

Niveles observados para la degradación de las propiedades químicas en suelos usados para la producción agrícola

Observed degradation levels for chemical properties in soils used for agricultural production

César Manuel Reyes Rodríguez¹, Rigoberto Rosales Serna¹, Sony Brandon Rosales Alvarado², Julio César Ríos Saucedo¹, Ixchel Abby Ortiz Sánchez³, Saúl Santana Espinoza¹, y Pablo Alfredo Domínguez Martínez^{1*}

¹INIFAP-Durango. Campo Experimental Valle del Guadiana. km 4.5 Carr. Durango – El Mezquital, Durango, Dgo. México. C. P. 34170.

²Tecnológico Nacional de México – Campus Instituto Tecnológico de Durango, Felipe Pescador 1830 Ote. Col. Nueva Vizcaya, Durango, Dgo. C. P. 34080.

³Tecnológico Nacional de México – Campus Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. Carretera Durango – México km 22.5. Villa Montemorelos, Durango, México. C. P. 34371.

*Autor para correspondencia: dominguez.pablo@inifap.gob.mx

RESUMEN

Se desconoce la magnitud de la degradación físico-química de los suelos agrícolas. El objetivo fue establecer los niveles para la degradación de las propiedades químicas de suelos usados para la producción agrícola. Se tomaron muestras de suelo, a la profundidad de 0 a 30 cm, en 147 sitios ubicados de forma aleatoria en nueve municipios de Durango. Se determinó el contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y nivel de pH. Una proporción alta de los suelos mostraron nivel bajo (62 %) de materia orgánica, seguida del nivel medio (33 %). Lo anterior, agravó los problemas de fertilidad y causó degradación físico-química del suelo. La mayoría de los suelos (71 %) mostraron pH moderadamente alcalino, lo cual afectó la disponibilidad de algunos minerales. El contenido de nitrógeno registró frecuencia alta de los niveles medio (42 %) y bajo (24 %), con problemas en Cuencamé y Guadalupe Victoria. Una proporción alta (44 %) de los suelos mostró niveles bajos de fósforo, especialmente en Nombre de Dios y Vicente Guerrero. La mayoría de los suelos (78 %) presentaron niveles altos de potasio, aunque es posible observar síntomas de deficiencia cuando está atrapado en la arcilla y coloides del suelo. Los mapas de fertilidad sustentaron la necesidad de enriquecer los suelos agrícolas, mediante el incremento de la materia orgánica y ajuste del pH. La incorporación de abonos orgánicos fortalecerá la fertilidad y estabilizará el pH del suelo, al mismo tiempo que se incrementa el rendimiento y se avanza hacia la sostenibilidad productiva.

Palabras Clave: conservación, cultivos agrícolas, fertilidad, rendimiento, sostenibilidad.

SUMMARY

The magnitude of the physical-chemical degradation of agricultural soils is currently unknown in Durango. The objective was to establish the level for the degradation of chemical properties in soils used for agricultural production. Soil samples were taken, at a depth of 0 to 30 cm, at 147 sites randomly located at nine municipalities of the State of Durango. The content of organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium and pH level was determined. A higher proportion of the soils showed low level (62 %) of organic matter, followed by the medium (33 %) level. This aggravated fertility problems and caused physical-chemical degradation of the soil. Most of the soils (71 %) showed a moderately alkaline pH, which affects the availability of some minerals. The nitrogen content showed high frequency (42 %) of the medium and low (24 %) levels, with problems in Cuencamé and Guadalupe Victoria. A high proportion (44 %) of the soils showed low phosphorus levels, especially in Nombre de Dios and Vicente Guerrero. Most of the soils (78 %) showed high potassium levels, although deficiency symptoms could be observed when this mineral is trapped in clay particles and soil colloids. Fertility maps supported the need to enrich agricultural soils, through the application of organic matter and pH adjustment. The incorporation of organic fertilizers will strengthen soil fertility and stabilize soil pH, and at the same time yield increments and productive sustainability will also achieved.

Key Words: agricultural crops, conservation, fertility, yield, sustainability.

INTRODUCCIÓN

El suelo es el insumo más importante de la agricultura tradicional, la cual es utilizada ampliamente en la producción de maíz, frijol y avena. En la actualidad, se percibe degradación físico-química del suelo en las áreas agrícolas de varios municipios del estado de Durango (Rosales *et al.*, 2019). Lo anterior, se ha relacionado con los niveles bajos (<1.5 %) de materia orgánica, lo que a su vez ocasionó pérdida de fertilidad del suelo, así como valores bajos para la capacidad infiltración y retención de agua. Con ello, se redujo la expresión del potencial genético del rendimiento de los cultivos agrícolas y especies forestales cultivadas en plantaciones comerciales. Para solucionar lo anterior, se inició el estudio extensivo del contenido de materia orgánica en los suelos agrícolas y su relación con sus propiedades físicas, pH y disponibilidad de los elementos nutritivos del suelo (Rosales *et al.*, 2019). Con ello, se podrán realizar recomendaciones para la incorporación de materia orgánica, con lo cual se espera incrementar la captación de agua y

disponibilidad de nutrientes. Además, se favorecerá la supervivencia de organismos benéficos en la rizosfera, tales como bacterias del género *Rhizobium* y *Azospirillum*, así como hongos micorrízicos, los cuales ayudan a las plantas en la obtención de agua y nutrientes (Julca *et al.*, 2006).

Las características del suelo agrícola pueden utilizarse en la elaboración de mapas de fertilidad, mediante la evaluación de variables en determinados puntos de muestreo y la interpolación de los resultados obtenidos a través del área bajo estudio. Entre los métodos más utilizados para llevar a cabo la interpolación, de las variables de fertilidad, se puede mencionar la ponderación de distancia inversa (IDW: Inverse Distance Weighted) y el método Kriging. Este último es un método geoestadístico que cuantifica la estructura espacial de los datos y su autocorrelación, mediante variogramas, para realizar las predicciones correspondientes (Trangmar *et al.*, 1985, Villatoro *et al.*, 2008). Se ha establecido que el método Kriging registró grado alto de precisión en las estimaciones para

variables del suelo, como es el caso de pH y en menor grado para fósforo, en comparación con el método IDW (Villatoro *et al.*, 2008). La ventaja que tiene el método geoestadístico (Kriging) con respecto al matemático (IDW) es la verificación de la validez de la interpolación realizada, a través de parámetros estadísticos provistos por el análisis. El uso de los mapas de interpolación generados, por el método de Kriging, a partir de las variables químicas reportadas en un análisis de suelos es de gran utilidad para el diagnóstico de las necesidades de fertilización; así como, para su uso en la agricultura de precisión encaminada al ajuste constante del manejo del suelo (Henríquez *et al.*, 2013).

Se considera que el diagnóstico preciso del requerimiento de materia orgánica y la

incorporación de abonos orgánicos en los niveles apropiados fortalecerán la fertilidad del suelo en forma prolongada. Además, se mejorarán otras características del suelo como son: incremento de la disponibilidad de agua y se reducirán la compactación, inundaciones y erosión. La incorporación de materia orgánica disminuirá también la dependencia de los fertilizantes químicos, aumentará el rendimiento y se incrementarán las ganancias derivadas de actividades forestales y agropecuarias, todo ello dentro de un marco de sostenibilidad productiva (Rosales *et al.*, 2018). El objetivo fue evaluar la magnitud de la degradación de las propiedades químicas en suelos usados para la producción agrícola en Durango, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron muestras de suelo en las áreas productoras, principalmente de frijol y maíz, en nueve municipios de Durango, situados entre las coordenadas 23° a 25° N y 103° a 106° O. Se incluyeron los municipios de Durango, Canatlán, Pánuco de Coronado, Guadalupe Victoria, Peñón Blanco, Cuencamé, Poanas, Nombre de Dios y Vicente Guerrero. El suelo predominante en las áreas agrícolas es del tipo franco (arenoso y arcilloso), el cual tiene capacidad intermedia para la retención de humedad,

Los puntos situados fuera de áreas agrícolas fueron eliminados, por lo que se obtuvo un universo total de N = 237.

profundidad media, pendiente de 0 a 2 %, pH de 7.9 y es pobre en contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno. El área total de estudio se delimitó con base en la serie VI 1:250,000 (INEGI, 2018), en la cual se determinó la superficie agrícola con base en las categorías temporal anual y riego anual. Para la georreferenciación de los puntos de muestreo se utilizó el programa QGIS® (Versión 3.4), mediante el cual se creó la malla (grid) con cuadrantes de 4 km x 4 km y cada intersección se consideró como posible punto de muestreo.

$$\text{El tamaño de muestra se determinó con la ecuación: } n = \frac{[z^2 \cdot p \cdot q]}{e^2 + [z^2 \cdot \frac{(p \cdot q)}{N}]}$$

Donde n = tamaño de muestra (147), z = intervalo de confianza 95 % = 1.96, p = proporción con (0.50), q = proporción sin (0.50), e = error (0.05).

La información de los puntos de muestreo se complementó con otros datos obtenidos en línea por medio de la aplicación Google Earth®, con el fin de generar las coordenadas geográficas (X,

Y) y en ellas anexar los valores Z (variables químicas del suelo), necesarios para realizar las interpolaciones.



Los puntos de muestreo fueron georreferenciados en forma precisa con el geoposicionador satelital (Etrex 20x, Garmin®), lo cual facilitó su localización en campo. En cada uno de los puntos de muestreo se obtuvo una muestra de suelo a la profundidad de 0 a 30 cm. Se utilizó una pala recta, con la cual se hizo un pozo en forma de “V” y en uno de los lados de éste se tomó una lámina de suelo con 3 cm de grosor. Se eliminaron 3 cm de los lados de la muestra, con el uso del machete, y la muestra final de suelo se colocó en bolsa de polietileno

transparente, con su identificación respectiva. Las muestras se secaron al sol, extendidas en costales de polipropileno y protegidas dentro de un invernadero. Posteriormente, fueron molidas con martillo y pasadas por un tamiz (Núm. 10) con un tamaño de poro de 2 mm. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio para determinar materia orgánica (Walkley-Black), pH (potenciómetro), fósforo (Método Olsen), nitrógeno total (Micro Kjeldahl) y potasio (fotómetro de flama, Jenway PFP7®).

Los resultados obtenidos, en los 147 puntos de muestreo, se utilizaron para elaborar los mapas de fertilidad mediante la interpolación de los datos de cada una de las variables bajo estudio. Los datos fueron sometidos al análisis geoestadístico y para ello, se tabularon en coordenadas X, Y y Z, y luego se procesaron con el programa de datos numéricos Excel® (Office 365, Versión 2019) para obtener los parámetros del semivariograma con mejor ajuste y la correlación espacial de cada variable. Los parámetros geoestadísticos de cada elemento se interpolaron por el método Kriging ordinario, mediante el programa ArcMap (versión 10.6), y con ello, se obtuvo la superficie continua de la variable interpolada.

El corte del lienzo ráster se realizó con la herramienta “extract by mask” de la extensión ArcToolBox, donde la capa utilizada fue un archivo “shape” con el contorno de las áreas agrícolas de los nueve municipios, en el cual se igualó el tamaño de pixel (800 m x 800 m). Después, se añadieron los valores de cada prueba a la tabla de los puntos geográficos con la extensión “Extract value to point” de ArcToolBox del programa ArcMap. Los valores obtenidos fueron grabados en la tabla de puntos geográficos, para establecer los intervalos de tolerancia (máximos y mínimos) y frecuencia de observación, lo cual se utilizó en el establecimiento del rango de valores y las categorías de interpolación en la paleta de colores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

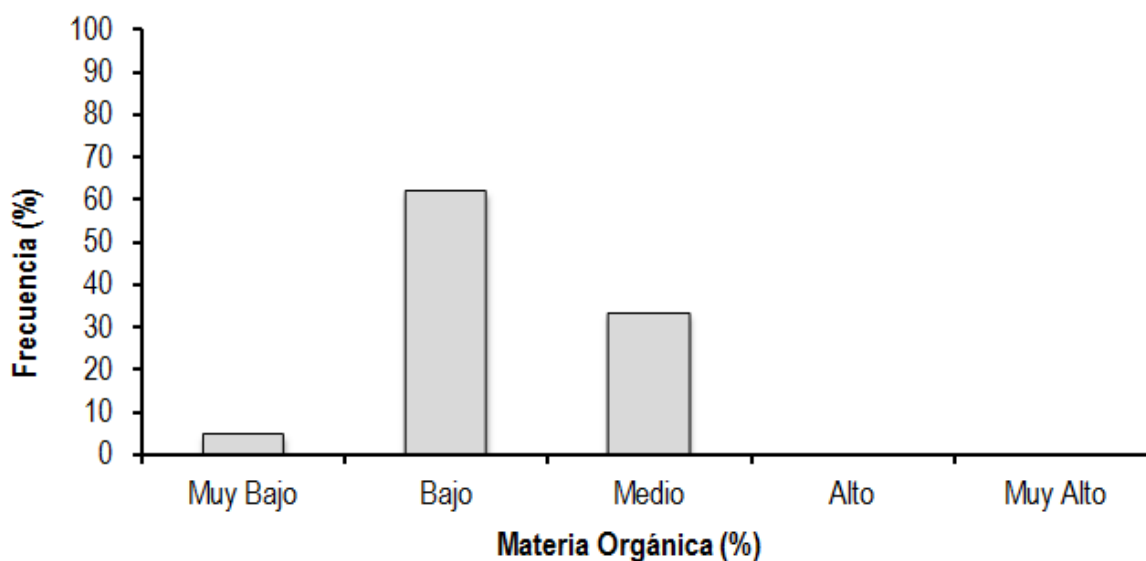
El valor promedio para el contenido de materia orgánica fue 1.4 %, el cual se consideró bajo y mostró variaciones entre muy bajo (0.3 %) a medio (3.3 %) (Cuadro 1). La frecuencia más alta fue observada para el nivel bajo (62 %), seguido de los niveles medio (33 %) y muy bajo (5 %) (Figura 1). La visualización en mapa de fertilidad mostró que los suelos con niveles muy bajos y bajos de materia orgánica (0.5 a 1.5 %) predominaron en la mayoría de las áreas agrícolas de los municipios incluidos en el

estudio (Figura 2). Las áreas agrícolas con contenido muy bajo (<0.05 %) de materia orgánica se detectaron en el sur de Cuencamé y algunas áreas específicas de Guadalupe Victoria. En los municipios de Nombre de Dios, Vicente Guerrero y Guadalupe Victoria, se observaron algunas áreas con niveles medios de materia orgánica, debido a la incorporación de residuos agrícolas del trigo cultivado durante el invierno. En otros casos se tuvo conocimiento de la incorporación de composta, estiércol y biofertilizantes, dentro de programas de apoyo implementados por el gobierno.

Cuadro 1. Estadística descriptiva para características del suelo evaluadas en Durango.

Estadístico	Materia Orgánica (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (mg kg ⁻¹)	Potasio Cmol (+)kg ⁻¹	pH
Promedio	1.4	0.27	8.7	0.95	7.5
Mínimo	0.3	0.05	0.7	0.09	6.2
Máximo	3.3	0.98	44.5	4.76	8.1
Error Estándar	0.04	0.01	0.60	0.06	0.03

n = 147


Figura 1. Frecuencia observada para el nivel de materia orgánica en el suelo de áreas agrícolas de nueve municipios de Durango. (n = 147).

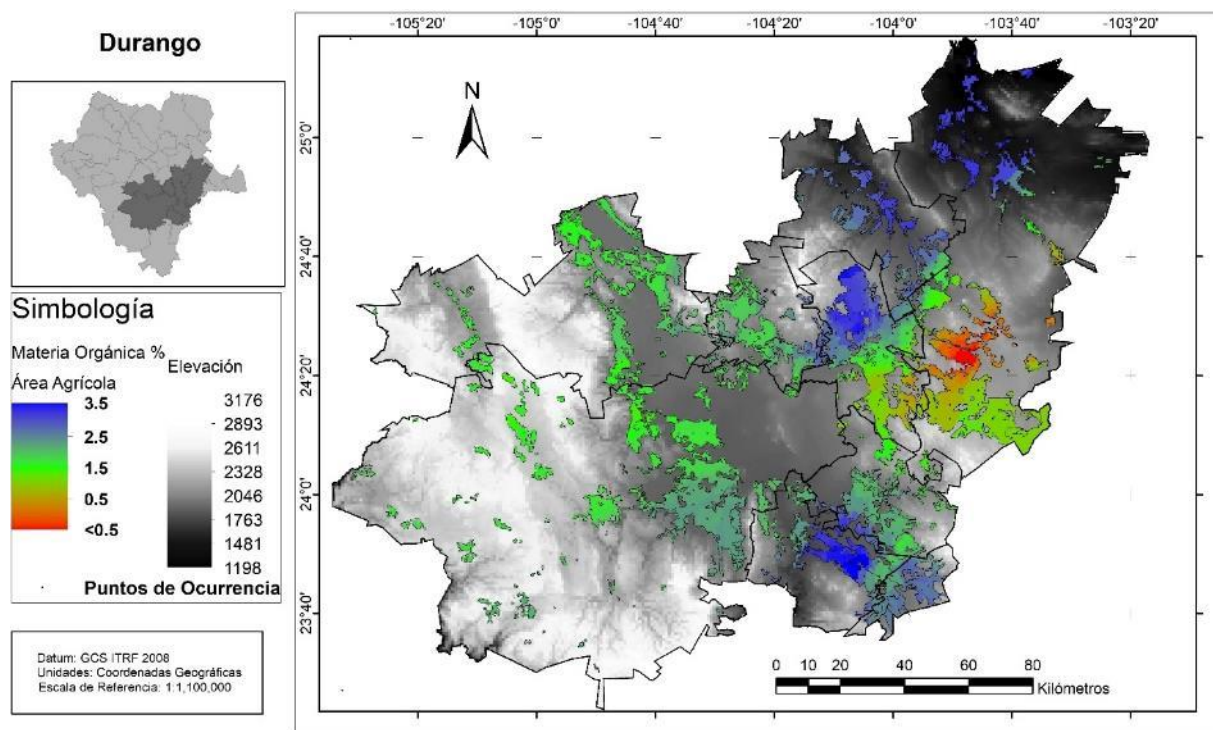


Figura 2. Niveles para el contenido de materia orgánica del suelo en áreas agrícolas de nueve municipios de Durango. (n = 147).

La fertilidad se vio influenciada por la predominancia (71 %) de los suelos medianamente alcalinos (Figura 3), en los cuales se observa disponibilidad baja de algunos nutrientes, como el fósforo y hierro (Narro, 1985; Taiz y Zeiger, 2010). En algunos sitios se observó alcalinidad del suelo y presencia de fosfatos de calcio, lo cual afectó la disponibilidad de algunos macronutrientes, especialmente fósforo. En el mapa de fertilidad se observó un nivel alto de afectación en Nombre de Dios, Vicente Guerrero y en medida menor en Peñón Blanco, Cuencamé, Canatlán y Pánuco de Coronado (Figura 4). En dichos municipios se

observó la presencia de suelos agrícolas calcáreos predominantes en el Altiplano de México (Amado *et al.*, 2007). Algunos suelos mostraron pH neutro (27 %) y medianamente ácido (2 %), lo cual favorece el rendimiento de los cultivos agrícolas, debido a la biodisponibilidad de la mayoría de los nutrientes minerales, que se liberan naturalmente de las partículas del suelo. Lo anterior, se ve opacado en años con precipitación baja (<300 mm) debido al establecimiento de cultivos en condiciones de temporal y a los efectos del estrés hídrico (Rosales *et al.*, 2004).

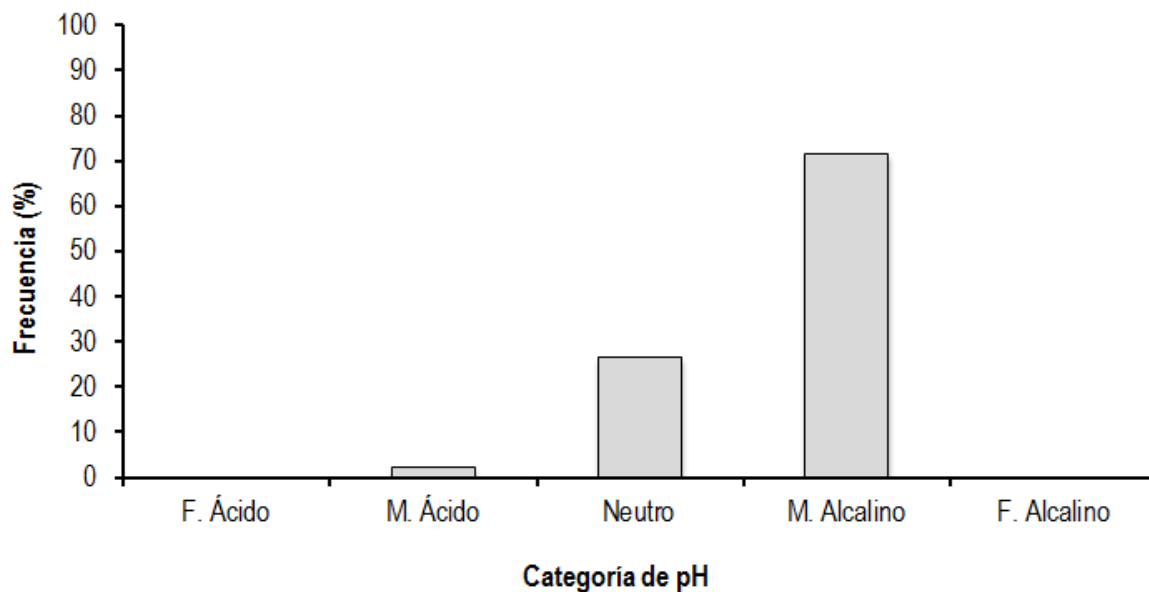


Figura 3. Frecuencia observada para el nivel de pH del suelo en áreas agrícolas de nueve municipios de Durango. (n = 147).

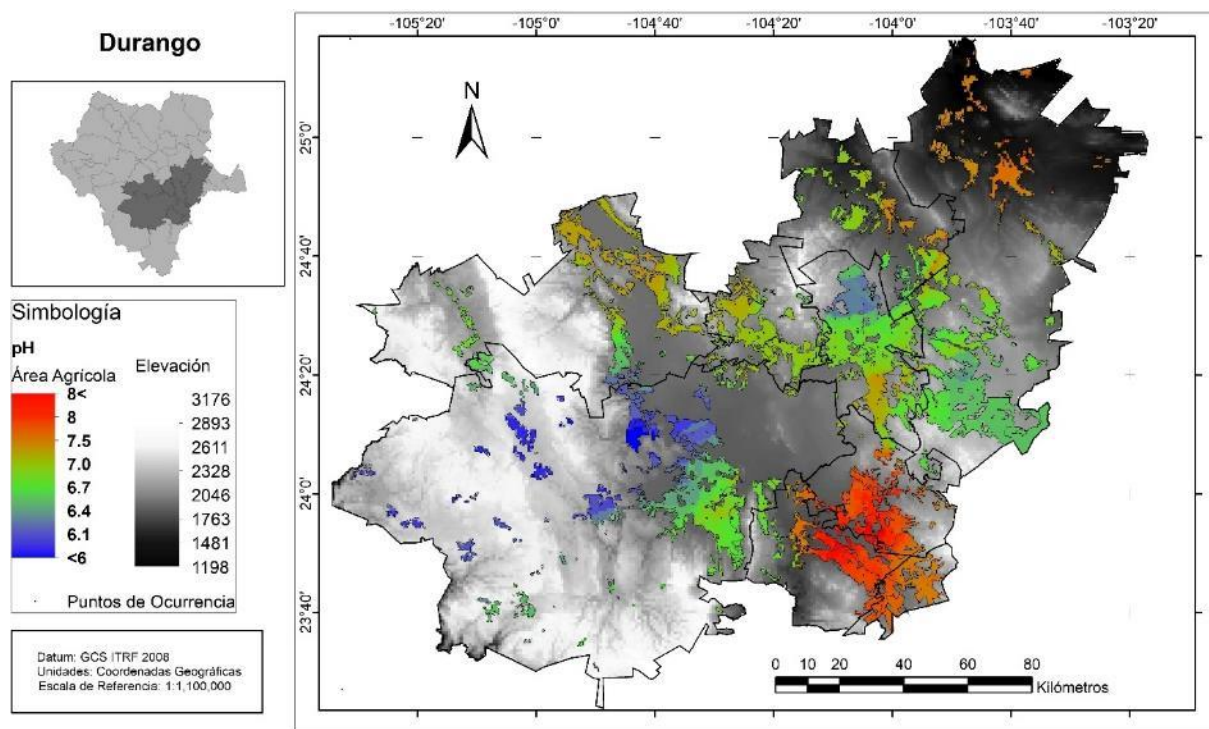


Figura 4. Niveles de pH en el suelo en áreas agrícolas de nueve municipios de Durango.

El contenido de nitrógeno mostró un nivel promedio 0.27 %, con variaciones entre 0.05 % y 0.98 % y con una distribución de frecuencias en la que predominó (61 %) el nivel medio (Figura 5). El nivel bajo de nitrógeno se observó en el 35

% bajo y el muy bajo en 21 % de los sitios; mientras que los niveles altos (11 %) y muy alto (19 %) se presentaron en una proporción más baja. La representación visual mostró los suelos con disponibilidad baja de nitrógeno se

detectaron principalmente en el sur de Cuencamé, y Guadalupe Victoria, así como en zonas localizadas de Durango y Nombre de Dios (Figura 6). Lo anterior, se relacionó con la

textura arenosa de los suelos agrícolas en Cuencamé y Guadalupe Victoria, lo cual dificulta la retención de elementos con movilidad alta, como es el caso del nitrógeno.

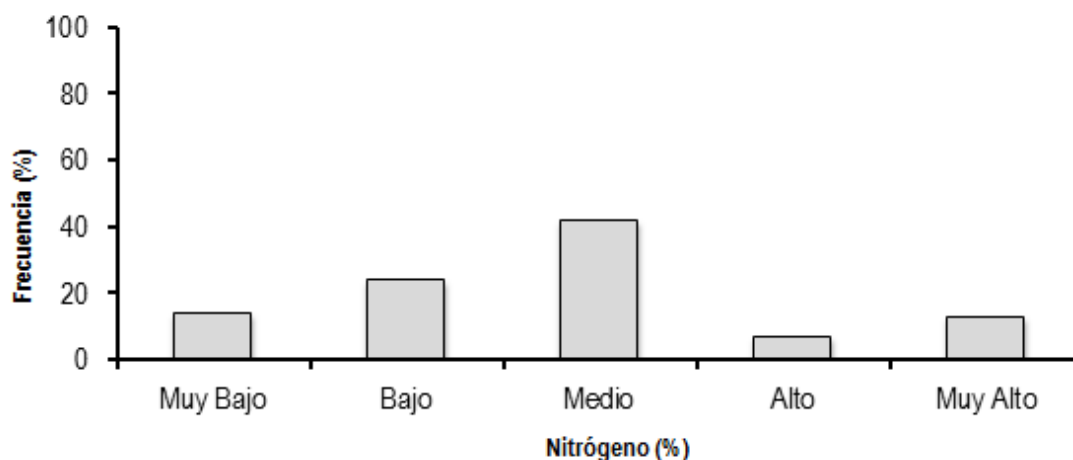


Figura 5. Frecuencia observada para el nivel de nitrógeno en el suelo de áreas agrícolas de nueve municipios de Durango. (n = 147).

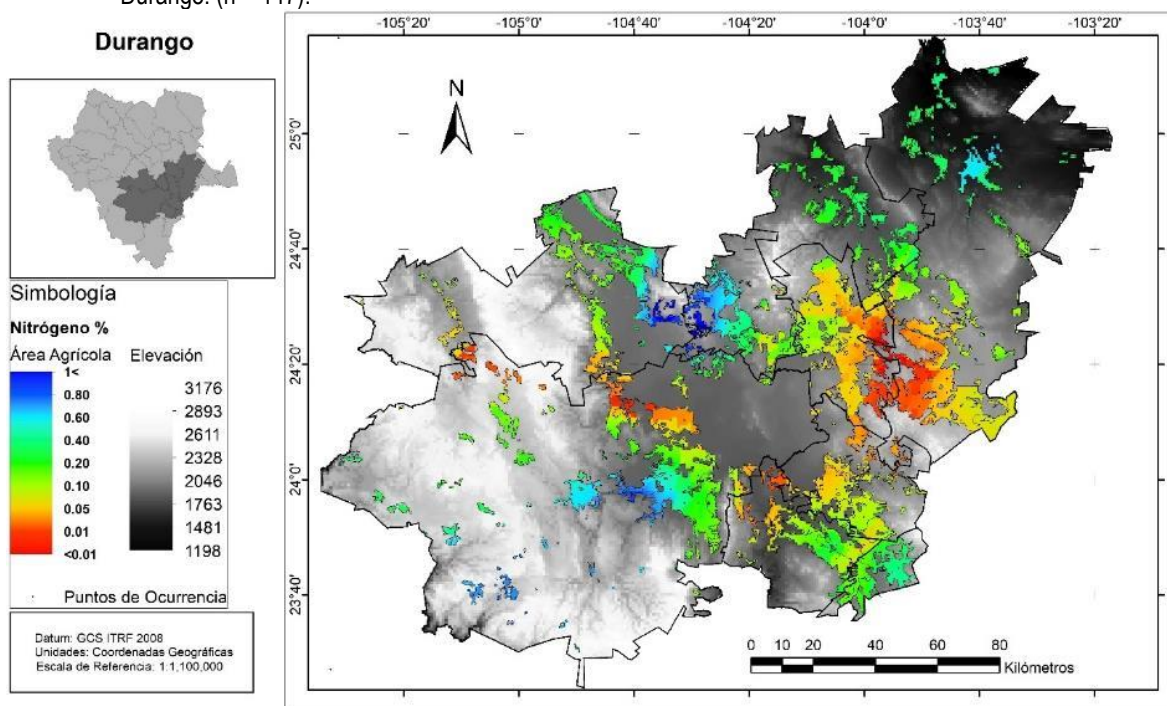


Figura 6. Niveles de nitrógeno (N) en el suelo de áreas agrícolas de nueve municipios de Durango. (n = 147).

Es recomendable realizar prácticas culturales apropiadas para incrementar la proporción de suelos con niveles superiores al nivel medio de nitrógeno, lo cual se puede lograr con la incorporación de materia orgánica y rotación de cultivos, en el que se incluya el uso de especies leguminosas que fijan nitrógeno atmosférico.

Con ello, se favorecerá la presencia de organismos benéficos en suelos agrícolas (*Azospirillum*, *Pseudomonas* y *Rhizobium*) que contribuyan a la sostenibilidad de la producción agropecuaria y forestal. La incorporación de materia orgánica favorece la retención de humedad y nutrientes en suelos con textura

arenosa, lo que reducirá los problemas de fertilidad en algunos municipios de Durango.

El contenido de fósforo mostró un valor medio de 8.7 mg kg^{-1} y fluctuaciones entre 0.7 mg kg^{-1} y 44.5 mg kg^{-1} (Cuadro 1). Una proporción alta (64 %) de los suelos mostraron niveles bajos de fósforo, mientras que los niveles medios (42 %) y altos (41 %) fueron menos frecuentes (Figura 7). Los problemas más graves del contenido de fósforo se registraron en Nombre de Dios, Vicente Guerrero y algunas áreas de Cuencamé, Guadalupe Victoria y Canatlán (Figura 8). Las

variaciones del contenido de este mineral fueron relacionadas con el tipo de suelo, degradación química, fijación de fósforo a las partículas de arcilla, y la precipitación de compuestos de hierro y fosfatos de calcio, comúnmente observados en los suelos calcáreos (Técnicoagrícola, 2013). Se considera que la disponibilidad del fósforo puede mejorar mediante la incorporación de materia orgánica al suelo, con lo que se estabiliza el pH y se libera este elemento de forma natural.

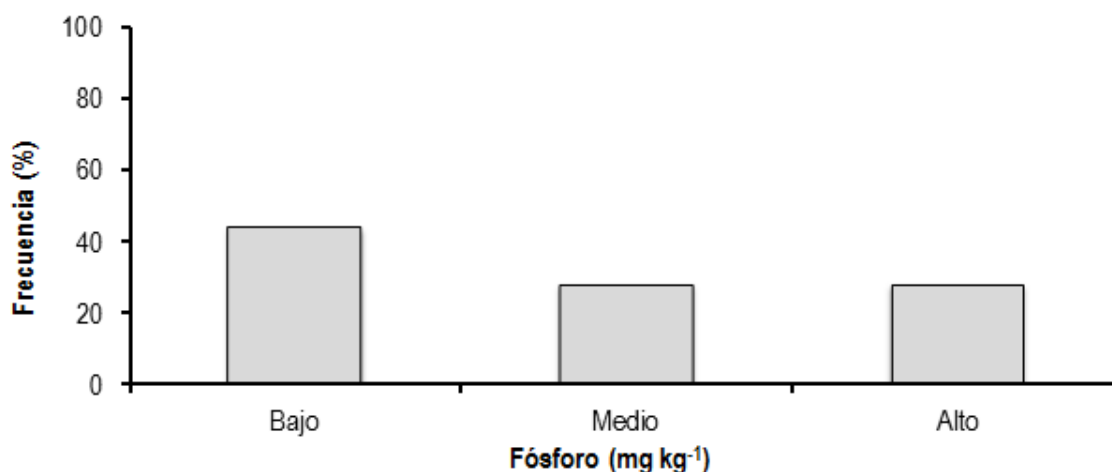


Figura 7. Frecuencia observada para el nivel de fósforo en el suelo de áreas agrícolas de nueve municipios de Durango. (n = 147):

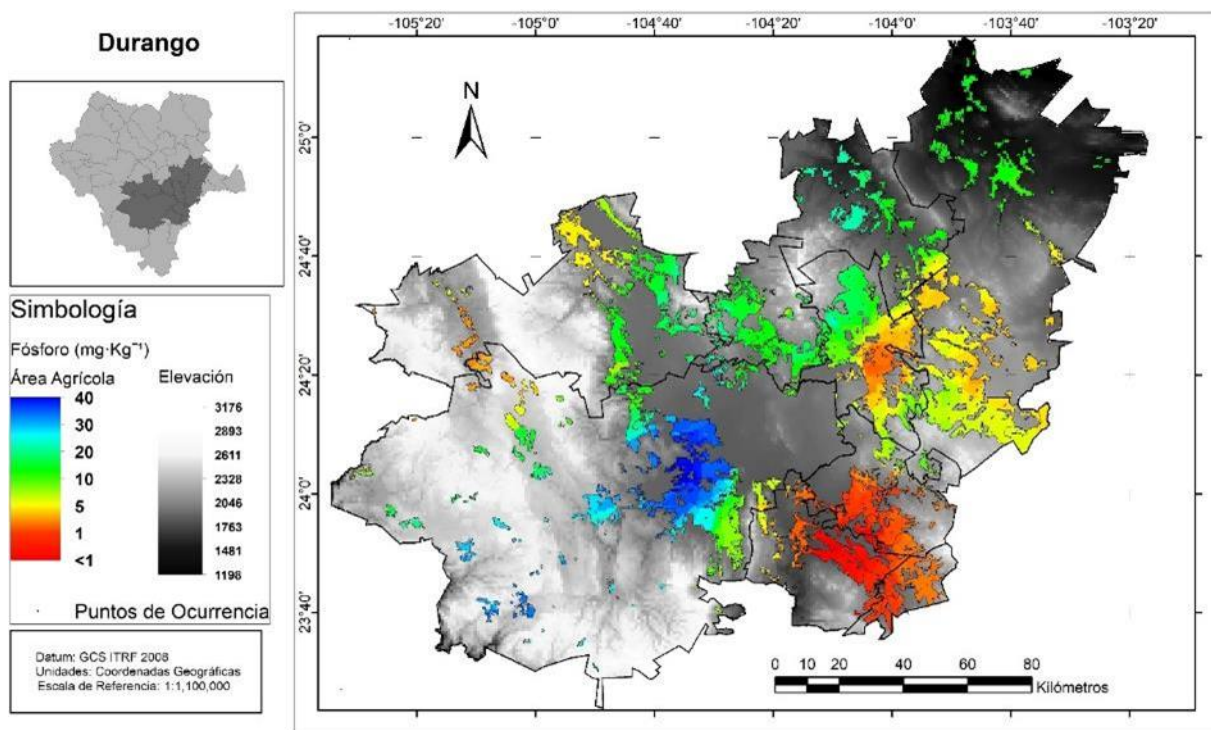


Figura 8. Niveles de fósforo (P) en el suelo de áreas agrícolas de nueve municipios de Durango. (n = 147).

Una proporción alta de los suelos (78 %) mostraron niveles altos de potasio, mientras que el 21 % restante registró niveles intermedios de este elemento. Se observó una proporción baja (3 %) de suelos con niveles muy bajos de potasio, especialmente en el sur de Cuencamé, Guadalupe Victoria y algunas áreas localizadas de Canatlán y Durango. A pesar de los resultados obtenidos, se observan síntomas de deficiencia para este elemento, en algunos suelos de Durango debido a su lixiviación registrada en texturas arenosas (FAO, 2013), se encuentra atrapado entre las capas de arcilla y el potasio intercambiable retenido electrostáticamente en los coloides del suelo (IPNI, 2018).

CONCLUSIONES

El nivel reducido de materia orgánica y naturaleza del suelo influyó en la disponibilidad de nutrientes, ya que se observó predominancia de los niveles medios de nitrógeno, bajos de fósforo y altos de potasio; mientras que una

proporción alta de los suelos mostraron niveles moderados de alcalinidad lo que interfiere con la disponibilidad de los nutrientes. En este último caso se agravó el problema, debido a la retención en las partículas del suelo del fósforo y varios microelementos, como hierro. Los resultados obtenidos mostraron la necesidad de incorporar abonos naturales, que favorezcan el incremento de la materia orgánica en los suelos agrícolas. Lo anterior, con la finalidad de fortalecer la fertilidad y estabilizar el pH, y con ello, favorecer la liberación natural de los nutrientes del suelo, incrementar el rendimiento y avanzar hacia la sostenibilidad de la producción agrícola.

LITERATURA CITADA

Amado A., J. P., H. R. Uribe M., G. Orozco H., y N. Chávez S. 2007. Beneficios en rendimiento de alfalfa con incorporación de biosólidos al suelo. In: Salazar S., E., H. I. Trejo E., I. Orona

- C., C. Vázquez V., J. D. López M., M. Fortis H., A. Flores H., F. J. Sánchez R., J. A. Leos R., y F. Jiménez D. (eds.). Uso y aprovechamiento de abonos orgánicos e inocuidad. FAZ-UJED- Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Durango, México. pp. 170- 203.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Paraguay. 31 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2017. Uso del suelo y vegetación de México, escala 1:250,000 (Serie VI), 2015-2017. Consultado en línea 11/08/2019. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/usv250s6gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_h](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/usv250s6gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no)
- IPNI (International Plant Nutrition Institute). 2018. Formas y estados del potasio en el suelo. Informaciones Agronómicas Núm. 4. pp. 3-6. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/A77BF5F95561AB058525801300603DC6/\\$FILE/Art%202.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/A77BF5F95561AB058525801300603DC6/$FILE/Art%202.pdf)
- Julca O., A., L. Meneses F., R. Blas S., y S. Bello A. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de uso en la agricultura. IDESIA 24(1): 49-61.
- Narro F., E. A. 1985. Mejoradores de suelos calcáreos y fertilización fosfatada en el cultivo de la papa. Agraria 1(1): 57-70.
- Rosales S., R., J. Kohashi S., J. A. Acosta G., C. Trejo L., J. Ortiz C., and J. D. Kelly. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. Field Crops Res. 85: 203-211.
- Rosales S., R., J. C. Ríos S., R. Jiménez O., P. A. Domínguez M., y S. Santana E. 2018. Importancia de la materia orgánica en el fortalecimiento de la fertilidad de suelos agrícolas en Durango. Desplegable para Productores Núm. 101. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Méx. 2 p.
- Rosales S., R., C. M. Reyes R., S. B. Rosales A., J. C. Ríos S., I. A. Ortiz S., and S. Valdez O. 2019. Common bean monocrop effects on soil chemical degradation in Durango, México. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative (BIC) 62(1): 93-94.
- Taiz, L., E. Zeiger. 2010. Plant physiology. Sinauer Associates Inc. Sunderland, MA. USA. pp. 117-119.
- Tecnicoagricola.es. 2013. Ciclo de fósforo en el suelo. Consultado en línea 14/01/2019. <http://www.tecnicoagricola.es/ciclo-del-fosforo-en-el-suelo/>.