

Caracterización edafológica con cultivo de agave azul (*Agave tequilana* Weber) en Tonaya y Tuxcacuesco, Jalisco, México Edaphological characterization in a blue agave (*Agave tequilana* Weber) cultivation in Tonaya and Tuxcacuesco, Jalisco, Mexico

Blanca Elizabeth Fregoso-Zamorano¹, Oscar Raúl Mancilla-Villa^{1†},
Rubén Darío Guevara-Gutiérrez², Arturo Moreno-Hernández¹, Pedro Figueroa-Bautista²,
Álvaro Can-Chulim³, Omar Hernández-Vargas¹, Elia Cruz-Crespo³,
Héctor Manuel Ortega-Escobar⁴, Abdul Khalil Gardezi⁴ y Víctor Manuel Villalvazo-López²

¹ Departamento de Producción Agrícola, ² Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Universidad de Guadalajara. Av. Independencia Nacional #151, centro Autlan de Navarro. 48900 Autlan, Jalisco, México.

[†] Autor para correspondencia: (oscar.mancilla@academicos.udg.mx)

³ Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la cultura " Amado Nervo" s/n. 63000 Tepic, Nayarit, México.

⁴ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Hidrociencias. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México.
Editor de Sección: Dr. Roberto Gregorio Chiquito Contreras

RESUMEN

El cultivo del agave azul es de importancia económica en el estado de Jalisco, genera gran cantidad de empleos y es la principal fuente económica de varios municipios como es el caso de Tonaya y Tuxcacuesco. No obstante, en la actualidad se desconoce el estado edafológico de los suelos, se exhibe un limitado conocimiento de los factores que regulan el crecimiento del cultivo, lo que propicia que los rendimientos en el cultivo no se consideren óptimos. En este sentido, el objetivo de esta investigación fue evaluar el estado de la fertilidad de los suelos cultivados con agave azul en parcelas con distintas características (vírgenes y con varios ciclos de siembra) y diagnosticar su estado, en los municipios de Tonaya y Tuxcacuesco, con el fin de proponer prácticas de manejo y nutrición eficientes. Se analizaron los suelos en laboratorio, encontrándose las siguientes características; los resultados obtenidos evidencian que en promedio los suelos presentaron valores de pH de 7.7, la concentración de materia orgánica con promedio de 2.19%, en la mayoría de los sitios se encontraron deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio, clasificando a los suelos en la categoría de bajos a pobres en cuanto al contenido nutricional. Con base en los análisis estadísticos se demostró que no existen diferencias significativas entre los tipos de parcelas evaluadas, su contenido de materia orgánica y nutrientes. En cuanto a las prácticas de manejo se recomienda utilizar abonos orgánicos y el sistema de policultivo frijol, maíz y agave cuando el contexto agrícola y económico lo permitan.



Cita recomendada:

Fregoso-Zamorano, B. E., Mancilla-Villa, O. R., Guevara-Gutiérrez, R. D., Moreno-Hernández, A., Figueroa-Bautista, P., Can-Chulim, A., ... Villalvazo-López, V. M. (2023). Caracterización edafológica con cultivo de agave azul (*Agave tequilana* Weber) en Tonaya y Tuxcacuesco, Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-14. e1592. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1592>

Recibido: 10 de junio de 2022.
Aceptado: 10 de octubre de 2022.
Artículo. Volumen 41.
Enero de 2023.

Palabras clave: agricultura, edafología, nutrientes, tequila.

SUMMARY

The cultivation of blue agave has economic importance in the state of Jalisco as it generates employment, being the main economic source in several municipalities such as Tonaya and Tuxcacuesco. However, at present, the edaphological status of the soils is unknown and there is limited knowledge on the factors that regulate crop growth, which limits the determination of optimal crop yields. In this sense, the aim of our research was to evaluate the state of fertility of the soils cultivated with blue agave in plots with different characteristics (virgin and with several planting cycles), as well as to diagnose their status in the Tonaya and Tuxcacuesco municipalities in

order to suggest more efficient management and nutrition practices. After analyses in the laboratory, the results show that the soils presented a mean pH value of 7.7, the mean concentration of organic matter was 2.19%. Overall deficiencies of nitrogen, phosphorus and potassium were found, thus, the soils were classified in the low-to-poor category in terms of nutritional content. Moreover, there were no significant differences between the plots evaluated, organic matter content and nutrients. We recommend the use of organic fertilizers and bean/corn/agave polyculture when agricultural and economic resources are sufficient.

Index words: *agriculture, soil science, nutrients, tequila.*

INTRODUCCIÓN

Los registros históricos sitúan a México, como el centro de origen para el cultivo del agave dada la gran diversidad de especies de agaves que posee. Este género se incluye entre los que originalmente se distribuían y cultivaban por los diferentes grupos humanos en el centro agrícola de América. Evidencia de ello, es su alta variación de usos y cultivo por medio de la selección humana. En este sentido la diversidad de los cultivos agrícolas y en este caso del agave, es en inicio, promovida por procesos de selección natural, y aproximadamente desde hace 10 000 años, por la intervención humana en el proceso de selección dirigida, que en la actualidad permite la realización de actividades agrícolas productivas como lo es el cultivo y destilación de agave (Colunga-GarcíaMarín, Zizumbo y Martínez, 2007; Ruiz-Corral, 2007).

Las especies del género *Agave* presentan adaptaciones fisiológicas a distintas condiciones edáficas, desde diversas condiciones fisicoquímicas, hasta diferentes orígenes geológicos. Entre ellos, el cultivo se puede desarrollar tanto en suelos ácidos rocosos de origen volcánico como en básicos de piedra caliza de origen marino. Algunas especies se desarrollan en condiciones edáficas con baja disponibilidad de nutrientes, en contraparte también se desarrollan con alto contenido de minerales, y también en condiciones de baja o alta salinidad y bajos niveles de pH (Cen-Cen, Gómez y Martínez, 2015).

A nivel mundial, aproximadamente más de 74% de los suelos dedicados a las actividades agrícolas manifiestan problemas relacionados con la salinidad edáfica (Argentel-Martínez, Fonseca, Garatuza, Yépez y González, 2017). Las parcelas agrícolas afectadas por problemas de salinidad se extienden aproximadamente entre 7 y 10% (8.97 millones de km²) de las parcelas agrícolas distribuidas en todo el mundo, lo anterior representa entre 20 a 30% de las parcelas con riego en la agricultura y una superficie aproximada a 60 millones de hectáreas (Qadir *et al.*, 2014). En este sentido, y debido a los graves problemas de salinización, se ha estimado que se pierden al año 1.5 millones de ha de parcelas agrícolas irrigadas, lo anterior repercute directamente en la productividad agrícola disminuyendo en aproximadamente 11 mil millones de dólares los ingresos por año (Bronwyn, Vera, Balderas y Pantoja, 2014).

Los suelos afectados por salinidad se caracterizan por la acumulación de cantidades excesivas de sales solubles (magnesio, carbonatos, cloruros, bicarbonatos de sodio, sulfatos, calcio, y potasio) y sodio intercambiable o ambos (Colas-Sánchez, Chacón y Cairo, 2020). Estas sales, al entrar en contacto con el medio acuoso, se disuelven y son transportadas a otros lugares, a través de la evaporación o percolación del agua, se recrystalizan y se depositan en el suelo (Tang *et al.*, 2017). La problemática asociada a la salinidad o depósito de sales en demasía en parcelas agrícolas, son parte del creciente detrimento de la calidad de los suelos y promueven la disminución de las facultades productivas, por ende, este proceso repercute directamente sobre la producción agrícola disminuyendo los ingresos económicos

a los productores (Tozzi, Mariani, Vallone y Morábito, 2017). Aunque generalmente las parcelas agrícolas con problemas de salinización se distribuyen alrededor de todo el mundo, son más frecuentes y de forma extensiva, en las zonas áridas del planeta y, en las zonas donde se practica la agricultura de forma intensiva (Lane, Dahlke, Pasternack y Sandoval, 2017), problema que se incrementa a través del tiempo como consecuencia de bajas precipitaciones, manejo no adecuado del agua de riego y del uso excesivo de fertilizantes (Sánchez-Arias *et al.*, 2019).

En México, algunos organismos públicos como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), ha evidenciado que dentro del territorio nacional existen aproximadamente 100 millones de ha de parcelas agrícolas cuyos suelos presentan problemas de salinización y sodicidad, 30% de las parcelas bajo riego se encuentran con altos niveles de sales en el perfil del suelo (SEMARNAT, 2009). En otro estudio, se evidencia que la superficie con problemas de salinización asciende a aproximadamente 600 mil ha, y de estas se infiere que 300 mil ha presentan bajos rendimientos agrícolas (Mata-Fernández, Rodríguez, López y Vela, 2014).

El *Agave tequilana* Weber variedad azul es de gran importancia económica en México, debido a la demanda mundial de tequila (Moreno-Hernández, Estrella, Escobedo, Bustamante y Gerritsen, 2011). El cultivo de agave y su industria representan un significativo porcentaje en el PIB, de forma local y regional, es parte importante de los ingresos económicos para los productores de agave. En Jalisco, el cultivo y producción de agave figura como una importante fuente de ingresos y empleo para los agricultores que proporcionan la materia prima para las pequeñas, medianas y grandes industrias que producen tequila (Herrera-Pérez *et al.*, 2018).

Los municipios de Tonaya y Tuxcacuesco introdujeron la práctica del cultivo de agave azul en la década de 1990, debido a la creciente demanda para exportación consecuencia de la globalización económica y mercantil. A partir de entonces, surgió la renta de tierras por parte de las compañías tequileras externas al municipio, es entonces cuando algunos productores independientes vieron la oportunidad de incluirse en el negocio en de la plantación de agave azul (Nava, Moreno, Gerritsen y Rosales, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

Los municipios de Tuxcacuesco y Tonaya se ubican en el estado de Jalisco específicamente en la región sur, en las coordenadas geográficas 19° 47" N y 103° 58" O (Figura 1) con 820 m de altitud, superficie de 710.89 km². Comparten límites municipales al este con Tapalpa y San Gabriel, al oeste con Ejutla y El Limón y al norte con los municipios de Chiquilistlán, San Gabriel y Tolimán. El clima dominante es cálido subhúmedo de acuerdo con la categorización realizada por Köppen. La temperatura promedio anual es de 22.4 °C, y las temperaturas mínimas y máximas varían aproximadamente entre 10.9 y 33.4 °C respectivamente, el mes en el cual se registran las temperaturas más elevadas es junio y el mes con las temperaturas más frías corresponde a enero. En cuanto a la precipitación se presenta promedio anual de 800 mm (IIEG, 2019).

Muestreo de Suelos

Se localizaron 36 sitios ubicados en el municipio de Tonaya y Tuxcacuesco donde se han establecido plantaciones de *Agave tequilana* Weber, en parcelas donde las plantaciones se encuentran en diferentes etapas de crecimiento: de 1 y 2 años, de 2 y 3 años y de 4 y 5 años, algunas de ellas con reciente uso y con características edáficas similares, pero con varios ciclos de cultivos consecutivos. En cada punto de muestreo

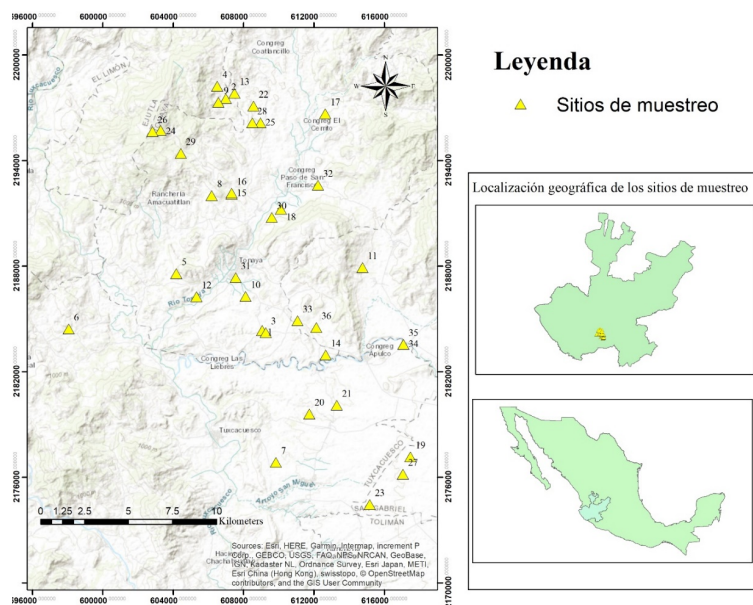


Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.
Figure 1. Geographical location of the sampling sites.

se registraron las coordenadas geográficas mediante GPS, en todos los puntos de muestro se colectó una muestra compuesta conformada por 20 submuestras tomadas a profundidad de entre 0 a 30 cm. La muestra de suelo colectado pasó por proceso de secado y molido y posteriormente se determinó pH, materia orgánica, nitrógeno inorgánico, fósforo disponible, mediante los procedimientos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (SEMARNAT, 2002).

Determinaciones en Laboratorio

Las correspondientes determinaciones fisicoquímicas analíticas de las muestras de suelos (Cuadro 1) se llevaron a cabo en el Laboratorio de Agua y Suelo de la Universidad Autónoma de Nayarit.

En cuanto a los resultados del análisis de la fertilidad de los suelos, estos se agruparon en siete clases: muy bajo, bajo, moderadamente bajo, medio, moderadamente alto, alto y muy alto, tomando como base los valores límite exhibidos por Castellanos, Uvalle y Aguilar, (2000); SEMARNAT (2002); Álvarez-Sánchez, Velázquez, Maldonado, Almaguer y Solano (2010) como se indican en el Cuadro 2.

Análisis Estadístico

Para conocer la normalidad de los datos se empleó la prueba estadística de Shapiro-Wilk, posteriormente para los datos o variables que exhibieron distribución normal se empleó la prueba t de Student, para las variables que mostraron distribución anormal, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis (Steel y Torrie 1988). Aunado a esto, se realizó prueba de varianza de medias mediante ANOVA y análisis posterior de Tukey, para comparar los resultados obtenidos entre las diferentes condiciones del terreno y sistemas de producción (1 o más ciclos y virgen), los análisis se llevaron a cabo mediante el software SPSS v 25.0 (IBM SPSS Statistics, 2017).

Cuadro 1. Determinaciones fisicoquímicas para los suelos.
Table 1. Physicochemical determinations for soils.

Determinación	Método	Referencia
1. pH	Potenciometría con potenciómetro marca Beckman, modelo Hoffman Pinther Boswork.	APHA, (1995).
2. Conductividad eléctrica	Conductimetría, mediante conductímetro con puente de Wheastone con celda de vidrio.	Coppin y Richards (1990).
3. Potasio	Flamometría, mediante Flamómetro II. AutocalFlamePhotometer 643, $\lambda = 589$ nm, calibrado con soluciones estándar de 145-1 mmol/L para Na y de 5 mmol/L para K.	APHA, (1995) 3500-Na y K, D.
4. Materia orgánica	Combustión húmeda.	APHA, (1995).
5. Nitrógeno orgánico	Colorimetría.	APHA, (1995).
6. Fósforo	Colorimetría.	APHA, (1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización Edafológica

En el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos en las determinaciones realizadas en laboratorio.

En la Figura 2 se presentan los valores encontrados para conductividad eléctrica (CE) y pH en las parcelas agrícolas cultivadas con agave azul en Tonaya y Tuxcacuesco. En promedio los sitios muestreados presentan pH de 7.78, esto ubica los suelos en la categoría de moderadamente alto (alcalinos) no obstante, existen valores mínimos de 5.8 que se catalogan como modernamente bajos (ácidos) y valores máximos de 8.78 que se consideran valores altos (alcalinos) para el cultivo de agave azul. En cuanto a la CE se encontraron valores promedio de 0.24 ds m^{-1} los suelos se clasifican en la categoría de muy bajo, el valor mínimo corresponde a 0.04 ds m^{-1} y el máximo a 1.77 ds m^{-1} , con clasificación media para el cultivo del agave.

Diversos autores señalan que las plantas de agave azul (*A. tequilana* Weber) tienen alto rango de adaptabilidad a diferentes valores de pH en los suelos y también a diferentes intervalos de CE. Algunas plantaciones se establecen en parcelas con contenido de minerales altos; mientras que otros cultivos crecen en zonas con suelos delgados, los cuales presentan baja disponibilidad de nutrientes y grado alto de salinidad. Los valores promedio de pH y CE encontrados en esta investigación no son muy diferentes a los exhibidos en otros trabajos de investigación realizados en Jalisco, en este sentido la versatilidad y adaptabilidad del agave azul, así como su

Cuadro 2. Clasificación de los parámetros nutricionales del cultivo de agave.
Table 2. Classification of the nutritional parameters of the agave crop.

Parámetro	Clasificación						
	Muy bajo	Bajo	Mod. Bajo	Medio	Mod. alto	Alto	Muy alto
pH	< 4.6	4.6-5.4	5.5-6.4	6.5-7.3	7.4-8.1	8.2-8.8	> 8.9
CE ds m^{-1}	< 0.8	0.8-1.0	1.1-1.6	1.6-2.2	2.2-3.1	3.1-4.0	> 4.0
K meq L^{-1}	< 0.20	0.20-0.38	0.38-0.51	0.51-1.02	1.02-2.05	2.05-3.07	> 3.07
M.O %	< 0.80	0.81-1.20	1.21-1.80	1.81-2.30	2.31-3.0	3.01-4.0	> 4.01
N mg kg^{-1}	< 10	10-20	20-40	40-60	60-100	100-150	> 150
P mg kg^{-1}	< 4	5-9	10-15	16-20	21-25	26-35	> 36

Cuadro 3. Determinaciones realizadas en los suelos agrícolas de Tonaya y Tuxcacuesco.
Table 3. Determinations conducted in the agricultural soils of Tonaya and Tuxcacuesco.

Parámetro Sitios	pH	CE	K	M.O	N	P	Tipo parcela
		ds m ⁻¹	meq L ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	
1	8.02	0.19	0.09	0.61	7.00	0.00	Virgen
2	8.19	0.24	0.03	0.87	0.00	0.00	2 ciclos
3	8.78	0.17	0.06	0.74	0.00	0.00	Virgen
4	8.21	0.12	0.09	2.69	0.00	0.00	Virgen
5	8.28	0.17	0.09	0.40	0.00	0.00	2 ciclos
6	8.24	0.11	0.11	0.74	21.00	0.00	Virgen
7	8.58	0.39	0.06	0.20	0.00	0.00	Virgen
8	7.53	0.29	0.23	1.14	35.00	0.00	2 ciclos
9	8.14	0.13	0.11	2.42	0.00	0.00	2 ciclos
10	8.08	0.09	0.11	0.47	0.00	0.00	2 ciclos
11	8.32	0.14	0.11	1.14	0.00	0.00	Virgen
12	8.07	0.18	0.11	3.16	14.00	0.00	2 ciclos
13	6.72	0.04	0.03	0.27	0.00	0.00	Virgen
14	8.30	0.13	0.11	0.87	0.00	0.00	2 ciclos
15	6.51	0.06	0.14	1.14	0.00	0.00	2 ciclos
16	7.75	0.15	0.26	1.82	28.00	2.76	2 ciclos
17	6.22	0.09	0.11	1.88	0.00	0.00	2 ciclos
18	8.14	0.11	0.11	1.01	0.00	0.00	2 ciclos
19	8.09	0.20	0.11	1.14	7.00	0.00	2 ciclos
20	8.17	0.14	0.14	1.21	0.00	0.00	Virgen
21	8.61	0.26	0.20	2.96	0.00	0.00	Virgen
22	6.92	0.05	0.09	3.29	0.00	0.00	Virgen
23	8.03	0.40	0.26	2.69	42.00	0.00	Virgen
24	7.93	0.17	0.20	9.75	21.00	0.00	Virgen
25	6.81	0.08	0.09	0.40	7.00	0.00	Virgen
26	7.81	0.15	0.11	9.75	0.00	0.00	1 ciclo
27	8.44	0.92	0.26	0.67	21.00	0.00	2 ciclos
28	6.92	0.05	0.06	0.81	0.00	0.00	Virgen
29	7.55	1.77	0.06	1.75	0.00	0.00	Virgen
30	7.94	0.17	0.37	6.86	7.00	0.00	Virgen
31	7.81	0.29	0.74	2.82	28.00	8.28	2 ciclos
32	5.86	0.17	0.46	1.88	21.00	0.00	Virgen
33	7.39	0.50	0.34	1.88	0.00	0.00	3 ciclos
34	7.90	0.15	0.26	3.09	0.00	0.00	2 ciclos
35	7.79	0.13	0.14	4.84	7.00	0.00	1 ciclo
36	8.10	0.15	0.09	1.41	0.00	0.00	1 ciclo
Promedio Desv. Std	7.78 0.69	0.24 0.31	0.17 0.14	2.19 2.31	7.39 11.71	0.31 1.44	

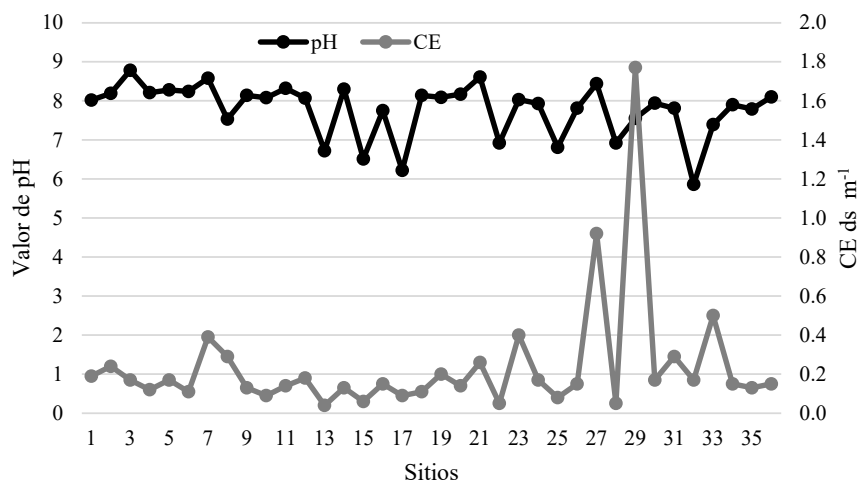


Figura 2. Valores de pH, CE determinados en los sitios de muestreo.
Figure 2. pH, EC values determined at the sampling sites.

rentabilidad económica indican el porqué de la extensión territorial del cultivo en la actualidad (Bowen, 2012; Hernández-Morales, González, Cabrera y Rosas, 2012; Cen-Cen *et al.*, 2015).

En la Figura 3 se presentan los porcentajes de materia orgánica (MO) determinados en las parcelas agrícolas cultivadas con agave, el porcentaje promedio de MO corresponde a 2.19 con valor mínimo de 0.20 y máximo de 9.7; esto clasifica a los suelos en los rangos de muy bajo a muy alto, con el mayor número de sitios dentro de la clasificación media para el cultivo de agave azul.

En cuanto a las concentraciones de MO y su relación con el cultivo de agave azul, se han realizado estudios que describen la importancia de mantener niveles óptimos de MO, implementando la utilización de abonos orgánicos en las parcelas agrícolas. Algunos autores señalan en diversos trabajos de investigación que, para lograr óptimos rendimientos en el cultivo del agave azul, es indispensable realizar una óptima nutrición del cultivo, en este sentido la fertilización adecuada es de vital importancia (Álvarez-Sánchez *et al.*, 2010; Zúñiga-Estrada, Rosales, Yáñez y Jacques,

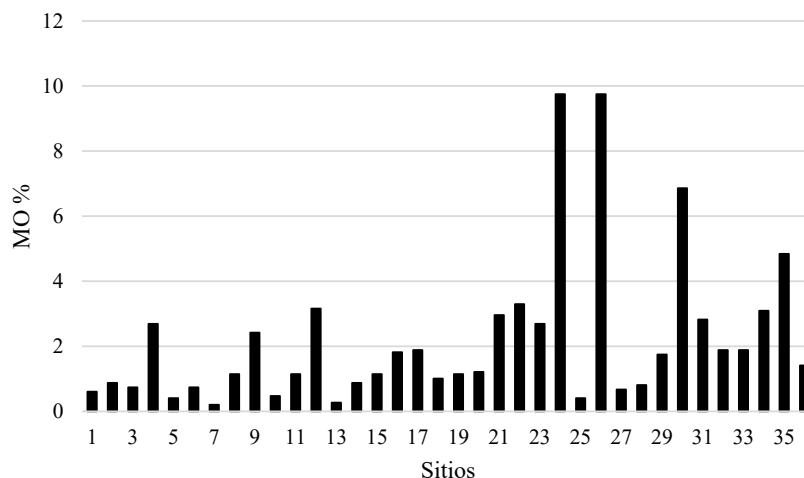


Figura 3. Porcentajes de MO determinados en los sitios de muestreo.
Figure 3. OM percentages determined at the sampling sites.

2018). Se ha evidenciado que el cultivo del agave se puede desarrollar en suelos someros, con baja fertilidad; sin embargo, el rendimiento de cultivo se incrementa y optimiza cuando se proveen las óptimas condiciones nutricionales. La utilización de abonos orgánicos y compostas no solo contiene los nutrientes esenciales para el óptimo crecimiento del cultivo, también provee elementos que aumentan la fertilidad y las reservas orgánicas en las parcelas agrícolas (Zúñiga-Estrada *et al.*, 2018; Arreola-Tostado *et al.*, 2020).

En la Figura 4 se presentan las cuantificaciones de nitrógeno (N) determinado en los suelos agrícolas cultivados con agave azul en Tonaya y Tuxcacuesco, la concentración promedio corresponde a 7.39 mg kg^{-1} , con valor mínimo se encuentran 22 sitios con 0 mg kg^{-1} y con valor máximo un sitio con 42 mg kg^{-1} ; en este sentido en cuanto a contenido de nitrógeno los suelos se clasifican dentro de las categorías de muy bajo y medio. Por otra parte, en la Figura 5 se presentan las cuantificaciones de fósforo, en un caso muy similar al del N en 34 sitios no se encontraron concentraciones del nutriente, los únicos dos sitios que se determinaron fueron el 16 y el 31 con las concentraciones de 2.76 mg kg^{-1} y 8.28 mg kg^{-1} respectivamente, lo anterior ubica a los suelos dentro de las clasificaciones de muy bajo y bajo.

El fósforo y nitrógeno forman parte de los nutrientes esenciales para el cultivo del agave, los resultados presentados exhiben que los suelos muestreados en Tonaya y Tuxcacuesco presentan deficiencias importantes, en este sentido no se obtendrían los mejores rendimientos en la cosecha y en el aspecto económico se tendría que implementar un plan de fertilización y de recuperación de suelos. Se han realizado algunos estudios sobre nutrición en el cultivo del agave, donde se resalta la importancia del nitrógeno y del fósforo. Diversos autores señalan que la deficiencia de estos nutrientes puede provocar que las plantas afectadas se tornen de color verde pálido, en diferencia con el color verde azul de los especímenes en buenas condiciones. Las hojas antiguas se vuelven amarillas del extremo superior a la base, se interrumpe el crecimiento, escaso desarrollo o daño de raíces; se marchitan los costados de las hojas antiguas del extremo superior a la base, por ende, el cultivo se vuelve más susceptible al daño por enfermedades, plagas y bajas temperaturas (Uvalle-Bueno, Vélez y Ramírez, 2007; Martínez-Ramírez *et al.*, 2012; Enríquez, Alcará, Rodríguez, Miguel y Manuel, 2016).

En la Figura 6 se presentan las concentraciones de K determinado en las parcelas agrícolas cultivadas con agave azul, el promedio de las concentraciones corresponde a 0.17 meq L^{-1} con valor mínimo de 0.03 meq L^{-1} y máximo de 0.74 meq L^{-1} ; en este sentido la clasificación para estos suelos va desde muy bajo a medio.

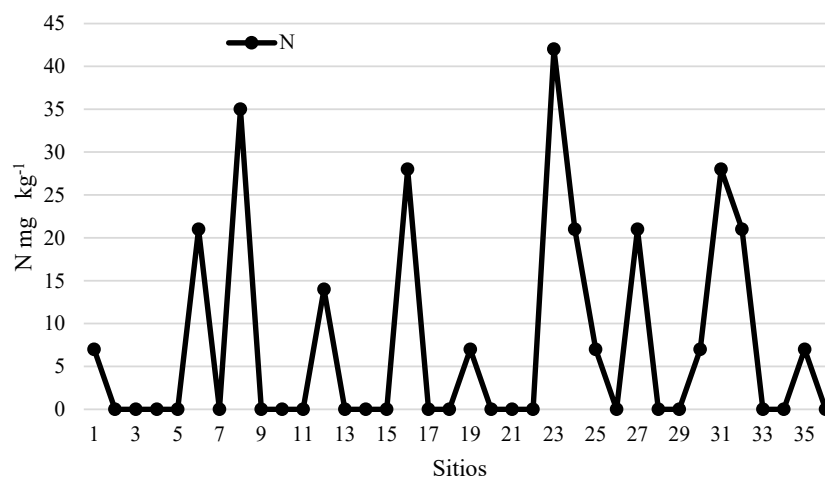


Figura 4. Concentraciones de N determinado en los suelos agrícolas.
Figure 4. N concentrations determined in agricultural soils.

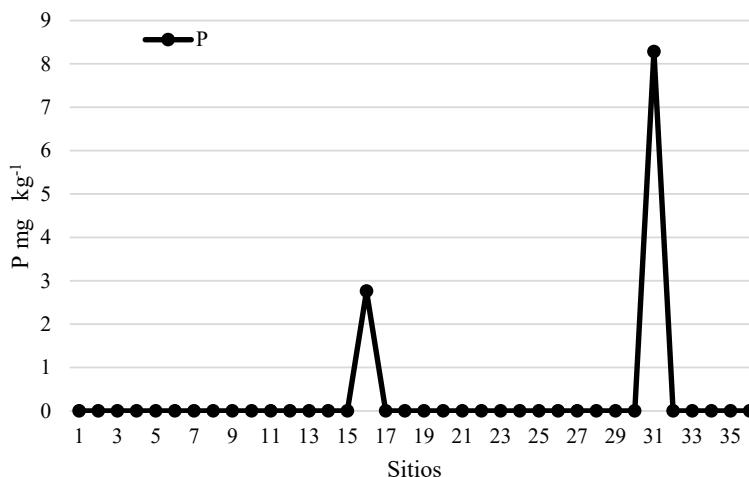


Figura 5. Concentraciones de P determinado en los suelos agrícolas.
Figure 5. P concentrations determined in agricultural soils.

La buena calidad del suelo y correcta fertilización son elementos que propician el óptimo crecimiento de las plantas de diferentes especies de agaves, concentración óptima de potasio en los suelos está relacionada con el buen desarrollo y crecimiento de los agaves, desde la cantidad de hojas que se despliegan hasta el correcto crecimiento y funcionamiento radicular (Cruz-García *et al.*, 2013). Algunos estudios han demostrado que plantaciones de agaves establecidas en suelos con concentraciones óptimas de potasio han presentado altura mayor de planta, así como diámetro de roseta, mejor desarrollo de hojas y mejor producción de biomasa seca que las plantas cultivadas en suelos con mala calidad nutricional (Martínez-Ramírez, Trinidad, Bautista y Pedro, 2013). Se ha evidenciado que el óptimo desarrollo crecimiento de las especies *A. angustifolia* y *A. potatorum* se atribuye a que en los suelos existen las combinaciones de características químicas y físicas que les confirieron óptimas condiciones para el desarrollo (Reyes-Jaramillo, Chimal, Salmerón, Vázquez y Varela, 2019). Entre las variables que pudieron haber presentado alguna influencia destacan los contenidos de materia orgánica (MO) y de potasio principalmente (Martínez-Ramírez, Trinidad, Bautista y Pedro, 2013; Reyes-Jaramillo, Chimal, Salmerón, Vázquez y Varela, 2019).

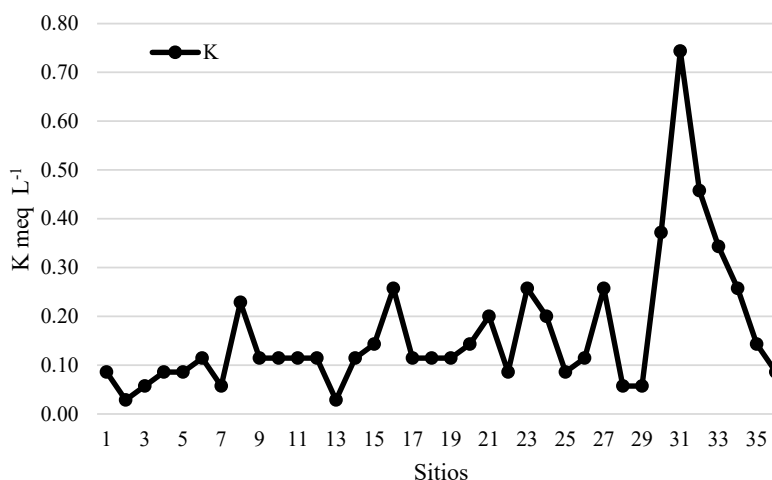


Figura 6. Concentraciones de K determinado en los suelos agrícolas.
Figure 6. K concentrations determined in agricultural soils.

Con base en el análisis estadístico comparativo entre los parámetros analizados y los tipos de parcelas agrícolas (virgen y 1 o más ciclos), se encontró que para el pH no se encontraron diferencias significativas ($F= 0.10$; $p = 0.74$) (Cuadro 4) entre los tipos de parcelas. El pH en los suelos agrícolas no sufre cambios tan drásticos en cortos periodos de tiempo, se pueden mantener valores similares en terrenos vírgenes o con uno o más ciclos de cosecha, es por esto por lo que no se encontró significancia estadística entre las parcelas muestreadas (Estrada-Herrera *et al.*, 2017).

En un caso muy similar al del pH, para la conductividad eléctrica (CE) no se encontró significancia estadística entre los tipos de parcelas ($F= 0.16$; $P = 0.68$) (Cuadro 4), la CE en los suelos no presenta de forma natural variaciones en periodos cortos de tiempo, a menos que los campos de cultivo se irrigen con aguas que presenten alto contenido de sales, o se realice una fertilización excesiva en un corto periodo de tiempo lo que ocasionaría un aumento drástico en la CE de los suelos (Cortés, Pérez y Camacho, 2013).

La materia orgánica no presentó significancia estadística entre las parcelas de muestreo ($F=0.012$; $p = 0.91$) (Cuadro 4), se ha demostrado que el contenido de MO es muy importante para los cultivos agrícolas, ya que no solo aumenta el contenido de N, P y K, también mantiene una estructura y una funcionalidad saludable. Para este caso en particular los contenidos de MO se presentaron similares entre parcelas con distintos tiempos de utilización, algunos autores han evidenciado que la descomposición y asimilación de la MO por los cultivos es un proceso lento, por lo que no se puede apreciar la disminución en el porcentaje de MO en el periodo de algunos años (Acevedo, Contreras, González, Acevedo y García, 2014, Soto-Mora, Hernández, Luna, Ortiz y García, 2016).

Cuadro 4. Análisis estadístico comparativo entre parámetros y tipo de parcela.
Table 4. Comparative statistical analysis between parameters and type of plot.

Parámetro		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
pH	Entre grupos	0.52	1	0.05	0.10	0.74
	Dentro de grupos	16.60	34	0.48		
	Total	16.65	35			
CE	Entre grupos	0.016	1	0.16	0.16	0.68
	Dentro de grupos	3.29	34	0.97		
	Total	3.30	35			
M.O	Entre grupos	0.67	1	0.67	0.012	0.91
	Dentro de grupos	186.90	34	5.49		
	Total	186.97	35			
N	Entre grupos	0.017	1	0.017	0.011	0.99
	Dentro de grupos	4796.5	34	141.07		
	Total	4796.6	35			
P	Entre grupos	3.03	1	3.03	0.147	0.23
	Dentro de grupos	69.7	34	2.05		
	Total	72.81	35			
K	Entre grupos	7.65	1	7.65	0.23	0.63
	Dentro de grupos	1122.23	34	33		
	Total	1129.89	35			

En el apartado del contenido nutricional en los suelos agrícolas de Tonaya y Tuxcacuesco, Jalisco; el nitrógeno (N) no presentó significancia estadística en cuanto al contenido encontrado en los diferentes tipos de parcelas (vírgenes o con 1 o más ciclos) ($F = 0.011$; $P = 0.99$) (Cuadro 4), el N forma parte de los macronutrientes esenciales en el cultivo del agave, es parte fundamental de los procesos de crecimiento, desarrollo radicular y foliar. No obstante, los suelos de Tonaya y Tuxcacuesco, se clasificaron como bajos y medios, por lo cual los cultivos atraviesan por problemas de desarrollo lo que impacta en el rendimiento a la hora de la cosecha. El hecho de no encontrarse significancia estadística entre las parcelas muestreadas sugiere que el tiempo entre los ciclos de cultivo y cosecha no es el suficiente para que las plantas asimilen el N del suelo y se puedan encontrar distintas concentraciones en las parcelas, además de que no necesariamente el cultivo del agave es desmineralizador de suelos, sino que depende del manejo que se genere en el recurso edáfico (Cruz-García *et al.*, 2013; Ríos-Ramírez, Enriquez, Rodríguez, Ruiz y Velasco, 2021).

En un caso similar al N para el fósforo (P) y Potasio (K), no se encontró significancia estadística entre las parcelas de muestreo ($F = 1.47$; $P = 0.23$) y ($F = 0.23$; $P = 0.63$) (Cuadro 4). Este hecho también tiene relación con el tiempo que transcurre entre la siembra y la cosecha en las diferentes parcelas, son varios factores los que participan y condicionan estos resultados, no se puede generalizar el estatus de suelos vírgenes como ricos en nutrientes y en MO, se ha evidenciado por algunos autores que la dinámica de asimilación de nutrientes es muy distinta en diferentes cultivos, tipos de suelos, climas, etc. (Narváez-Ortiz, Morales, Benavides y Reyes, 2015; Pose, Baeza, Zamuner, Di Gerónimo y Videla, 2016; Bayuelo-Jiménez, Ochoa, Cruz y Muraoka, 2019).

CONCLUSIONES

Los resultados exhibidos en la presente investigación evidencian que existen deficiencias nutrimentales en el suelo agrícola para el cultivo de agave azul de los municipios de Tonaya y Tuxcacuesco, las determinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio de las parcelas agrícolas se clasifican desde niveles pobres a medios.

Las condiciones de pH y CE son adecuadas para el cultivo del agave, con cierta tendencia alcalina en el caso del pH y contenidos bajos de sales desde el punto de vista de la CE, que presentó valores bajos. En este contexto, se sugiere implementar un proyecto de investigación donde se abarque una extensión territorial más amplia, así como varias temporadas de muestreo, para determinar el contenido de nutrientes (N, P, K) y materia orgánica (MO) en la mayoría de los terrenos agrícolas de los municipios en comento y comprender cómo estos nutrientes evolucionan en una escala temporal más amplia.

En cuanto al manejo del recurso suelo y la fertilidad de este se debe de implementar un proyecto de fertilización, que se enfoque en la utilización de abonos orgánicos o biofertilizantes para contribuir al desarrollo sostenible y a la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad en la región. Se recomienda considerar la premisa de mantener la fertilidad de los suelos por lo menos en las condiciones iniciales del cultivo, y si estas se encuentran deficientes, el manejo edáfico durante el ciclo del cultivo debe ser tal que la fertilidad y calidad del suelo sea óptima para el establecimiento del siguiente cultivo agrícola. Se propone, cuando el contexto económico y agrícola lo permitan, implementar el sistema de policultivo maíz, frijol y agave, dicho sistema aporta nutrientes al suelo de forma integral dadas las sinergias entre los cultivos, también provee seguridad económica al obtener varios productos en un mismo terreno agrícola, de forma concluyente este sistema de manejo puede coadyuvar a mitigar los efectos negativos sobre y del cultivo del agave, promoviendo

la nutrición y mantenimiento de los suelos, el control de plagas, la disminución de la erosión del suelo, así como otorgar seguridad económica por los productos obtenidos.

Por último, con base en el análisis estadístico, se demostró que no existe significancia estadística entre las concentraciones de MO y nutrientes (N, P y K), parámetros (pH y CE), entre los diferentes tipos de parcelas muestreadas (vírgenes y uno o más ciclos de cosecha). En este sentido, se evidenció en este trabajo de investigación que las parcelas o terrenos vírgenes no siempre tendrán mejores condiciones y contenidos de nutrientes y MO que parcelas con varios ciclos de cosecha. Además, se rompe el mito de que el cultivo del agave es desmineralizador del suelo, proceso que se debe en especial al tipo de manejo edáfico durante el ciclo del cultivo.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No Aplicable

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable. La información presentada proviene de fuentes bibliográficas ya publicadas incluidas en la literatura citada.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

El conjunto de datos utilizados y analizados en el estudio actual están disponibles del autor a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no hay interés en competencia.

FONDOS

Universidad de Guadalajara, Universidad Autónoma de Nayarit, Colegio de Postgraduados, recursos propios de los autores.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización e idea principal: F.Z.B.E., M.V.O.R., G.G.R.D. Métodos, trabajo de campo y Análisis de muestras: M.H.A., F.B.P., C.C.A., C.C.E. Escritura, preparación de borrador original: O.E.H.M., K.G.A., M.V.O.R. Escritura, Revisión y edición: H.V.O. M.V.O.R. V.L.V.M.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guadalajara, La Universidad Autónoma de Nayarit y al Colegio de Postgraduados.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, I., Contreras, J., González, R., Acevedo, I., & García, O. (2014). Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo de huerto. *Revista de la Facultad Agronómica*, 31, 325-340.
- Álvarez-Sánchez, M. E., Velázquez-Mendoza, J., Maldonado-Torres, R., Almaguer-Vargas, G., & Solano-Agama, A. L. (2010). Diagnóstico de la fertilidad y requerimiento de cal de suelos cultivados con agave azul (Agave tequilana Weber). *Terra Latinoamericana*, 28(3), 287-293.

- APHA (American Public Health Association). (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. (19th edn.). Washington, DC, USA: American Public Health Association.
- Argentel-Martínez, L., Fonseca-Reyna, I., Garatza-Payan, J., Yépez-González, E., & González-Aguilera, J. (2017). Efecto de la salinidad en callos de variedades de trigo durante el cultivo in vitro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(3), 477-488. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.25>.
- Arreola-Tostado, J. M., Montoya-Jasso, V. M., Arreola-Nava, J. M., Castillo-Valdez, X., Olivares-Arreola, E. A., & Baéz-Pérez, A. B. (2020). Efecto de la aplicación de levasa (mosto de caña de azúcar) en la producción y calidad de *Agave Tequilana* Weber. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1311-1324. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2216>
- Bayuelo-Jiménez, J. S., Ochoa, I., Cruz-Torres, E. D. L., & Muraoka, T. (2019). Efecto del uso del suelo en las formas y disponibilidad de fósforo de un Andisol de la Meseta P'urhépecha, Michoacán. *Terra Latinoamericana*, 37(1), 35-44. <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.367>
- Bowen, S. (2012). Las indicaciones geográficas, la globalización y el desarrollo territorial: el caso del tequila. *Agroalimentaria*, 18(34), 91-103.
- Bronwyn, J. B., Vera-Estrella, R., Balderas, E., & Pantoja, O. (2014). Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. *Biotecnología*, 14, 263-272.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas agrícolas, plantas y ECP*. (2nd ed.). México: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.
- Cen-Cen, E. R., Gómez-Merino, F., & Martínez-Hernández, A. (2015). Tolerancia de agave tequilana a altas concentraciones de cationes metálicos divalentes. *Polibotánica*, 40, 163-182.
- Colas-Sánchez, A., Chacón-Iznaga, A., & Cairo-Cairo, P. (2020). Caracterización de algunos indicadores morfológicos, físicos y químicos en subtipos de suelos pardos antropizados en la provincia Villa Clara. *Centro Agrícola*, 47(3), 75-79.
- Colunga-GarcíaMarín, P., Zizumbo-Villareal, D., & Martínez-Torres, J. (2007). Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a la protección legal y conservación de su diversidad biológica y cultural. En P. Colunga-GarcíaMarín, A. Larqué-Saavedra, L. E. Eguiarte, & D. Zizumbo-Villarreal (Eds.). *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves* (pp. 229-253). Merida, Yucatan, México: CICY-CONABIO-CONACYT-SEMARNAT-INE. ISBN: 978-968-6532-18-0
- Coppin, N. J., & Richards, I. G. (1990). *Use of vegetation in civil engineering*. London: CIRIA. ISBN: 0-86017-711-4
- Cortés, D. L., Pérez, J. H., & Camacho-Tamayo, J. H. (2013). Relación espacial entre la conductividad eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 401-408.
- Cruz-García, H., Enríquez-del Valle, J. R., Velasco-Velasco, V. A., Ruiz-Luna, J., Campos-Ángeles, G. V., & Aquino-García, D. E. (2013). Nutrimientos y carbohidratos en plantas de *Agave angustifolia* Haw. y *Agave karwinskii* Zucc. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(SPE6), 1161-1173.
- Enríquez-del Valle, J. R., Alcara-Vázquez, S. E., Rodríguez-Ortiz, G., Miguel-Luna, M. E., & Manuel-Vázquez, C. (2016). Fertirriego en vivero a plantas de *Agave potatorum* Zucc micropropagadas-aclimatizadas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1167-1177.
- Estrada-Herrera, I. R., Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., Almaraz-Suárez, J. J., Navarro-Garza, H., & Etchevers-Barra, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813-831.
- Hernández-Morales, R., González-Cortés, J. C., Cabrera-González, A., & Rosas-Murillo, M. S. (2012). Influencia del relieve en las propiedades físicas y químicas de suelos agrícolas adyacentes al río Lerma. *Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*, 14(1), 23-29.
- Herrera-Pérez, L., Valtierra-Pacheco, E., Ocampo-Fletes, I., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Plascencia, J. A., & Rodríguez-Macías, R. (2018). Agricultural contract plans for the production of *Agave tequilana* Weber in the region of Tequila, Jalisco. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(4), 619-637.
- IBM SPSS Statistics. (2017). *Statistical Package for the Social Sciences User's Guide. version 25*. Armonk, NY, USA: IBM Corp.
- IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco). (2019). Diagnóstico del municipio de Tonaya. Consultado el 13 de enero, 2022, desde <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/06/Tonaya.pdf>
- Lane, B. A., Dahlke, H. E., Pasternack, G. B., & Sandoval-Solis, S. (2017). Revealing the diversity of natural hydrologic regimes in California with relevance for environmental flows applications. *Journal of the American Water Resources Association*, 53(2), 411-430.
- Martínez-Ramírez, S., Trinidad-Santos, A., Bautista-Sánchez, G., & Pedro-Santos, E. C. (2013). Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 387-393.
- Martínez-Ramírez, S., Trinidad-Santos, A., Robles, C., Galvis-Spinola, A., Hernández-Mendoza, T. M., Santizo-Rincón, J. A., & Pedro-Santos, E. C. (2012). Crecimiento y sólidos solubles de *Agave potatorum* Zucc. inducidos por riego y fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 61-68.
- Mata-Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M. L., López-Blanco, J., & Vela-Correa, G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1(5), 26-35.
- Moreno-Hernández, A., Estrella-Chulim, N., Escobedo-Garrido, S., Bustamante-González, A., & Gerritsen, P. W. (2011). Prácticas de manejo agronómico para la sustentabilidad: características y medición en agave *Tequilana* Weber en la región. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 159-169.

- Nava, A., Moreno, A., Gerritsen, P., & Rosales, J. (2006). El agave en Tonaya, Jalisco: tradición vs globalización. *Carta económica regional*, 97, 1-7.
- Narváez-Ortiz, W. A., Morales-Díaz, A. B., Benavides-Mendoza, A., & Reyes-Valdés, M. H. (2015). Dinámica de la composición de la solución del suelo en cultivos del occidente de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(12), 2383-2397.
- Pose, N. N., Baeza, M. C., Zamuner, E. C., Di Gerónimo, P., & Videla, C. C. (2016). Parámetros agronómicos y ambientales de fósforo en suelos molisoles con diferentes usos en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Acta Agronómica*, 65(4), 375-382. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n4.52186>
- Qadir, M., Quillerou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., ... Noble A. D. (2014). Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38(4), 282-295. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>
- Reyes-Jaramillo, I., Chimal-Sánchez, E., Salmerón-Castro, J. Y., Vázquez-Pérez, N., & Varela-Fregoso, L. (2019). The community of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) associated with mezcalt agaves from Oaxaca and its relationship with some soil characteristics. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, e902777. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2777>
- Ríos-Ramírez, S. C., Enriquez-del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Ruiz-Luna, J. R., & Velasco-Velasco, V. A. (2021). El crecimiento de *Agave angustifolia* Haw. con relación a la condición nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 865-873.
- Ruiz-Corral, J. A. (2007). Requerimientos agroecológicos y potencial productivo del agave *Agave tequilana* Weber en México. En F. O. Rulfo-Vilchis, J. F. Pérez-Domínguez, J. I. Del Real-Laborde, & K. F. Byerly-Murphy (Eds.). *Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de Agave tequilana Weber en la zona de denominación de origen del tequila*. (pp. 11-36). Coyoacan, Distrito Federal, México: INIFAP. ISBN: 978-968-800-726-6
- Sánchez-Arias, M., Riojas-Rodríguez, H., Catalan-Vazquez, M., Terrazas-Meraz, M. A., Rosas, I., Espinosa-García, A. C., ... Siebe, C. (2019). Socio-environmental assessment of a landfill using a mixed study design: a case study from Mexico. *Waste Management*, 85, 42-59. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.012>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2009). *El Medio Ambiente en México: En Resumen 2009*. (pp. 20-33). Tlalpan, Distrito Federal, México: SEMARNAT. ISBN: 978-968-817-948-2
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021 SEMARNAT-2000 antes NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. D. F., México: SEGOB.
- SPSS Inc. Released 2016. PASW Statistics for Windows, Version 25.0. Chicago: SPSS Inc.
- Steel, R., & Torrie, J. H. (1985). *Bioestadística: Principios y procedimientos*. 2^a ed. Bogota, Colombia: Mc. Graw-Hill Latinoamericana. ISBN: 968-451-495-6
- Soto-Mora, E. S., Hernández-Vázquez, M., Luna-Zendejas, H. S., Ortiz-Ortiz, E., & García-Gallegos, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(5), 98-102.
- Tang, A.M., Hughes, P.N., Dijkstra, T.A., Askarnejad, A., Brenčić, M., Cui, Y. J., ... Van Beek, V. (2017). Atmosphere vegetation soil interactions in a climate change context; impact of changing conditions on engineered transport infrastructure slopes in Europe. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 51(2), 156-168. <https://doi.org/10.1144/qjegh2017-103>
- Tozzi, F., Mariani, A., Vallone, R., & Morábito, J. (2017). Evolución de la salinidad de los suelos regadíos del río Tunuyán Inferior (Mendoza - Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(1), 79-93.
- Uvalle-Bueno, J. X., Vélez-Gutiérrez, C., & Ramírez-Figueroa, A. (2007). Muestreo y Análisis de Suelo en Plantaciones de Agave. En J. F. Pérez-Domínguez, & J. I. Del Real-Laborde (Eds.). *Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de agave tequilana weber en la zona de denominación de origen del tequila* (pp. 37-55). Tepatitlan, Jalisco, México: INIFAP-SAGARPA. ISBN 978-968-800-726-6
- Zúñiga-Estrada, L., Rosales-Robles, E., Yáñez-Morales, M. J., & Jacques-Hernández, C. (2018). Características y productividad de una planta MAC, *Agave tequilana* desarrollada con fertigación en Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3), 553-564. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1214>