

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Análisis multivariado de las propiedades químicas de los suelos pardos erosionados

Multivariate analysis of the chemical properties of the eroded brown soils

Juan Alejandro Villazón Gómez¹, George Martín Gutiérrez² y Yakelín Cobo Vidal²

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Holguín (UHO), Ave. de Los Libertadores, km 3½, Holguín, Cuba, Tel: 2448 1221. CP 80100

² Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), Guaro S/N, Mayarí, Holguín, Cuba. CP 83000

E-mail: villazon@fac.uho.edu.cu

RESUMEN

El trabajo se realizó con los datos obtenidos de 30 perfiles de suelos Pardos clasificados según el efecto de la erosión con el objetivo de determinar, mediante un análisis multivariado, el efecto de la erosión sobre las propiedades químicas de los suelos Pardos. Se realizó un Análisis de Componentes Principales y un Análisis Discriminante, teniendo en cuenta las variables químicas pH en agua, pH en KCl, materia orgánica, calcio, magnesio, potasio, sodio y los valores S, T y V. El Análisis Multivariado permitió establecer que el magnesio es la única propiedad química que muestra contraposición con las demás variables, debido al efecto perjudicial que esta base ejerce sobre los agregados del suelo, lo cual puede acelerar o acentuar la acción de los procesos erosivos en los suelos Pardos. En el Análisis de Componentes Principales, los componentes representados por la influencia de la reacción del suelo, el complejo absorbente y el magnesio acumulan el 78,75 % de la varianza. El Análisis Discriminante explica el 97,06 % del total de la variación en los dos primeros ejes, con un 93,33 % de buena clasificación, con un caso clasificado incorrectamente y todos los grupos conformados por las categorías de erosión, bien diferenciados entre sí.

Palabras clave: análisis discriminante, componentes principales, erosión

ABSTRACT

The work was carried out with the data obtained of 30 profiles of Brown soils classified according to the effect of erosion. With the objective of determining, by means of a multivariate analysis, the effect of the erosion on the chemicals properties of the Brown soils was carried out a Discriminant and Principals Components Analysis. It was evaluated the chemicals variables pH in water, pH in KCl, organic matter, calcium, magnesium, potassium, sodium and S, T and V values. The Multivariate Analysis allowed establishing that magnesium is the only chemical property that evidence contraposition with the other variables, due to the harmful effect that

this base exerts on the soil aggregates, which can accelerate or stressing the action of the erosive processes in the Brown soils. In the Principals Components Analysis, then components represented by the influence of the soil reaction, the absorbing complex and magnesium accumulate 78.75 % of the variance. The Discriminant Analysis explains the 97.06 % of the total of the variation in the two first axes, with the 93.33 % of good classification, with all the groups conformed by the categories of erosion well told apart among themselves.

Keywords: discriminant analysis, principals components analysis, erosion

INTRODUCCIÓN

En las regiones tropicales la erosión hídrica constituye el proceso de degradación de suelos más importante (Moreira *et al.*, 2014). Su magnitud depende, en primer lugar, de la energía cinética de las precipitaciones y del agua de escorrentía. Igualmente, también incide el relieve, pues el grado y la longitud de la pendiente aceleran la velocidad del escurrimiento superficial. Sobre esta forma de erosión influye, además, la susceptibilidad del suelo al desprendimiento y arrastre de partículas y el uso y manejo del medio edáfico. Este último factor es de gran importancia pues está vinculado directamente con el hombre (Arnáez *et al.*, 2012; Cruz *et al.*, 2012; Amorim *et al.*, 2013; Castro, 2013; Veras *et al.*, 2014; Jafari *et al.*, 2015; Taboada *et al.*, 2015; Nájera *et al.*, 2016).

Los suelos Pardos que se caracterizan por presentar un perfil ABC con presencia de un horizonte principal de diagnóstico B síalico, se han formado por el proceso de sialitización. Tienen una textura que va desde franco a arcilloso. Presentan una Capacidad de Intercambio Catiónico mayor de 30 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$, y un contenido de hierro libre por debajo del 3 %. Dentro del tipo genético aparecen subtipos con presencia de horizontes secundarios mullidos, húmicos, (ambos superficiales) o de evolución agrogénica (también superficial) o erogénica (en la parte superior del perfil) y cálcicos (en el horizonte B por debajo de este). También aparecen subtipos con características de diagnóstico eslélicas, estágnicas, gléyicas (entre los 50-80 cm de profundidad) y vérticas (Hernández *et al.*, 2015).

Un adecuado manejo posibilita la preservación de las buenas condiciones físicas del suelo, lo cual incide en la eficacia de la reducción de la erosión y la escorrentía. Cuando se elimina la cobertura vegetal natural, si en la conducción del agroecosistema desarrollado no se tienen en

cuenta las características de los suelos, el tipo de relieve y las condiciones climáticas de una región determinada, entonces se manifiestan en menor o mayor grado los procesos erosivos. En los Pardos síalíticos de Cuba, con un relieve ondulado-alomado, la erosión hídrica es de tipo laminar que provoca, debido a las importantes pérdidas de suelo (Freitas *et al.*, 2013; Mariotiet *et al.*, 2013), un fuerte impacto ambiental (Hu y Flanagan, 2013).

Por las razones expuestas, el objetivo de este trabajo fue determinar, mediante un análisis multivariado, el efecto de la erosión sobre las propiedades químicas de los suelos Pardos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló a partir de la información obtenida de los perfiles pertenecientes a la Red Geográfica Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). En el estudio se tuvieron en cuenta 30 perfiles clasificados dentro del tipo Pardo, según Hernández *et al.* (2015). La categorización según el grado de erosión fue realizada según la metodología propuesta por Hernández *et al.* (1980) para los Pardos con carbonatos.

Se determinó el porcentaje de materia orgánica (según el método propuesto por Walkey and Black, Ácido sulfúrico, dicromato de potasio 1N). Al horizonte superficial también se le determinó el pH en agua y en KCl (mediante el método potenciométrico con una relación suelo-solución 1:2,5), el contenido de Ca, Mg, Na y K (según el método de extracción con NH_4Ac 1N, pH=7), la Capacidad de Intercambio Catiónico o valor T (utilizando el método de Schahtschabel NH_4Ac 1N). Se calcularon la Capacidad de Cambio de Bases (valor S) y la saturación por bases (valor V). Además, fue empleado el Análisis de Componentes Principales para identificar las variables que expliquen la mayor variabilidad de los datos, al tener en cuenta el grado de erosión.

Posteriormente con el Análisis Discriminante se comprobó la clasificación correcta de los grupos determinados mediante la metodología utilizada. En el análisis estadístico se utilizaron los softwares Statistica 7 y Statgraphics plus 5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Análisis de Componentes Principales (Tabla 1) muestra que la mayor variación (1^{ra} componente) está representada por el pH en agua, el pH en KCl, la saturación por bases y la materia orgánica. En este componente no existe contraposición entre las variables. Esto implica que mientras mayores sean los valores de uno, mayores serán los valores de otros, y viceversa. Mientras mayor es la saturación por bases del suelo, menor es la participación del H⁺ y el Al₃⁺ en el complejo de cambio y, por ende, menor será el grado de lavado del suelo. De esta forma, no ocurrirá la acidificación del suelo debido a la pérdida de sus cationes cambiabiles. Así, un pH entre la neutralidad y ligeramente alcalino favorece la descomposición de la materia orgánica. De esto se deduce que la reacción del suelo y el contenido de bases favorecen el contenido de materia orgánica del suelo. Este componente representa la reacción del suelo.

Cairo *et al.* (2008) encontraron, en suelos Pardos sialíticos pobremente estructurados de la región central de Cuba, bajos contenidos de materia orgánica, lo que demuestra las pérdidas

de componentes orgánicos debido a los procesos erosivos.

Bugarín *et al.* (2010) en un Cambisol háplico con diferentes sistemas silvopastoriles y ubicado en la llanura norte de Nayarit (México), encontraron que los mayores porcentajes de materia orgánica coincidían con los sitios donde aumentaba también el pH del suelo. En estos sitios se mantenía la condición física del suelo, a pesar del incremento visible de la carga animal.

Prieto *et al.* (2013), al estudiar los suelos de un grupo de parcelas distribuidas por los municipios de Apan, Almoloya y Emiliano Zapata, del estado de Hidalgo, México, encontraron que la disminución de carbono orgánico del suelo era la principal causa de la disminución de la estabilidad de los agregados del suelo y de la infiltración del agua y que estos cambios en la condición física del suelo incrementaba las pérdidas del horizonte superficial del suelo por los efectos de la erosión

La segunda componente está representada por los valores T y S, además del calcio, por lo que se encuentra también el complejo absorbente del suelo. López *et al.* (2016), al evaluar dos suelos Pardos de la región central de Cuba, hallaron que el mayor contenido de calcio coincidía con el suelo que presentaba un valor T más significativo.

Al aplicar mejoradores alternativos ricos en calcio, con la finalidad de aumentar los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica, en suelos Pardos sialíticos plantados

Tabla 1. Vectores propios del Análisis de Componentes Principales (ACP)

	1 ^{ra} Comp.*	2 ^{da} Comp.*	3 ^{ra} Comp.*
pH en H ₂ O	0,931217	0,143725	0,154024
pH en KCl	0,875377	0,232694	0,267787
Materia orgánica	0,714850	0,140130	-0,244433
Calcio	0,403428	0,801116	0,219044
Magnesio	-0,249212	0,277368	-0,793239
Sodio	0,134950	0,558047	0,389779
Potasio	0,189047	0,047866	0,739329
Valor S	0,279411	0,945687	-0,100471
Valor T	0,051659	0,973245	-0,170825
Valor V	0,846216	0,286654	0,184604
Valor del eje	4,602840	2,161366	1,110733
Porcentaje total de la varianza (%)	46,03	21,61	11,11
Valor del eje acumulativo	4,602840	6,764206	7,874939
Porcentaje acumulativo de la varianza (%)	46,03	67,64	78,75

*Comp.-Componente

con caña de azúcar de la provincia de Sancti Espíritus, el pH en KCl se incrementa en la medida en que aumenta el porcentaje de materia orgánica. Según Prieto *et al.* (2013) los suelos ricos en calcio presentan una saturación por bases, propiedad química constituye un buen indicador de la calidad, pues refleja en gran medida el estado del suelo.

La tercera componente representa el magnesio y al potasio. En esta componente se aprecia una relación negativa con el magnesio, lo que indica que mientras mayores sean los contenidos de esta base alcalinotérrica menor será la reacción del suelo, el valor V y la materia orgánica. De la misma forma, se aprecia la relación positiva entre el calcio, la Capacidad de Cambio de Bases y la Capacidad de Intercambio Catiónico. El comportamiento negativo del magnesio puede estar influenciado por la dispersión y el estallido de los agregados, factores con los que lo relacionan Cairo y Fundora (2007). Estos autores señalan que, contrariamente a lo pensado con anterioridad, esta base desempeña un papel perjudicial con respecto a la estructura del suelo. El magnesio provoca la disminución del porcentaje de agregados estables y de la cantidad de arcilla que actúa como elemento cementante. Incide negativamente, además, en la porosidad de los agregados.

Además, el ACP considera que los tres primeros componentes explican el 46,03, el 21,61 y el 11,11 % de la varianza, respectivamente. Para un porcentaje acumulativo del 78,75 % de la varianza, como resultado de la combinación lineal de las 10 variables.

Los resultados del Análisis discriminante (Tabla 2) muestran la explicación del 97,06 % del total de la variación en los dos primeros ejes y las diferencias altamente significativas que

existen entre los grupos de la primera función. Por lo cual, la diferencia está determinada por las variables que mayor contribución tienen en dicha función. La λ de Wilk se encuentra en la primera función, cercana a cero, lo que representa una discriminación casi perfecta. También, existe una alta correlación de los grupos manifestada en la primera función.

Igualmente, el Análisis Discriminante muestra una clara distinción entre los grupos (Figura), por lo que los datos derivados de los grupos pueden ser utilizados en evaluaciones del comportamiento de las propiedades químicas ante las diferentes categorías de erosión. Conjuntamente, los grupos 5 y 4 forman conjuntos inferiores (sin incremento). Los grupos 3 y 2 se encuentran bien establecidos. Mientras el grupo 1 forma un conjunto superior.

El modelo de respuesta (Tabla 3) explica el 93,33 % del incremento o porcentaje de buena clasificación (PBC). Solamente en el grupo 3 que corresponde a los Pardos medianamente erosionados y dentro del cual se clasificaron 3 perfiles, se encontró un caso no válido que clasificaba en el grupo 2 (Pardo suavemente erosionados). En el resto de los grupos, el porcentaje de buena clasificación fue del 100 %.

Ramírez *et al.*, (2008), al realizar una caracterización física de tres órdenes de suelos (entre ellos los inceptisoles) en la cuenca media del río Reventado, en Cartago, Costa Rica, refieren que el 60 % del área tiene capacidad de uso agrícola y que los factores limitantes más importantes son la erosión, la pendiente y, en menor medida, la profundidad efectiva y fertilidad. Los factores que propiciaron el desarrollo de estos procesos degradativos fueron los desequilibrios hídricos, la pendiente y el uso inadecuado de la tierra. Estos autores observaron

Tabla 2. Resultados del Análisis Discriminante

	1 ^{ra} función	2 ^{da} función
	Funciones discriminantes	
Valor del eje	22,317	0,776191
Porcentaje relativo (%)	93,80	3,26
Correlación canónica	0,97832	0,66106
	Funciones derivadas	
λ de Wilk	0,013268	0,309371
Chi cuadrado	97,2540	26,3973
Grados de libertad	32	21
Significancia	0,0000	0,1917

que el 56 % de las parcelas presentaban pendientes menores al 15 % y los niveles de erosión eran de leves a moderados; el 29 % de las parcelas con pendientes entre un 16-30 % tenían niveles de erosión de leve a moderada excepto una pequeña porción que mostraba signos de erosión severa; el 12 % de las parcelas se encontraba en pendientes entre 31-60 % y presentaban niveles de erosión de moderada a severa y el 3 % de las parcelas tenía pendientes entre 61-75 % con niveles de erosión severa.

CONCLUSIONES

1. La aplicación del Análisis Multivariado permitió establecer que no existe contraposición entre las propiedades químicas evaluadas, a no ser en el caso del magnesio, por el efecto perjudicial que esta base ejerce sobre los agregados del suelo, lo cual puede acelerar o acentuar la acción de los procesos erosivos en los suelos Pardos.

2. En el Análisis de Componentes Principales, las tres primeras componentes, representadas por la influencia de la reacción del suelo, el complejo absorbente y el magnesio junto con el potasio, realizan la mayor contribución a la varianza, con un 78,75 % de la varianza total.

3. El Análisis Discriminante explica el 97,06

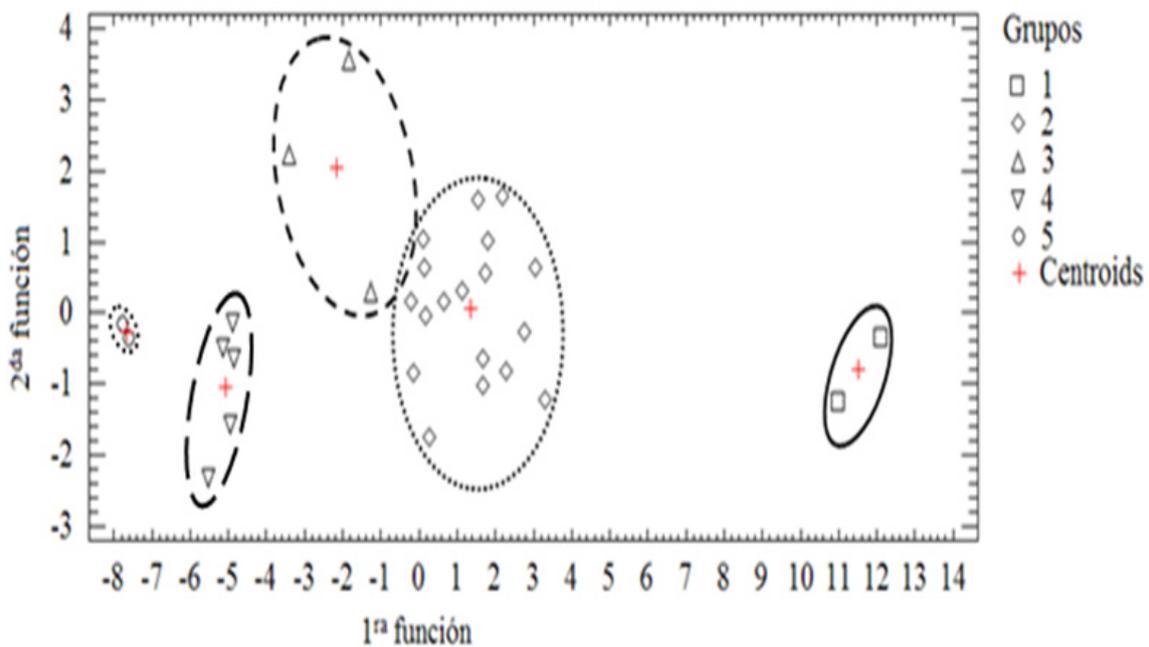


Figura. Distribución de los grupos en el Análisis Discriminante

Tabla 3. Matriz de clasificación para los suelos Pardos con diferentes grados de erosión

Grupos observados	PBC	Grupos estimados				
		1	2	3	4	5
1	100,00	2				
2	100,00		18			
3	66,66		1	2		
4	100,00				5	
5	100,00					2
Total	93,33	2	19	2	5	2
Casos válidos		29	Casos no válidos		1	

% del total de la variación en los dos primeros ejes, con 29 casos válidos y 1 no válido, para un 93,33 % de buena clasificación, con todos los grupos conformados por las categorías de erosión, bien diferenciados entre sí.

BIBLIOGRAFÍA

- ARNÁEZ, J., P. RUÍZ-FLAÑO, T. LASANTA, L. ORTIGOSA, J.A. LLORENTE, N. PASCUAL [et al.]. Efecto de las rodadas de tractores en la escorrentía y erosión de suelos en laderas cultivadas con viñedos. *CIG.*, 38 (1): 115-130, 2012.
- AMORIM-DE, O.I., M.C. COSTA-CAMPOS, M.D. RODRIGUES-SOARES, R.E. AQUINO, J. MARQUES, E. PEREIRA. "Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:1103-1112, 2013.
- BUGARÍN, J., J.I. BOJÓRQUEZ, C. LEMUS, R.M. MURRAY, A. HERNÁNDEZ, H. ONTIVEROS, J. AGUIRRE. Comportamiento de algunas propiedades físico-químicas del suelo con diferente sistema silvopastoril en la llanura norte de Nayarit. *Cultivos Tropicales*, 31(2): 48-55, 2010.
- CAIRO-CAIRO, P. y O. FUNDORA-HERRERA. *Edafología*. 4ta edición, Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba. 2007, 477 p. ISBN 978-959-07-0597-7.
- CAIRO-CAIRO, P., J. MACHADO-DE ARMAS, B. DÍAZ-MARTÍN, A. COLÁS-SÁNCHEZ, A. REYES-HERNÁNDEZ, P. TORRES-ARTILES [et al.]. Evaluación de la degradación de los suelos de la región central de Cuba. *Centro Agrícola*, 35(1): 17-21, 2008.
- CASTRO-MENDOZA, I. Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34 (2): 3-16, 2013.
- CRUZ-RUIZ, E., A. CRUZ-RUIZ, L.I. AGUILERA-GÓMEZ, H.T. NORMAN-MONDRAGÓN, R.A. VELÁZQUEZ, G. NAVA-BERNAL [et al.]. Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *Terra Latinoamericana*, 30 (2): 189-196, 2012.
- FREITAS-AQUINO, R., M.L. NAVES-SILVA, D.A. FRANÇA-DE FREITAS, N. CURI, J.C. AVANZI. Soil losses from Typic Cambisols and Red Latosols as related to three erosive rainfall patterns. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37: 213-220, 2013.
- JAFARI, Z., H. NIKNAHAD-GHARMAKHER, M. GHASEMI, E. JAFARI. Study aggregates stability and some physical and chemical properties of soil in Avard Watershed. *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, 5 (3): 71-75, 2015.
- HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A., L.M. HERRERA, E. IZNAGA, G.S. TATEVOSIAN. La erosión en los suelos Pardos con carbonatos (Pardos Sialíticos) de Cuba. *Ciencias de la Agricultura*, 5: 39-50, 1980.
- HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A., J.M. PÉREZ-JIMÉNEZ, D. BOSCH-INFANTE, N. CASTRO-SPECK. *Clasificación de los suelos de Cuba*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba. 2015, 91 p. ISBN 978-959-7023-77-7.
- HU, L. y D.C. FLANAGAN. Towards new-generation soil erosion modeling: Building a unified omnivorous model. *Journal of Soil Water Conservation*, 68: 100-103, 2013.
- LOPES, E., P. CAIRO-CAIRO, A. COLÁS-SÁNCHEZ, A. RODRÍGUEZ-URRUTIA. Relaciones entre las propiedades indicadoras de calidad, en dos subtipos de suelo pardos, en la provincia de Villa Clara. *Centro Agrícola*, 43 (1): 21-28, 2016.
- MARIOTI, J., I. BERTOL, J.C. RAMOS, R. DE SOUZA-WERNER, J. PADILHA, D.H. BANDEIRA. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno a declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37: 1361-1371, 2013.
- MOREIRA-CÂNDIDO, B., M.L. NAVES-SILVA, N. CURI, P.V. GOMES-BATISTA. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*,

38: 1565-1575, 2014.

NÁJERA-GONZÁLEZ, O., J.I. BOJÓRQUEZ-SERRANO, F. FLORES-VILCHEZ, R.M. MURRAY-NÚÑEZ, A. GONZÁLEZ-GARCÍA. Riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos en México. *Cultivos Tropicales*, 37 (2): 45-55, 2016.

PRIETO-MÉNDEZ, J., F. PRIETO-GARCÍA, O.A. ACEVEDO-SANDOVAL, M.A. MÉNDEZ-MARZO. Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana*, 24 (1): 83-91, 2013.

RAMÍREZ, L., A. ALVARADO, R. PUJOL, L.G. BRENES. Caracterización física de la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 32 (2): 73-92, 2008.

TABOADA-CASTRO, M.M., M.L. RODRÍGUEZ-BLANCO, L. PALLEIRO, M.T. TABOADA-CASTRO. Soilcrusting and surfacer un off in agriculturall and in Galicia (NW Spain). *Spanish Journal of SoilScience*, 5 (1): 72-81, 2015.

VERAS-DE LIMA, H., S.A. PIRES-DA SILVA, N.F. BALAREZZO-GIAROLA, S. IMHOFF. Index of soil physical quality of hardsetting soils on the brazilian coast. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38: 1722-1730, 2014.

Recibido el 15 de febrero de 2016 y aceptado el 15 de diciembre de 2016