del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) y el potasio en el calcio intercambiable.

Kg K ₂ O ha ⁻¹	Calcio intercambiable meq/100 g						
	Yeso 2017 t ha ⁻¹				Yeso 2017+2019 t ha ⁻¹		
	0	1.25	2.5	5	1.25+1.25	2.5+2.5	5+5
0	0.7	0.9	1.5	1.4	1.7	2.5	3.6
60	0.9	1.4	1.4	1.4	2.1	2.5	2.7
120	1.1	1.3	1.3	1.5	1.7	2.6	3.2
180	1.1	1.1	1.0	1.8	1.9	2.0	2.8

DMS=0.5 (p<0.05)

El Ca intercambiable disminuyó en la medida que aumentaban las dosis de aplicación de KCl (Cuadro 14).



0

Figura 26. Efecto de la dosis total de yeso (2017+2019) en el Ca intercambiable del suelo en la profundidad de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm (p<0.05).

Baquero *et al.* (2018) obtuvieron incrementos de 1.0 a 2.8 cmol kg⁻¹ de Ca en la profundidad de 0 a 5 cm después de 5 años de haber aplicado dosis crecientes hasta 2.5 t ha⁻¹ de yeso. En contraste, Crusciol *et al.* (2016) reportaron que 3 meses después

de aplicar la misma enmienda, el contenido de Ca en la capa arable (0 a 10 cm) del suelo había aumentado y que había descendido de 10 a 20 cm después de 1 año.

En nuestro sitio de estudio se espera que el Ca también descienda a horizontes más profundos a medida que transcurra el tiempo, dependiendo de las características mineralógicas del suelo, su textura, la disponibilidad de agua, entre otros factores.

Aunque el contenido de Ca intercambiable aumentó linealmente a medida que se incrementaron las dosis de yeso en aplicaciones realizadas en 2017 y 2017 + 2019, siendo más evidente con la aplicación en el 2019 (Figura 27 y 28).

Tasistro *et al.* (2022), quienes trabajaron en la misma localidad de nuestro sitio de estudio en el ciclo PV 2017, reportaron que el Ca intercambiable aumentó entre 1.5 y 2.5 cmol kg⁻¹, en la profundidad de 0 a 7.5 cm a medida que se incrementaron las dosis de yeso aplicadas.

Estos datos apoyan a los resultados obtenidos donde parte del Ca contenido en la enmienda aplicada en 2017, para el 2019 se había movido a capas más profundas. Mismos autores también indicaron que la intensidad del movimiento dependía de las características físicas del suelo, pendiente y de la intensidad de la precipitación pluvial.

Si nuestro objetivo es aumentar la concentración de Ca en la solución del suelo, el yeso resulta ser la enmienda más eficiente pudiendo inducir mayores rendimientos del cultivo de maíz (Shainber *et al.*, 1989). Sin embargo, aunque en nuestro ciclo de estudio PV 2019 se incrementaron los contenidos de Ca intercambiable, no se observaron incrementos significativos en la producción de maíz, lo cual se puede considerar que se debió a otros problemas nutrimentales en el suelo.

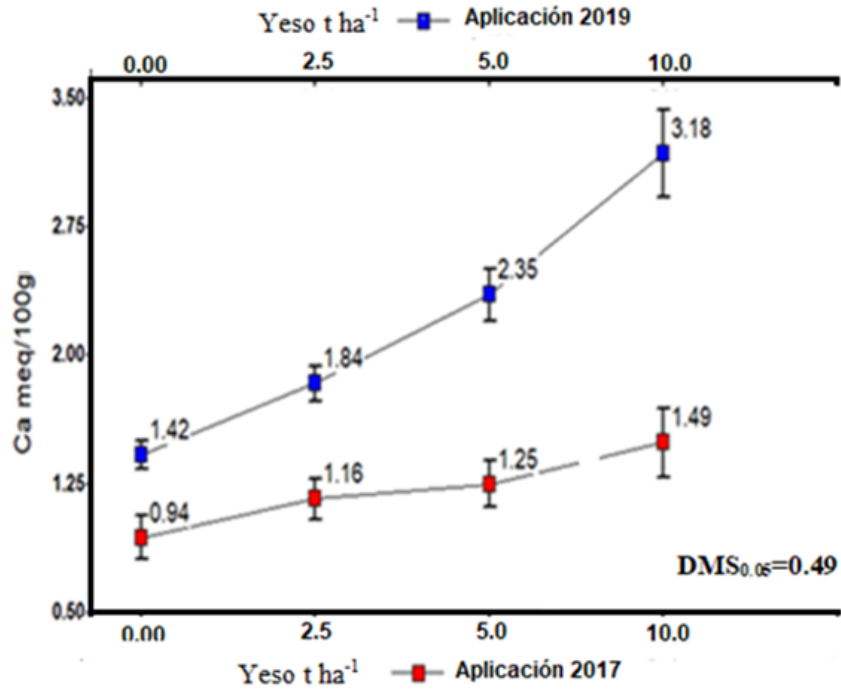


Figura 27. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+ 2019) en el Ca intercambiable del suelo ($p < 0.05$).

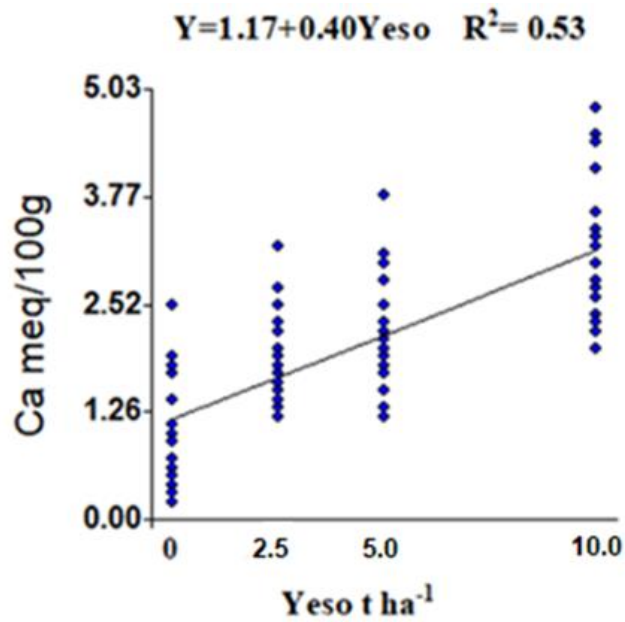


Figura 28. Efecto de la aplicación total de yeso en el 2019 (2017+2019) en el calcio intercambiable del suelo en la profundidad de 0 a 14 cm ($p < 0.05$).

5.2.3.2. Magnesio intercambiable.

En el 2017 el Magnesio intercambiable en la profundidad de 0 a 7 cm se encontró por arriba del nivel 0.2 a 0.3 cmol kg^{-1} señalado como crítico por Kopittke and Menzies (2007), mientras que en la de 7 a 14 cm su contenido fue menor (Figura 30). Esto se pudo deber a que la incorporación de la cal fue a escasos 10 cm de profundidad y que además posee una lenta solubilización comparada con el yeso.

En la Figura 30 se observa que con la aplicación de yeso en 2017+2019 hubo una disminución en el Mg intercambiable a los 0 a 7 cm del suelo, no siendo así de los 7 a 14 cm. Esto indica que como en otros casos ya expuestos, el yeso a pesar de su alta solubilidad de 2.5 g L^{-1} (Zapata, 2014) no alcanza las capas más profundas del suelo.

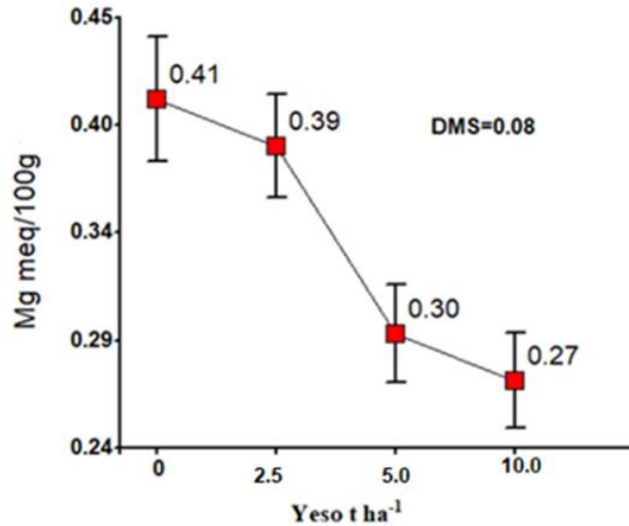


Figura 29. Efecto de la aplicación de dosis total de yeso en el año 2019 (2017+2019) en el Mg intercambiable del suelo ($p < 0.05$).

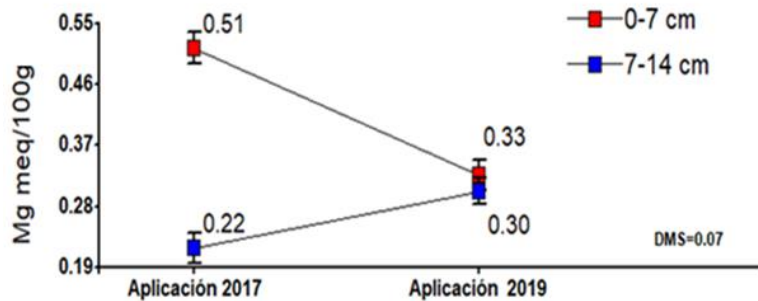


Figura 30. Efecto combinado del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) en el Mg intercambiable del suelo en la profundidad de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm ($p < 0.05$).

Gransse y Fuhrs (2013) señalan que el Mg es propenso a lixiviarse en suelos arenosos como en el sitio del presente estudio y señalan que la mejor forma de retención del Mg en el suelo es mediante la materia orgánica. Por su parte Caires (2004) menciona que esta lixiviación del Mg depende del radio iónico del Ca, por lo que al ser menor que el Mg (Estrada, 2001; Baquero *et al.*, 2018) éste puede ser reemplazado, desplazado y lixiviado ocupando lugares de intercambio.

Una práctica común entre los productores de la Frailesca, Chiapas es la remoción de los residuos de cosecha por el pastoreo a que es sometido al finalizar las cosechas afectando el ingreso de materia orgánica al suelo, tal como sucedió en nuestro sitio de estudio.

Nuestros resultados indican que una forma de compensar la disminución del Mg en el suelo es con la adición de fertilizante magnésico, ya que éste es un elemento importante en el proceso de la fotosíntesis, y que una de las formas de retenerlo en el suelo es mediante la incorporación de hojarasca o residuos de cosecha (Cakmak y Kirkby, 2008).

5.2.3.3. Potasio intercambiable.

Las cantidades conjuntas de yeso aplicadas en 2017 y 2019 disminuyeron el K intercambiable por debajo del nivel crítico de 0.23 cmol/100 g de suelo (FAO, 2013) en la profundidad de 0 a 7 y de 7 a 14 cm a medida que se incrementaban las dosis en los dos periodos mencionados (Figura 31).

Resultados similares fueron encontrados por González *et al.* (2005) quienes aplicaron superficialmente 10.8 t ha⁻¹ de yeso y evaluaron su efecto en el suelo 2.3 años posterior a su aplicación. Así también, Sparks (2003) menciona que en condiciones de suelos arenosos, como los del sitio de estudio, la acción de aplicar altas cantidades de yeso ocasiona que el potasio sea desplazado a capas más profundas.

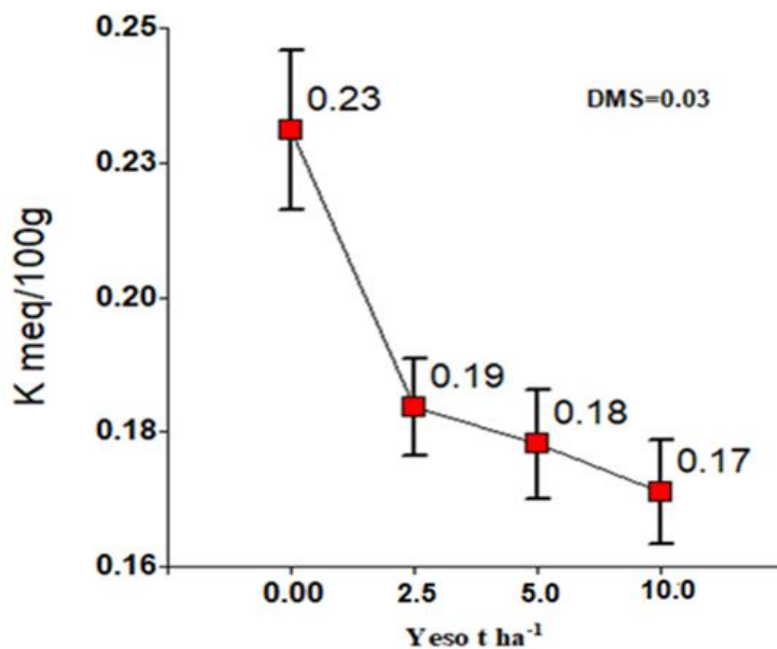


Figura 31. Efecto combinado del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) en el K intercambiable del suelo de 0 a 14 cm ($p < 0.05$).

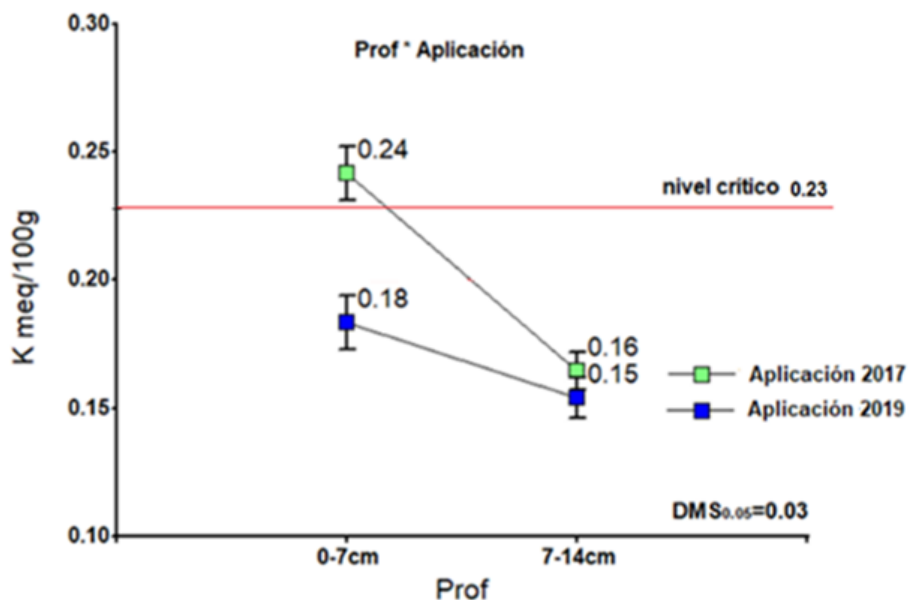


Figura 32. Efecto del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) en profundidades de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm en el K intercambiable ($p < 0.05$).

Las aplicaciones de yeso conjuntamente con K interactuaron positivamente en el K intercambiable del suelo y con la aplicación de yeso en 2017 y 2019 con 60 kg K₂O ha⁻¹ se obtuvo un valor promedio de 0.18 y 0.19 meq/100 g respectivamente (Figura 33).

Además, se observó que al aumentar las dosis del fertilizante potásico existió una tendencia de aumentar el contenido de K en el suelo, aunque los valores no lograron ser estadísticamente significativos ($p < 0.05$).

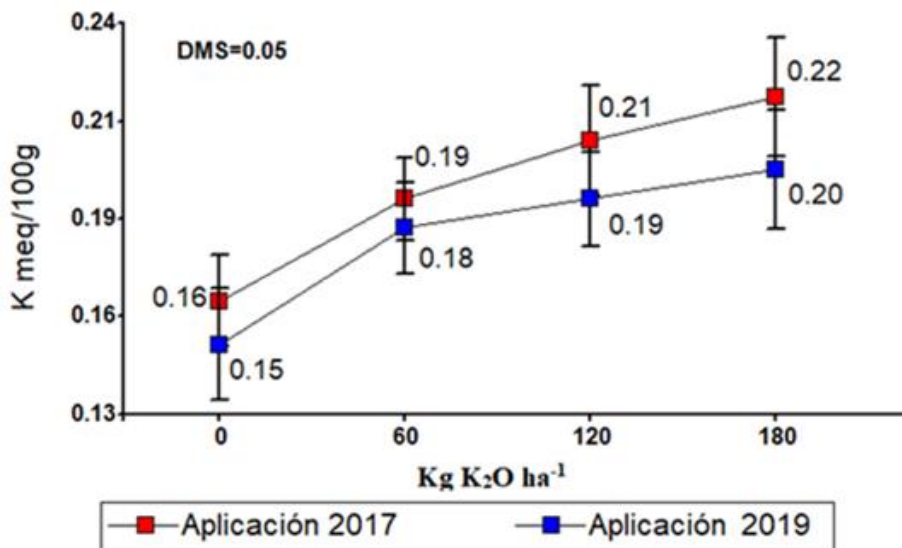


Figura 33. Efecto del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) en el K intercambiable del suelo en la profundidad de 0 a 14 cm ($p < 0.05$).

Los resultados de este experimento determinan la necesidad de ser cuidadosos en las recomendaciones de yeso utilizadas como enmienda; ya que una aplicación en exceso genera una descompensación en el K y Mg intercambiables del suelo por lo que se debe considerar la incorporación de éstos en el plan de fertilización.

En este sentido, cuando el K se encuentra en cantidades adecuadas y balanceadas con otros nutrientes contribuye en el crecimiento y la proliferación de raíces (Marschner, 1995; Kafkafi, 1977), mismas que ayudan a penetrar más en el suelo y así lograr tener mayor acceso al agua y requerir menor consumo de la misma para lograr un rendimiento determinado.

5.2.3.4. Sodio intercambiable.

Con base a los resultados obtenidos se observó diferencia significativa al aplicar dosis crecientes de yeso en las diferentes aplicaciones, resultando más favorable el incremento de Na al aplicar 1.25 t ha⁻¹ en 2017, aunque tendió a decrecer notablemente

conforme se adicionaba más yeso. La segunda aplicación de yeso no presentó significancia dentro de sí misma, pero si en lo aplicado en 2017 (Figura 34).

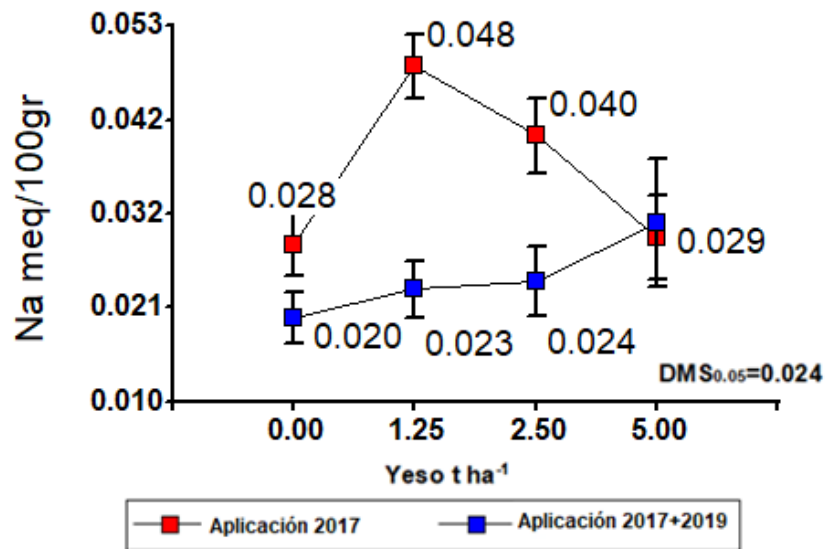


Figura 34. Efecto del yeso aplicado en 2017 y 2019 (2017+2019) en el Na intercambiable del suelo a 0 a 14 cm de profundidad ($p < 0.05$).

Nuestros datos coinciden con González *et al.* (2005) al mencionar que el comportamiento del Na es similar al del K cuando se adiciona más yeso. Sin embargo Shainberg *et al.* (1989) menciona que el nivel crítico para Na que podría llegar a separar los suelos con tendencia a la dispersión no se encuentran precisados, ya que dependen en gran medida de la mineralogía de los mismos.

5.2.4. Fósforo extraíble Bray II.

La aplicación de una nueva dosis de yeso en 2019 generó una respuesta positiva de la concentración de P Bray en el P extraíble del suelo a las profundidades de 0 a 7 y de 7 a 14 cm (Figura 35). El mayor efecto se obtuvo cuando se aplicó en total 5 t ha⁻¹ de yeso, producto de las dos aplicaciones a 0 a 7 cm de profundidad con lectura de 85 ppm considerada como muy alta (IPNI, 2011).

La mayor cantidad de fósforo observada en ambas profundidades estuvo influenciada por el efecto residual de la aplicación de yeso hecha en 2017, la cual fue superior en los 0 a 7 cm. La concentración de Al extraíble en la profundidad de 7 a 14 cm, evaluado 2.5

años después de ser incorporado en 2017, era superior al nivel crítico lo cual limitó la disponibilidad del fósforo por lo que es probable que el yeso se haya movilizad o lixiviado a capas más profundas.

En cuanto a los niveles de clasificación, IPNI (2011) considera 40 ppm como alto y cantidades >80 ppm muy alto. Además, un contenido de 15 ppm se considera crítico (IPNI, 2017; NOM-021-SEMARNAT-2000).

Rout (2001) señala que uno de los efectos del Al al encontrarse en niveles tóxicos contribuye a la fijación del fósforo en formas menos disponibles; por lo que según nuestros resultados, al reducir el Al debajo del nivel crítico, el P estuvo más disponible para la planta.

Fernández, (2007) señala que el Ca llega a estimular la absorción de P incrementando la velocidad de transporte y brindando acceso a los puntos de iones fosfatos. Esto coincidió con los resultados obtenidos al tener altos contenidos de Ca y P disponibles en el suelo en nuestro sitio de estudio.

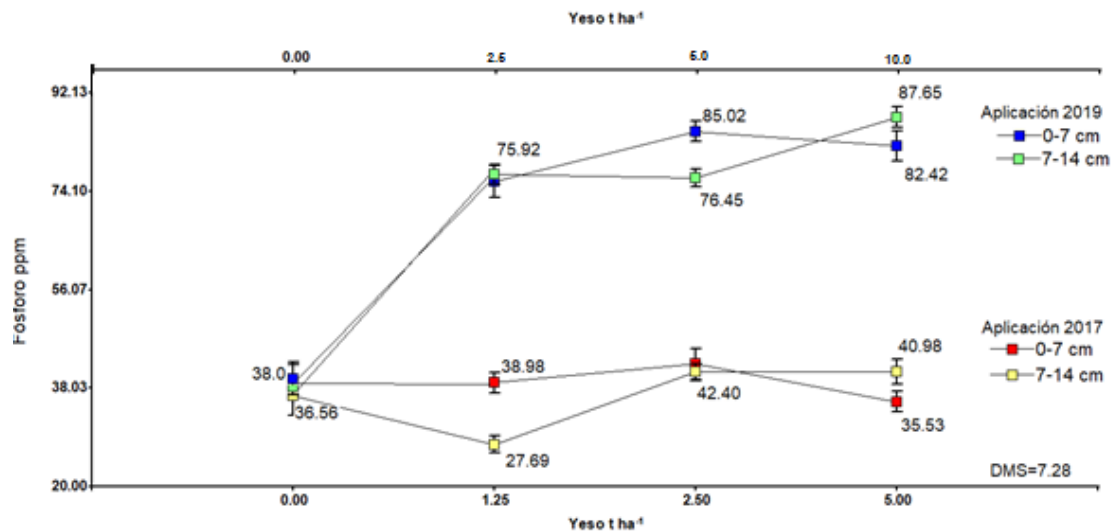


Figura 35. Efecto de la aplicación de yeso en 2017 y 2019 (2017+2019) en el fósforo disponible en la profundidad de 0 a 7 y de 7 a 14 cm.

De acuerdo con Toledo (2016) un pH debajo de 6 presenta tendencias a formar compuestos con el Fe, Al, Mn y Zn. Por lo anterior, el manejo del pH es esencial para

poder aumentar la eficiencia de los nutrientes en la planta. Por su parte, Tisdale *et al.* (1985) argumentan que en suelos con pH entre 6.0 y 6.5 el P es mayormente absorbido, sin embargo, si el pH se encuentra fuera de ese rango la absorción se reduce variando al tipo de suelo.

Mismo autor menciona que en un suelo de la zona alta de Honduras, los niveles de P son muy bajos (2 a 5 mg kg^{-1}) y que puede deberse a la retención del P a causa de los compuestos formados con el Al y Mn. Además, cuando se aplica P mediante fertilizantes, una parte de éste se adherirá en los puntos de fijación (coloides con carga positivas) y en otras formará fosfatos de Al, Fe y Mn, de manera que en el agua del suelo queda una pequeña fracción disponible del fósforo.

De acuerdo con Pastrana *et al.* (2006) mencionan que los óxidos de Fe y Al tienen gran afinidad en reacción con el P y conducen a la fijación o retención del mismo, además cuanto más alto es el contenido de Fe y Al mayor es la cantidad de P fijada.

6. CONCLUSIONES

El mayor rendimiento en maíz (6.2 t ha^{-1}) se obtuvo con el tratamiento de 2.5 t ha^{-1} de yeso aplicado en 2017, similar al alcanzado con la aplicación de 2.5 t ha^{-1} (6.0 t ha^{-1}) parcializado en dosis de 1.25 t ha^{-1} de yeso, uno aplicado en 2017 y otro en 2019; por lo tanto, una prueba evidente es que aplicando cualquiera de las dos modalidades se pueden obtener aproximadamente los mismos rendimientos.

Aunque la incorporación de yeso en 2019 fue en la profundidad de 0 a 14 cm en un suelo previamente tratado con cal, éste no reflejó incrementos en el rendimiento de grano de maíz, pero sí aumentó el pH en los 0 a 7 cm de profundidad debido a que se detectó que el yeso contenía carbonatos como impureza con un PRNT de 32 %.

El efecto residual del yeso aplicado en 2017 y evaluado dos años después, mantuvo su efecto en el pH y en las bases intercambiables en las profundidades de 0 a 7 y de 7 a 14 cm.

El resultado de una nueva aplicación de yeso en el 2019 redujo el aluminio por debajo del nivel crítico haciendo que el fósforo se encontrara más disponible y que al aumentar el contenido de calcio, éste reflejara un efecto benéfico en el transporte eficiente del elemento a la planta. Sin embargo el incremento de calcio causó una disminución en el magnesio y potasio en las profundidades de 0 a 7 cm y de 7 a 14 cm.

No se observaron incrementos significativos en el rendimiento de maíz y la biomasa aérea con la adición del fertilizante potásico en diferentes dosis para suplir su pérdida causada por el incremento en la disponibilidad de calcio en el suelo.

Los resultados orientan a tener cuidado en las recomendaciones de yeso como enmienda, debido a que una aplicación alta o en exceso genera una descompensación en el potasio y magnesio del suelo, por lo que es fundamental la incorporación de los mismos en las dosis de fertilización.

7. LITERATURA CITADA

- Aguilera, P., Cumming, J., Oehl, F., Cornejo, P., Borie, F. (2015). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in acidic soils and their contribution to aluminum phytotoxicity alleviation. In: Panda, S., Baluška, F. (Eds.), *Aluminum Stress Adaptation in Plants*. Springer.
- Bacca, H.A.; Narváez, J.A. y Unigarro S., A., (2011). Evaluación de la movilidad del azufre en un suelo Vitric Haplustand. *Revista de Ciencias Agrícolas*. Año 2011- Volumen XXVIII No.1 Pag: 107–118.
- Baquero, P. J. E., Yacomelo, M., y Orduz-Rodríguez, J. O. (2018). Efecto del yeso sobre las características químicas de un oxisol de la Orinoquia colombiana cultivado con lima ácida Tahití. *Temas Agrarios*. Vol. 23:(2) Julio-Diciembre (154-163).
- Black, C.A. (1993). *Soil fertility evaluation and control*. Lewis Publisher. Boca Raton, FL, USA.
- Bossolani, J.W., Crusciol, C.A.C., Merloti, L.F., Moretti, L.G., Costa, N.R., Tsai, S.M., Kuramae, E.E., (2020). Long-term lime and gypsum amendment increase nitrogen fixation and decrease nitrification and denitrification gene abundances in the rhizosphere and soil in a tropical no-till intercropping system. *Geoderma* 375, 114476. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114476>.
- Caires E., Kusman M., Barth G., Garbuio F., y Padilha J. (2004). Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 28:125-136.
- Caires EF, Chueiri WA, Madruga EF, Figueiredo A. (1998). Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. *Rev Bras Cienc Solo*; 22:27-34. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000100004>.
- Caires EF, Garbuio FJ, Churka S, Joris HAW (2011). Use of gypsum for crop grain production under a sub-tropical no-till cropping system. *Agron J* 103:1804–1814. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0192>.
- Caires, E.F.; Fonseca, A.F.; Mendes, J.; Chueiri, W.A. & Madruga, E.F. (1999). Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:315-327.
- Cakmak I. Kirkbt EA (2008). Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiol Plant* 133:692-704.
- Camas G.R., Turrent F.A., Cortes F.J.I., Livera M.M., González E.M., Adrián, Villar S.B, López M.J., Espinoza P.N., Cadena I.P. (2012). Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea] [Fecha

de consulta: 26 de abril de 2019] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123201002>> ISSN 2007-0934

- Camas, G. R.; Camas, P. R., Monasterio R. J., Cadena I. P., López B. W., Velasco G. E. (2019). Verificación del efecto de enmiendas para control de la acidez del suelo y rendimiento de maíz. 44° Congreso de la Ciencia del Suelo. “El suelo donde todo comienza”. Ciudad Universitaria Aguascalientes.
- Camas, G.R. (2018). Generación de tecnologías de fertilidad, corrección de suelos ácidos y calibración del sensor GreenSeeker para incrementar la productividad del Maíz. En la región Frailesca de Chiapas. Informe técnico.
- Casierra, F, & Aguilar, O. (2007). Estrés por aluminio en las plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246-256.
- Casierra, F., Cárdenas, J., & Roa, H. (2008). Efecto del aluminio sobre la germinación de semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) y de maíz (*Zea mays* L.). *Orinoquía*, 12(1), 45-56.
- Castellanos, J.Z.; Uvalle, B.J.X. y Aguilar, S.A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y agua. Instituto de Capacitación para la productividad agrícola. México. p.97.
- Chávez, M. (1991). Características y uso potencial del yeso en la agricultura costarricense. *Revista Colegio de Ingenieros Agrónomos*. Costa Rica. No. 7:18-20.
- Cihacek L., Augustin C., Buetow R., Landblom D., Alghamdi R., Senturklu S. (2021). “what is soil acidity”. *NDSU. North Dakota State University*. Disponible en: <https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/what-is-soil-acidity>. Fecha de consulta: 08/06/2021.
- CONAFAB. (2021). Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la Nutrición Animal. *Revista Mexicana de Comercio Exterior*. Disponible en: <https://www.estrategiaaduanera.mx/importacion-de-maiz-se-dispara-no-hay-fomento-a-la-siembra-del-grano/FA>.
- Crusciol, C.A.C., Artigiani, A.C.C.A., Arf, O., Filho, A.C.A.C., Soratto, R.P., Nascente, A.S., Alvarez, R.C.F., (2016). Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. *Catena* 137, 87–99.
- Drew M. C. and Goss M. J. (1973). Effect of soil physical factors on root growth. *Chern. Ind.*, 14, 679-684.
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos (1a Ed.). International Plant Nutrition Institute. (IPNI). 1ra. Edición. 46p.

- Estrada E. (2001). Disponibilidad de calcio, magnesio y azufre, su análisis en suelos y plantas. En: Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura. Bogotá. p 85-104.
- FAO. (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. E-ISBN 978-92-5-307784-7 (PDF).
- FAO. (2020). Portal de suelos de la FAO. Suelos ácidos. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/> consultado el 24 de abril de 2020.
- Feixa, X. (2001). Poliaminas y tolerancia al aluminio en variedades tolerantes y sensibles de *Zea mays*. Tesis presentada para optar el título de Doctor en Ciencias. Universidad de Barcelona, España. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/3655?locale-attribute=es#page=5>.
- Fernández, M. T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar [en línea]. XLI (2), 51-57 [fecha de Consulta 24 de Enero de 2022]. ISSN: 0138-6204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>.
- González, F.P., Ordoñez F.R., Espejo S.R. y Peregrini A.F. (2005). Efectos a medio plazo de la espuma de azucarería, caliza magnesiana y yeso sobre las bases intercambiables y el aluminio en el perfil de un suelo ácido. Estudios de la zona no saturada del suelo Vol. VII.
- Gransee A, Fuñers H (2013). Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant Soil* 368:5–21
- Haddad, L. (2003). Redirecting the nutrition transition: what can food policy do? *Development Policy Review*. 21: 599–614.
- Hammer, G. L.; Dong, Z.; Mclean, G.; Doherty, A.; Messina, C.; Schussler, L.; Zinselmeier, C.; Paszkiewicz, S.; Cooper, M. (2009). Can changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield Trends in the U.S. Corn Belt. *Crop Science* 49, 299-312.
- Hibon, A.; Triomphe, B.; Lopez, M. and Saad, L. (1992). Rainfed maize production in Mexico: Trends, constraints, and technological and institutional challenges for researchers. International Maize and Wheat Research Center (CIMMYT). Texcoco, Mex, Mexico. Economics Working Paper 92-03. 46 p. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/884/38481.pdf>
- Hirte J, Leifeld J, Abiven S, Oberholzer H-R, Hammelehle A and Mayer J. (2017). Overestimation of Crop Root Biomass in Field Experiments Due to Extraneous Organic Matter. *Front. Plant Sci.* 8:284. doi:10.3389/fpls.2017.00284 <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/884/38481.pdf>

- INEGI (2010). Gobierno del Estado. Región vi – Frailesca. Consultado el 20 de noviembre de 2021 en la dirección: http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/MAPASTEMREG/REGION_VI_FRAILESCA_post.pdf
- INIFAP, (2004). Manual de producción de semilla de maíz. Estudio de caso. Folleto técnico No. 14.
- INIFAP, (2008). Caracterización de maíces subtropicales del INIFAP para la producción de harina nixtamalizada y tortillas.
- IPNI, (1999). Acidez y encalado de los suelos. 1ra edición. 42 p
- IPNI. (2011). Curso Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Unidad Integrada FCA-INTA Balcarce.
- IPNI. (2017). Simposio de Fertilidad: más allá de la próxima cosecha. Resúmenes de Conferencias y posters. Centro de Concenciones Metropolitano, Rosario, Santa fé, Argentina. Pág. 26-36. 249 páginas publicadas. ISBN 978-987-46277-2-8
- Kafkafi, U. (1997). Impact of potassium in relieving plants from climatic and soil-induced stresses. In: Food security in the WANA region, the essential need for balanced fertilization, A.E. Johnston (ed.), pp. 313-327, IPI, Bern.
- Klug, B., Horst, W. (2010). Oxalate exudation into the root-tip water free space confers protection against aluminum toxicity and allows aluminum accumulation in the symplast in buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *New Phytologist*, 187(2), 380-391.
- Kopittke, P. M., and Menzies, N. W. (2007). A Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the “Ideal” Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 259-265. Norton, R., R. Mikkelsen and T. Jensen. 2013. Sulfur for Plant Nutrition. Better.
- López Báez, W., Reynoso Santos R., López Martínez J., Camas Gómez R., y Tasistro A. (2018). «Diagnóstico De La compactación En Suelos Cultivados Con maíz En La Región Fraylesca, Chiapas». *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 9 (1). México, ME:65-79. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.848>.
- Ma, J., Ryan, P., & Delhaize, E. (2001). Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends in Plant Science*, 6(6), 273-278.
- Marín, T. Gómez, F., Trejo, L., Muñoz, A., Tavitas, L., Hernández, L., & Santacruz, A. (2010). Respuesta fisiológica y nutrimental de variedades de arroz a la concentración de aluminio. *Fitotecnia Mexicana*, 33(1), 37-44.
- Marschner, H. (1995). «Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd Ed., Academic Press, San Diego, New York.
- Marsh, B. a'B. (1971). Measurement of length in random arrangements of lines. *J. Appl. Ecol.* 8:265–267.

- Martens D (2001) Nitrogen cycling under different soil management systems. *Adv Agron* 70:143–189.
- Melgar, R y Camozzi, M, (2002). Fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales, p 73.
- Michalovicz Leandro &, Marques M., Marcelo, & do Nascimento, Ronaldo, & Simoneti Foloni, José Salvador, & Machado Kramer, Luiz Fernando, & Kawakami, Jackson (2014). Fertilidad del suelo, nutrición y rendimiento de maíz y cebada con aplicación de yeso en la superficie del suelo en labranza cero. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38 (5) ,1496-1505. [Fecha de Consulta: 30 de Noviembre de 2021]. ISSN: 0100-0683. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180232420016>
- Moro A. (2015). Relaciones Cationicas y su interpretación en los análisis de suelos. Laboratorios AQM. Disponible en: <http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>.
- Newman, E.I. (1966). A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3:139–145.
- Novoa R, Villagrán A. (2002). Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica* 62 (1):165-171.
- Onderdonk J. J. and Ketcheson J. W. (1973). Effect of temperature on direction of corn root growth. *Plant Soil*, 39, 177-186
- Osorio N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. Laboratorio de Suelos. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de COLOMBIA-Sede Medellín. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal. Abril 30, Volumen 1. No. 4.
- Pastrana, A. L., Jiménez, C. J.A., Zetina, L.R., Romero, M. J. (2006). Manejo Sustentable de Suelos Ácidos de Tabasco y Veracruz. Campo Experimental Huimanguillo y Papaloapan. INIFAP, México. 115p.
- Peregrina, A.F., (2005). Valoración Agronómica de residuos industriales yesíferos y calizos: Implicaciones sobre la dinámica del complejo de cambio, la disolución del suelo y la productividad en Palexerults del oeste de España. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Edafología. 237 pp.
- Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. SAGARPA. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/documentos/planeacion-agricola-nacional-2017-2030?state=published>
- Popkin BM. (2002). An overview of the nutrition transition and its health implications: The Bellagio Meeting. *Public Health Nutrition*. 5(1): 93–103.

- Renjasamy P, Olsson KA. (1991). Sodicity and soil structure. *Aust. J. Soil Res.* 29: 935-52.
- Ritchie S W, J Hanway. (1982). How a corn plant crop develops. Special Report 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Ames, IA.
- Rout, G., Samantara, S., & Das, P. (2001). Aluminum toxicity in plants: A review. *Agronomie*, 21(1), 3-21.
- Ryan, P., Tyerman, S., Sasaki, T., Furuichi, T., Yamamoto, Y., Zhang, W., & Delhaize, E. (2011). The identification of aluminum-resistance genes provides opportunities for enhancing crop production on acid soils. *Journal of Experimental Botany*, 62(1), 9-20.
- Sainz RH, Echeverria He. (1998). Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento del grano. *Revista de la Facultad de Agronomía* 103(1):37-44.
- Shainberg, I., Sumner, M. E., Miller, W. P., Farina, M. P. W., Pavan, M. A., & Fey, M. V. (1989). Use of gypsum on soils. A review. In B. A. Stewart (Ed.), *Advances in Soil Science* (Vol. 9, pp. 1–110). Springer Verlag.
- Shapiro, C., Ahmed A., Santiago U. y Michael M. (2016). Use of five Nitrogen Source and Placement Systems for Improved Nitrogen Management of Irrigated Corn. *Soil Science Society of America Journal* 80 (6): 1663-74. <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.10.0363>.
- SIAP/SAGARPA/ASERCA, SE y SHCP/SAT/AGA. (2021). Disponibilidad-consumo de maíz blanco (miles de toneladas)*. Disponible en: <http://www.numerosdelcampo.sagarpa.gob.mx/publicnew/productosAgricolas/cargarPagina/5>
- SIAP/SAGARPA/ASERCA, SE y SHCP/SAT/AGA. (2021). Disponibilidad-consumo de maíz blanco (miles de toneladas)*. Disponible en: <http://www.numerosdelcampo.sagarpa.gob.mx/publicnew/productosAgricolas/cargarPagina/5>.
- Soil Survey Staff (Ed.). (2014). *Illustrated guide to soil taxonomy*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, & National Soil Survey Center. <https://nrcspad.sc.egov.usda.gov/DistributionCenter/pdf.aspx?productID=1096>
- Soriano S., Desamparados M. (2022). pH del suelo. Universidad Politécnica de Valencia. Producción Vegetal. Consultado el 19 de marzo de 2022.
- Sousa DMG, Miranda LN, Oliveira AS. (2007). Acidez do solo e sua correção. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RL, Cantarutti RB, Neves JCL, editores.

- Fertilidade do solo. Viçosa, MG: *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*; p. 205-74
- Sparks, D.L., (2003). *Environmental Soil Chemistry*. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Sumner, M. E. (1990). Gypsum as an ameliorant for the subsoil acidity syndrome. Florida Institute of Phosphate Research.
- Sumner, M. E. (1993). Gypsum and acid soils: The world scene. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 51, pp. 1–32). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60589-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60589-1).
- Tang C, Rengel Z (2003) Role of plant cation/anion uptake ratio in soil acidification. In: Rengel Z (ed) *Handbook of soil acidity*. Marcel Dekker, New York, pp 57–81.
- Tasistro A., (2018). Acidez de suelo. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Disponible en: http://mca.ipni.net/beagle/MCA-3018&f=Tasistro_Acidez%20del%20suelo.pdf
- Tasistro, A. (2012). Uso de líneas límite para el diagnóstico de campo y la investigación agrícola-avances en México. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 5(20):17-20.
- Tasistro, A. y Camas, G.R. (2015). Enmiendas para controlar la acidez del suelo y el subsuelo y su interacción con potasio. Simposio Avances sobre fertilidad de suelos en México. Memorias del XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Aguascalientes, México. 1049-1053.
- Tasistro, A., Camas R., Ortiz I. (2022). Gypsum and potassium application to acid soils for maize (*Zea mays* L.) production in La Frailesca, Chiapas, México. Volumen 33(1): Artículo 46173, e-ISSN 2215-3608, doi:10.15517/am.v33i1.46173 <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/index>
- Tennant, D. (1975). A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* 63:995–1101.
- Tiecher T, Pias OHC, Bayer C, Martins AP, Denardin LGO, Anghinoni I. (2018). Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brasil: a systematic review. *Rev Bras Cienc Solo*. 42:e0170025. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170025>
- Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D. (1985). Soil and fertilizer phosphorus. In *Soil Fertility and Fertilizer*. Nueva York, Estados Unidos de América, McMillan Publishing Company. p. 189-248
- Toledo, M., (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos. IICA. ISBN: 978-92-9248-663-1. Disponible en <http://www.iica.int>

- Twilman, T. J. y White, P. J. (1998). Influence of monoglycerides on the textural shelf life and dough rheology of corn tortillas, *Cereal Chemistry* 65(3), 253-257.
- Van Nieuwkoop; López, B. W.; Zamarripa, M. A; Cadena, I. P.; Villar, S. B. y De la Piedra, C. R. (1992). Uso y Conservación de los recursos naturales en la Frailesca, Chiapas, México. DF. Documento de trabajo. Colaboración INIFAP-CIMMYT en el manejo de los recursos naturales. CIMMYT. México. 47 p.
- Van Reeuwijk, L.P. (1999). Procedimiento para análisis de suelos, versión 1995. Traducción de: María del Carmen Gutiérrez Castorena, Carlos Arturo Tavares Espinosa y Carlos Alberto Ortiz Solorio. Primera edición en español, 1999. Especialidad de Edafología, Colegio de Postgraduados, México. 145 p.
- Woli, Krishna P., Matthew J. Boyer, Roger W. Elmore, John E. Sawyer, Lori J. Abendroth, and Daniel W. Barker. (2016). Corn Era Hybrid Response to Nitrogen Fertilization. *Agronomy Journal* 108(2): 473-86. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0314>.
- Xinhua, Yin, and Angela McClure. (2013). Relationship of Corn Yield Biomass, and Leaf nitrogen with Normalized Difference Vegetation Index and Plant Height. *Agronomy Journal* 105(4): 1005-16. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0206>.
- Yost, R. (1991). Uso de apoyo-decisión para hacer recomendaciones de cal y fósforo. In: Manejo de suelos tropicales en Latinoamérica, por T.J. Smith *et al.* San José, Costa Rica, North Carolina State University. P. 177-185.
- Zapata R. (2014). Los procesos químicos del suelo Primera Edición. Universidad nacional de Colombia. Facultad de ciencias. Escuela de Geo ciencias, Medellín. pp. 167-177.
- Zoca, S.M. and Penn, C. (2017). An important tool with no instruction manual: A review of gypsum use in agricultura. In: *Advances in Agronomy*. Sparks, D.L. (Ed.). Academic Press. 1-44 pp. Volume 144 ISSN 0065-2113. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.001>
- Zoon, F.C., and P.H. Van Tienderen. (1990). A rapid quantitative measurement of root length and root branching by microcomputer image analysis. *Plant Soil* 126:301–308.

ANEXOS

Rendimiento de grano y biomasa total aérea.

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O Kg ha ⁻¹	Rendimiento t ha ⁻¹	Biomasa total aérea
		2017	2019			
1	1	0	0	0	3.4	3.76
1	2	0	0	60	4.5	4.15
1	3	0	0	120	4.7	3.97
1	4	0	0	180	4.6	3.95
1	5	1.25	0	0	4.5	4.10
1	6	1.25	0	60	7.6	4.97
1	7	1.25	0	120	4.8	3.95
1	8	1.25	0	180	3.4	3.60
1	9	2.5	0	0	4.5	4.25
1	10	2.5	0	60	5.2	4.41
1	11	2.5	0	120	8.5	4.97
1	12	2.5	0	180	7.2	4.82
1	13	5	0	0	6.1	4.35
1	14	5	0	60	4.7	3.74
1	15	5	0	120	5.8	4.75
1	16	5	0	180	5.1	4.37
1	17	1.25	1.25	0	6.4	4.21
1	18	1.25	1.25	60	6.5	5.00
1	19	1.25	1.25	120	5.4	4.52
1	20	1.25	1.25	180	3.8	3.52
1	21	2.5	2.5	0	6.2	4.07
1	22	2.5	2.5	60	6.1	5.19
1	23	2.5	2.5	120	7.6	4.90
1	24	2.5	2.5	180	5.7	4.01
1	25	5	5	0	6.9	4.43

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O Kg ha ⁻¹	Rendimiento t ha ⁻¹	Biomasa total aérea
		2017	2019			
1	26	5	5	60	6.0	4.33
1	27	5	5	120	5.7	5.48
1	28	5	5	180	6.8	4.70
2	1	0	0	0	4.4	4.08
2	2	0	0	60	4.6	3.33
2	3	0	0	120	3.7	3.75
2	4	0	0	180	6.8	4.56
2	5	1.25	0	0	5.7	3.09
2	6	1.25	0	60	5.7	3.86
2	7	1.25	0	120	5.8	3.85
2	8	1.25	0	180	4.6	3.59
2	9	2.5	0	0	5.8	3.13
2	10	2.5	0	60	4.2	3.97
2	11	2.5	0	120	7.6	5.17
2	12	2.5	0	180	6.4	4.46
2	13	5	0	0	4.4	4.05
2	14	5	0	60	5.4	3.87
2	15	5	0	120	6.1	4.78
2	16	5	0	180	6.5	4.20
2	17	1.25	1.25	0	6.3	2.96
2	18	1.25	1.25	60	6.1	5.53
2	19	1.25	1.25	120	6.4	4.83
2	20	1.25	1.25	180	5.5	4.09
2	21	2.5	2.5	0	6.8	2.76
2	22	2.5	2.5	60	6.9	4.65
2	23	2.5	2.5	120	6.5	4.77
2	24	2.5	2.5	180	5.9	4.25
2	25	5	5	0	6.7	4.27

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O Kg ha ⁻¹	Rendimiento t ha ⁻¹	Biomasa total aérea
		2017	2019			
2	26	5	5	60	5.7	4.01
2	27	5	5	120	5.7	4.94
2	28	5	5	180	4.7	3.69
3	1	0	0	0	4.2	3.16
3	2	0	0	60	6.0	4.48
3	3	0	0	120	5.2	4.01
3	4	0	0	180	6.0	4.27
3	5	1.25	0	0	7.1	4.48
3	6	1.25	0	60	7.2	5.15
3	7	1.25	0	120	3.8	3.94
3	8	1.25	0	180	6.3	4.09
3	9	2.5	0	0	7.1	4.51
3	10	2.5	0	60	4.7	5.68
3	11	2.5	0	120	7.4	4.80
3	12	2.5	0	180	5.9	3.94
3	13	5	0	0	5.1	2.94
3	14	5	0	60	7.8	5.06
3	15	5	0	120	7.4	4.95
3	16	5	0	180	6.8	4.89
3	17	1.25	1.25	0	6.3	4.23
3	18	1.25	1.25	60	6.3	4.66
3	19	1.25	1.25	120	5.5	4.70
3	20	1.25	1.25	180	8.4	5.17
3	21	2.5	2.5	0	7.0	5.18
3	22	2.5	2.5	60	5.3	4.23
3	23	2.5	2.5	120	6.3	4.99
3	24	2.5	2.5	180	5.7	4.20
3	25	5	5	0	4.9	4.15

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O Kg ha ⁻¹	Rendimiento t ha ⁻¹	Biomasa total aérea
		2017	2019			
3	26	5	5	60	5.4	3.92
3	27	5	5	120	5.7	4.63
3	28	5	5	180	6.5	3.98

Rep= repetición; Trat=Tratamiento

Estimación de la longitud radicular de 0 a 7 cm y 7 a 14 cm de profundidad.

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O Kg ha ⁻¹	Longitud radical cm	
		2017	2019		0 a 7	7 a 14
1	1	0	0	0	63.6	17.3
1	2	0	0	60	108.0	26.5
1	3	0	0	120	56.6	27.0
1	4	0	0	180	66.0	38.0
1	5	1.25	0	0	50.5	57.6
1	6	1.25	0	60	88.8	30.6
1	7	1.25	0	120	58.1	20.4
1	8	1.25	0	180	61.3	57.2
1	9	2.5	0	0	73.9	37.7
1	10	2.5	0	60	66.4	50.9
1	11	2.5	0	120	94.3	33.8
1	12	2.5	0	180	120.2	59.4
1	13	5	0	0	94.3	32.2
1	14	5	0	60	79.4	19.6
1	15	5	0	120	120.6	14.2
1	16	5	0	180	94.8	22.1
1	17	1.25	1.25	0	40.6	31.2
1	18	1.25	1.25	60	98.1	33.1
1	19	1.25	1.25	120	58.1	21.0
1	20	1.25	1.25	180	67.6	44.4
1	21	2.5	2.5	0	46.4	27.1
1	22	2.5	2.5	60	62.1	32.2
1	23	2.5	2.5	120	89.6	37.7
1	24	2.5	2.5	180	119.3	62.2
1	25	5	5	0	60.5	24.8
1	26	5	5	60	70.1	29.6

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O Kg ha ⁻¹	Longitud radical cm	
		2017	2019		0 a 7	7 a 14
1	27	5	5	120	64.8	21.2
1	28	5	5	180	86.0	32.2
2	1	0	0	0	63.6	23.6
2	2	0	0	60	113.0	24.4
2	3	0	0	120	55.3	26.7
2	4	0	0	180	74.9	40.9
2	5	1.25	0	0	66.8	51.9
2	6	1.25	0	60	82.4	31.3
2	7	1.25	0	120	62.1	24.0
2	8	1.25	0	180	76.1	54.2
2	9	2.5	0	0	62.1	36.1
2	10	2.5	0	60	76.4	45.6
2	11	2.5	0	120	84.1	36.4
2	12	2.5	0	180	121.8	46.4
2	13	5	0	0	119.1	29.9
2	14	5	0	60	93.2	27.3
2	15	5	0	120	114.0	14.9
2	16	5	0	180	121.0	17.1
2	17	1.25	1.25	0	50.4	37.9
2	18	1.25	1.25	60	105.3	30.6
2	19	1.25	1.25	120	43.2	22.4
2	20	1.25	1.25	180	62.4	46.0
2	21	2.5	2.5	0	49.1	28.3
2	22	2.5	2.5	60	73.1	42.3
2	23	2.5	2.5	120	77.0	32.0
2	24	2.5	2.5	180	111.6	64.4
2	25	5	5	0	64.4	20.5
2	26	5	5	60	61.2	30.2

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O Kg ha ⁻¹	Longitud radical cm	
		2017	2019		0 a 7	7 a 14
2	27	5	5	120	69.1	24.9
2	28	5	5	180	83.3	37.7
3	1	0	0	0	90.4	22.8
3	2	0	0	60	102.1	25.1
3	3	0	0	120	50.3	33.0
3	4	0	0	180	66.6	37.7
3	5	1.25	0	0	58.5	66.0
3	6	1.25	0	60	82.5	25.1
3	7	1.25	0	120	55.0	24.4
3	8	1.25	0	180	62.1	58.0
3	9	2.5	0	0	80.1	43.0
3	10	2.5	0	60	64.4	52.6
3	11	2.5	0	120	88.1	31.1
3	12	2.5	0	180	120.2	53.9
3	13	5	0	0	105.3	36.4
3	14	5	0	60	86.4	15.7
3	15	5	0	120	138.9	17.1
3	16	5	0	180	113.9	20.4
3	17	1.25	1.25	0	43.2	30.5
3	18	1.25	1.25	60	116.0	41.6
3	19	1.25	1.25	120	45.2	24.9
3	20	1.25	1.25	180	55.8	45.6
3	21	2.5	2.5	0	40.2	36.1
3	22	2.5	2.5	60	61.3	47.9
3	23	2.5	2.5	120	79.8	39.7
3	24	2.5	2.5	180	124.6	62.1
3	25	5	5	0	72.3	22.0
3	26	5	5	60	63.6	30.6

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O Kg ha ⁻¹	Longitud radical	
		2017	2019		cm	
					0 a 7	7 a 14
3	27	5	5	120	77.0	25.9
3	28	5	5	180	88.0	42.3

Rep= repetición; Trat=Tratamiento

Altura de planta.

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O	Altura (cm)		
		2017	2019	Kg ha ⁻¹	Planta 1	Planta 2	Planta 3
1	1	0	0	0	200	201	198
1	2	0	0	60	214	216	216
1	3	0	0	120	220	117	223
1	4	0	0	180	220	221	220
1	5	1.25	0	0	187	185	184
1	6	1.25	0	60	240	231	235
1	7	1.25	0	120	220	222	225
1	8	1.25	0	180	213	208	213
1	9	2.5	0	0	211	210	215
1	10	2.5	0	60	207	206	210
1	11	2.5	0	120	231	227	229
1	12	2.5	0	180	214	214	218
1	13	5	0	0	205	210	212
1	14	5	0	60	207	204	204
1	15	5	0	120	204	197	200
1	16	5	0	180	219	223	218
1	17	1.25	1.25	0	195	196	194
1	18	1.25	1.25	60	234	241	236
1	19	1.25	1.25	120	225	233	226
1	20	1.25	1.25	180	214	213	215
1	21	2.5	2.5	0	196	201	206
1	22	2.5	2.5	60	229	234	233
1	23	2.5	2.5	120	220	226	227
1	24	2.5	2.5	180	204	205	205
1	25	5	5	0	214	213	213
1	26	5	5	60	231	232	228
1	27	5	5	120	222	225	220

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O	Altura (cm)		
		2017	2019	Kg ha ⁻¹	Planta 1	Planta 2	Planta 3
1	28	5	5	180	215	218	211
2	1	0	0	0	177	180	182
2	2	0	0	60	208	205	204
2	3	0	0	120	209	206	202
2	4	0	0	180	215	219	220
2	5	1.25	0	0	205	197	196
2	6	1.25	0	60	217	221	218
2	7	1.25	0	120	210	211	211
2	8	1.25	0	180	224	226	220
2	9	2.5	0	0	177	181	180
2	10	2.5	0	60	211	205	202
2	11	2.5	0	120	214	211	212
2	12	2.5	0	180	215	219	214
2	13	5	0	0	210	207	209
2	14	5	0	60	210	204	205
2	15	5	0	120	222	219	224
2	16	5	0	180	214	219	216
2	17	1.25	1.25	0	184	181	187
2	18	1.25	1.25	60	221	221	223
2	19	1.25	1.25	120	220	217	221
2	20	1.25	1.25	180	221	226	227
2	21	2.5	2.5	0	198	200	194
2	22	2.5	2.5	60	219	217	220
2	23	2.5	2.5	120	205	210	206
2	24	2.5	2.5	180	200	205	207
2	25	5	5	0	200	195	202
2	26	5	5	60	205	206	210
2	27	5	5	120	220	227	218
2	28	5	5	180	211	218	212

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O	Altura (cm)		
		2017	2019	Kg ha ⁻¹	Planta 1	Planta 2	Planta 3
3	1	0	0	0	191	190	192
3	2	0	0	60	205	204	207
3	3	0	0	120	200	196	197
3	4	0	0	180	219	224	220
3	5	1.25	0	0	221	215	216
3	6	1.25	0	60	215	213	216
3	7	1.25	0	120	212	211	215
3	8	1.25	0	180	206	204	202
3	9	2.5	0	0	214	210	215
3	10	2.5	0	60	230	234	236
3	11	2.5	0	120	220	221	224
3	12	2.5	0	180	214	210	215
3	13	5	0	0	201	197	196
3	14	5	0	60	220	212	215
3	15	5	0	120	214	217	218
3	16	5	0	180	217	219	221
3	17	1.25	1.25	0	205	203	205
3	18	1.25	1.25	60	231	231	226
3	19	1.25	1.25	120	212	215	216
3	20	1.25	1.25	180	225	229	230
3	21	2.5	2.5	0	213	210	210
3	22	2.5	2.5	60	209	214	212
3	23	2.5	2.5	120	215	209	208
3	24	2.5	2.5	180	203	204	202
3	25	5	5	0	214	221	220
3	26	5	5	60	193	187	194
3	27	5	5	120	224	220	223
3	28	5	5	180	222	224	227

Rep= repetición; Trat=Tratamiento

Monitoreo de la nutrición nitrogenada: GreenSeeker.

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O	NDVI	
		2017	2019	Kg ha ⁻¹	V10	V12
1	1	0	0	0	0.743	0.801
1	2	0	0	60	0.772	0.803
1	3	0	0	120	0.776	0.820
1	4	0	0	180	0.780	0.810
1	5	1.25	0	0	0.746	0.786
1	6	1.25	0	60	0.815	0.843
1	7	1.25	0	120	0.819	0.829
1	8	1.25	0	180	0.773	0.809
1	9	2.5	0	0	0.763	0.815
1	10	2.5	0	60	0.783	0.811
1	11	2.5	0	120	0.798	0.811
1	12	2.5	0	180	0.774	0.812
1	13	5	0	0	0.787	0.815
1	14	5	0	60	0.761	0.813
1	15	5	0	120	0.760	0.801
1	16	5	0	180	0.761	0.804
1	17	1.25	1.25	0	0.734	0.784
1	18	1.25	1.25	60	0.819	0.836
1	19	1.25	1.25	120	0.829	0.826
1	20	1.25	1.25	180	0.786	0.812
1	21	2.5	2.5	0	0.786	0.818
1	22	2.5	2.5	60	0.800	0.826
1	23	2.5	2.5	120	0.789	0.808
1	24	2.5	2.5	180	0.779	0.810
1	25	5	5	0	0.808	0.810
1	26	5	5	60	0.784	0.806
1	27	5	5	120	0.787	0.822

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O	NDVI	
		2017	2019	Kg ha ⁻¹	V10	V12
1	28	5	5	180	0.788	0.809
2	1	0	0	0	0.773	0.789
2	2	0	0	60	0.762	0.779
2	3	0	0	120	0.774	0.787
2	4	0	0	180	0.813	0.810
2	5	1.25	0	0	0.787	0.800
2	6	1.25	0	60	0.773	0.798
2	7	1.25	0	120	0.808	0.796
2	8	1.25	0	180	0.814	0.810
2	9	2.5	0	0	0.769	0.794
2	10	2.5	0	60	0.769	0.797
2	11	2.5	0	120	0.779	0.798
2	12	2.5	0	180	0.785	0.797
2	13	5	0	0	0.792	0.795
2	14	5	0	60	0.807	0.826
2	15	5	0	120	0.777	0.794
2	16	5	0	180	0.795	0.806
2	17	1.25	1.25	0	0.763	0.794
2	18	1.25	1.25	60	0.794	0.809
2	19	1.25	1.25	120	0.809	0.813
2	20	1.25	1.25	180	0.808	0.816
2	21	2.5	2.5	0	0.799	0.812
2	22	2.5	2.5	60	0.793	0.801
2	23	2.5	2.5	120	0.798	0.795
2	24	2.5	2.5	180	0.796	0.792
2	25	5	5	0	0.804	0.808
2	26	5	5	60	0.787	0.798
2	27	5	5	120	0.817	0.805
2	28	5	5	180	0.820	0.816

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O	NDVI	
		2017	2019	Kg ha ⁻¹	V10	V12
3	1	0	0	0	0.791	0.787
3	2	0	0	60	0.800	0.793
3	3	0	0	120	0.820	0.807
3	4	0	0	180	0.820	0.801
3	5	1.25	0	0	0.792	0.801
3	6	1.25	0	60	0.825	0.819
3	7	1.25	0	120	0.793	0.772
3	8	1.25	0	180	0.797	0.791
3	9	2.5	0	0	0.793	0.797
3	10	2.5	0	60	0.809	0.789
3	11	2.5	0	120	0.787	0.789
3	12	2.5	0	180	0.791	0.798
3	13	5	0	0	0.826	0.802
3	14	5	0	60	0.804	0.808
3	15	5	0	120	0.810	0.805
3	16	5	0	180	0.813	0.803
3	17	1.25	1.25	0	0.808	0.811
3	18	1.25	1.25	60	0.816	0.784
3	19	1.25	1.25	120	0.792	0.805
3	20	1.25	1.25	180	0.810	0.797
3	21	2.5	2.5	0	0.793	0.803
3	22	2.5	2.5	60	0.819	0.795
3	23	2.5	2.5	120	0.796	0.793
3	24	2.5	2.5	180	0.802	0.800
3	25	5	5	0	0.800	0.798
3	26	5	5	60	0.804	0.789
3	27	5	5	120	0.808	0.799
3	28	5	5	180	0.809	0.805

Rep= repetición; Trat=Tratamiento

Clorofila en las hojas de maíz: SPAD.

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O Kg ha ⁻¹	Unidades SPAD					
		2017	2019		Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja 4	Hoja 5	Hoja 6
1	1	0	0	0	36.6	37.9	38.0	38.7	36.9	37.5
1	2	0	0	60	35.1	34.5	37.1	37.0	37.6	36.3
1	3	0	0	120	33.8	34.5	31.2	35.0	35.6	31.7
1	4	0	0	180	36.9	37.5	36.8	31.5	33.8	36.5
1	5	1.25	0	0	45.0	49.8	55.9	42.8	51.2	52.8
1	6	1.25	0	60	41.1	40.3	34.2	39.5	34.0	36.8
1	7	1.25	0	120	30.8	32.5	29.4	36.5	33.4	37.5
1	8	1.25	0	180	37.2	38.7	41.0	33.4	46.7	32.4
1	9	2.5	0	0	41.6	39.5	36.7	47.8	47.7	42.3
1	10	2.5	0	60	32.7	32.7	31.5	35.6	32.6	34.4
1	11	2.5	0	120	44.0	38.2	44.0	36.1	44.6	53.5
1	12	2.5	0	180	34.2	35.0	33.7	37.4	39.5	39.3
1	13	5	0	0	39.6	38.1	35.8	39.2	45.0	47.5
1	14	5	0	60	33.1	35.0	38.7	38.4	37.0	39.4
1	15	5	0	120	39.9	43.4	56.2	37.6	50.2	62.0
1	16	5	0	180	35.4	49.6	36.8	37.4	51.0	39.2
1	17	1.25	1.25	0	49.3	47.5	51.6	41.9	47.1	49.9
1	18	1.25	1.25	60	42.3	51.6	43.5	44.9	38.7	49.2
1	19	1.25	1.25	120	29.1	32.4	28.0	36.4	38.2	36.1
1	20	1.25	1.25	180	32.9	40.3	38.6	40.2	31.3	34.6
1	21	2.5	2.5	0	49.3	53.0	48.6	43.3	41.6	43.5
1	22	2.5	2.5	60	42.2	36.9	50.0	50.9	37.3	36.5
1	23	2.5	2.5	120	52.0	31.0	44.0	38.5	35.0	29.6
1	24	2.5	2.5	180	39.8	30.9	32.8	37.0	39.0	48.0
1	25	5	5	0	45.4	30.7	43.5	49.5	34.6	36.5
1	26	5	5	60	34.8	35.3	45.0	40.0	41.3	37.3
1	27	5	5	120	46.8	42.7	54.4	60.5	50.1	42.9

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O	Unidades SPAD					
		2017	2019	Kg ha ⁻¹	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja 4	Hoja 5	Hoja 6
1	28	5	5	180	49.6	39.3	37.7	37.3	30.6	38.5
2	1	0	0	0	46.3	43.2	34.0	52.8	44.0	54.2
2	2	0	0	60	30.9	38.2	37.0	35.2	44.9	28.2
2	3	0	0	120	38.1	34.4	32.2	35.1	34.6	31.6
2	4	0	0	180	41.6	38.9	30.6	46.8	39.9	35.8
2	5	1.25	0	0	50.7	44.0	36.5	32.0	35.2	20.9
2	6	1.25	0	60	37.9	36.8	50.1	54.2	48.7	43.5
2	7	1.25	0	120	34.7	35.3	44.8	45.6	46.1	35.8
2	8	1.25	0	180	34.3	44.8	34.3	35.5	39.7	34.3
2	9	2.5	0	0	41.5	42.7	35.0	45.3	54.1	32.0
2	10	2.5	0	60	43.7	42.1	39.8	32.2	36.3	44.5
2	11	2.5	0	120	54.6	39.6	22.0	33.2	57.6	46.7
2	12	2.5	0	180	57.2	30.1	30.2	33.2	50.6	56.0
2	13	5	0	0	41.9	58.8	39.7	45.1	47.2	39.6
2	14	5	0	60	46.8	33.4	32.5	48.4	33.2	34.2
2	15	5	0	120	36.6	34.9	40.8	31.1	30.8	36.1
2	16	5	0	180	43.9	31.2	47.0	36.5	34.3	35.6
2	17	1.25	1.25	0	38.4	31.2	41.8	36.1	45.2	46.2
2	18	1.25	1.25	60	41.2	56.2	44.2	40.9	54.4	51.2
2	19	1.25	1.25	120	33.4	31.0	38.3	46.6	37.7	41.0
2	20	1.25	1.25	180	41.1	36.4	38.9	36.2	48.0	39.0
2	21	2.5	2.5	0	33.4	38.9	31.7	40.1	32.1	42.3
2	22	2.5	2.5	60	36.5	42.8	47.9	43.9	48.7	49.2
2	23	2.5	2.5	120	54.9	34.9	47.4	46.3	41.6	51.5
2	24	2.5	2.5	180	34.4	33.0	34.2	53.8	35.1	27.5
2	25	5	5	0	53.8	47.0	45.3	53.4	55.1	53.3
2	26	5	5	60	45.7	32.9	28.9	26.4	34.2	44.0
2	27	5	5	120	40.9	41.5	48.8	41.8	40.0	31.4
2	28	5	5	180	40.0	39.3	42.2	37.2	42.1	43.1

Rep.	Trat.	Yeso t ha ⁻¹		K ₂ O Kg ha ⁻¹	Unidades SPAD					
		2017	2019		Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja 4	Hoja 5	Hoja 6
3	1	0	0	0	38.7	38.7	34.5	29.3	36.2	33.1
3	2	0	0	60	43.1	44.6	44.8	43.5	47.5	41.1
3	3	0	0	120	44.8	39.0	36.3	33.6	39.7	38.9
3	4	0	0	180	43.8	49.6	55.5	53.1	45.2	47.9
3	5	1.25	0	0	40.3	42.1	46.7	46.7	39.2	42.3
3	6	1.25	0	60	44.4	54.4	44.0	44.4	51.8	41.2
3	7	1.25	0	120	47.6	49.7	39.3	48.5	57.1	45.1
3	8	1.25	0	180	39.7	47.7	59.4	51.4	39.8	41.0
3	9	2.5	0	0	40.4	56.9	34.8	41.8	37.8	47.6
3	10	2.5	0	60	53.9	55.6	54.8	51.4	51.0	47.6
3	11	2.5	0	120	34.1	29.1	37.2	31.4	33.3	37.1
3	12	2.5	0	180	35.0	39.2	32.6	36.0	37.6	30.0
3	13	5	0	0	39.6	49.2	51.3	43.0	16.4	38.9
3	14	5	0	60	37.1	47.3	47.1	44.5	40.6	55.4
3	15	5	0	120	37.2	39.0	44.9	50.4	53.3	46.7
3	16	5	0	180	50.7	33.3	55.9	49.9	33.2	33.1
3	17	1.25	1.25	0	39.1	63.0	61.9	47.4	55.7	54.6
3	18	1.25	1.25	60	36.6	49.2	41.0	43.1	46.9	46.5
3	19	1.25	1.25	120	44.8	30.9	26.6	24.5	47.8	48.2
3	20	1.25	1.25	180	38.7	34.2	35.3	51.3	46.1	31.1
3	21	2.5	2.5	0	48.1	39.5	35.6	34.0	37.1	36.7
3	22	2.5	2.5	60	55.5	43.5	31.0	29.3	22.3	40.0
3	23	2.5	2.5	120	52.3	36.8	35.3	53.2	37.6	40.8
3	24	2.5	2.5	180	58.8	55.9	34.5	31.4	37.8	33.1
3	25	5	5	0	38.7	28.9	42.2	42.2	57.6	49.7
3	26	5	5	60	41.7	40.4	51.5	33.7	39.6	37.0
3	27	5	5	120	38.8	56.6	60.6	37.4	60.6	49.2
3	28	5	5	180	43.8	34.6	32.3	31.2	32.5	34.1

Rep= repetición; Trat=Tratamiento

pH H₂O y KCl, aluminio y bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na), fósforo Bray II en la profundidad de 0 a 7 cm.

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	pH H ₂ O	pH KCl	Al*	Ca*	Mg*	K*	Na*	P ppm
		2017	2019									
1	1	0	0	0	4.5	3.7	0.0	0.7	0.2	0.2	0.02	50.0
1	2	0	0	60	6.0	4.5	0.1	1.0	0.4	0.2	t	59.0
1	3	0	0	120	5.8	5.2	0.0	1.8	0.7	0.3	0.05	57.6
1	4	0	0	180	4.8	4.0	0.3	1.0	0.4	0.2	0.08	31.3
1	5	1.25	0	0	5.2	4.4	0.1	1.7	0.6	0.2	0.09	31.0
1	6	1.25	0	60	5.5	4.9	0.1	2.1	0.9	0.3	0.06	43.0
1	7	1.25	0	120	5.4	4.9	0.1	1.7	0.6	0.2	0.06	49.0
1	8	1.25	0	180	6.1	5.4	0.1	1.5	0.6	0.2	0.05	38.2
1	9	2.5	0	0	5.4	4.6	0.1	2.1	0.5	0.1	0.07	49.8
1	10	2.5	0	60	5.1	4.4	0.1	1.6	0.3	0.2	0.02	32.1
1	11	2.5	0	120	5.8	5.1	0.1	2.5	0.5	0.2	0.03	37.7
1	12	2.5	0	180	5.3	4.5	0.1	1.7	0.5	0.3	0.03	34.9
1	13	5	0	0	5.7	5.1	0.0	1.8	0.3	0.1	0.01	48.0
1	14	5	0	60	6.4	5.6	0.0	2.1	0.3	0.2	0.04	35.8
1	15	5	0	120	5.2	4.5	0.1	1.7	0.6	0.3	0.01	29.4
1	16	5	0	180	6.4	5.9	0.0	3.4	0.5	0.2	0.02	35.3
1	17	1.25	1.25	0	5.5	4.3	0.2	1.8	0.3	0.2	0.04	87.0
1	18	1.25	1.25	60	6.2	5.5	0.0	3.2	0.6	0.2	0.01	75.0
1	19	1.25	1.25	120	5.6	4.7	0.1	1.5	0.2	0.2	0.03	72.0
1	20	1.25	1.25	180	5.6	4.9	0.0	2.3	0.3	0.2	0.02	68.0
1	21	2.5	2.5	0	6.0	5.6	0.0	3.8	0.3	0.1	0.03	78.0
1	22	2.5	2.5	60	6.2	5.1	0.0	3.1	0.2	0.2	t	94.0
1	23	2.5	2.5	120	6.8	6.1	0.0	3.8	0.5	0.2	0.07	86.0
1	24	2.5	2.5	180	6.2	5.4	0.0	2.8	0.1	0.1	0.01	92.0
1	25	5	5	0	6.4	5.8	0.0	4.1	0.3	0.1	0.02	76.0
1	26	5	5	60	5.9	5.1	0.0	3.0	0.2	0.1	0.03	72.0

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	pH H ₂ O	pH KCl	Al*	Ca*	Mg*	K*	Na*	P ppm
		2017	2019									
1	27	5	5	120	6.3	5.6	0.0	3.3	0.2	0.1	0.02	87.0
1	28	5	5	180	6.0	5.6	0.0	3.6	0.2	0.1	0.01	89.0
2	1	0	0	0	5.2	4.5	0.1	1.4	0.6	0.3	0.01	48.0
2	2	0	0	60	5.2	4.5	0.1	1.1	0.6	0.3	0.03	59.0
2	3	0	0	120	5.0	4.2	0.0	1.1	0.5	0.3	0.05	56.0
2	4	0	0	180	5.0	4.0	0.6	0.5	0.3	0.2	0.01	35.0
2	5	1.25	0	0	4.6	3.8	0.3	0.8	0.4	0.1	0.09	36.0
2	6	1.25	0	60	6.2	5.0	0.0	1.8	0.5	0.2	0.04	41.1
2	7	1.25	0	120	5.9	5.2	0.0	2.0	0.6	0.4	0.07	49.2
2	8	1.25	0	180	6.1	5.0	0.0	1.8	0.4	0.3	0.04	34.3
2	9	2.5	0	0	5.2	4.5	0.0	1.4	0.5	0.1	0.06	49.0
2	10	2.5	0	60	5.2	4.5	0.1	1.9	0.5	0.2	0.09	38.6
2	11	2.5	0	120	5.5	4.8	0.0	1.5	0.6	0.3	0.04	37.2
2	12	2.5	0	180	4.9	4.0	0.4	0.7	0.3	0.2	0.03	38.8
2	13	5	0	0	5.2	4.5	0.0	2.4	0.7	0.1	0.06	44.7
2	14	5	0	60	5.3	4.7	0.1	2.2	0.3	0.2	0.07	33.0
2	15	5	0	120	6.0	5.4	0.0	2.6	0.5	0.2	0.03	29.9
2	16	5	0	180	5.4	4.7	0.0	3.0	0.5	0.3	0.03	32.0
2	17	1.25	1.25	0	5.5	4.8	0.1	2.0	0.4	0.1	0.04	72.0
2	18	1.25	1.25	60	5.6	4.5	0.1	1.9	0.3	0.2	0.02	88.0
2	19	1.25	1.25	120	6.0	5.1	0.0	2.5	0.4	0.2	0.03	66.0
2	20	1.25	1.25	180	5.6	4.6	0.0	2.5	0.4	0.2	0.02	76.0
2	21	2.5	2.5	0	5.6	4.4	0.1	2.2	0.2	0.1	0.03	81.0
2	22	2.5	2.5	60	5.9	5.1	0.1	3.0	0.2	0.2	0.04	84.0
2	23	2.5	2.5	120	5.9	4.7	0.0	3.0	0.3	0.3	0.02	84.0
2	24	2.5	2.5	180	5.7	4.8	0.0	1.8	0.2	0.3	0.03	90.0
2	25	5	5	0	6.5	6.1	0.0	6.8	0.3	0.1	0.01	73.0
2	26	5	5	60	6.1	5.5	0.0	3.4	0.2	0.2	t	72.0
2	27	5	5	120	6.5	6.0	0.0	6.5	0.3	0.2	0.03	91.0

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	pH H ₂ O	pH KCl	Al*	Ca*	Mg*	K*	Na*	P ppm
		2017	2019									
2	28	5	5	180	6.3	5.6	0.0	3.4	0.1	0.2	t	99.0
3	1	0	0	0	5.2	4.4	0.1	1.0	0.6	0.3	0.03	54.0
3	2	0	0	60	5.4	4.9	0.0	1.7	0.7	0.3	0.02	49.0
3	3	0	0	120	5.2	4.6	0.0	1.9	0.9	0.3	0.01	56.0
3	4	0	0	180	5.3	4.6	0.1	1.8	0.6	0.5	0.02	31.2
3	5	1.25	0	0	4.6	3.7	0.0	1.5	0.7	0.2	0.03	32.0
3	6	1.25	0	60	4.8	3.8	0.0	1.4	0.7	0.2	0.05	39.7
3	7	1.25	0	120	4.5	3.7	0.0	1.7	0.5	0.2	0.06	43.0
3	8	1.25	0	180	4.8	3.9	0.0	1.5	0.6	0.2	0.02	31.2
3	9	2.5	0	0	4.8	3.9	0.0	1.8	0.5	0.2	0.05	40.7
3	10	2.5	0	60	6.2	5.4	0.0	2.4	0.8	0.2	0.03	35.4
3	11	2.5	0	120	5.8	4.7	0.1	1.4	0.3	0.2	0.04	45.6
3	12	2.5	0	180	5.3	4.8	0.0	2.1	0.7	0.2	0.05	69.0
3	13	5	0	0	4.6	4.0	0.3	1.0	0.2	0.1	0.03	44.2
3	14	5	0	60	6.5	5.7	0.0	1.0	0.3	0.2	t	33.6
3	15	5	0	120	6.0	5.4	0.0	2.4	0.4	0.2	t	28.0
3	16	5	0	180	6.2	5.4	0.0	3.0	0.5	0.3	0.03	32.5
3	17	1.25	1.25	0	5.6	4.6	0.1	1.7	0.4	0.2	0.01	56.0
3	18	1.25	1.25	60	5.6	4.5	0.1	1.6	0.3	0.2	0.02	87.0
3	19	1.25	1.25	120	5.4	4.4	0.1	1.7	0.3	0.2	0.01	76.0
3	20	1.25	1.25	180	5.7	4.9	0.0	2.2	0.5	0.2	0.02	88.0
3	21	2.5	2.5	0	5.8	4.4	0.0	2.2	0.3	0.2	0.03	81.0
3	22	2.5	2.5	60	5.8	4.7	0.1	2.0	0.1	0.1	0.01	72.3
3	23	2.5	2.5	120	5.7	4.7	0.0	2.1	0.1	0.2	0.02	86.0
3	24	2.5	2.5	180	6.1	5.2	0.0	2.5	0.4	0.2	0.03	92.0
3	25	5	5	0	5.8	5.1	0.0	3.4	0.2	0.1	0.03	75.0
3	26	5	5	60	6.2	5.2	0.0	3.2	0.5	0.3	0.04	74.0
3	27	5	5	120	6.6	6.0	0.1	4.4	0.4	0.2	0.01	92.0
3	28	5	5	180	6.1	5.3	0.0	3.3	0.2	0.2	0.08	89.0

Rep= repetición; Trat=Tratamiento; Al= aluminio; Ca= calcio; Mg=magnesio; K= potasio; Na= sodio; P=fósforo; *=elementos intercambiables; ppm= partes por millón.

pH H₂O y KCl, aluminio y bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na), fósforo Bray II en la profundidad 7 a 14 cm.

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	pH H ₂ O	pH KCl	Al	Ca	Mg	K	Na	P ppm
		2017	2019									
1	1	0	0	0	4.4	3.6	0.5	0.4	0.1	0.1	0.03	47.3
1	2	0	0	60	5.0	3.8	0.6	0.4	0.2	0.1	0.02	42.7
1	3	0	0	120	4.7	3.8	0.7	0.5	0.3	0.1	0.01	25.3
1	4	0	0	180	4.4	3.6	1.2	0.3	0.1	0.1	0.03	25.2
1	5	1.25	0	0	4.4	3.7	1.3	0.4	0.1	0.1	0.04	20.7
1	6	1.25	0	60	4.8	3.9	0.0	1.1	0.5	0.1	0.05	25.0
1	7	1.25	0	120	6.3	5.6	0.1	1.1	0.4	0.2	0.06	32.0
1	8	1.25	0	180	4.4	3.7	0.7	0.5	0.2	0.2	0.04	31.5
1	9	2.5	0	0	5.0	4.0	0.3	1.4	0.3	0.1	0.05	47.3
1	10	2.5	0	60	4.6	3.7	0.5	0.5	0.1	0.1	0.06	34.4
1	11	2.5	0	120	5.1	4.1	0.0	0.9	0.2	0.2	t	35.5
1	12	2.5	0	180	4.6	3.7	0.5	0.8	0.2	0.2	0.01	43.5
1	13	5	0	0	4.6	3.8	0.6	0.6	0.1	0.1	0.04	35.0
1	14	5	0	60	5.0	4.0	0.5	1.1	0.1	0.1	0.01	35.0
1	15	5	0	120	4.3	3.7	1.4	0.4	0.1	0.2	0.03	41.1
1	16	5	0	180	4.5	3.7	0.4	0.3	0.1	0.2	0.07	54.0
1	17	1.25	1.25	0	5.2	4.0	0.3	1.4	0.3	0.1	0.01	86.0
1	18	1.25	1.25	60	6.2	5.3	0.0	2.7	0.6	0.1	0.02	81.0
1	19	1.25	1.25	120	5.1	4.1	0.1	1.3	0.2	0.1	0.01	72.0
1	20	1.25	1.25	180	5.0	4.0	0.2	1.3	0.3	0.2	0.05	69.0
1	21	2.5	2.5	0	6.3	5.6	0.0	3.0	0.3	0.1	t	85.0
1	22	2.5	2.5	60	6.0	5.4	0.0	2.3	0.2	0.1	t	81.0
1	23	2.5	2.5	120	6.2	5.3	0.0	2.8	0.4	0.1	0.02	81.0
1	24	2.5	2.5	180	5.6	4.5	0.2	1.9	0.2	0.1	t	77.0

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	pH	pH	Al	Ca	Mg	K	Na	P
		2017	2019		H ₂ O	KCl						
1	25	5	5	0	6.2	5.2	0.0	2.6	0.2	0.1	0.02	82.0
1	26	5	5	60	5.8	5.3	0.1	2.3	0.1	0.2	0.08	93.3
1	27	5	5	120	5.3	4.5	0.2	2.2	0.2	0.1	0.03	88.0
1	28	5	5	180	5.6	4.9	0.1	2.2	0.1	0.1	0.01	92.0
2	1	0	0	0	4.8	3.9	0.1	0.6	0.3	0.2	0.02	46.5
2	2	0	0	60	4.3	3.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.04	53.0
2	3	0	0	120	4.8	3.8	1.0	0.3	0.2	0.2	0.02	26.2
2	4	0	0	180	6.2	5.6	0.0	2.5	0.9	0.3	0.02	27.0
2	5	1.25	0	0	4.4	3.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.04	21.3
2	6	1.25	0	60	5.6	4.2	0.3	0.6	0.2	0.2	0.05	25.3
2	7	1.25	0	120	4.9	3.9	0.4	0.5	0.2	0.1	0.03	33.5
2	8	1.25	0	180	4.7	3.7	0.7	0.7	0.2	0.2	0.03	34.0
2	9	2.5	0	0	4.6	3.8	0.7	0.9	0.2	0.2	0.05	44.4
2	10	2.5	0	60	4.5	3.8	0.4	0.7	0.2	0.2	0.03	36.3
2	11	2.5	0	120	4.9	3.9	0.3	1.0	0.4	0.2	0.02	33.5
2	12	2.5	0	180	4.9	3.8	0.4	0.2	0.1	0.2	0.02	40.5
2	13	5	0	0	4.5	3.7	0.3	0.3	0.1	0.2	0.02	32.5
2	14	5	0	60	5.2	4.1	0.2	0.6	0.1	0.2	0.02	41.6
2	15	5	0	120	4.5	3.7	0.1	0.8	0.2	0.2	0.09	39.5
2	16	5	0	180	4.6	3.6	0.1	0.5	0.1	0.1	0.04	54.0
2	17	1.25	1.25	0	5.2	4.3	0.3	1.4	0.3	0.1	t	84.0
2	18	1.25	1.25	60	5.3	4.0	0.3	1.6	0.3	0.2	t	71.0
2	19	1.25	1.25	120	5.4	4.4	0.2	1.7	0.3	0.2	0.04	75.0
2	20	1.25	1.25	180	5.4	4.2	0.3	1.2	0.3	0.2	0.03	70.0
2	21	2.5	2.5	0	5.4	4.6	0.0	1.7	0.2	0.1	0.06	69.0
2	22	2.5	2.5	60	5.8	4.9	0.1	3.0	0.2	0.1	0.02	77.0
2	23	2.5	2.5	120	5.5	4.7	0.1	2.3	0.3	0.2	0.03	72.0
2	24	2.5	2.5	180	5.4	4.3	0.1	1.3	0.2	0.2	t	83.0
2	25	5	5	0	5.4	4.5	0.2	2.4	0.2	0.1	0.03	75.0

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	pH H ₂ O	pH KCl	Al	Ca	Mg	K	Na	P ppm
		2017	2019									
2	26	5	5	60	5.6	4.7	0.1	2.2	0.2	0.2	0.07	90.0
2	27	5	5	120	6.1	5.2	0.1	2.7	0.3	0.2	0.01	84.5
2	28	5	5	180	5.7	4.7	0.1	2.0	0.1	0.2	t	86.0
3	1	0	0	0	4.6	3.8	0.7	0.3	0.1	0.2	0.04	43.3
3	2	0	0	60	4.8	3.9	0.0	0.6	0.2	0.2	0.04	54.0
3	3	0	0	120	6.5	5.1	0.0	0.9	0.3	0.2	0.04	23.7
3	4	0	0	180	5.8	5.0	0.6	0.5	0.1	0.2	0.03	24.5
3	5	1.25	0	0	5.5	4.8	0.6	0.6	0.2	0.2	0.03	21.8
3	6	1.25	0	60	5.0	4.3	0.4	1.4	0.5	0.2	0.03	24.6
3	7	1.25	0	120	6.0	5.0	0.6	0.5	0.2	0.1	0.05	35.6
3	8	1.25	0	180	5.6	4.9	0.9	0.7	0.3	0.2	0.05	27.0
3	9	2.5	0	0	4.6	3.8	0.7	1.0	0.3	0.2	0.05	47.0
3	10	2.5	0	60	4.8	3.8	0.4	0.8	0.1	0.2	0.05	41.0
3	11	2.5	0	120	4.8	3.8	0.2	0.5	0.2	0.1	0.02	39.9
3	12	2.5	0	180	4.3	3.6	1.1	0.2	0.1	0.2	0.07	47.8
3	13	5	0	0	4.3	3.6	1.0	2.2	0.6	0.2	0.01	32.3
3	14	5	0	60	5.9	4.5	0.0	1.1	0.3	0.1	0.01	33.2
3	15	5	0	120	4.5	3.9	0.6	0.6	0.1	0.1	0.01	44.6
3	16	5	0	180	4.8	3.8	0.6	0.7	0.2	0.1	0.01	49.0
3	17	1.25	1.25	0	5.7	4.5	0.0	1.8	0.5	0.2	0.06	85.0
3	18	1.25	1.25	60	5.4	4.3	0.0	1.6	0.3	0.2	0.00	76.0
3	19	1.25	1.25	120	5.1	4.1	0.4	1.4	0.2	0.2	0.03	82.0
3	20	1.25	1.25	180	5.7	4.6	0.0	1.8	0.4	0.2	0.03	75.0
3	21	2.5	2.5	0	5.7	4.7	0.0	2.0	0.3	0.1	0.02	69.0
3	22	2.5	2.5	60	5.1	4.2	0.0	1.5	0.2	0.1	0.04	80.0
3	23	2.5	2.5	120	5.0	4.0	0.0	1.2	0.1	0.1	0.03	73.4
3	24	2.5	2.5	180	5.5	4.2	0.4	1.2	0.3	0.2	0.04	70.0
3	25	5	5	0	5.3	4.3	0.2	2.2	0.2	0.1	0.01	86.0
3	26	5	5	60	5.7	4.5	0.1	2.0	0.5	0.2	0.02	89.0

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	pH H ₂ O	pH KCl	Al	Ca	Mg	K	Na	P
		2017	2019									
3	27	5	5	120	6.1	5.4	0.1	2.8	0.5	0.2	0.16	85.0
3	28	5	5	180	5.6	4.6	0.0	2.3	0.2	0.2	0.01	101.0

Rep= repetición; Trat=Tratamiento; Al= aluminio; Ca= calcio; Mg=magnesio; K= potasio; Na= sodio; P=fósforo; *=elementos intercambiables; ppm= partes por millón.

Cuadro de relaciones calculadas en la profundidad de 0 a 7 cm.

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	Relaciones		
		2017	2019		Ca/Mg	Ca/K	Ca+Mg/K
1	1	0	0	0	2.7	3.6	4.9
1	2	0	0	60	2.4	5.5	7.9
1	3	0	0	120	2.5	6.9	9.6
1	4	0	0	180	2.5	4.8	6.8
1	5	1.25	0	0	2.9	9.2	12.4
1	6	1.25	0	60	2.4	7.4	10.5
1	7	1.25	0	120	2.8	7.6	10.2
1	8	1.25	0	180	2.7	6.5	8.9
1	9	2.5	0	0	4.2	13.4	16.5
1	10	2.5	0	60	5.0	7.1	8.5
1	11	2.5	0	120	4.7	14.0	17.0
1	12	2.5	0	180	3.7	5.2	6.6
1	13	5	0	0	6.0	10.2	11.9
1	14	5	0	60	6.2	13.2	15.3
1	15	5	0	120	3.0	6.7	8.9
1	16	5	0	180	6.7	14.7	16.9
1	17	1.25	1.25	0	5.6	12.0	14.2
1	18	1.25	1.25	60	5.5	16.1	19.1
1	19	1.25	1.25	120	8.3	9.7	10.9
1	20	1.25	1.25	180	7.2	14.1	16.0
1	21	2.5	2.5	0	11.4	27.7	30.2
1	22	2.5	2.5	60	15.7	19.3	20.6
1	23	2.5	2.5	120	7.6	20.7	23.4
1	24	2.5	2.5	180	20.0	21.4	22.5
1	25	5	5	0	16.5	33.0	35.0
1	26	5	5	60	19.0	22.0	23.2
1	27	5	5	120	16.4	24.8	26.4

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	Relaciones		
		2017	2019		Ca/Mg	Ca/K	Ca+Mg/K
1	28	5	5	180	17.4	25.8	27.3
2	1	0	0	0	2.2	5.4	7.9
2	2	0	0	60	1.9	4.2	6.3
2	3	0	0	120	2.1	3.6	5.3
2	4	0	0	180	1.9	2.8	4.3
2	5	1.25	0	0	2.0	5.5	8.3
2	6	1.25	0	60	3.4	7.7	9.9
2	7	1.25	0	120	3.3	5.2	6.8
2	8	1.25	0	180	4.2	5.7	7.1
2	9	2.5	0	0	2.9	4.9	6.6
2	10	2.5	0	60	3.7	8.2	10.4
2	11	2.5	0	120	2.6	4.4	6.0
2	12	2.5	0	180	2.3	3.0	4.3
2	13	5	0	0	3.5	12.4	15.9
2	14	5	0	60	8.3	11.6	13.0
2	15	5	0	120	5.1	11.6	13.9
2	16	5	0	180	5.9	11.3	13.2
2	17	1.25	1.25	0	4.8	17.1	20.7
2	18	1.25	1.25	60	5.5	9.5	11.2
2	19	1.25	1.25	120	6.0	11.3	13.2
2	20	1.25	1.25	180	6.5	12.2	14.1
2	21	2.5	2.5	0	9.5	16.9	18.7
2	22	2.5	2.5	60	13.9	17.9	19.2
2	23	2.5	2.5	120	8.8	10.1	11.2
2	24	2.5	2.5	180	7.6	6.4	7.2
2	25	5	5	0	24.4	48.7	50.7
2	26	5	5	60	20.9	19.4	20.4
2	27	5	5	120	22.6	31.1	32.5
2	28	5	5	180	30.7	20.0	20.7

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	Relaciones		
		2017	2019		Ca/Mg	Ca/K	Ca+Mg/K
3	1	0	0	0	1.9	2.4	3.6
3	2	0	0	60	2.3	5.1	7.4
3	3	0	0	120	2.0	7.0	10.5
3	4	0	0	180	2.9	3.5	4.8
3	5	1.25	0	0	2.3	7.4	10.6
3	6	1.25	0	60	2.1	8.2	12.2
3	7	1.25	0	120	3.3	8.6	11.1
3	8	1.25	0	180	2.6	8.9	12.3
3	9	2.5	0	0	3.4	5.7	7.5
3	10	2.5	0	60	3.1	13.1	17.3
3	11	2.5	0	120	4.2	7.6	9.5
3	12	2.5	0	180	2.9	8.8	11.9
3	13	5	0	0	4.1	11.0	13.6
3	14	5	0	60	3.5	5.8	7.4
3	15	5	0	120	6.7	14.9	17.2
3	16	5	0	180	5.5	9.4	11.1
3	17	1.25	1.25	0	4.0	8.4	10.5
3	18	1.25	1.25	60	6.3	9.1	10.6
3	19	1.25	1.25	120	6.6	10.8	12.4
3	20	1.25	1.25	180	4.9	9.1	10.9
3	21	2.5	2.5	0	8.1	11.1	12.5
3	22	2.5	2.5	60	13.5	14.6	15.7
3	23	2.5	2.5	120	16.4	13.3	14.1
3	24	2.5	2.5	180	6.6	11.3	13.0
3	25	5	5	0	17.8	25.8	27.3
3	26	5	5	60	6.2	12.6	14.6
3	27	5	5	120	11.0	26.9	29.3
3	28	5	5	180	15.4	16.8	17.9

Cuadro de relaciones calculadas en la profundidad de 7 a 14 cm.

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	relaciones		
		2017	2019		Ca/Mg	Ca/K	Ca+Mg/K
1	1	0	0	0	3.5	4.0	5.1
1	2	0	0	60	2.1	2.9	4.3
1	3	0	0	120	1.9	5.3	8.1
1	4	0	0	180	2.7	2.5	3.4
1	5	1.25	0	0	3.3	2.8	3.7
1	6	1.25	0	60	2.3	8.0	11.3
1	7	1.25	0	120	3.1	6.2	8.2
1	8	1.25	0	180	3.0	2.8	3.8
1	9	2.5	0	0	4.2	11.8	14.6
1	10	2.5	0	60	7.0	4.2	4.8
1	11	2.5	0	120	4.3	6.0	7.4
1	12	2.5	0	180	4.7	5.1	6.1
1	13	5	0	0	4.0	4.4	5.5
1	14	5	0	60	10.5	8.9	9.7
1	15	5	0	120	2.6	2.0	2.8
1	16	5	0	180	1.9	1.4	2.1
1	17	1.25	1.25	0	5.1	13.3	15.9
1	18	1.25	1.25	60	4.5	17.8	21.7
1	19	1.25	1.25	120	6.1	10.2	11.9
1	20	1.25	1.25	180	4.9	7.5	9.0
1	21	2.5	2.5	0	9.6	39.9	44.1
1	22	2.5	2.5	60	12.3	18.5	20.0
1	23	2.5	2.5	120	6.5	19.2	22.2
1	24	2.5	2.5	180	12.4	13.8	14.9
1	25	5	5	0	13.2	32.0	34.4
1	26	5	5	60	16.5	14.4	15.2
1	27	5	5	120	12.8	16.1	17.4
1	28	5	5	180	16.0	17.4	18.5
2	1	0	0	0	2.0	3.6	5.4
2	2	0	0	60	1.4	1.3	2.2

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	relaciones		
		2017	2019		Ca/Mg	Ca/K	Ca+Mg/K
2	3	0	0	120	1.7	2.0	3.2
2	4	0	0	180	2.7	8.7	11.9
2	5	1.25	0	0	2.6	2.7	3.8
2	6	1.25	0	60	3.7	2.6	3.3
2	7	1.25	0	120	2.9	4.0	5.4
2	8	1.25	0	180	3.2	3.0	4.0
2	9	2.5	0	0	4.5	5.3	6.5
2	10	2.5	0	60	3.6	4.4	5.6
2	11	2.5	0	120	2.6	5.1	7.1
2	12	2.5	0	180	3.3	1.1	1.4
2	13	5	0	0	3.0	1.8	2.4
2	14	5	0	60	6.1	4.2	4.9
2	15	5	0	120	4.4	3.6	4.4
2	16	5	0	180	5.0	3.9	4.6
2	17	1.25	1.25	0	4.1	12.2	15.2
2	18	1.25	1.25	60	4.5	7.0	8.6
2	19	1.25	1.25	120	5.0	8.4	10.1
2	20	1.25	1.25	180	4.5	6.5	8.0
2	21	2.5	2.5	0	7.4	16.2	18.4
2	22	2.5	2.5	60	12.2	21.4	23.1
2	23	2.5	2.5	120	7.2	12.2	13.8
2	24	2.5	2.5	180	5.4	6.6	7.8
2	25	5	5	0	15.6	22.1	23.5
2	26	5	5	60	14.0	12.0	12.8
2	27	5	5	120	10.6	15.3	16.7
2	28	5	5	180	18.9	13.0	13.7
3	1	0	0	0	2.5	1.6	2.2
3	2	0	0	60	2.7	3.4	4.6
3	3	0	0	120	2.8	6.0	8.1
3	4	0	0	180	3.3	3.1	4.1
3	5	1.25	0	0	3.1	3.7	4.9
3	6	1.25	0	60	2.5	7.6	10.6

Rep.	Trat.	Yeso		K ₂ O kg ha ⁻¹	relaciones		
		2017	2019		Ca/Mg	Ca/K	Ca+Mg/K
3	7	1.25	0	120	2.9	4.3	5.7
3	8	1.25	0	180	2.6	4.1	5.7
3	9	2.5	0	0	3.8	6.7	8.5
3	10	2.5	0	60	5.6	4.9	5.7
3	11	2.5	0	120	2.7	4.5	6.2
3	12	2.5	0	180	2.5	1.2	1.6
3	13	5	0	0	3.4	11.5	14.9
3	14	5	0	60	3.8	7.1	9.0
3	15	5	0	120	6.1	6.7	7.8
3	16	5	0	180	4.2	6.1	7.5
3	17	1.25	1.25	0	3.5	7.2	8.8
3	18	1.25	1.25	60	5.6	10.4	9.2
3	19	1.25	1.25	120	5.8	9.3	8.6
3	20	1.25	1.25	180	4.8	7.9	6.9
3	21	2.5	2.5	0	7.3	14.4	9.3
3	22	2.5	2.5	60	9.7	11.4	12.2
3	23	2.5	2.5	120	16.2	8.6	10.9
3	24	2.5	2.5	180	4.5	6.0	9.6
3	25	5	5	0	13.4	23.2	16.3
3	26	5	5	60	4.2	9.9	12.6
3	27	5	5	120	5.7	13.7	9.2
3	28	5	5	180	14.2	13.0	7.3