

Influencia del relieve en las propiedades físicas y químicas de suelos agrícolas adyacentes al Río Lerma

Hernández Morales Rubén^{1✉}, González Cortés Juan Carlos², Cabrera González Arcelia² y Rosas Murillo María Salud²

¹Laboratorio de Biología Acuática "J. Javier Alvarado Díaz", Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edificio "R" Ciudad Universitaria

²Laboratorio de Edafología "Martha Bustos Zagal", Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edificio "R" Ciudad Universitaria

Resumen

En el presente trabajo se caracterizaron los suelos agrícolas de la zona adyacente al Río Lerma, en los municipios de Yurécuaro, Michoacán y Ayotlán, Jalisco, determinando la influencia que ejerce el relieve y la dinámica del Río Lerma sobre las propiedades físicas y químicas. Se colectaron 34 muestras en parcelas agrícolas cultivadas con maíz criollo y agave azul, las cuales se seleccionaron considerando cuatro condiciones de relieve: mesetas, pendiente, zona riparia y de inundación. Se determinaron un total de 19 variables edáficas. Una correlación múltiple permitió eliminar variables redundantes y utilizando un análisis de componentes principales (ACP), se obtuvieron solo aquellas a las que se puede atribuir la variabilidad edáfica en la zona agrícola. Los resultados mostraron que nueve variables tienen el mayor peso en el ACP, explicando el 88.47% de la variación; éstas correspondieron a características i) físicas: porcentajes de arena y arcilla, porosidad, saturación de humedad (SAT) y humedad a capacidad de campo (HCC); ii) químicas: capacidad de intercambio catiónico total (CICT), calcio (Ca⁺⁺), magnesio (Mg⁺⁺) y saturación de bases (SB). Las propiedades edáficas fueron más contrastantes en los relieves riparios y de inundación. El suelo en sitios riparios mostró mayor proporción de arenas, bajo contenido de iones, principalmente calcio y baja capacidad de intercambio catiónico. Los suelos de zonas de inundación presentan los porcentajes más altos de arcillas, materia orgánica, CICT, concentración de iones y SB. Por su parte, los sitios con relieve de pendiente, mostraron propiedades que pueden considerarse como de transición entre los suelos de meseta y de inundación. El tipo de cultivo no mostró efectos sobre las propiedades edáficas, excepto en el pH, siendo más ácido en sitios cultivados con agave. Los resultados sugieren que el relieve y la dinámica del Río Lerma, producen variabilidad edáfica en esta zona agrícola, debido al lavado, transporte y sedimentación de iones y partículas coloidales.

Palabras clave: coloides, sedimentación, pendiente, relieve, agricultura.

Introducción

Las zonas próximas a los ríos, son consideradas de gran valor para las actividades agrícolas, destacando la disponibilidad de agua, que permite el establecimiento de dos o más ciclos de

Abstract

In this paper we characterized agricultural soils in the adjacent area to the Lerma River, belonging to the municipalities of Yurécuaro, Michoacán and Ayotlán, Jalisco, determining the influence of the relief and the Lerma River dynamics on physical and chemical properties. 34 samples were collected in agricultural plots cultivated with maize and blue agave, which took into account plateau, slope, riparian and flood conditions. A total of 19 soil variables were identified, which according to a multiple correlation analysis affect the properties of the agricultural soils. The results showed that nine variables had the biggest impact in principal component analysis, explaining the 88.47% of the variation. These include: i) physical variables such as sand and clay percentages, porosity, moisture saturation (SAT), moisture at field capacity (HCC) and ii) chemical variables such as capacity of total cationic interchange (CICT), calcium (Ca⁺⁺), magnesium (Mg⁺⁺) and base saturation (BS). Soil properties were more contrasting in riparian and flood zones. The soil in riparian sites showed the highest proportion of sand, low ion content (especially calcium), and low cation exchange capacity. The flood soils had the highest percentages of clay, organic matter, CICT, concentration of ions and base saturation. Sites with slope showed features that can be considered as a transition between the plateau and flood soils. The type of culture didn't affect the soil properties, except for pH, being more acidic those sites cultured with agave. The results suggest that relief and dynamics of the Lerma River affect soil variability in this agricultural area, due to leaching, transport and deposition of ions and colloidal particles.

Palabras clave: *colloids, sedimentation, slope, relief, agriculture.*

cultivo. Por otra parte, se conoce desde la antigüedad que ciertas características fluviales o el comportamiento de algunos ríos, ocasionan inundaciones temporales que favorecen o deterioran las condiciones del suelo, lo cual puede repercutir en la producción vegetal.

Los estudios encaminados a conocer la dinámica y modificación de las propiedades del suelo en zonas agrícolas aledañas a los cauces son escasos y solamente se identifican las características dominantes del suelo en estas

✉ **Autor de correspondencia:** M.C. Rubén Hernández Morales. Facultad de Biología, UMSNH. Edificio "R" Ciudad Universitaria. Francisco J. Mujica S/N, Colonia Felicitas del Río, Morelia, Michoacán, México. C.P. 58030. Tel. (443) 1 72 97 05; Fax (443) 3.16.74.12. Email: quercusbios@hotmail.com

zonas, sin considerar que existen procesos dinámicos que modifican sus propiedades, siendo un factor determinante el relieve. El relieve, es importante a gran escala (considerando una cuenca) en los procesos de formación del suelo de acuerdo con Pereyra *et al.* (2004), no obstante los procesos de lavado, transporte y depósito de materiales se dan en cada época de lluvias a cualquier nivel, incluso a escalas pequeñas de microrregiones o a nivel parcelario. Algunos estudios han mostrado que cambios significativos en las propiedades del suelo varían con la distancia para un mismo tipo de suelo y que además algunas cambian más que otras (Zarazua *et al.*, 2007). Sirombra y Mesa (2010) resaltan la importancia de las zonas ribereñas con atributos físicos y químicos específicos así como propiedades bióticas y procesos de flujo de materia húmica, a través de procesos fluviales como crecidas y depósito de materiales, modelando la zona ribereña.

En la zona del medio Lerma, en su margen derecha, se encuentra ubicada la población de Yurécuaro, siendo la actividad económica principal la agricultura, misma que se beneficia de los escurrimientos del Río Lerma o de pozos profundos. No obstante de ser la agricultura el soporte económico de la cabecera municipal, no se tiene registro sobre estudios de suelo y mucho menos sobre los procesos que pueden afectar el uso agrícola actual. En su margen izquierda la población de Ayotlán Jalisco, es también eminentemente agrícola, por lo que es de gran interés la situación actual que guarda el suelo en esta parte del Río Lerma, con fines de planeación y conservación.

Así, el presente estudio tuvo como objetivo caracterizar los suelos agrícolas de esta zona, considerando la heterogeneidad del relieve y coadyuvar en la difusión de la información generada, que puede ser útil en diferentes ámbitos como educativos, de investigación, gubernamental y usuarios del recurso suelo, que les permitan una mejor planeación, conservación y mejoramiento del mismo.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio (**fig. 1**), se encuentra dentro del Altiplano Mexicano con elevaciones entre los 1600 y 1800 msnm. El relieve es de planicie y valle intermontano fluvial del cuaternario, de topografía de sierra escudo volcánico (Correa, 2003). El clima predominante es (A) C (w_p) (w) Semicálido subhúmedo con lluvias en verano, con lluvias invernales menores a 5%, siendo el menos húmedo de los cálidos (García, 1988).

La vegetación corresponde al Bosque espinoso y Bosque tropical caducifolio, perteneciente a la provincia florística de Altiplanicie de la región Xerofítica Mexicana Neotropical (Rzedowski, 2006), la cual ha sido reemplazada por el cultivo de sorgo, maíz, jitomate, agave y algunas leguminosas (Correa, 2003). Perteneció a la región hidrológica número 12 Lerma-Chapala-Santiago, dentro de la cuenca del Río Lerma (INEGI, 2006). Su geología se conforma de rocas ígneas basálticas y rocas sedimentarias de areniscas, así como sedimentos aluviales

(INEGI, 1973), de permeabilidad alta con materiales consolidados (Correa, 2003), mientras que el componente edáfico está conformado por suelos del tipo Vertisol y Feozem (INEGI, 1979).

Trabajo de campo y laboratorio

En septiembre de 2008, se colectaron 34 muestras de suelo representativas de la región, encontrándose 6 parcelas cultivadas con maíz criollo (*Zea mays*) y 28 cultivadas con agave azul (*Agave tequilana* var. *weber*). Considerando criterios como: geofoma, pendiente del terreno, drenaje superficial y proximidad al río, se definieron cuatro tipos de relieve; a) Meseta (**Me**), b) Pendiente (**Pe**), c) Zona Riparia (**Ri**) y d) Zona de inundación (**In**), con un promedio de 8 muestras por tipo de relieve. El muestreo de suelo se realizó en un espesor de 60 centímetros a partir de la superficie. Las muestras de suelo de 1 kg fueron colocadas en recipientes de plástico de cierre hermético previamente etiquetadas, se transportaron al laboratorio, fueron secadas a temperatura ambiente, trituradas y tamizadas con malla de 2 mm para proceder a determinar

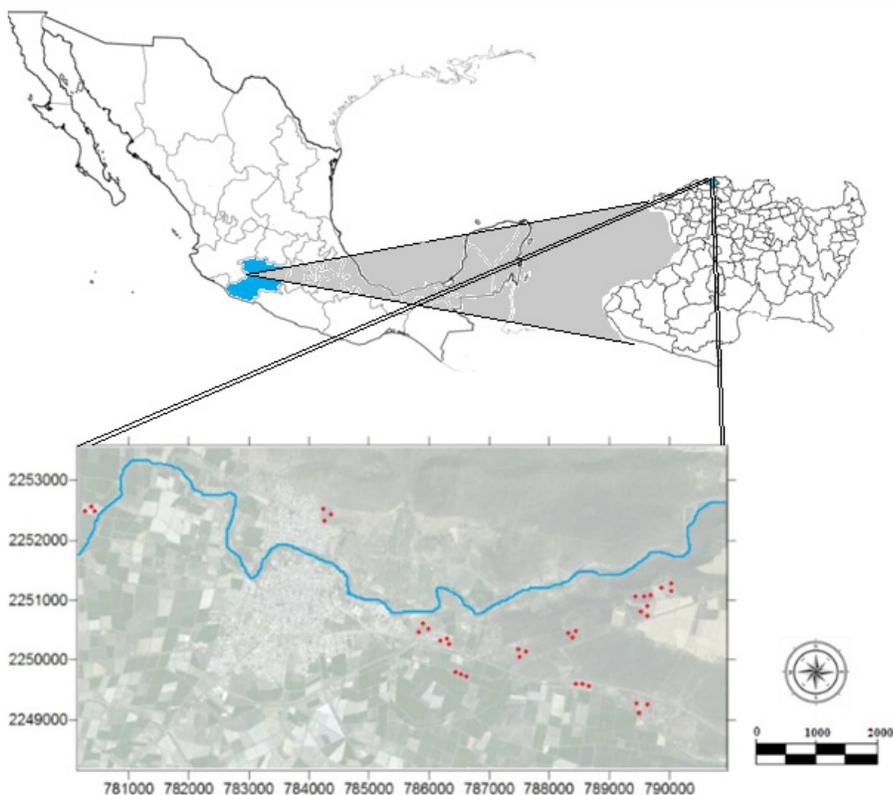


Figura 1. Localización del área de estudio y sitios de muestreo.

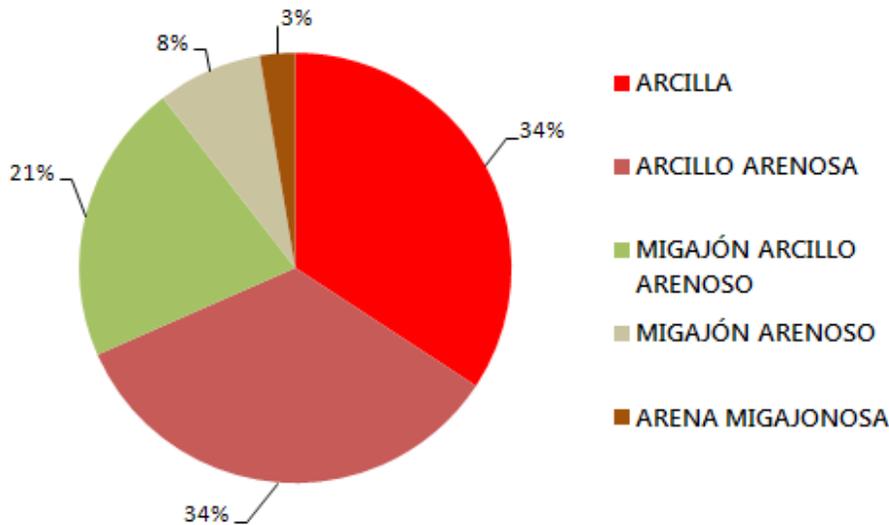


Figura 2. Diversas clases texturales que predominan en la zona de estudio.

sus propiedades físicas y químicas, en base a la Norma Oficial Mexicana: NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002). Las propiedades determinadas y los métodos establecidos en la NOM se muestran en el **Tabla 1**.

De igual manera, las calificaciones mencionadas en los resultados corresponden a los rangos establecidos

en la Norma Oficial Mexicana antes citada.

Análisis estadísticos

Se realizó un análisis de correlación múltiple a fin de detectar redundancias entre las variables y ser omitidas en los análisis posteriores. Para conocer cuáles son los parámetros a los que se atribuye

la variación edáfica, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con el programa MVSP v. 3.01 (KCS, 1998). Considerando las variables edáficas con mayor peso en el ACP, se procedió a realizar un análisis de varianza para identificar diferencias significativas al comparar los cuatro tipos de relieve y cuando se consideró necesaria la comparación de medias pareadas de Student, utilizando el programa estadístico JMP v. 6 (SAS Inc., 2005).

Resultados

Granulometría general de los sitios muestreados.

Los suelos agrícolas muestreados presentaron como dominante a la clase textural de arcilla y arcillo-arenosa, seguida de la arcillo arenosa y el migajón arcillo arenoso. A estas tres clases pertenece el 89% de los sitios muestreados. Los suelos próximos a la zona riparia se ubicaron en la clase textural arena-migajosa, ocupando éstos la menor proporción de los sitios muestreados (**Fig. 2**).

En el tabla 2 se muestra que los sitios ubicados en relieve de meseta (Me) e inundación (In) presentaron una proporción de arcillas y arenas similares, mientras que los cercanos a la zona riparia (Ri) se constituyen principalmente de arenas y menor porcentaje arcillas, en tanto los de pendiente (Pe), presentaron la proporción de limos más baja.

Características del suelo para cada uno de los relieves

Sitios de meseta

Los sitios de Me se caracterizaron por un equilibrio en los porcentajes de arcillas y arenas, lo cual contribuye a que presentaran el mayor porcentaje de saturación de humedad (SAT) relacionado con una humedad a capacidad de campo (HCC) alta, al igual que el agua aprovechable (AP) y el punto de marchitez permanente (PMP). Son moderadamente ácidos, con valores de materia orgánica (MO) considerados como medios, una capacidad de intercambio catiónico (CICT) alta, dominados por magnesio y calcio, con bajas concentraciones de potasio y sodio. La concentración de cationes fue la más baja, atributos que originaron a su vez una

Tabla 1. Propiedades del suelo determinadas en base a la NOM-021-RECNAT-2000

Parámetro Textura: Arena (Ar), limo (Li) y arcilla (Arc)	Unidad %	Método de determinación Bouyoucos
Color	Matiz, Tinte, Value	Carta Munsell
Densidad Aparente (DA)	g cm ⁻³	Bloques en parafina
Densidad Real (DR)	g cm ⁻³	Picnómetro
Porosidad (POR)	%	Calculo
Saturación de Humedad (SAT)	%	Pasta de Saturación
Humedad a Capacidad de Campo (HCC)	%	Calculo
Agua Aprovechable (AP)	%	Calculo
Punto de Marchitez (PMP)	%	Cálculo
pH	UPH	Dilución en agua 1:25 y 1:50
Materia Orgánica (MO)	%	Walkey y Black
Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT)	Cmol(+)Kg ⁻¹	Saturación de NH ₄ ⁺ y Ca ²⁺
Calcio (Ca ⁺⁺)	Cmol(+)Kg ⁻¹	Volumetría
Magnesio (Mg ⁺⁺)	Cmol(+)Kg ⁻¹	Volumetría
Sodio (Na ⁺)	Cmol(+)Kg ⁻¹	Flamometría
Potasio (K ⁺)	Cmol(+)Kg ⁻¹	Flamometría
Saturación de bases (SB)	%	Calculo

saturación de bases (SB) < 50%, que indican suelos con ligera degradación química o baja fertilidad (**Tabla 2**).

Sitios con pendiente

En los sitios con pendiente ≥ 20 % (Pe), predominan las arenas y arcillas, siendo los sitios con el menor porcentaje de limos. La saturación de humedad fue similar a los sitios ubicados en meseta (Me), lo cual se refleja en porcentajes adecuados de POR, HCC, AP y PMP. Su pH fue neutro con un porcentaje de MO calificado como medio. La CICT fue calificada como alta. Su balance iónico evidencia la dominancia del calcio y magnesio con una secuencia Ca>Mg>Na>K, que originan una SB adecuada (>50%), para suelos productivos (**Tabla 2**).

Sitios de inundación

En los sitios con áreas inundables (In), se presentaron proporciones de arcillas similares a los sitios de meseta (Me), pero con un ligero incremento en arenas y reducción en limo. El porcentaje de saturación de humedad fue 17% menor que en sitios de Me, lo cual influye en la reducción de la HCC, AP y PMP. Son suelos moderadamente ácidos, con valores de MO calificados como medios, pero numéricamente los más altos registrados. Conservan una CICT alta, con elevadas concentraciones de cationes (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ y K⁺), dominando el calcio y magnesio. Por lo anterior la SB de estos suelos es la más alta entre las parcelas agrícolas muestreadas (**Tabla 2**).

Sitios de la zona riparia

Las parcelas cercanas al Río Lerma, denominadas riparias (Ri), se componen de suelos con elevado contenido de arenas y baja proporción de arcillas. Su saturación de humedad fue menor a los sitios de meseta (Me) y con pendiente ≥ a 20 % (Pe), presentando a su vez los porcentajes más bajos de POR, HCC, AP y PMP. Su pH fue neutro y presentó una calificación media en su contenido de MO. La CICT es calificada como media, con una secuencia de dominación de cationes Mg>Ca>Na>K, para originar una SB de >50%, adecuada para suelos agrícolas (Tabla2).

Parámetros a los que se atribuye la variación edáfica en el área de estudio

De los 19 parámetros analizados, se observó que algunos de ellos mostraron redundancias en la matriz de correlación múltiple, siendo eliminados. Las variables con correlaciones <1 y >0.3 con el resto de las mismas fueron utilizados en análisis de componentes principales (ACP) para identificar solo a aquellos parámetros responsables de la variación edáfica. Los resultados mostraron que solo 9 parámetros determinaron el 88.47% de la variación, de los cuales el 78.60%, es explicado en el eje 1 y 2 de la **Tabla 3**, e incluyen los porcentajes de arena y arcilla, porosidad, SAT, HCC, CICT, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y SB.

Considerando los anterior, se realizó un análisis detallado de los parámetros citados y su importancia en los diferentes relieves de la zona agrícola muestreada.

Tabla 2. Valores medios (± ES) para las variables físicas y químicas del suelo en los cuatro relieves considerados.

Variable	Unidad	Tipos de relieve			
		Meseta(Me)	Inundación(In)	Riparia(Ri)	Pendiente(Pe)
% Arenas	%	40.95±3.52	43.36±1.37	50.03±9.33	47.99±2.08
% Limo	%	16.69±3.57	14.49±2.34	18.23±5.33	10.99±1.03
% Arcilla	%	43.39±5.12	42.14±1.01	31.62±6.35	40.96±1.66
Densidad Aparente	g cm-3	1.24±0.05	1.18±0.01	1.17±0.04	1.16±0.01
Densidad Real	g cm-3	2.20±0.04	2.09±0.10	2.05±0.18	2.34±0.07
% Porosidad	%	43.55±2.96	43.33±3.18	40.00±5.89	49.94±1.34
% Saturación	%	81.22±5.04	64.33±0.67	63.92±5.46	79.0±3.72
% Capacidad de Campo	%	29.91±1.45	27.27±0.18	22.37±3.70	26.10±0.92
% Agua Aprovechable	%	14.96±0.72	13.63±0.09	11.18±1.84	13.05±0.46
% Punto de Marchitez	%	14.96±0.72	13.63±0.09	11.18±1.84	13.05±0.46
pH-1:25	UPH	5.94±0.19	6.2±0.25	7.08±0.34	6.79±0.17
pH-1:50	UPH	5.91±0.23	6.07±0.37	6.95±0.38	6.97±0.17
Materia Orgánica	%	1.90±0.36	2.86±0.27	2.12±0.14	2.72±0.30
Capacidad de Intercambio Catiónico	Cmol(+)Kg-1	29.49±3.27	31.18±1.16	23.32±3.60	30.13±0.89
Calcio	Cmol(+)Kg-1	4.06±1.31	12.77±4.09	1.73±0.34	7.48±1.84
Magnesio	Cmol(+)Kg-1	7.58±1.53	6.14±4.08	6.77±3.17	6.26±4.64
Sodio	Cmol(+)Kg-1	1.19±0.17	2.57±0.41	3.30±0.24	3.19±0.20
Potasio	Cmol(+)Kg-1	1.01±0.10	1.98±0.73	1.71±0.45	1.75±0.21
% Saturación de bases	%	47.74±6.38	76.26±15.53	58.66±5.93	61.42±5.67

Tabla 3. Análisis de Componentes Principales, que muestra los parámetros responsables de la variación edáfica.

	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Valor propio	522.296	425.312	119.028
Porcentaje	43.322	35.277	9.873
Porcentaje acumulado	43.322	78.599	88.472

Peso de la variable en ACP			
	Eje 1	Eje 2	Eje 3
ARENAS	0.263*	0.439	0.428
ARCILLA	-0.251	-0.417	-0.121
%POR	0.101	0.033	0.609
%SAT	-0.394	-0.455	0.637
%HCC	-0.112	-0.193	-0.121
CICT	-0.117	-0.241	-0.086
Ca ⁺⁺	0.119	-0.211	0.023
Mg ⁺⁺	0.033	-0.114	-0.053
%SB	0.813	-0.521	0.027

*En negritas se muestran los parámetros con mayor peso.

Porcentaje de arena

Las parcelas que presentan una mayor variación en el contenido de arena son las riparias que se localizan cerca del Río Lerma. La variación puede ser atribuida a la aportación de partículas gruesas durante eventos extraordinarios de desbordamiento. Mientras que el área que reporta la menor variabilidad en el contenido de estas partículas corresponde a la zona de inundación y carece de un drenaje directo, el cual es resultado de una obstrucción por vías de comunicaciones federales. Los suelos de las parcelas Pe y los de Me, muestran similitud en variación de la proporción de arenas, los cuales presentan como cultivo dominante al agave.

Cabe resaltar que las proporciones de arenas en las parcelas agrícolas de la zona no mostraron diferencias significativas al realizar el análisis de varianza de los cuatro tipos de relieve ($F=0.9022$, $p>F 0.4516$).

Porcentaje de arcillas

El porcentaje de arcilla presenta una mayor variación en las parcelas agrícolas ubicadas en meseta. Esto puede ser ocasionado por la exposición de las zonas altas a la erosión, que puede ser diferente para cada micrositio dependiendo del cultivo establecido. Cabe resaltar que un tercio de las parcelas dedicadas a la producción de agave habían sido utilizadas para el almacenamiento de agua con anterioridad, perdiendo el horizonte orgánico y parte del horizonte A, lo cual contribuyó a que el porcentaje de partículas coloidales (arcillas) fuera bajo.

Las variables afectadas por este parámetro son la concentración iónica, el contenido de aniones de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, así como la capacidad de intercambio catiónico los cuales se incrementan al aumentar el contenido de arcillas. El porcentaje de arcilla influye en el contenido de agua en el suelo ya que se eleva la capacidad de campo, el agua aprovechable, la saturación

y el punto de marchitez permanente.

El análisis de varianza no mostró diferencia significativa para la proporción de arcillas entre los diferentes tipos de relieve ($F=1.4928$, $p>F 0.2423$). No obstante se hace notar que la mayor variación se observó en sitios de meseta y la menor en sitios de inundación.

Porosidad del suelo

Los sitios con una mayor variabilidad en el porcentaje de porosidad del suelo fueron los riparios, en los cuales se observó la presencia de material lítico arrastrado por el Río Lerma, así como en parcelas adyacentes al cause con pendiente > 20%, donde se presentó menor variación y corresponde a sitios de inundación, en tanto que los suelos más porosos correspondieron a sitios en la zona de pendiente. Esto último se puede atribuir a la pérdida de limos por arrastre.

La porosidad influye directamente en variables asociadas a la retención de humedad. Dicha porosidad obedece a una disminución de la densidad aparente, que evidencia un incremento en los espacios entre las partículas del suelo. Una densidad real mayor para los sitios de pendiente indican la presencia de arenas que favorecen la porosidad pero se reduce la capacidad para conservar y aprovechar el agua del sustrato edáfico.

No se obtuvieron diferencias significativas ($F=2.4928$, $p>F 0.0791$) entre los relieves considerados, no obstante la porosidad fue mayor en los sitios de pendiente, sugiriendo que la pérdida del limo por erosión es importante, pero no lo suficiente para diferenciar los tipos de relieve.

Capacidad de saturación (SAT)

Los sitios con mayor variación en la saturación del suelo fueron los de pendiente, la cual presenta suelos con contenido de materia orgánica calificada como alta, así como suelos con importantes proporciones de arenas, mientras que sitios que contienen una menor variación en éste parámetro fueron los de inundación, sitios altamente homogéneas en su composición física (Tabla 4).

Dicho parámetro se correlaciona directamente con variables indicadoras de humedad en el suelo como son la capacidad de campo (HCC), el agua aprovechable y el punto de marchitez permanente (PMP).

El análisis de varianza para las categorías establecidas no mostró diferencias significativas en el porcentaje de saturación del suelo ($F= 2.7593$, $p>F 0.0594$), no obstante el valor de probabilidad (cerca a 0.05) no descarta posibles diferencias en este parámetro para la región, al comparar las medias de esta variable para cada relieve.

Humedad a capacidad de campo (HCC).

La humedad a capacidad de campo tuvo el siguiente orden de mayor a menor: meseta, inundación, pendiente y riparia. La capacidad del suelo para retener la humedad se observó asociada de manera directa con el contenido de arcillas ya que el suelo de meseta tuvo los mayores porcentajes de humedad promedio, en contraste con el suelo de sitios riparios donde fue menor la proporción de arcillas. El análisis de varianza mostró valores de $F=2.7728$, $p>F 0.0586$ que sugieren posibles diferencias entre las medias para los diferentes relieves.

Tabla 4. Análisis de varianza y comparación de medias en las que se obtuvieron diferencias significativas.

Análisis de varianza y Comparación de medias entre relieves ($\alpha < 0.05$)*						
Variable	Valor de F	p>F	Me	Pe	In	Ri
HCC	2.7728	0.0586	A	AB	AB	B
SAT	2.7593	0.0594	A	A	AB	B
POR	2.4928	0.0791	AB	A	AB	B
Ca ⁺⁺	3.0209	0.0451	B	AB	A	B
SB	1.6176	0.0206	B	AB	A	AB
pH	4.589	0.0093	B	A	AB	A

*Letras diferentes indican diferencias significativas.

Capacidad de intercambio catiónico total (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico, que determina la actividad química del suelo, está asociada de manera directa con los contenidos de arcillas y de materia orgánica. Los resultados mostraron que los sitios de meseta fueron los que presentaron valores promedio de intercambio catiónico mayores, en tanto que los de menor capacidad fueron los sitios de relieve ripario. Los sitios Ri presentaron mayor porcentaje de arenas y limos, siendo las partículas que tienen menor capacidad de intercambio catiónico respecto a las arcillas. Por otra parte el análisis de varianza mostro valores de $F=1.6956$, $p>F 0.189$, indicando que no hay diferencias entre las medias de este parámetro para los cuatro relieves considerados.

Contenido de cationes Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺

Los valores de calcio fueron mayores en sitios de inundación y puede ser atribuido procesos de lavado y acumulación de las áreas cercanas, en tanto el magnesio mantuvo niveles similares en los cuatro relieves. El análisis de varianza mostró diferencia significativa para el calcio ($F=3.0209$, $p>F 0.0451$), pero no para el magnesio ($F=0.125$, $p>F 0.9446$), lo cual se puede atribuir a una mayor movilidad del calcio en el suelo.

Porcentaje de saturación de bases (SB)

La saturación de bases fue mayor en los sitios de inundación en contraste con los de meseta donde fue menor. Esto puede estar determinado por que en los sitios de inundación se llevan a cabo procesos de acumulación, en tanto en los de meseta el proceso es más bien de lavado. Los sitios de la zona riparia y

pendiente presentan valores similares, aun cuando los procesos que originaron estos valores no sean los mismos. El análisis de varianza ($F=1.6176$, $p>0.206$) no mostró diferencias significativas entre los relieves. No obstante una comparación de medias ($t_{\alpha < 0.05}$) evidenció diferencia significativa entre los sitios de inundación y de meseta.

Análisis de varianza y comparación de medias para los cuatro relieves

Se consideraron las nueve variables seleccionadas en el ACP, realizándose el análisis de varianza y comparación de medias ($\tau_{\alpha < 0.05}$), así como de pH (1:25) y MO, estas dos últimas por ser de gran importancia agrícola, aun cuando el peso en el ACP fue bajo. Los resultados mostraron que en cinco de las nueve variables se obtuvieron diferencias significativas, además del pH como parámetro adicional. Así, en las variables físicas (HCC, SAT y POR) se observó una mayor diferencia entre sitios de Me y Pe con los Ri. Por otra parte, en las propiedades químicas (Ca⁺⁺, SB y pH) las diferencias fueron más marcadas entre los sitios de Me y de In.

Importancia del tipo de cultivo en la variación de las propiedades edáficas

Para determinar si el tipo de cultivo ha influido sobre las propiedades del suelo independientemente del tipo de relieve, se realizaron análisis de varianza para los 19 parámetros, considerando los sitios con maíz y aquellos con agave. Los análisis de varianza no mostraron diferencias significativas para 17 de los 19 parámetros, excepto para el pH en sus dos determinaciones (1:25 y 1:50) con valores de $F=4.8667$ y 5.8614 y $p>F$ de 0.0347 y 0.0213 respectivamente, una comparación de medias de Student ($t_{\alpha < 0.05}$) corroboró la diferencia para ambos cultivos.

Discusión y conclusiones

Las propiedades físicas y químicas del suelo en la región agrícola en la que se realizó el presente estudio están afectadas por el relieve regional, así como por la dinámica hidráulica del río, próximo a la zona de cultivo. La pendiente del terreno influye en el drenaje y afecta la acumulación de partículas orgánicas e inorgánicas que permiten que el suelo conserve su humedad, sales, nutrimentos y los iones necesarios para el crecimiento vegetal y el óptimo desarrollo del ecosistema edáfico (Estchevers *et al.*, 1971).

En los sitios de meseta (Me) el drenaje ha permitido el lavado de bases, principalmente magnesio y sodio, lo cual se evidenció con un porcentaje de saturación de bases $<50\%$, sugiriendo que es importante dar atención a estos sitios, a través de prácticas de cobertura y adición de materiales que permitan recuperar el Mg⁺⁺ y Ca⁺⁺ perdidos.

Las propiedades edáficas tanto físicas como químicas en los sitios de pendiente (Pe) no mostraron efectos adversos importantes, sugiriendo que los iones y partículas de los sitios de meseta se mueven en primera instancia a estos sitios con pendiente, siendo sitios de transición entre los sitios de meseta (Me) y de inundación (In). Aún cuando se han reportado procesos importantes de pérdida de partículas finas (arcillas) en sitios con pendiente (Etchevers *et al.*, 1971), en el presente estudio esto no se evidenció, sugiriendo que depende principalmente del valor de la pendiente, así como del área de drenaje.

En los sitios de In se apreció el incremento de iones de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, el valor más alto de CICT asociado a la combinación de materia orgánica y arcillas, así como el valor más alto de SB. Lo anterior muestra que los procesos de depósito de iones básicos y partículas coloidales (arcillas y materia orgánica) son mayores en estas áreas, favoreciendo las propiedades edáficas para la producción agrícola. La acumulación de materia orgánica favorece la porosidad, equilibrando el efecto del depósito de arcillas, que en muchos suelos agrícolas reducen la permeabilidad.

Los sitios de la zona riparia (Ri) tuvieron un comportamiento interesante, ya que sus propiedades evidenciaron ser

afectadas por procesos de pérdida de partículas coloidales finas (arcillas) durante las épocas de desbordamientos del río. Lo anterior, permitió el desarrollo de suelos con texturas medias a gruesas con importantes concentraciones de iones, como el magnesio y el sodio. Los resultados derivados del análisis de la granulometría de los sitios riparios fortalecen la idea de procesos de pérdida de partículas finas, reflejándose en una menor proporción de partículas de arcillas. La mayor proporción de arena en estos sitios se relaciona con los valores más bajos en parámetros físicos asociadas a la humedad como: SAT, HCC, AP, PMP, así como en parámetros químicos como la CICT.

El incremento en las arenas limita la disposición del agua para la biota del ecosistema edáfico, pero se favorece la infiltración, la evapotranspiración y la escorrenría del vital líquido (Navarro y Navarro, 2000), por ello los suelos en sitios de la zona riparia con elevado porcentaje de arenas presentaron las más bajas proporciones de capacidad de campo, agua aprovechable y punto de marchitez permanente.

Los análisis de varianza y comparación de medias mostraron que las diferencias edáficas más marcadas se dieron en las comparaciones Me-Ri y Me-In, fortaleciendo la hipótesis de que la variabilidad edáfica es atribuida al relieve y en particular a los procesos de lavado, transporte y depósito de partículas (orgánicas e inorgánicas) e iones (Etchevers *et al.*, 2002).

El efecto del cultivo sobre las propiedades edáficas para esta zona agrícola, fue prácticamente nulo, bajo las condiciones de muestreo señaladas, excepto para el pH, siendo más ácido en sitios con cultivo de agave (moderadamente ácidos), sugiriendo por un lado, que por la separación entre plantas (menor cobertura), el suelo está más expuesto a factores ambientales como la precipitación, favoreciéndose el lavado de bases y la erosión (Escalante *et al.*, 2007). Por otra parte, aún cuando en general el pH en parcelas agrícolas es moderadamente ácido (Ibarra *et al.* 2009), la actividad agrícola intensiva (Ruiz *et al.*, 1997) y la aplicación de fertilizantes químicos también la han favorecido.

Los procesos de lavado y lixiviación de partículas se vieron favorecidos en los sitios de meseta (Me), en tanto que los procesos de acumulación de iones básicos, partículas finas y materia orgánica, fueron evidentes en los sitios de inundación (In). Los sitios de Pe pueden ser considerados como sitios de transición entre los de Me y de In. En los sitios Ri los valores en las propiedades edáficas encontradas, pueden ser atribuidos a procesos de lavado por efectos de desbordamientos temporales del Río Lerma. En el presente estudio el tipo de cultivo no influyó en la variabilidad edáfica excepto para el pH, el cual se atribuye al manejo del cultivo (Zarazúa *et al.*, 2007).

En general la región aún conserva características edáficas adecuadas para la producción agrícola, siendo necesaria la implementación de prácticas de manejo y conservación, para detener algunos efectos adversos como la pérdida de coloides en sitios de meseta que reducen su capacidad productiva.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo económico del Fideicomiso de Riesgo Compartido de la SAGARPA, así como la gestión del Dr. Javier

Cruz Mandujano de la Fundación Enseñanza y Divulgación de la Ciencia y la Tecnología e Investigación Científica del Estado de Michoacán (EDCyTICEM) para el desarrollo del presente proyecto.

Referencias

- Correa PG** (2003) *Atlas geográfico del estado de Michoacán*. Secretaría de Educación en el estado de Michoacán, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y Editora EDDISA. México. 308 pp.
- DOF** (2002) *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos*. Estudios, muestreo y análisis. 73 pp.
- Escalante ELE, Linzaga CE y Escalante YIE** (2007) Preparación del suelo para cultivo de plantas en campo. *Revista Alternativa* 4(12): 10-15.
- Etchevers JD, Espinoza WG y Riquelme E** (1971) *Manual de fertilidad y fertilizantes*. 2a ed. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. Chillan, Chile. 62 pp.
- Etchevers BJD, Hidalgo CM, Aguado GL, Galvis AS y Aguirre AG** (2002) Dinámica del Potasio en Suelos Agrícolas. *Agrociencia* 36(1): 11-21.
- García E** (1988) *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana*. 4ª. Ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 243 pp.
- Ibarra CD, Ruiz JAC, González DRE, Flores JGG y Díaz GP** (2009) Distribución espacial del pH en suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura Técnica en México* 35(3): 267-276.
- INEGI** (1973) *Carta Geológica F13D79*. La Piedad de Cabadas. Escala 1:50000
- INEGI** (1979) *Carta Edafológica F13D79*. La Piedad de Cabadas. Escala 1:50000
- INEGI** (2006) *Anuario Estadístico del Estado de Michoacán*. Aguascalientes, México, 434 pp.
- Navarro S y Navarro G** (2003) *Química Agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 487 pp.
- Pereyra FX, Baumann V, Altinier V, Ferrer J y Tchilinguirian P** (2004) *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 59(2): 229-242.
- Ruiz CJA, Flores LHE, Martínez PRA, González EDR y Nava VL** (1997) *Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el Distrito de Desarrollo Rural de Zapopan, Jalisco*. INIFAP-CIRPAC-C. E. Centro de Jalisco. Tlajomulco de Zúñiga., Jalisco, México. 60 pp.
- Rzedowski J** (2006) *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO. México. 504 pp.
- Sirombra MG y Mesa LM** (2010) Composición florística y distribución de los bosques ribereños subtropicales andinos del río Lules, Tucumán, Argentina. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* 58(1): 499-510.
- Zarazúa VP, González DRE, Nuño RR, Ruiz JAC y Torres JPM** (2007) Variabilidad espacial del pH del suelo en tres parcelas agrícolas. *Terra Latinoamericana*. 25(2): 203-210.