

DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD Y REQUERIMIENTO DE CAL DE SUELOS CULTIVADOS CON AGAVE AZUL (*Agave tequilana* Weber)

Fertility Diagnosis and Lime Requirement of Soils Cultivated with Blue Agave (*Agave tequilana* Weber)

M. E. Álvarez- Sánchez^{1‡}, J. Velázquez-Mendoza², R. Maldonado-Torres¹,
G. Almaguer-Vargas¹ y A. L. Solano-Agama¹

RESUMEN

El *Agave tequilana* Weber variedad azul destaca por la gran superficie cultivada y por generar importantes divisas al país a través de la industria tequilera. Este cultivo enfrenta una crisis productiva, debido al escaso conocimiento de los factores que regulan su crecimiento y en especial a la mínima investigación de las condiciones edáficas en las que se desarrolla, lo que se traduce en falta de transferencia de tecnología que permita lograr el máximo rendimiento. En la presente investigación se evaluó el estado de la fertilidad de los suelos cultivados con agave azul, a fin de proponer prácticas de manejo y nutrición más eficientes. Los resultados obtenidos mostraron que el 52% de los suelos evaluados presentaron pH menor a 5.5, la concentración de materia orgánica en el 37% de los sitios fue de medio (1.81-2.30%) a bajo (0.81-1.20%), en el 41 y 44% de los suelos hubo deficiencias de cobre y zinc, respectivamente, el 41% de los suelos presentó deficiencias de potasio. Con base en lo anterior, se establecieron las necesidades de encalado que fluctuaron de 1.7 a 4 Mg ha⁻¹, para aumentar la disponibilidad de nutrimentos, principalmente, calcio y fósforo. También se hace necesario mejorar el nivel de materia orgánica para lograr una mejor disponibilidad de nutrientes, especialmente cobre y zinc.

Palabras clave: *Agave tequilana* Weber, diagnóstico, fertilidad de suelos, cal.

SUMMARY

Agave tequilana Weber cv. “azul” stands out because of its wide cultivated area and because it generates an important foreign income through tequila industry. This crop faces a production crisis due to the scarce knowledge of the factors regulating its growth and, especially, to the minimal research into the edaphic conditions under which it develops, resulting in lack of technology transference that may allow the highest yield. In the present study, the fertility of the soils cultivated with “azul” agave was assessed, with the objective of proposing more efficient management and nutrition practices. The obtained results showed that 52% of the evaluated soils had pH lower than 5.5; in 37% of the sites organic matter concentration was medium (1.81-2.30%) to low (0.81-1.20%), in 41 and 44% of the soils there were copper and zinc deficiencies, respectively, and 41% of the soils showed potassium deficiencies. Based on the aforesaid, lime requirements from 1.7 to 4 Mg ha⁻¹ were established in order to increase nutrient availability, mainly calcium and phosphorus. It also became necessary to improve the organic matter level in order to achieve better nutrient availability, especially for copper and zinc.

Index words: *Agave tequilana* Weber, soil fertility, diagnosis, lime.

INTRODUCCIÓN

El *Agave tequilana* Weber variedad Azul destaca en México por que cubre una superficie de 170 000 ha cultivadas en condiciones de temporal, de las cuales el 98.3% se concentra en el estado de Jalisco, generando importantes divisas al estado y al país a través de la industria tequilera (SAGARPA, 2006a). A pesar que éste es de gran importancia industrial, las técnicas de cultivo

¹ Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, estado de México.

[‡] Autor responsable (edna_alvarez30@yahoo.com.mx)

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

son tradicionales, por lo que es necesario llevar a cabo investigación científica sobre su manejo en cuanto a preparación del terreno, prácticas de labranza más adecuadas, dosis óptimas de fertilización y prevención de plagas y enfermedades, razones por las que actualmente este cultivo enfrenta una crisis de producción (Barrera y Sánchez, 2003). Estudios realizados por SAGARPA (2006a) muestran que el rendimiento promedio es de $106.8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, pero existen productores que obtienen desde $90 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, y algunos hasta $150 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Las diferencias entre el rendimiento promedio y los máximos registrados, la pérdida de plantas ocasionada por la incidencia de plagas y enfermedades (Flores, 2000) y la obtención de tequila de menor calidad se atribuyen al clima y a la baja de fertilidad del suelo, principalmente (Barrera y Sánchez, 2003).

En la zona de denominación de origen del tequila, predominan los suelos con pH ácido (INEGI, 1981), que favorece la concentración de aluminio activo y disminuye la disponibilidad de fósforo, calcio, magnesio, zinc, boro y molibdeno, generando las respectivas deficiencias nutrimentales (Aguirre, 2001). Dado que el estado nutrimental del cultivo influye directamente en la sanidad y producción del mismo, en la presente investigación se evaluó la fertilidad y estimó el índice de encalado requerido en los suelos cultivados con agave azul en los Altos de Jalisco, para mejorar el rendimiento y calidad de las cosechas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló en la zona los Altos de Jalisco y comprendió los municipios de Arandas, Atotonilco el Alto, Ayotlán y Jesús María, que destacan por tener una importante superficie cultivada con agave azul en 5477, 4155, 1848 y 1501 ha, respectivamente (CRT, 2000; SAGARPA, 2006b).

El clima en esta región presenta grandes contrastes debido a la variada conformación del relieve y la influencia de masas de agua, tanto marítimas como lacustres; los municipios de Ayotlán, Jesús María y Arandas presentan un clima templado subhúmedo con precipitación anual en el intervalo de 855 a 1000 mm y temperatura media anual entre los 16.5 y 20.9 °C, siendo Jesús María el más frío y con la mayor precipitación. A diferencia de éstos, Atotonilco el Alto pertenece al semicálido subhúmedo con precipitación anual de 846.2 mm y temperatura media de 20.9 °C (García, 1988). Los suelos en su mayoría son de origen residual

y aluvial, entre los que predominan Feozems, Planosols, Litosols, Vertisols y Luvisols (CONAFOR, 2010).

Se seleccionaron 27 sitios de muestreo en los 4 municipios donde se definieron áreas homogéneas con base en la clase de suelo, profundidad, color, textura, pendiente, edad de la plantación y superficie cultivada con agave azul, en cada municipio, según el inventario realizado por el Consejo Regulador del Tequila en el año 2000 (CRT, 2000).

El muestreo se realizó en marzo de 2005 y cada sitio de muestreo se georreferenció con un GPS (Global Positioning System), marca GARMIN modelo 12 XCL). En cada sitio se formó una muestra compuesta conformada por 20 submuestras (1-2 kg) tomadas a una profundidad de 0 a 30 cm.

El suelo colectado fue secado, molido y se midió el pH (agua relación 1:2), materia orgánica (Walkley y Black), nitrógeno inorgánico ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$, extraído con KCl 2N) fósforo disponible (Olsen), cationes intercambiables (extraídos con $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N pH 7) y micronutrientes (extraídos con DTPA) mediante los procedimientos descritos en la Norma oficial Mexicana para el análisis de fertilidad de suelos (SEMARNAT, 2002). Los requerimientos de carbonato de calcio se estimaron según el método de la curva de titulación (Goijberg y Aguilar, 1987). La ubicación de los sitios de muestreo por municipio en la zona de estudio se indica en el Cuadro 1.

Los resultados de los análisis de la fertilidad de los suelos se agruparon en siete clases: muy bajo, bajo, moderadamente bajo, medio, moderadamente alto, alto y muy alto, de acuerdo a los valores límite presentados por Castellanos *et al.* (2000) y SEMARNAT (2002), como se indican a continuación:

pH: muy bajo (<4.6), bajo (4.6-5.4), moderadamente bajo (5.5-6.4), medio (6.5-7.3), moderadamente alto (7.4-8.1), alto (8.2-8.8), muy alto (>8.9).

MO (%): muy bajo (<0.80), bajo (0.81-1.20), moderadamente bajo (1.21-1.80), medio (1.81-2.30), moderadamente alto (2.31-3.00), alto (3.01-4.00), muy alto (>4.01).

Ni ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$): muy bajo (<10), bajo (10-20), moderadamente bajo (20-40), medio (40-60), moderadamente alto (60-100), alto (100-150), muy alto (>150).

P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$): muy bajo (<4), bajo (5-9), moderadamente bajo (10-15), medio (16-20), moderadamente alto (21-25), alto (26-35), muy alto (>36).

K (cmol kg⁻¹): muy bajo (<0.20), bajo (0.20-0.38), moderadamente bajo (0.38-0.51), medio (0.51-1.02), moderadamente alto (1.02-2.05), alto (2.05-3.07), muy alto (>3.07).

Ca (cmol kg⁻¹): muy bajo (<2.5), bajo (2.5-3.75), moderadamente bajo (3.75-7.5), medio (7.5-10), moderadamente alto (10-15), alto (15-22.5), muy alto (>22.5).

Mg (cmol kg⁻¹): muy bajo (<0.41), bajo (0.41-0.82), moderadamente bajo (0.82-1.64), medio (1.64-3.28), moderadamente alto (3.28-6.56), alto (6.56-11.48), muy alto (>11.48).

Fe (mg kg⁻¹): muy bajo (<3), bajo (3-5), moderadamente bajo (5-8), medio (9-12),

moderadamente alto (13-25), alto (26-49), muy alto (>50).

Zn (mg kg⁻¹): muy bajo (<0.3), bajo (0.3-0.6), moderadamente bajo (0.7-1.2), medio (1.3-2.5), moderadamente alto (2.6-5.0), alto (5.1-8.0), muy alto (>8.1).

Mn (mg kg⁻¹): muy bajo (<2), bajo (2-4), moderadamente bajo (4-7), medio (7-12), moderadamente alto (12-25), alto (25-50), muy alto (>50).

Cu (mg kg⁻¹): muy bajo (<0.2), bajo (0.2-0.5), moderadamente bajo (0.5-0.8), medio (0.9-1.2), moderadamente alto (1.3-1.8), alto (1.8-2.5), muy alto (>2.5).

Cuadro 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.

Número de sitio	Coordenadas		Altitud
			m
Arandas			
1	20° 41' 36.4"	102° 17' 45.9"	2176
2	20° 39' 08"	102° 17' 10.1"	2110
3	20° 41' 18"	102° 21' 14.4"	2088
4	20° 40' 53.8"	102° 20' 58.2"	2086
5	20° 41' 52.9"	102° 21' 57.5"	2078
6	20° 39' 34.7"	102° 21' 16.8"	2029
7	20° 39' 30.3"	102° 21' 13.8"	2014
8	20° 39' 55.3"	102° 21' 11.9"	2037
9	20° 42' 45.7"	102° 18' 37.9"	2160
10	20° 41' 31.4"	102° 22' 34.2"	2074
11	20° 41' 46.2"	102° 22' 26.5"	2081
12	20° 42' 23"	102° 22' 30.6"	2078
13	20° 43' 18.8"	102° 23' 21.2"	2071
Jesús María			
14	20° 38' 48.3"	102° 12' 55.4"	2235
15	20° 31' 15"	102° 13' 35.5"	2121
16	20° 35' 53"	102° 14' 20.6"	2119
Ayotlán			
17	20° 29' 55.9"	102° 20' 8.4"	1630
18	20° 29' 59.7"	102° 19' 37.6"	1608
19	20° 32' 6.3"	102° 21' 59.7"	1656
20	20° 31' 51"	102° 22' 26.4"	1664
21	20° 32' 56"	102° 24' 54.5"	1752
Atotonilco el Alto			
22	20° 34' 37.8"	102° 24' 6.2"	1940
23	20° 33' 40.4"	102° 27' 6.1"	1703
24	20° 35' 51.6"	102° 38' 30.1"	1909
25	20° 33' 22.3"	102° 38' 18.5"	1841
26	20° 30' 55.5"	102° 37' 25.8"	1576
27	20° 32' 10.9"	102° 37' 32.8"	1587

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En orden de importancia y por superficie cultivada las principales clases de suelo donde se cultiva el agave azul en los municipios de Arandas, Atotonilco el Alto, Ayotlán y Jesús María (Cuadro 2) corresponden a Luvisols, Vertisols y Feozems (CONAFOR, 2010). En el Cuadro 2 se indica el promedio y la desviación estándar de las determinaciones químicas para cada clase de suelo, y en el Cuadro 3 los porcentajes de los sitios clasificados por categorías de acuerdo a su nivel de fertilidad para cada variable analizada.

En promedio, los sitios ubicados en los Luvisols presentaron un pH bajo (entre 4.6 y 5.4), con un nivel medio en materia orgánica, nitrógeno inorgánico, calcio y magnesio; alto en potasio y muy alto en hierro y manganeso, moderadamente bajo en cobre y adecuado en zinc (Cuadro 2). Los Luvisols se caracterizan por presentar un pH ácido y un nivel medio a alto en bases intercambiables; esta condición de acidez se relaciona con altos niveles de Al activo que además de favorecer la retención de P puede provocar toxicidad para el cultivo, sin embargo, las variaciones en el pH (>5.3) y el alto contenido en P disponible Olsen (37 mg kg⁻¹) son indicativos de que la fertilidad del suelo es mantenida con procedimientos de encalado y fertilización, pero no en todos los sitios, ya que el 55% de los Luvisols (Cuadro 3) presentó un pH bajo a muy bajo, esto es, menor a 5.4 (Cuadro 3). Por otra parte, en 67% de los sitios el nivel de P disponible resultó muy alto (Cuadros 2 y 3), típico de adiciones continuas de P que favorecen su acumulación pero que podría conducir a deficiencias de Zn en el cultivo (Barben *et al.*, 2007; Alloway, 2008;). En cuanto a los micronutrientes,

Cuadro 2. Análisis químico de los suelos en los municipios de Arandas, Atotonilco el Alto, Ayotlán y Jesús María en los Altos de Jalisco.

Sitio	pH	Materia orgánica	Nitrógeno inorgánico [†]	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Hierro	Cobre	Zinc	Manganeso
		%	mg kg ⁻¹			cmol kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
Luvisol											
Arandas											
1	6.2	2.5	36	54	1.7	9.4	2.3	16	3.5	5.8	90
2	4.9	2.5	33	75	0.5	5.3	2.4	17	1.2	1.0	80
3	5.5	2.6	29	76	0.8	7.3	1.2	16	2.5	2.2	71
4	5.1	2.7	16	39	1.2	6.0	1.9	21	2.2	3.1	110
5	4.4	2.8	33	37	0.6	4.7	1.1	21	2	1.9	113
6	6.5	2.5	26	72	1.3	9.5	1.7	7	1.4	2.9	46
7	5.2	2.2	40	7	0.9	6.1	1.7	29	1.4	1.2	98
8	4.4	2.9	23	32	0.5	3.7	1.2	21	1.9	1.7	113
9	5.8	1.9	17	33	0.8	8.3	2.8	15	0.9	2.4	75
10	4.4	2.8	22	22	0.4	3.8	0.7	17	1.9	1.5	73
11	5.2	2.9	40	12	0.5	6.2	1.9	19	2.3	1.7	92
12	4.9	2.7	17	42	0.7	5.7	1.4	24	2.4	2.6	113
13	4.9	3.6	35	3	0.4	4.4	2.5	15	2.1	0.7	74
Jesús María											
14	6.2	2.6	44	15	1.9	8.0	3.2	16	2	2	78
Ayotlán											
18	6.5	3.0	10	74	0.3	19.0	14.0	34	3.1	2.6	58
Atotonilco el Alto											
22	4.3	3.3	35	13	0.4	5.4	2.6	47	2.3	2.3	92
24	5.2	3.1	39	54	1.3	5.7	2.8	18	1.9	4.5	42
25	6.6	4.6	41	2	0.7	16.7	8.0	18	0.7	1.0	46
Media	5.3	2.8	30	37	0.83	7.5	3.00	21	1.98	2.28	81
DE [‡]	0.8	0.6	10	26	0.47	4.2	3.20	9	0.70	1.26	23
Vertisol											
Jesús María											
15	4.9	1.9	72	2	0.9	5.0	1.8	12	0.7	0.5	102
16	4.4	1.6	20	16	1.3	4.9	1.7	19	0.9	1.1	86
Ayotlán											
17	6.1	2.0	95	2	1.0	8.0	7.1	18	1.0	0.2	38
19	6.6	1.7	12	28	0.3	20.0	8.7	12	1.2	0.6	36
Ayotlán											
20	6.6	2.3	29	7	0.40	21.0	16.4	16	1.2	0.5	25
Atotonilco el Alto											
23	6.2	2.1	64	6	0.4	14.1	10.9	16	1.1	0.6	24
26	6.3	3.1	48	16	1.70	10.7	7.5	49	2.4	1.5	83
27	7.9	2.0	54	10	1.00	12.3	13.5	7	1.2	0.3	17
Media	6.1	2.1	49	11	0.88	12.0	8.45	19	1.21	0.66	51
DE [‡]	1.1	0.46	28	9	0.49	6.2	5.17	13	0.51	0.43	33
Feozem											
Ayotlán											
21	6.5	2.2	14	11	0.4	14	6.4	24	1.1	0.3	25

[†] NO₃⁻ + NH₄⁺; [‡] DE = desviación estándar.

Cuadro 3. Porcentaje de sitios clasificados por categorías de acuerdo a su nivel de fertilidad.

Nivel de fertilidad	pH	MO	Ni	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
Luvisol											
Muy bajo	22	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0
Bajo	33	0	22	6	6	6	6	0	0	0	0
Moderadamente bajo	28	0	56	17	33	61	22	6	11	22	0
Medio	17	11	22	0	17	22	61	0	78	44	0
Moderadamente alto	0	66	0	0	22	11	0	78	6	28	0
Alto	0	17	0	0	22	0	6	17	0	6	17
Muy alto	0	6	0	66	0	0	5	0	6	0	83
Vertisol											
Muy bajo	12	0	12	25	0	0	0	0	0	12	0
Bajo	12	0	12	25	13	0	0	0	0	63	0
Moderadamente bajo	38	24	13	13	24	25	0	13	12	13	0
Medio	25	63	25	25	0	38	25	0	63	12	0
Moderadamente alto	13	13	38	0	50	13	0	74	13	0	38
Alto	0	0	0	12	13	24	38	13	12	0	25
Muy alto	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	37
Feozem											
Muy bajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bajo	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100	0
Moderadamente bajo	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
Medio	100	100	0	0	0	0	0	0	100	0	0
Moderadamente alto	0	0	0	0	0	100	100	100	0	0	100
Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muy alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

en 83% de los sitios se identificó que el nivel de Mn fue muy alto (Cuadros 2 y 3), situación que es importante corregir para evitar que antagonice al Fe y provoque su deficiencia. El encalado así como la adición de hierro al suelo son imprescindibles para regular el balance iónico entre ambos elementos para una adecuada nutrición del cultivo (Prasad y Power, 1997).

En el caso de los Vertisols, el promedio de los sitios (Cuadro 2) presentó un pH moderadamente ácido, con un contenido medio de materia orgánica y en nitrógeno inorgánico, moderadamente bajo en P disponible, alto en bases intercambiables, adecuado en Fe y Mn pero, con insuficiencia de Cu y Zn. De estos suelos, el 24% de los sitios presentó un pH bajo (entre 4.6 y 5.4) a muy bajo (<4.6) (Cuadro 3), condición de acidez asociada con un contenido de Mn alto en 63% de los sitios, requiriéndose el encalado de esos suelos y la fertilización con Fe, Cu y Zn, el primero para mantener un balance con el Mn y los dos últimos por encontrarse en niveles de insuficiencia. Es importante que dentro de las prácticas de manejo, se incluya la adición de abonos orgánicos

Cuadro 4. Estimación de los requerimientos de cal (Mg ha⁻¹ de CaCO₃) para algunos sitios en la zona de estudio.

Sitio	pH inicial en solución KCl 1N	pH final	me de base necesarios para alcanzar el pH deseado	Requerimiento de CaCO ₃
				Mg ha ⁻¹
2	4.23	5.0	0.60	3.070
3	5.1	5.5	0.32	1.722
4	4.6	5.0	0.42	2.150
5	3.95	4.5	0.60	3.071
7	4.72	5.5	0.52	2.661
8	3.8	4.5	0.70	3.675
9	5.3	6.0	0.58	2.918
10	4.1	4.5	0.42	2.149
12	4.2	5.0	0.66	3.378
13	4.2	5.0	0.64	3.134
15	4.0	5.0	0.78	4.095
16	4.1	5.0	0.54	2.907
22	3.8	4.5	0.76	3.665
24	4.4	5.0	0.42	2.020

a fin de mejorar el nivel de materia orgánica en el 11% de los sitios, lo que también contribuiría a corregir las deficiencias de Cu y Zn.

Los análisis correspondientes al Feozem, indicaron un contenido medio de materia orgánica, bajo en nitrógeno inorgánico y en P disponible, medio en K y Cu alto en Ca, Mg, Fe y Mn, pero deficiente en zinc, lo que implica la necesidad de precisar las dosis de fertilización correspondientes para mejorar la disponibilidad y el balance nutrimental (Alloway, 2008).

Estimación de los Requerimientos de Cal de los Suelos

Los agaves prosperan en un intervalo de pH de 6.0 a 8.0 y no se recomienda su cultivo en suelos con problemas de acidez o alcalinidad (Valenzuela, 2003) y aunque pueden adaptarse a estas últimas condiciones, la persistencia de plagas y enfermedades son un reflejo de la fragilidad del sistema de manejo agrícola (Valenzuela, 2007). Dado que 52% de los sitios presentó un pH menor a 5.5 (Cuadros 2 y 3), la práctica del encalado es recomendable para reducir los niveles de aluminio activo, el exceso de manganeso, mejorar la disponibilidad de P y las condiciones de fitosanidad del cultivo (Molina, 1998). Con base en el criterio de neutralización del aluminio activo (pH 5.5), de la capacidad amortiguadora del suelo para corregir los problemas generados por la acidez y los costos de la práctica, se estimaron los requerimientos de cal (Prasad y Power, 1997; Molina, 1998). En general, las recomendaciones de encalado variaron de 1.7 a 4 Mg ha⁻¹ de cal agrícola, dependiendo de la capacidad amortiguadora de los suelos (Cuadro 4). En especial, los sitios 8, 10 y 22 mostraron la mayor capacidad de amortiguamiento, es decir, que no presentaron gran cambio en el pH al aplicar la solución neutralizante y sólo se calculó el requerimiento de cal a un pH de 4.5, ya que un ligero cambio puede mejorar las condiciones nutrimentales para el agave azul, aunque esto debe verificarse con la respuesta en campo del cultivo. Se recomienda que esta práctica de encalado se realice con dolomita o se programe una fertilización de Mg para evitar posibles desbalances entre Ca y Mg (Molina, 1998). No debe olvidarse que la práctica de encalado acelera la descomposición de la materia orgánica fresca del suelo, por lo que también es recomendable el uso de abonos orgánicos junto con esta práctica de manejo (Baquerol y Rojas, 2001).

CONCLUSIONES

En orden de importancia y por superficie cultivada las principales clases de suelo donde se cultiva el agave azul en los Altos de Jalisco, en los municipios de Arandas, Atotonilco el Alto, Ayotlán y Jesús María corresponden a Luvisols, Vertisols y Feozems. La evaluación de la fertilidad de estos suelos muestra que los Luvisols, presentan problemas de acidez asociados con exceso de manganeso (Mn) y hierro (Fe), que afectan el crecimiento y desarrollo del cultivo. En los Vertisols además de la acidez, las deficiencias de fósforo (P) y zinc (Zn) son comunes en la mayoría de los sitios. En el sitio ubicado dentro del Feozem es preciso mejorar las reservas de cobre (Cu) y corregir los niveles de fósforo (P) y zinc (Zn). Independientemente de estas particularidades por tipo de suelo, en todos los sitios es necesario mejorar el balance nutrimental al generar las recomendaciones de fertilización.

Los requerimientos de encalado para los suelos con pH en agua menor a 5.5 variaron de 1.7 a 4.0 Mg ha⁻¹ de CaCO₃.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto 2 000 0301 001 apoyado parcialmente por CONACYT y al Consejo Regulador del Tequila por el apoyo brindado.

LITERATURA CITADA

- Aguirre G., A. 2001. Química de los suelos ácidos, templados y tropicales. FES-Cuatitlán-UNAM. Estado de México, México.
- Alloway, B. J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. Published by International Zinc Association (IZA) and International Fertilizer Industry Association (IFA). Brussels, Belgium and Paris, France.
- Baquerol, J. E. and L. A. Rojas. 2001. Interaction effects of organic materials and lime on grain yield and nutrient acquisition of three maize varieties grown in an Oxisol of the Colombian eastern plains. pp. 982-983. *In*: W. J. Horst *et al.* (eds.). Plant nutrition: Food security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research (developments in plant and soil sciences). Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Barben, S. A., B. A. Nichols, B. G. Hopkins, V. D. Jolley, J. W. Ellsworth, and B. L. Webb. 2007. Phosphorus and zinc interactions in potato. pp. 219-223. *In*: Western nutrient management conference Salt Lake City, UT, USA.
- Barrera, C. G. y B. C. Sánchez. 2003. Programa Nacional Estratégico de Necesidades de Investigación y de Transferencia de Tecnología. Caracterización de la cadena agroalimentaria agroindustrial nacional e identificación de sus demandas tecnológica: Agave. Reporte final, etapa II. Fundación Produce Jalisco.

- Bohn, H. L., B. L. Mcneal y G. A. O'connor. 1993. Química del suelo. Limusa. México, D. F.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Colección INCAPA. Celaya, Guanajuato, México.
- Secretaría de Gobernación, Gobierno del Estado de Jalisco, Centro Nacional de Estudios Municipales y Centro Estatal de Estudios Municipales de Jalisco. Los municipios de Jalisco. Colección: Enciclopedia de los municipios de México. Secretaría de Gobernación, México, D. F., 1988.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2010. Inventario nacional forestal y de suelos. México, D. F.
- CRT (Consejo Regulador del Tequila). 2000. Anuario estadístico de producción del sistema Agave-tequila. Guadalajara, Jalisco, México.
- Etchevers B., J. D. 1988. Manual de métodos de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, estado de México.
- Fitzpatrick, E. A. 1993. Suelos su formación, clasificación y distribución. CECSA. México, D. F.
- Flores, L. H. E. 2000. Informe final del proyecto CONACYT. Análisis agroecológico del *Agave tequilana* Weber var. Azul, con énfasis en problemas fitosanitarios. INIFAP-Universidad de Guadalajara. Tepatlán, Jalisco, México.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Gojberg-Rein, G. y A. Aguilar-Santelises. 1987. pH del suelo y necesidades del cal. pp. 17-44. In: A. Aguilar S., J. D. Etchevers B. y J. Castellanos (eds.). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo. México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1981. Síntesis geográfica, nomenclátor y anexo cartográfico del estado de Jalisco. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D. F.
- Molina, R. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. Universidad de Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José de Costa Rica.
- Prasad, R. and J. F. Power. 1997. Soil fertility management for sustainable agriculture. Lewis Publishing. New York, NY, USA.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2006a. Anuario estadístico de la producción agrícola. Oficina estatal de información para el desarrollo rural sustentable. México, D. F.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2006b. Anuario estadístico de la producción agrícola por municipio. Oficina estatal de información para el desarrollo rural sustentable. México, D. F.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial, martes 31 de diciembre 2002, primera sección 7-74. México, D. F.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant physiology. The Benjamin Cummings Publishing Company. Redwood City, CA, USA.
- Valenzuela Z., A. G. 2003. El agave tequilero: cultivo e industria de México. Mundi-Prensa. México, D. F.
- Valenzuela Z., A. G. 2007. Diagnóstico del sistema de producción ejidal de *Agave tequilana* W. var. Azul, en la región de origen: 20 años de expansión tequilera. Primer Seminario Internacional del Tequila: ambiente, cultura y sociedad, 1-32. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.