

RESPUESTA DEL MAIZ AL FOSFORO Y UN MEJORADOR DE SUELOS EN AREAS YESOSAS DE LA ZONA MEDIA DE SAN LUIS POTOSI

P. Pineda-Mares¹, J. F. Martínez-Montoya²,
A. Amante-Orozco² y V. M. Ruíz-Vera²

¹Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo.
A.P. 8 Bermejillo, Durango. México. 35230.

²Campus SLP-CP. Iturbide 73. Salinas de Hidalgo, SLP. 78600
e-mail: jfmartínez@aragob.es; aamanteo@yahoo.com.mx

RESUMEN. Se determinó el nivel de fertilidad de los suelos yesosos de la Zona Media, y se evaluó el efecto del Fósforo y de un mejorador de suelos en el cultivo del maíz. Se utilizaron dos genotipos de maíz, probando cuatro dosis de Fósforo (00, 60, 80, y 100 kg/ha) y un mejorador de suelos (40 l/ha). Se utilizó un factorial 7x6x2 (sitio, dosis y variedades, respectivamente). El análisis de varianza indicó efectos significativos ($\alpha < 0.10$) en el contenido del Fósforo en la planta para los factores sitio y dosis. Existe una ligera tendencia a aumentar el contenido de Fósforo en la planta con el incremento en la dosis. El análisis de varianza para área foliar mostró efectos significativos ($\alpha < 0.10$) para sitio y variedad en el primer muestreo, en el segundo muestreo solo el factor sitio resultó significativo. Respecto al efecto del mejorador, en el análisis de varianza, con los factores sitios y mejorador, no se encontró efecto significativo de esos factores a la resistencia al penetrómetro. Para los datos agrupados por sitio, en dos de ellos el mejorador disminuyó la resistencia al penetrómetro en forma significativa ($\alpha < 0.10$).

Palabras clave: Suelo yesoso, fertilidad, Fósforo, maíz.

SUMMARY. Determine the level of fertility of gypsic soils of the zone, and to evaluate the effect of Phosphorus and a soil amendment on cultivated maize, were the objectives of this survey. Two maize genotypes were used, providing four Phosphorus doses (00, 60, 80, and 100 kg/ha) and a soil amendment (40 l/ha). The design of treatments was a factorial 7x6x2 (sites, doses and varieties, respectively). The analysis of variance indicated significant differences ($\alpha < 0.10$) in the content of Phosphorus in the plant among sites and doses of fertilization. A slight tendency exists to increase the content of phosphorus in the plant with the increase in the applied dose. The analysis of variance for foliar area showed significant differences ($\alpha < 0.10$) among sites and varieties in the first sampling, in the second sampling only the factor site was significant. Regarding the effect of the soil amendment, the analysis of variance, with sites and amendment as factors, did not find significant effect of those factors on soil resistance to penetrometer. For data grouped by site, the amendment significantly ($\alpha < 0.10$) decreased the soil resistance to penetrometer in two sites.

Key words: Gypsiferous soils, fertility, Phosphorus, maize.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de la Zona Media y Altiplano del estado de San Luis Potosí se caracterizan por tener alto contenido de Calcio, Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o en algunas áreas de ambos (Grande *et al.*, 1967). Los suelos yesosos comprenden una superficie aproximada de 203,950 ha en la Zona Media (Martínez y Nieves, 2001). Los suelos con alto contenido de Yeso se caracterizan por una baja productividad debido al bajo contenido de Fósforo, Potasio, Nitrógeno, Magnesio, Hierro, Materia orgánica, menor Capacidad de

Intercambio Catiónico y poca retención de humedad (Matar y Osman, 1990; Terrazas, 1985; Lagunes, 1985). De lo anterior se infiere una gran necesidad de investigación sobre las cuestiones de fertilidad y productividad de estos suelos, ya que cualquier proyecto de aprovechamiento de un recurso natural en cual se vea involucrado al suelo, deberá contemplar un serio conocimiento del mismo, así como de sus factores asociados (Grande, 1987).

Por las razones anteriormente expuestas resalta la necesidad de conocer la fertilidad y productividad de

los suelos yesosos dada la importancia económica y social relacionada con el cultivo de maíz. El propósito del presente trabajo es evaluar la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada y a la aplicación del Agrosuelo, como mejorador.

ANTECEDENTES

Grande *et al.* (1967) y Grande (1987) mencionan que, de los procesos de acumulación de Yeso en el perfil del suelo, los criterios de mayor interés son dos: a) el Yeso que proviene de los depósitos sedimentarios de los cuales se ha originado el suelo y a consecuencia del lavado, el Yeso se encuentra a cierta profundidad del perfil, y b) el segundo proceso corresponde al Yeso formado por la precipitación del Ca^{++} y SO_4^- durante el proceso de salinización.

El Yeso encontrado en la zona de estudio es de tipo evaporítico del Cretácico Inferior. Presenta capas medianas y gruesas que muestran huellas de disolución y fracturamiento moderado, subyace concordantemente a la caliza de la formación "El Doctor". Pertenece a la formación "Guaxcamá", aflora al Oeste y Sur de Villa Juárez, también al Oeste de El Granjenal, Suroeste de San Isidro, Municipio de Villa Juárez, y Oeste de San Bartolo, Municipio de Rioverde, S.L.P. (INEGI, 1985).

Lagunes (1985) refiere que los suelos yesosos de San Luis Potosí presentan variaciones en su contenido de Yeso, producto de las condiciones topográficas, aunque se mantiene abundante, fluctuando desde 50 a 90%; disminuyendo cuando se encuentra asociado con CaCO_3 . La conductividad eléctrica varía de 2.76 a 3.08 mmhos/cm, el pH de 7.9 a 8.5, y al igual que el Mg, se incrementa con la profundidad, contrariamente al contenido de materia orgánica (1.14 %) y porcentaje de saturación de humedad. Asimismo presentan pobres contenidos de Hierro (1.20 ppm), Potasio (0.14-0.05 meq/100 g de suelo) y Fósforo (1.43 ppm).

Tapia (1981) encuentra que el contenido de materia orgánica va de mediano a muy pobre (1.31-0.42 %), el pH es moderadamente salino (7.8-8.0), el Nitrógeno de mediano a pobre (0.103-0.042%), y el Fósforo de bajo a muy bajo (1.13-0.48 ppm). Este se encuentra adsorbido a las micelas y una pequeña cantidad en la solución del suelo, y los altos contenidos de Calcio tienden a fijarlo. La actividad microbiana es más intensa en la parte superficial del suelo, por la mejor aireación y menor compactación. Los sulfatos y los carbonatos de Calcio pueden ocasionar efectos de antagonismo con otros nutrientes.

La relación Ca/Mg es importante en cuanto a la

disponibilidad de estos nutrientes. Si hay abundante Mg, en proporción a la cantidad de Ca, las plantas sufrirán por deficiencias de Ca. En el suelo yesoso el Mg se encontró deficitario (0.14-4.25 meq/100 g de suelo) (Lagunes, 1985)

La textura, capacidad de intercambio catiónico, contenido de humus, densidad de suelo, aireación, potencial óxido reducción y pH, son factores del suelo de suma importancia para la planta, ya que contribuyen a la disponibilidad de los nutrimentos (FAO, 1980; citado por Tarango, 1988).

Importancia del Fósforo para las plantas. El Fósforo junto con el Nitrógeno y el Potasio, son considerados los principales nutrimentos que requieren las plantas para su desarrollo. Sin embargo y a pesar de ser esencial para las plantas, este elemento se encuentra en menores cantidades que los otros dos. Los fosfatos formados en el suelo tienden a ser de muy baja solubilidad, limitando su disponibilidad para las plantas.

La planta absorbe la mayor cantidad de P como ión ortofosfato primario (H_2PO_4^-), seguido del ión ortofosfato secundario (H_2PO_4^-) y otras formas que son absorbidas en menores cantidades. Una vez que el P es absorbido, éste es distribuido a cada una de las células, concentrándose más en las partes reproductivas. Ya en la célula puede unirse con el C, H, O, N, y otros elementos a fin de formar moléculas orgánicas complejas. También tiene capacidad para formar uniones de más de un nivel de energía, lo que permite el almacenaje, transferencia y liberación de energía dentro de la planta a través de materiales tales como Adenosín Difosfato y Adenosín Trifosfato. Participa también en la activación de numerosas enzimas y reacciones básicas de la fotosíntesis (Agarwala y Sharma, 1963; citados por Gómez, 1989).

De conformidad con lo señalado en el apartado anterior un deficiente suministro de Fósforo a la planta provocará severos daños, tales como: Atrofia de planta, las hojas pueden deformarse, con deficiencias severas se pueden producir áreas necróticas en hojas, frutos y tallos; las hojas más viejas quedan afectadas antes que las jóvenes; a menudo se observa un color rojizo en las hojas; la deficiencia de Fósforo es difícil de detectar en los cereales, y en ciertas etapas de desarrollo puede manifestarse como un color verde oscuro, pudiéndose referir a la planta con aspecto de "Achaparramiento", "Decaída", "Débil" o "Enfermiza", motivo por el cuál se identifica como "hambre oculta" (Aldrich y Leng, 1947; INPOFOS, 1997).

Importancia del área foliar para la planta.

Las hojas, y particularmente la lámina foliar, son la parte más importante del aparato fotosintético de la planta. Diversos estudios fisiológicos indican que el área foliar está estrechamente relacionada con la dinámica de la acumulación de materia seca, Fósforo, y otros nutrientes (García, 1978; citado por Navarro, 1996). De acuerdo con lo anterior, diversos autores han realizado investigaciones para ampliar el conocimiento de este tema; empleando el análisis de crecimiento de las plantas, que representa el primer paso para el análisis de la producción primaria. Donde uno de los valores empleados fundamentalmente se refiere a las dimensiones del aparato asimilatorio -área foliar- (Sestak *et al.*, 1971 y Evans, 1969, citados por Rodríguez, 1986; Tanaka y Yamagushi, 1977; Fanjul, 1978).

Tanaka y Yamagushi (1977), en su trabajo sobre maíz, reportan que probablemente las cinco hojas ubicadas en la región de la mazorca o inmediatamente por encima de ella, sean las más importantes en la etapa de llenado de grano. Y que más del 90 % del peso de los granos se deriva de los fotosintatos producidos durante esta etapa. Resultados similares son reportados por Hanway citado por De la Garza, (1978).

Díaz *et al.* (1982; citados por Navarro, 1996) señalan que encontraron una alta correlación entre área foliar y rendimiento. Además, se determinó que la mayor cantidad de área foliar se produce después de que las plantas entran en la etapa de floración, y que cuando el área foliar dura más tiempo en actividad, mayor será la cantidad de fotosintatos producidos, y por ende, mayor cantidad de materia seca por planta. Tales resultados también son apoyados por Peña y Muñoz (1988).

En base en lo anterior los objetivos del presente trabajo fueron, determinar el nivel de fertilidad de los suelos yesosos de la Zona Media de SLP, y evaluar el efecto del Fósforo y un mejorador de suelos en el cultivo del maíz.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del área. La Zona Media del estado de San Luis Potosí comprende doce municipios y una extensión territorial de 8,942 km², constituyendo el 14.4 % de la superficie estatal. Presenta altitudes de 800 a 1,700 msnm; el clima es seco semidesértico (BS) o desértico (BW) en los que la evaporación excede a la precipitación. En términos generales es más húmedo en la región de Rioverde, Cerritos y Villa Juárez y más seco en el resto de la Zona Media con precipitación total anual que varía de 621 mm (en Cerritos) a 248 mm (en La Morita). La temperatura media anual varía de 24.5

°C en Rioverde a 16 °C en La Cardoncita. Las lluvias se presentan principalmente en verano (García, 1988; CNA, 2000). Con un periodo de crecimiento de 90 a 150 días (Ortiz, 1985). La vegetación esta compuesta en su mayoría por matorral mediano espinoso, mezquital, pastizal, vegetación halófila y matorral submontano (Hernández, 1983).

a). **Selección de sitios.** Los predios seleccionados para la instalación de los experimentos, fueron los siguientes: La Concepción Municipio de Ciudad Fernández; Puente El Carmen, Progreso, Santa Rosa y San Bartolo Municipio de Rioverde y San Isidro Municipio de Villa Juárez.

b). **Generación de tratamientos.** Una vez seleccionados los sitios experimentales se procedió a generar los tratamientos de Fósforo y del mejorador a utilizar, los cuales se establecieron con base a los resultados de un experimento previo realizado en invernadero. Los tratamientos fueron: Testigo (0-0-0, tanto para el mejorador como para Fósforo), 160-0-80 (N, P y K), 160-60-80, 160-80-80, 160-100-80 y 0-0-0-Mejorador (40 lt/ha).

El mejorador utilizado fue el Agrosuelo el cual es un extracto de fermentación (enzimas, proteínas, aminoácidos, auxinas, citocininas y giberelinas), ácidos húmicos y fúlvicos, el cual mejora la eficiencia del riego, incrementa la retención y penetración de agua, mejora la estructura, porosidad y aireación del suelo, incrementa la vida microbiana saprofita, reduce la salinidad y los microorganismos parásitos en el suelo, incrementa la eficiencia de asimilación de nutrimentos, la capacidad de intercambio catiónico y el desarrollo y crecimiento radicular. (Química, s/f).

Los métodos empleados para determinar P, Yeso, pH, CE, fueron: Olsen, Acetona, Potenciómetro y Puente de conductividad, respectivamente. El área foliar se determinó mediante peso seco multiplicado por un factor de ajuste (Navarro, 1996; Escalante y Kohashi, 1993) realizándose dos muestreos, uno a los 30 días de la emergencia y otro al momento de la floración. El Fósforo en el tejido vegetal se determinó mediante digestión húmeda. Se evaluaron dos variedades de maíz (Criollo e híbrido H-422) y en total se tuvieron 36 unidades experimentales por sitio (6 surcos de 0.75 m por 10 m de largo). El diseño de tratamientos fue un factorial 6x2x3 (dosis, variedad y repetición, respectivamente), con un arreglo en Bloques al azar con base a las variedades. Los análisis de varianza se realizaron con el programa SAS (System for windows v6.12).

El efecto del mejorador se midió solamente en los

tratamientos testigo y mejorador mediante la determinación de la resistencia a la penetración utilizándose un penetrómetro de golpe. Se dieron 10 golpes con tres repeticiones por unidad experimental, midiéndose la profundidad a la que penetraba el cono del penetrómetro y la resistencia a la penetración se calculó con la siguiente fórmula:

$$P = F / A, y$$

$$F = (\text{No. de golpes} \times \text{masa del martillo} \times G \times h) / \text{profundidad de penetración del cono.}$$

Donde: P = resistencia a la penetración (Kg/cm²),
 F = fuerza (Kg),
 Masa del martillo (3.85 kg),
 G = aceleración de la gravedad (9.8665 m seg²),
 h = altura del cono (26.8 mm), y
 A = área del cono (8.59 cm²).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el caso de los suelos estudiados el contenido de Yeso varió de levemente yesoso (San Isidro) a altamente yesoso (Barzanji, 1973; citado por Matar y Osman, 1990) llegando a ser hasta del 50.8 % en Puente El Carmen. El pH varió de alcalino (en seis sitios experimentales) a fuertemente alcalino en la tierra blanca del rancho La Concepción (pH = 9.3); la acidez de un suelo es clave para la asimilación o disponibilidad de los nutrientes ya que, por ejemplo, el Fe y Mn se encuentran disponibles a un pH menor a 7, con valores más altos origina deficiencias para la planta; el N está disponible en un pH de 6.0 a 8.5; el Cu y Zn en un rango

Cuadro 1. Reducción del rendimiento de maíz debido al contenido de Yeso y CE .

Sitio	Yeso, %	Rendimiento Potencial, % *	CE	Rendimiento Potencial, % **
La Concepción:				
Tierra Blanca	48.6	60	7.0	37.5
Tierra Negra	30.0	60	3.4	82.5
Puente del Carmen	50.8	30	3.4	82.5
San Bartolo	14.2	80	5.8	52.5
San Isidro	3.3	100	2.7	91.2
Santa Rosa	33.1	60	4.1	73.7

* Barzanji (1973; en Matar y Osman, 1990).

** Aceves, 1979 (RP = 125 - 12.5CE, para maíz).

de 5.0 a 7.5; y el P de 6.5 a 8.5 (INPOFOS, 1997). Otro factor importante es la conductividad eléctrica (CE), ya que cuanto más alta es, más restrictiva es para los cultivos. En el Cuadro 1 se observa que los valores de CE variaron de levemente salino (San Isidro) a moderadamente salino (tierra blanca del Rancho la

Concepción). En relación al rendimiento de maíz se observa que su potencial se reduce hasta en un 30 % para Puente El Carmen y la mayoría presenta un 60 % de su rendimiento máximo debido al contenido de Yeso. Con los datos del Cuadro 1, se deduce que el rendimiento de maíz en los suelos estudiados nunca llegará a ser igual al de otra tierra de mejor calidad.

Rendimiento de maíz. En los dos sitios experimentales para los cuales se generó datos de rendimiento (Cuadro 2), el maíz criollo presentó un mayor rendimiento tanto en grano como en forraje. El rendimiento resultó muy inferior al rendimiento potencial (3 t/ha para el criollo y 6 t/ha para el híbrido) debido a la carencia de agua y compactación del suelo. La compactación produce clorosis en las plantas debido a que la deficiencia de drenaje restringe el desarrollo radical y perturba la dinámica del N, K, Fe, Mn y Zn (Uvalle et al, 1985; citado por Moreno, 1995), en general el suelo ofrece menor disponibilidad de nutrientes, consecuentemente se reducen los rendimientos de los cultivos tanto de grano como de forraje. En términos generales se puede decir que el orden de mayor a menor fertilidad o productividad de los suelos estudiados es San Isidro, Santa Rosa, San Bartolo, Tierra Negra del rancho La Concepción, Puente El Carmen y Tierra Blanca del rancho La Concepción.

Cuadro 2. Resultados del experimento en campo en dos de los sitios experimentales

Tratamiento	Producción (kg/ha)		Producción (kg/ha)	
	Grano	Rastrojo	Grano	Rastrojo
	Santa Rosa, Maíz criollo.		San Bartolo, Maíz criollo.	
100P	853.4	7733	746.0	2827
80P	1435.3	8133	219.6	2573
60P	1171.3	6933	1125.6	3333
0P	783.3	7333	195.6	2440
M	1399	6666	948.8	4000
T	1033.7	6266	448.9	2893
	Santa Rosa, Maíz H-422.		San Bartolo, Maíz H-422.	
100P	54.5	4093	424.0	2333
80P	142.1	4933	465.6	3000
60P	36.9	4666	528.6	2440
0P	219.6	4400	314.1	2893
M	101.9	5800	395.4	2773
T		3066	412.8	1893

Área Foliar. El Área Foliar (AF) es importante por que está estrechamente relacionada con la dinámica de la acumulación de materia seca, Fósforo y otros nutrientes (García, 1978; citado por Navarro, 1996). La mejor correlación entre AF y producción de forraje se presentó en Santa Rosa, donde el maíz criollo tuvo una R² de 0.49 y el híbrido de 0.42. Esta falta de correlación se debe al poco Fósforo absorbido por la planta debido

a los problemas de sequía y compactación, o también se puede deber a que las hojas que intervienen en mayor porcentaje en el llenado de grano son las superiores (Fisher y Wilson citados por Quijano, 1984) y el Fósforo se determinó solamente en las hojas inferiores y el AF incluye a todas las hojas.

Por otro lado se tiene una mayor AF en el sitio San Isidro (Cuadros 3 y 4), el cual presenta una mayor productividad potencial o un mayor grado de fertilidad. El sitio con menor AF fue el de Puente El Carmen, dicho sitio compite en calidad de suelo con el de la Tierra Blanca del Rancho La Concepción. Se menciona que la sequía es el principal factor limitante en la producción agrícola en regiones semiáridas, por esa razón se requiere una AF que disminuya la transpiración y mantenga las células turgentes por más tiempo y logre la supervivencia del cultivo (Herrera, 2001). Además de la sequía, la compactación afectó los resultados del AF, tal como menciona Brereton *et al.* (1986; citado por Moreno, 1995) quien encontró que la compactación redujo el AF y materia seca en betabel y frijol, asimismo disminuyó la longitud de la raíz en 49% para betabel y 28% en frijol.

En relación al AF por tratamiento, se aprecia en el Cuadro 4 que solamente para los dos primeros

muestreos de San Isidro, primer muestreo de San Bartolo y segundo muestreo en las Tierras Blancas, a mayor cantidad de Fósforo aplicado mayor es el AF.

El análisis de varianza para la variable área foliar indicó un efecto significativo ($\alpha < 0.10$) para el factor sitio (Cuadro 3) en el primer muestreo. De la misma manera el factor variedad de maíz resultó significativo. En el segundo muestreo, solamente el factor sitio resultó significativo (Cuadro 3). El ordenamiento de los sitios conforme a la producción (de mayor a menor) de área foliar del maíz, indica que, en ambos muestreos, el maíz con mayor área foliar se presentó en el sitio Santa Rosa, mientras que la menor área foliar del maíz ocurrió en Puente el Carmen (primer muestreo) y en Tierra Negra (segundo muestreo). También se observó una mejor separación de medias en el caso del primer muestreo.

La mayor significancia entre sitio y variedad en el primer muestreo que en el segundo se debe a que este muestreo se realizó cuando la sequía y compactación no eran graves y la planta disponía con la suficiente humedad para su desarrollo, ya que la necesidad de agua a esa etapa (30 días) es relativamente baja, lo cual no sucedió en el segundo muestreo (floración), etapa en la cual el agua es crucial para el desarrollo del maíz, y por ende, de su área foliar. Además,

Cuadro 3. Área foliar promedio en maíz en los diferentes sitios.

Muestreo A		Muestreo B	
Sitio	Area Foliar (cm ²)	Sitio	Area Foliar (cm ²)
Santa Rosa	297,758 a	Santa Rosa	315,570 a
San Bartolo	296,522 a	San Isidro	304,924 a
San Isidro	193,158 b	San Bartolo	289,975 ab
Tierra Blanca	168,253 b	Tierra Blanca	288,252 ab
Tierra Negra	132,974 c	Puente el Carmen	174,428 bc
Puente el Carmen	78,987 d	Tierra Negra	134,830 c

Medias con misma letra son iguales estadísticamente (Tukey, P = 0.10).

Cuadro 4. Área foliar promedio en maíz bajo diferentes tratamientos de fertilización en los sitios donde este factor fue significativo

San Bartolo		San Isidro		Santa Rosa	
Dosis	Area Foliar (cm ²)	Dosis	Area Foliar (cm ²)	Dosis	Area Foliar (cm ²)
P-80	334,415 a*	P-100	234,201 a	P-60	339,906 a
P-100	320,758 ab	P-80	208,650 ab	P-100	323,301 ab
Testigo	311,825 ab	P-60	190,981 ab	P-0	318,742 ab
P-60	280,088 ab	Testigo	185,903 ab	Mejorador	303,957 ab
Mejorador	270,697 ab	Mejorador	174,835 ab	Testigo	256,834 ab
P-0	261,351 b	P-0	164,376 b	P-80	243,808 b

Medias con misma letra son iguales estadísticamente (Tukey, P = 0.10).

existe variación entre sitios porque los mismos son diferentes en relación a su fertilidad y profundidad de la primera capa.

Aún cuando el factor dosis no fue significativo en el análisis de varianza, los análisis de varianza de los datos agrupados por sitio indicaron que este factor fue significativo en San Bartolo, San Isidro y Santa Rosa, en el primer muestreo (Cuadro 4). Se aprecia una tendencia en el maíz a presentar mayor área foliar a medida que la aplicación de Fósforo se incrementa.

Contenido de Fósforo en la hoja de maíz.

El Fósforo se analizó solamente en tres sitios, dicho análisis se efectuó en los lugares con más información (Santa Rosa, San Bartolo y San Isidro). En todos los casos el contenido de Fósforo es menor al adecuado, quedando como deficiente y solamente en San Bartolo para el segundo muestreo se aproxima al porcentaje apropiado (Cuadro 5).

Cuadro 5. Contenido promedio de Fósforo en plantas de maíz en los diferentes sitios.

Muestreo A		Muestreo B	
Sitio	Fósforo (%)	Sitio	Fósforo (%)
Santa Rosa	0.233 a	San Bartolo	0.297 a
San Bartolo	0.170 b	Santa Rosa	0.179 b
San Isidro	0.168 b	San Isidro	0.136 c

Medias con misma letra son iguales estadísticamente (Tukey, P = 0.10).

Al asociar el contenido de Fósforo con el rendimiento de grano en Santa Rosa y San Bartolo se tiene que con respecto a la producción de grano la máxima correlación se presentó en el maíz híbrido con una $R^2 = 0.44$ en Santa Rosa y para el maíz criollo en San Bartolo con valor de $R^2 = 0.43$, los cuales son relativamente bajos. Esta poca correlación se puede deber a lo mencionado por Fisher y Wilson (1970; citados por Quijano, 1984) y Tanaka y Yamagushi (1977) en lo referente a que en el maíz las hojas de mayor influencia en el rendimiento son las superiores y el Fósforo se analizó en las inferiores. También se puede deber a que la compactación del suelo tiene un efecto negativo sobre la disponibilidad de nutrimentos para la planta, principalmente de Nitrógeno y Fósforo (Shierlaw y Alston, 1984; citados por Arreola, 1990).

El análisis de varianza incluyendo los sitios San Bartolo, San Isidro y Santa Rosa, indicó que tanto el factor sitio como la dosis de fertilización mostraron un efecto significativo ($\alpha < 0.10$) en el contenido de Fósforo en la planta, lo anterior para ambos muestreos (Cuadro

5). No es clara la tendencia del contenido promedio de Fósforo en la planta en relación a la dosis de fertilización, aunque se observó una ligera tendencia a incrementar el contenido de Fósforo en la planta con el incremento del Fósforo aplicado.

También se observa que no obstante a que el análisis de varianza indicó un efecto significativo ($P = 0.061$) del factor dosis, en el muestreo B la separación de medias con el procedimiento de Tukey ($\alpha = 0.10$) no reporta diferencias entre medias (Cuadro 6).

Cuadro 6. Contenido promedio de Fósforo en plantas de maíz bajo diferente fertilización.

Muestreo A		Muestreo B	
Dosis	Fósforo (%)	Dosis	Fósforo (%)
P-100	0.215 a	P-80	0.224 a
P-0	0.196 ab	P-100	0.217 a
P-60	0.192 ab	Mejorador	0.212 a
P-80	0.189 ab	P-0	0.196 a
Testigo	0.180 ab	P-60	0.194 a
Mejorador	0.172 b	Testigo	0.189 a

Medias con misma letra son iguales estadísticamente (Tukey, P = 0.10).

Efecto del mejorador de suelo. La resistencia a la penetración fue mayor en el testigo (Cuadro 7), lo cual significa que el mejorador si tuvo efectos positivos en la estructura del suelo. Los valores de resistencia equivalen a ciertos centímetros de profundidad a la cual se entierra el cono del penetrómetro, lo que se puede expresar en kg/cm como se reporta en el Cuadro 7, es decir que entre mayor sea la resistencia menor será la profundidad a la que penetre el cono, y por ende, la raíz del maíz tendrá más dificultades para crecer. La profundidad de penetración fue diferente para cada suelo; en Puente El Carmen y San Isidro se tuvo una mayor profundidad, en la tierra negra fue intermedia, y la más baja fue en la tierra blanca y en San Bartolo.

El análisis de varianza, con los factores sitio y mejorador, indicó que no existen efectos significativos de esos factores con la resistencia al penetrómetro (Cuadro 8). Los análisis de varianza para los datos agrupados por sitio indican efecto significativo del factor mejorador en los sitios de Santa Rosa y Tierra Blanca. En ambos sitios el suelo al cual se le aplicó el mejorador presentó menor resistencia al penetrómetro en relación al testigo (suelo sin mejorador), sin embargo dicha diferencia no fue lo suficientemente grande como para ser significativa, aunque sí hubo resultados positivos. Posiblemente faltó tiempo de reacción al mejorador para que manifestará así sus propiedades de una manera más convincente. El sitio Tierra Blanca tiene menor fertilidad, mayor contenido de Yeso y la capa superficial del suelo es más delgada. Lo anterior significa que el mejorador tuvo mejores resultados en las tierras de menor calidad.

Cuadro 7. Profundidad y resistencia a la penetración promedio de nueve repeticiones.

Sitio	Maíz Criollo		Maíz Híbrido, H-422	
	Testigo	Mejorador	Testigo	Mejorador
Profundidad de penetración, cm				
San Bartolo	13.1	12.6	10.1	12.2
Santa Rosa	14.7	15.2	15.9	18.8
La Concepción. T. Negra	17.7	19.0	15.5	17.5
La Concepción. T Blanca	14.6	17.5	16.7	17.7
San Isidro	21.3	21.6	20.6	21.5
Puente El Carmen	23.2	23.5	24.1	25.1
Resistencia a la penetración del cono, kg/cm²				
San Bartolo	6.97	7.14	9.38	8.98
Santa Rosa	6.62	6.60	5.86	5.13
La Concepción. T. Negra	5.03	4.69	6.40	5.38
La Concepción. T Blanca	6.61	5.73	5.27	4.99
San Isidro	3.62	3.85	3.73	3.66
Puente El Carmen	3.84	3.77	4.04	3.56

Cuadro 8. Profundidad de penetración promedio en Santa Rosa y Tierra Blanca.

Santa Rosa		Tierra Blanca	
Dosis	Profundidad de penetración (cm)	Dosis	Profundidad de penetración (cm)
Mejorador	17.00 a	Mejorador	17.56 a
Testigo	15.28 b	Testigo	15.67 b

Medias con misma letra son iguales estadísticamente (Tukey, P = 0.10).

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se derivan de los resultados obtenidos son:

Los suelos estudiados tienen un alto contenido de Yeso, son pobres en Fósforo, Potasio, Hierro, Manganeseo, con un pH alto y problemas de salinidad, Calcio y carbonatos. Estas características los hace poco fértiles y dependen de la capa superficial la cual tiene un mayor grado de fertilidad, sin embargo ésta por lo general es delgada. Los suelos se consideran de no aptos a aptos (San Isidro) para la agricultura y en caso de practicarse requieren un manejo especial.

El maíz criollo produjo mayores rendimientos de grano y forraje que el híbrido H-422. Sin embargo, dichos valores estuvieron muy abajo del rendimiento potencial, sobre todo en el híbrido, debido a los problemas de sequía y compactación.

Cuando existe sequía y compactación, los suelos con condiciones más favorables presentan una mayor respuesta a la fertilización fosfatada. En suelos con condiciones menos favorables (baja fertilidad, delgados, etc), la variedad criolla tiende a dar mejores resultados, presentándose diferencias entre variedades de maíz.

El mejorador de suelo (Agrosuelo) tuvo un efecto positivo en el suelo al originar una menor compactación, reflejándose en un mayor número de plantas, mazorcas, tamaño y peso de la mazorca tanto en el maíz criollo como en el híbrido.

El efecto del Agrosuelo fue más importante (mejoró la estructura del suelo) en los suelos de menor calidad, lo cual significa que es precisamente en estos suelos donde puede tener mejores resultados.

LITERATURA CITADA

- Aceves N., E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego (Identificación, control, combate y adaptación). Rama de Riego y Drenaje, Colegio de Postgradua-dos, Chapingo, México. p: 204-207.
- Aldrich S., R. y R. Leng E. 1947. Producción moderna del maíz. Traducido por Oscar Martínez Tenreiro y Patricia Legistamon. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 308 p.
- Arreola T., J.M. 1990. Desarrollo y consumo hídrico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L) en un regosol con y sin problemas de compactación (condición de invernadero). Tesis MC, CP. Montecillo, México.
- CNA, Comisión Nacional del Agua. 2000. Información climática. Proporcionada en formato digital. San Luis Potosí, México.
- De la Garza y Garza, F. 1978. Estimación de la heredabilidad del área foliar y sus componentes en la planta de maíz (*Zea mayz* L.) en Apodaca N. L. Tesis de Licenciatura ITESM. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Monterrey, México.
- Escalante E., J.A. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y el crecimiento del frijol. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 84 p.
- Fanjul P., L. 1978. Análisis del crecimiento de una variedad de *Phaseolus vulgaris* de habito de crecimiento indeterminado y ensayo para el estudio de las relaciones entre la fuente y la demanda de los fotosintatos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de postgraduados. Chapingo, México. 140 p.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México.

- Grande L., R.; E. Hernández X.; N. Aguilera H. y J. Boulaine 1967. Morfología y Génesis de suelos yesíferos de Matehuala, S.L.P. *Agrociencia*, 1, (2): 130-147.
- Grande L., R. 1987. El Yeso y sus mecanismos en el suelo. UASLP. San Luis Potosí, México. *Acta Científica Potosina*. Vol. 9 (1).
- Gómez G., A. 1989. Efecto de dos sales fertilizantes sobre la disponibilidad y absorción de P por el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Licenciatura. ITA No. 20 Aguascalientes, México. 122 p.
- González E., A. 1990. Los tipos de agricultura y las regiones agrícolas de México. Colegio de postgraduados. Chapingo, México.
- Hernández A., J.A. 1983. Comparación de 12 variedades de maíz de temporal por su rendimiento y estabilidad en tres localidades de la zona media. P-V 1981. Tesis de licenciatura. UASLP. Escuela de Agronomía. San Luis Potosí. México.
- Herrera de L., R.M. 2001. Efecto de la sequía sobre el área foliar y el rendimiento de grano en siete genotipos de sorgo. Universidad Autónoma de Tamaulipas. www.investigacion.uat.mx.
- INEGI. 1985. Síntesis geográfica del estado de San Luis Potosí. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- INPOFOS, (Instituto del Fósforo y la Potasa). 1997. Manual Internacional de Fertilidad de suelos. Querétaro, México. Potash and Phosphate Institute, USA. 120 p.
- Lagunes E., M. del C. 1985. Caracterización química de una serie de suelos ígneos, calcáreos y yesíferos del Altiplano Potosino- Zacatecano. Tesis profesional, Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana.
- Martínez M., J.F. y J.L. Nieves F. 2001. Cartografía de las áreas yesosas del estado de San Luis Potosí. Informe del proyecto: Lo suelos yesíferos del estado de SLP: Clasificación taxonómica, génesis y manejo integral, del SIHGO, Querétaro, México.
- Matar, A. y Osman. 1990. Management of gypsiferous soil. Soils Resources, management and conservations service. FAO, Food and Agriculture Organization of United Nations Rome, Italy.
- Moreno Z., L. 1995. Compactación de baja intensidad y su efecto sobre algunas propiedades físicas y biológicas de un suelo agrícola. Tesis de MC, CP, Montecillo, México. 84 p.
- Navarro N., A. 1996. Métodos indirectos de medición de área foliar en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis profesional. U.A.Ch. Dpto. Fitotecnia. Chapingo, México.
- Ortiz S., C.A. 1985. Elementos de agrometeorología cuantitativa. Dpto. de suelos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Peña R., A. y O.A. Muñoz 1988. Respuesta de tres especies cultivadas a condiciones deficientes de humedad edáfica. *Agrociencia*. 74: 231-243.
- Quijano C., J.A. 1984. Importancia del área foliar en la producción de grano de maíz. Tesis de Licenciatura. UANL, Facultad de Agronomía. 151 p.
- Química, Química internacional aplicada (s/f). Agrosuelo, mejorador de suelos. Sinaloa. México. Folleto (spi)
- Rodríguez Z., C. 1986. Fotosíntesis, Transpiración, Eficiencia en el uso del agua, Análisis de crecimiento de cuatro cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 310 p
- Tanaka A. y J. Yamagushi 1977. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento de grano en maíz. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 124 p.
- Tapia G., J.J. 1981. Estudio de las características físicas y químicas de los suelos yesíferos en las granjas productivas potosinas, municipio de Villa de Guadalupe, SLP. Tesis de Licenciatura. UASLP. Escuela de Agronomía. San Luis Potosí, México. 68 p.
- Tarango A., L.A. 1988. Evaluación y análisis del estado nutrimental del cultivo de maíz (*Zea mays* L) mediante utilización de dos métodos de diagnóstico foliar. Tesis profesional, URUZA-Chapingo. Bermejillo, Durango, México. 84 p.
- Terrazas A., J.M. 1985. Respuesta del jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) a la nutrición de K, Ca y Mg en un suelo yesífero de Guadalcázar, SLP, bajo condiciones de invernadero. Tesis profesional, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, UACH. México.