

Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas

Walter López Báez¹
Roberto Reynoso Santos¹
Jaime López Martínez¹
Bernardo Villar Sánchez¹
Robertony Camas Gómez¹
Jorge Octavio García Santiago²

¹Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa km 3, Ocozocoautla, Chiapas. AP. 1. CP. 29140. Tel. 01(800) 0882222. ²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Carretera México-Veracruz km 45, El Batán, Texcoco, México. CP. 56237. Tel. 01(55) 58042004 y 01(800) 4627247.

§Autor para correspondencia: lopez.walter@inifap.gob.mx.

Resumen

Con el objetivo de diseñar una estrategia para revertir la baja productividad y rentabilidad que presenta el cultivo de maíz en el municipio de Villaflores, se estudiaron las características químicas y físicas de los suelos en 236 parcelas mecanizables distribuidas en 13 ejidos y siete tipos de suelos. Las determinaciones se interpretaron tomando como base la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Los resultados indican una acidez generalizada en los suelos, con pH promedio de 5.2 (± 0.9), 52% de los sitios con pH menores a 5; 208 casos presentaron acidez intercambiable en 64.4% de ellos, el valor fue mayor a 0.5 meq 100 g⁻¹, considerado límite crítico para las plantas. En promedio la materia orgánica (MO) fue de 1.7% (± 1.3) y en ningún caso el contenido superó a 2.5%. La capacidad de intercambio catiónica (CIC) fue 11.4 (± 16.8) meq 100 g⁻¹, e influenciada por el pH ($R^2 = 0.65$), MO ($R^2 = 0.32$) y contenido de arcilla ($R^2 = 0.68$). En 94% de los sitios con baja MO, la CIC depende significativamente del contenido de arcilla. En cuanto al porcentaje de saturación de la CIC, 59% de los casos son deficientes en Ca, 18% en Mg y 58% en K 40% de los sitios están por debajo del límite crítico de 15 ppm de P. El 90 y 46% de los casos presentó deficiencias de Boro y Zinc. Bajo estas condiciones se hace patente la necesidad de una estrategia que permita aumentar la calidad del suelo y las prácticas de agricultura puedan ser sostenibles.

Palabras claves: gestión, insostenible, tierra.

Recibido: abril de 2019

Aceptado: junio de 2019

Introducción

Chiapas es el estado mexicano que dedica la mayor parte de su territorio al cultivo del maíz, convirtiendo a este grano en el producto alimenticio de mayor importancia en la entidad. En el año 2016 este cultivo aportó en la entidad 48% (684 463 ha) de la superficie sembrada y 26.5% del valor de la producción (\$4 710 295.00). El rendimiento promedio estatal estimado fue de 1.9 t ha⁻¹ (SIAP, 2018). Históricamente, la ‘Frailesca’ ha sido una de las regiones productoras de maíz más importante en Chiapas, en ella se cultivan alrededor de 61 203 ha de maíz y se producen 181 542 t, de los cuales el municipio de Villaflores aporta 38% y 31% respectivamente.

Aunque el rendimiento promedio de 2.4 t ha⁻¹ está por arriba de la media estatal, en gran parte se sustentan por las crecientes cantidades de fertilizantes químicos (especialmente nitrogenados) que aplican los productores, que equivalen al 50% de los costos de producción de una hectárea. A pesar del uso de grandes cantidades de agroquímicos, la menor productividad del suelo ha resultado en un menor rendimiento del cultivo. Como resultado de los altos costos de producción, cultivar maíz ya no es rentable para muchos pequeños productores (Pulleman *et al.*, 2008). A pesar de las evidencias sobre la pérdida de fertilidad del suelo y sus consecuencias, se desconoce la magnitud y la cobertura que podría tener el problema en toda la zona cultivada con maíz.

En este contexto, el INIFAP en alianza con The Nature Conservancy y CIMMYT; a través, del Programa MasAgro, unieron esfuerzos y recursos para realizar en el municipio de Villaflores una caracterización física-química de los suelos planos cultivados con maíz, con el objetivo de obtener elementos para diseñar una estrategia integral que revierta la actual gestión insostenible de la tierra.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el año 2017 en el municipio de Villaflores e incluyó 236 parcelas cultivadas con maíz en terrenos planos mecanizables (pendientes menores al 15%), distribuidas en 13 ejidos y siete tipos de suelos, según su importancia en superficie sembrada (Figura 1).

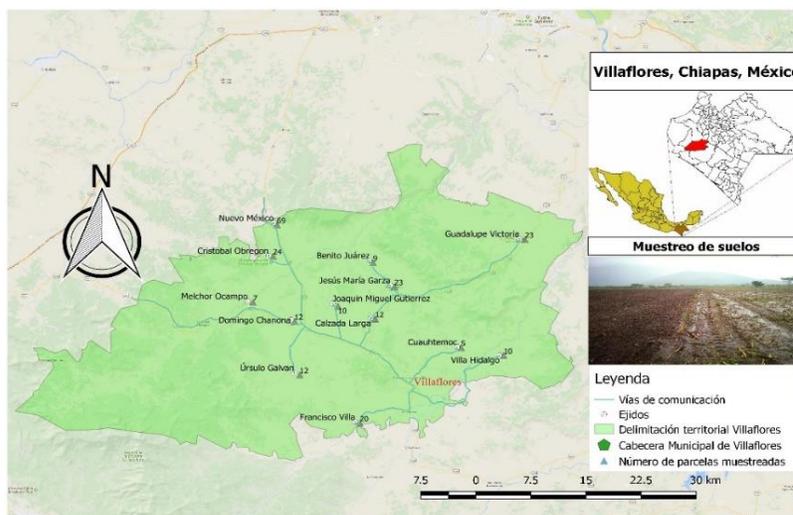


Figura 1. Distribución espacial de las 236 muestras de suelos analizadas.

De 236 muestras analizadas, 216 tenían información sobre tipos de suelos y quedaron distribuidas de la siguiente manera: 117 (54%) en suelo tipo Luvisol, 36 (17%) en Cambisol, 23 (11%) en Vertisol, 16 (7.4%) en Acrisol, 13 (6%) en Planosol, 10 (5%) en Feozem y 1 (0.5%) en Fluvisol.

El estudio se considera representativo por que incluyó las localidades y tipos de suelos donde se cultiva la mayor superficie de maíz en terrenos planos del municipio de Villaflores. Por disponibilidad de recursos sólo se tomaron muestras compuestas de suelos a la profundidad de 0 a 20 cm, a las cuales se les determinó en el laboratorio pH, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, B, arena, limo, arcilla, Al, H y materia orgánica. Algunas determinaciones no se realizaron en la totalidad de las muestras, situación que fue considerada en los análisis estadísticos realizados. La interpretación de las propiedades de los suelos se realizó de acuerdo a lo señalado a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002; IPNI, 1990).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presenta un resumen de las estadísticas básicas de cada una de las variables analizadas. Se observa que el pH y el porcentaje de arena son las características que presentaron menor variabilidad entre los suelos estudiados, con sólo 17 y 35% de coeficiente de variación (CV) respectivamente; por el contrario, el K, Na, Ca, CIC, Mg, Al, H y Saturación de Al, presentaron una alta variabilidad entre los sitios estudiados con coeficientes de variación por arriba de 100%.

Cuadro 1. Estadísticas básicas de las características de los suelos.

Determinación	Casos	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv est	CV (%)
pH	196	5.2	3.6	8.1	0.9	17
Materia orgánica (%)	236	1.7	0	9	1.3	79
P Bray (ppm)	129	26.1	0.8	94.3	22.8	87
K (meq/100 g)	236	0.4	0	3.6	0.4	110
Ca (meq/100 g)	236	8.5	0	83.1	15.5	182
Mg (meq/100 g)	236	1.6	0	13	1.9	121
Na (meq/100 g)	236	0.1	0	0.7	0.1	191
Fe (ppm)	109	66.5	7.1	153.2	32	48
Cu (ppm)	129	1	0	10.5	1.4	137
Zn (ppm)	129	1	0	5.1	0.9	91
Mn (ppm)	129	43.1	1	109.5	24.6	57
B (ppm)	80	0.4	0.1	1.2	0.2	55
Arena (%)	236	57	0.7	86	20	35
Limo (%)	236	22	1.7	76	14.4	66
Arcilla (%)	236	21	4.4	78.2	16.7	79
Acidez interc. (meq/100g)	236	0.8	0	4.2	0.8	91
Al interc. (meq/100 g)	147	0.5	0	2.6	0.5	105
H interc. (meq/100 g)	147	0.3	0	1.2	0.3	114
CIC (meq/100 g)	236	11.4	0.1	85.9	16.8	147
(%) saturación de Al	147	7.9	0	64.9	13.2	117

La acidez del suelo

El valor promedio de pH fue 5.2 (± 0.9) que indica la presencia de una acidez generalizada en los suelos. En 64% (n= 125) de los casos, el pH estuvo por debajo de 5.3, considerado como idóneo para la presencia de Al^{+3} en la solución del suelo (Espinosa y Molina, 1999). El suelo Vertisol resaltó por presentar el valor promedio más alto de pH con 6.2 (± 1.5) y también la mayor variabilidad con un CV de 24.1% (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estadísticas sobre el pH (agua 1:2) según tipo de suelo.

Concepto	Tipo de suelo (N= 175)					
	Luvisol	Vertisol	Cambisol	Acrisol	Planosol	Feozem
Casos	100	18	27	12	11	7
Media	5.34	6.22	4.87	5.46	4.97	4.89
Desv est	0.74	1.5	0.4	0.78	0.5	0.27
Máximo	7.9	8.1	5.8	7.19	5.9	5.2
Mínimo	3.63	4.2	4.3	4.2	4.1	4.5
CV (%)	13.84	24.11	8.13	14.24	10.02	5.47

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, 47.4% de los sitios se clasifican como fuertemente ácido y 44.4% como moderadamente ácido, es decir del total de las muestras analizadas, 92% (n= 180) presentan problemas de acidez, y de estos, 52% son fuertemente ácidos con valores menores a 5. Con excepción del Vertisol, en los otros tipos de suelos más de 90% de los sitios analizados se ubicaron en las categorías de fuertemente ácido y moderadamente ácido. Los suelos ácidos se caracterizan por presentar toxicidad por Al^{+3} , toxicidad por manganeso y deficiencia de Ca^{+2} o Mg^{+2} (Tasistro, 2012), particularmente, la presencia de aluminio (Al^{+3}) en la solución del suelo ocurre cuando el pH es menor de 5.3 (Espinosa y Molina, 1999).

En 88% (n= 208) de las muestras analizadas se encontró la presencia de acidez intercambiable (AInt), definida por Espinosa y Molina (1999) como el H y Al^{+3} que se encuentra retenido en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas. El promedio fue de 0.96 meq 100 g⁻¹ (± 0.75) con un CV de 78% que indica alta variabilidad entre los sitios analizados. Los posibles daños que ocasiona la acidez a las plantas se analizaron desde los criterios del contenido de AInt en el suelo y del (%) de saturación de la CIC por el Al^{+3} (Cuadro 3).

Cuadro 3. Influencia de la acidez en los cultivos.

Criterio	Característica	Rango	Casos		(%) dentro del rango
			Total casos	Dentro del rango	
Acidez intercambiable (meq 100 g ⁻¹)	Problema para las plantas	>0.5	236	134	57
Saturación Al^{+3} (%)	Deseable para mayoría de plantas	≤ 25	147	124	84
	Problema para las plantas	>5%	147	81	55
	Problema para cultivo de maíz	>25%	147	23	16

En 57% de los sitios el AInt está por arriba de los 0.5 meq 100 g⁻¹ considerado como el límite para que las plantas no sean afectadas (Espinosa y Molina, 1999). Para el caso del (%) de saturación del Al⁺³ en la CIC, se analizan tres criterios de interpretación: el primero señala que 84% de los sitios presentan valores por debajo de 25% considerado deseable para la mayoría de la plantas (Espinosa y Molina, 1999); el segundo, indica que 55% de los sitios presenta valores por arriba de 5% considerado problemático para las plantas (Sánchez, 2014) y el tercero, indica que sólo el 16 de los sitios presentan valores por arriba de 25% considerado problemático para el cultivo de maíz (Bertsch, 1998).

Materia orgánica

En los 236 sitios el contenido promedio de materia orgánica (MO) fue de 1.7% (± 1.3) con un coeficiente de variación de 79% que indica variabilidad en los suelos estudiados. Sustentado en que la mayor parte del área estudiada está aledaña a la Sierra Madre de Chiapas, originada por rocas ígneas volcánicas, los suelos se consideraron de origen volcánico (DOF, 2016), 93% de los 215 sitios analizados se ubicaron en la categoría de muy bajo contenido de MO con valores menores de 4%, en los suelos Cambisol, Acrisol, Planosol y Feozem 100% de los sitios se ubicaron en esta clase.

En la Figura 1 se observa que en ningún tipo de suelo el contenido de MO fue superior al 2.5% y con excepción de Vertisol y de Fluvisol, en todos los tipos de suelos el contenido promedio estuvo por debajo de 2%. En el 59.3 de los sitios el contenido de MO fue $\leq 1.5\%$ considerado límite crítico aún para los suelos no volcánicos.

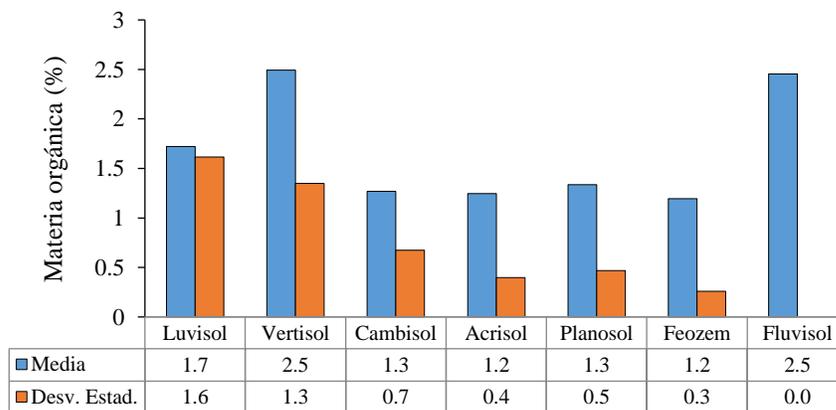


Figura 1. Contenido de materia orgánica por tipo de suelo.

De acuerdo a López *et al.* (2018), el contenido muy bajo de MO en los suelos es un factor estrechamente relacionado con la forma en que por años se ha trabajado el sistema maíz-ganadería practicado por 71% de los productores. Las prácticas de cultivo (quema, laboreo y pastoreo de residuos) y la no incorporación de otras fuente de MO, ha generado un reciclaje insuficiente de residuos orgánicos, que ha traído como consecuencia, un deterioro progresivo del suelo que evidencia una gestión insostenible de la tierra, en virtud que la MO se relaciona con todos los aspectos del suelo, como estabilidad de la estructura, capacidad de retener agua, aireación, contenido y disponibilidad de nutrientes, pH, capacidad de intercambio catiónico (Benzing, 2001; Carter, 2002).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC)

El valor promedio de la CIC en los 236 sitios analizados fue de 11.4 (± 16.8) meq 100 g⁻¹, con una alta variabilidad expresada por el CV de 147%. En todos los tipos de suelos (con excepción de los Vertisol), del total de los sitios analizados más de 85% se ubicó en las categorías de bajo y muy bajo contenido con valores por debajo de 15 meq 100 g⁻¹. En el Vertisol sólo 48% de los casos se ubicaron en estas categorías y el resto en la clase de muy alto contenido con valores mayores de 40 meq 100 g⁻¹.

El hecho de que más de 85% de las muestras analizadas presenten baja CIC, indica que los suelos tienen limitada la capacidad de retener cationes (nutrientes) debido a su textura arenosa y bajo contenido de materia orgánica; bajo esas condiciones, además de la poca capacidad para almacenar K, Mg y Ca fácilmente disponibles, estos cationes se encuentran desprotegidos contra el proceso de lixiviación (Benzing, 2001; Arcila y Farfán, 2010).

La Figura 2, muestra que 65% del comportamiento de la CIC es explicado por el nivel de acidez del suelo; conforme aumenta el pH se generan nuevas cargas negativas en el complejo de cambio y es reportada por Anzorena (1995); Benzing (2001), como CIC variable, la cual es más común en la CIC proveniente de la MO, que de las arcillas. Foth y Ellis (1996) señalan que, en los suelos minerales con bajo contenido de materia orgánica, la influencia del pH sobre la CIC es mínima.

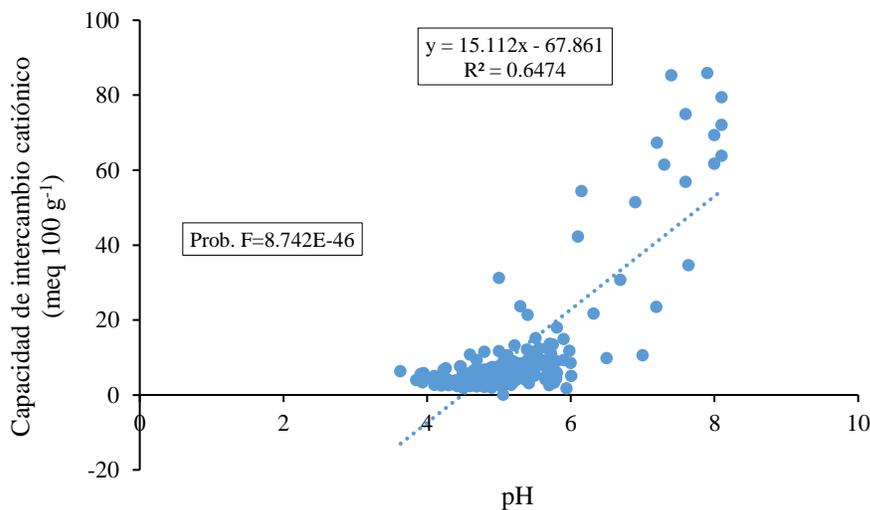


Figura 2. Influencia del pH sobre la CIC.

Por otra parte, la MO explica el 32% ($R^2 = 0.3816$) del comportamiento de la CIC mientras que (%) de arcilla 68% ($R^2 = 0.684$). La Figura 3 muestra la influencia conjunta de estas dos variables sobre la CIC, los puntos más grandes representan mayor valor de la CIC y viceversa. Se observa que la mayoría de los suelos se ubican en el cuadrante inferior izquierdo, en el cual los valores de MO y (%) de arcilla son más bajos y por lo tanto, tienen también los menores valores de CIC.

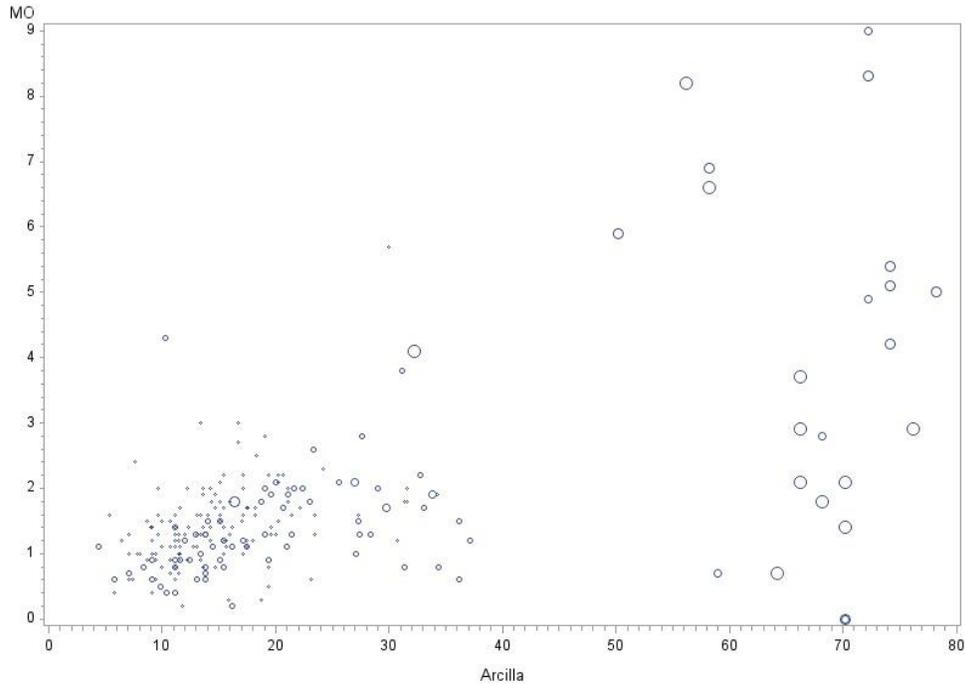


Figura 3. Influencia del contenido de arcilla (%) y MO (%) sobre la CIC.

En el cuadrante inferior derecho existen suelos con alto valor de CIC debido al mayor contenido de arcilla ya que su contenido de MO es bajo. En el cuadrante superior derecho, se observan suelos con alta CIC debido a su mayor contenido de MO y arcilla. Resalta el hecho de que en el cuadrante superior izquierdo prácticamente no se ubicó ningún sitio debido al bajo contenido de MO que tienen la mayoría de los suelos. Con base a los datos mostrados en el Cuadro 4, los parcelas estudiadas se agruparon en 4 subgrupos principales.

Cuadro 4. Estadísticas de la CIC (meq 100 g⁻¹) según contenido de arcilla y MO.

MO	Datos	Contenido de arcilla (%)				Total
		0-15	15-25	25-35	>35	
Muy baja (<4%)	Casos	109	77	21	15	222
	Media	4.87	6.81	11.6	48.9	
	Desv est	2.82	6.22	7.23	26.1	
Baja (4.1-6%)	Casos	1		2	6	9
	Media	10.8		34.7	48.8	
	Desv est			10		
Media (6.1-10.9%)	Casos				5	5
	Media				56	
	Desv est				26	
Total		110	77	23	26	236

Subgrupo 1: representa al 46.2% (n= 109) de los sitios analizados. Contienen muy bajos contenidos de MO (<4%) y arcilla (<15%), en los cuales el promedio de CIC es de 4.87 meq 100 g⁻¹. Son los suelos mas pobres cultivados con maíz.

Subgrupo 2: representa al 33% (n= 77) de los sitios analizados. Contienen muy bajos contenidos de MO (<4%) y arcilla entre 15-25%, en los cuales el promedio de CIC es de 6.81 meq 100 g⁻¹. Es el segundo grupo de suelos cultivados con maíz.

Subgrupo 3: representa al 8.9% de los sitios analizados. Contienen muy bajos contenidos de MO (<4%) y arcilla entre (25-35%), en los cuales el promedio de CIC es de 11.63 meq 100 g⁻¹.

Subgrupo 4: representa al 6.3% de los sitios analizados. Contienen muy bajos contenidos de MO (<4%) y arcilla mayor de 35%, en los cuales el promedio de CIC es de 48.9 meq 100 g⁻¹.

Estos cuatro subgrupos, en conjunto representan al 94% (222 de 236) de los sitios analizados que se caracterizan por tener muy bajos niveles de MO, en los cuales la CIC depende significativamente del contenido de arcilla que tienen. Al aumentar los niveles de arcilla aumenta también la capacidad de los suelos para almacenar nutrientes, por ejemplo, los suelos con más de 35% de arcilla tienen en promedio una CIC 10 veces mayor en comparación con los que tienen menos de 15% de arcilla.

La Figura 4 muestra que los Vertisol contienen los valores más altos de arcilla con un promedio de 43.8% ($\pm 26.7\%$), por ello 60% de los casos que poseen los valores más altos de CIC (>40 meq 100 g⁻¹) pertenecen a este tipo de suelo en donde se ubica sólo 14% del área maicera. Según Roy y Barde (1962) los Vertisol poseen una alta CIC debido al predominio de arcilla del tipo 2:1, por ejemplo, un suelo con 50-60% de arcilla tiene una CIC de 50- 66 meq por 100 g de suelo. De acuerdo a estos autores, el contenido de arcilla montmorillonítica da una estimación aproximada de CIC porque 1 g de arcilla imparte sobre 0.5 a 0.7 meq del CIC al suelo y el aporte de la materia orgánica hacia la CIC es bastante bajo en la zona tropical (Roy y Barde, 1962).

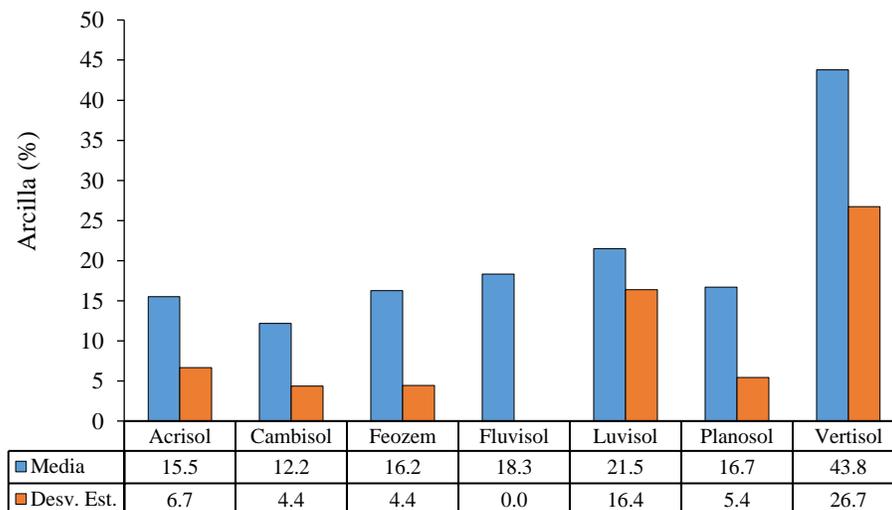


Figura 4. Contenido de arcilla (%) según tipo de suelo (n= 216).

Por su parte, los suelos de los grupos Luvisol y Cambisol que son lo más representativos de las áreas maiceras, 34.5% contienen en promedio 21.5% de arcilla ($\pm 16.4\%$). En el resto de las unidades de suelos el contenido promedio está por debajo de 20%.

El contenido de fósforo (P)

El contenido promedio de los 129 sitios analizados fue de 26.1 ppm (± 22.8), con un CV de 87.1% que indica alta variabilidad entre los suelos estudiados, por lo que se recomienda en estudios posteriores mapear las áreas de acuerdo a su contenido. La Figura 5 muestra los valores de P y su ubicación con respecto al nivel crítico de 15 ppm considerado como crítico por la NOM-021-SEMARNAT-2000 e IPNI (2017). Sólo 40% de los casos se podría esperar respuesta a la aplicación de fertilizante fosfatado debido que presentan contenidos por debajo del límite crítico, 60% restante presentó niveles medios y altos de P.

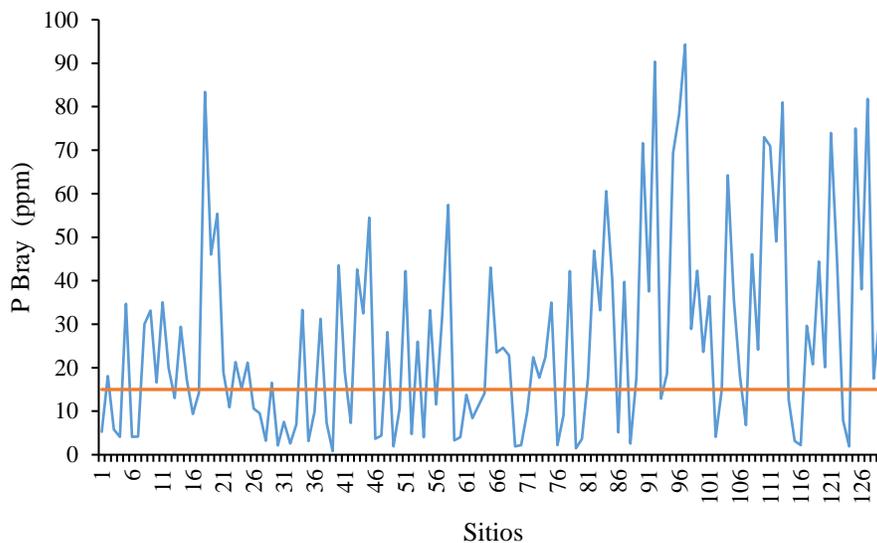


Figura 5. Contenido de P en los sitios muestreados.

La alta variabilidad en el contenido de fósforo encontrada en los suelos se debe a que del total de los productores que fertilizan el cultivo de maíz, sólo 43% aplican fertilizantes fosfatados en dosis que varía entre los 6 y 69 kg ha⁻¹

Los cationes básicos (K, Ca, Mg, Na)

El contenido de estos cationes presentó alta variabilidad en los suelos analizados con CV de 182, 110, 112 y 191% para el Ca, K, Mg y Na, respectivamente (Cuadro 1). Debido a que sólo en 17% (n= 40) de los sitios analizados se encontró presencia de Na y que en el 97 de lo casos el (%) de saturación de la CIC fue menor de 5% (considerado óptimo para la plantas), este catión se excluyó de los análisis subsiguientes. De acuerdo a los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000 el 68, 58 y 58% de los sitios analizados se ubicaron en las clases de bajo y muy bajo contenido para Ca, Mg y K respectivamente.

a) El % de saturación de Ca en la CIC

El Cuadro 5 muestra una clasificación por tipo de suelo de acuerdo a los criterios señalados por el IPNI (1990) para 216 sitios analizados, en general 57.41% de los casos resultaron deficientes al presentar niveles por debajo de 65% de saturación considerado como nivel óptimo. Los Vertisol

presentaron los menores casos de deficiencia en el (%) de saturación de Ca con sólo 26%, mientras que en el resto estuvieron por arriba del 54%, resaltando los Cambisol con 78%. En los suelos deficientes es necesario aplicar enmiendas (cal) para elevar el (%) de saturación a su nivel óptimo de 65% (Sánchez, 2014).

Cuadro 5. Clasificación según (%) de saturación de Ca en la CIC por tipo de suelo.

Clase de suelo	Total de casos	Óptimos 65-75% de Ca		Deficientes <65% de Ca		Altos >75% de Ca	
		Casos	(%)	Casos	(%)	Casos	(%)
Vertisol	23	5	21.74	6	26.09	12	52.17
Luvisol	117	33	28.21	63	53.85	21	17.95
Cambisol	36	3	8.33	28	77.78	5	13.89
Planosol	13	2	15.38	9	69.23	2	15.38
Feozem	10	3	30	6	60	1	10
Acrisol	16	3	18.75	11	68.75	2	12.50
Fluvisol	1	0	0	1	100	0	0
Total	216	49		124		43	
(%)	100	22.69		57.41		19.91	

b) El % de saturación de Mg en la CIC

De los 216 sitios analizados, 53% se ubicó en el rango de 10-20% de saturación considerado como óptimo, 30% en niveles altos con valores mayores a 30% y sólo 17% se ubicaron en la categoría de deficientes con valores menores al 10% (Cuadro 6); en esta última categoría sobresalen los suelos Vertisol y Luvisol. En todos estos suelos deficientes es necesario aplicar enmiendas de Mg para elevar el (%) de saturación a su nivel óptimo de 10%.

Cuadro 6. Clasificación según (%) de saturación de Mg en la CIC por tipo de suelo.

Tipos de suelos	Total de casos	Óptimos 0-20% de Mg		Deficientes <10% de Mg		Altos >20% de Mg	
		Casos	(%)	Casos	(%)	Casos	(%)
Vertisol	23	8	34.78	6	26.09	9	39.13
Luvisol	117	70	59.83	24	20.51	23	19.66
Cambisol	36	16	44.44	4	11.11	16	44.44
Planosol	13	7	53.85	1	7.69	5	38.46
Feozem	10	5	50	0	0	5	50
Acrisol	16	7	43.75	2	12.5	7	43.75
Fluvisol	1	1	100	0	0	0	0
Total	216	114		37		65	
(%)	100	52.78		17.13		30.09	

c) El (%) de saturación de K en la CIC

En el caso de este catión, 58% de los sitios analizados se ubicaron en la categoría de deficientes con valores menores a 5% de saturación. Diversos estudios han demostrado que el K es un elemento importante para incrementar el rendimiento de grano y reducir el acame del tallo del maíz, su deficiencia influye en la magnitud de la tasa fotosintética y la senescencia prematura de las plantas (Smith y White, 1988), así como en el deterioro progresivo de los tres nudos basales del tallo del maíz, y el consecuente acame de la planta (Liebhardt y Murdock, 1965; Kayode, 1986).

Aunque todos los tipos de suelos presentaron deficiencias de saturación de la CIC por K, la mayor frecuencia de sitios se observó en los suelos Vertisol, Feozem, Planosol y Cambisol (Figura 6).

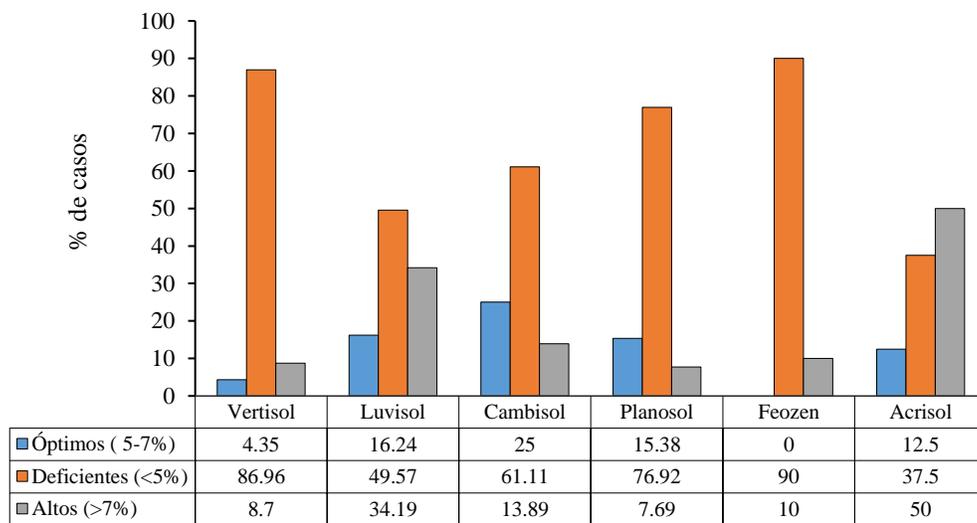


Figura 6. Frecuencia de casos con deficiencia en el % de saturación de K.

d) Las relaciones catiónicas

Las relaciones catiónicas son otro criterio de apoyo en la interpretación de los análisis de suelos, particularmente entre las bases (Chávez, 2012). Tomando como referencia los valores críticos generales sugeridos por Bertsch (1998), en 70, 34 y 29% de los casos se encontraron valores óptimos en las relaciones Ca/Mg (2-6), Ca/K (10-15) y Ca+Mg/K (20-30) respectivamente. En el caso de las relaciones que involucran al K el menor porcentaje de casos con valores óptimos se debe a que este catión presenta bajos contenidos en 57% de las parcelas estudiadas.

Los micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn y Zn)

El 100 y 94.6% de los casos presentaron niveles adecuados de Hierro y Cobre respectivamente. En lo que respecta al Zinc 46% se ubicaron en las categorías de deficiente y marginal (Cuadro 7).

Cuadro 7. Clasificación del contenido de Cu, Zn y Fe.

Clase	Cu			Zn			Fe		
	Contenido (ppm)	Casos	(%)	Contenido (ppm)	Casos	(%)	Contenido (ppm)	Casos	(%)
Deficiente	<0.2	7	5.43	<0.5	34	26.36	< 2.5	0	0
Marginal				0.5-1	25	19.38	2.5-4.5	0	0
Adecuado	>0.2	122	94.57	>1	70	54.26	>4.5	109	100
Total		129	100		129	100		109	100

El micronutriente deficiente en suelos cultivados con maíz fue el Boro, ya que 90% de los casos analizados (n= 80), se ubicaron dentro de las categorías de muy bajo y bajo contenido (Cuadro 8).

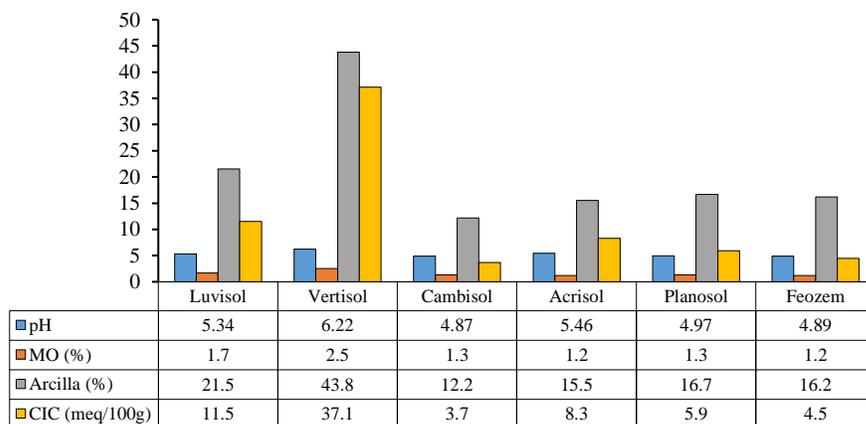
Cuadro 8. Clasificación del contenido de B.

Clase	Contenido (ppm)	Casos	(%)
Muy bajo	<0.39	39	48.75
Bajo	0.39-0.79	33	41.25
Medio	0.8-1.29	8	10
Alto	1.30-2.1	0	0
Total		80	100

La deficiencia de B en los suelos puede ser debida la textura gruesa, pobre materia orgánica, su formación sobre rocas ígneas y lixiviación por la lluvia especialmente en suelos ácidos y de textura gruesa (Violic, 2001).

Análisis por tipo de suelo

La Figura 6 muestra claramente que las parcelas ubicadas en suelos de la clase Vertisol presentan las mejores condiciones de fertilidad, ya que presentan valores más elevados de pH, MO, arcilla y CIC; sin embargo, en este tipo de suelo sólo se siembra 14% del área maicera. Por su capacidad para almacenar nutrientes (CIC) y contenido de arcilla le siguen los suelos de tipo Luvisol, en los cuáles se estima se ubica 34.5% del área cultivada con maíz.

**Figura 6. Características promedio por tipo de suelo.**

En el resto de los tipos de suelos (Cambisol, Acrisol, Planosol y Feozem) que representan al 51.1% del área cultivada con maíz la situación es crítica en términos de su capacidad productiva, por presentar bajos niveles de CIC, MO y arcilla.

Conclusiones

Los suelos cultivados con maíz presentan una baja fertilidad evidenciada por su generalizada acidez y bajo contenido de MO. En 94% de los sitios debido a su bajo contenido de MO, la capacidad de almacenamiento de nutrientes (CIC) depende significativamente del contenido de arcilla. En 79% de parcelas que tienen menos de 25% de arcilla y mayor contenido de MO, la CIC también es influenciada por el pH del suelo.

Las parcelas ubicadas en suelos de la clase Vertisol muestran las mejores condiciones de fertilidad, ya que presentan valores más elevados de pH, CIC, MO y arcilla; sin embargo, en esta unidad de suelo sólo se siembra 14% del área maicera.

En el 59, 18 y 58% de los casos se requieren tratamientos de Ca, Mg y K respectivamente, para elevar su porcentaje de participación en la CIC a niveles óptimos. En 40% de los sitios están por debajo del límite crítico de 15 ppm de P en los cuales se tendría respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfatados.

Los micronutrientes más deficientes fueron el Boro y el Zinc en el 90 y 46% de los casos analizados, atribuido al bajo contenido de MO, su formación sobre rocas ígneas y lixiviación por la lluvia especialmente en suelos ácidos y de textura gruesa.

Aunque los resultados se presentan por tipo de suelo, se recomienda que los datos de este estudio sirvan como insumos para realizar una zonificación de elementos críticos e iniciar estudios para revertir la problemática.

Agradecimientos

Los autores agradecen el generoso apoyo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo a través del Programa MasAgro, para la realización del presente estudio y la publicación de sus resultados.

Literatura citada

- Anzorena M. N. 1995. El suelo en la agricultura y el medio ambiente. Fertilidad del suelo: acidez y complejo de cambio. *Rev. Sustrai*. 36(1):40-44.
- Arcila P. J. y Farfán, V. F. 2010. Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en la producción de la finca. En sistema de producción de café en Colombia. 9:202-232.
- Benzing, A. 2001. Agricultura orgánica. Fundamentos para la región Andina. Neckar-Verlag, Villingen-Schwenningen, Alemania. 682 p.
- Bertsch, F. 1998. Potasio, calcio y magnesio en el sistema suelo-café. Curso regional sobre nutrición mineral del café. San José Costa Rica. Programa Cooperativo para la Producción y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE). 83-88 pp.

- Carter, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land. *Agron. J.* 94:1:38-47.
- Chávez, S. M. 2012. Relaciones catiónicas y su importancia para la agricultura. *Rev. Ventana Lechera.* 18:11-20.
- DOF. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&.
- DOF. 2016. Resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Frailesca, clave 0706, en el estado de Chiapas, región hidrológico-administrativa Frontera sur. Diario Oficial de la Federación. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5434780&.
- Espinosa, J. y Molina, E. 1999. La acidez y encalado de suelos. International Plant Nutrition Institute. Quito, Ecuador. 42 p.
- Foth, D. N. and Ellis, B. G. 1996. Soil fertility. Second (Ed.). CRC Press LLC. 282 p.
- IPNI. 1990. Manual de fertilidad de suelo: porcentaje de saturación de bases intercambiables. The postash and phosphate institute. 12 p.
- Kayode, G. D. 1986. Further studies on the response of maize to K fertilizer in the tropics. *J. Agric. Sci., Camb.* 107:141-147.
- López, B. W.; Reynoso, S. R.; López, M. J.; Camas, G. R. y Tasistro, A. 2018. Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la región Frailesca, Chiapas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(1):65-79.
- Pulleman, M.; Hellin, J.; Flores, V. D. y López, B. W. 2008. Calidad del suelo y rentabilidad de la finca: una situación en la que todos ganan. *Leisa Magazine.* 24(2):6-8.
- Roy, B. B. and Barde, N. K. 1962. Some characteristics of the black soils of India. *Soil Sci.* 93:142-147.
- Sánchez, G. P. 2014. Nutrición de zarzamora. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillos, Estado de México. 37 p.
- SIAP. 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción agrícola. <https://www.gob.mx/siap/>.
- Smith, D. R. and White, D. G. 1988. Diseases of corn. *In:* Sprague, G. F. and Dudley, J. W. (Eds.). Corn and corn improvement. ASA-CSSA-SSSA. Agronomy Monograph No. 18 Third Edition. Madison, Wi. USA. 687-766 pp.
- Tasistro, A. 2012. La acidez de los suelos. Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (IPNI). Notas de conferencia. 108 p.
- Van, N.; 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. Documento de trabajo. Colaboración INIFAP-CIMMYT en el manejo de los recursos naturales. Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, Texcoco Estado de México. 47 p.
- Violic, A. D. 2001. Manejo integrado del cultivo. En el maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. FAO. Roma. <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s00.htm#toc>.