

**CORRELACIÓN DE POTENCIAL ZETA Y PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS EN EXTRACTOS DE SATURACIÓN DE SUELOS DEL
DISTRITO DE RIEGO-03, VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO, MÉXICO**

**[CORRELATION OF POTENTIAL Z AND PHYSICO-CHEMICAL
PARAMETERS IN EXTRACTS OF GROUND SATURATION OF THE DR03,
VALLEY OF THE MEZQUITAL, HIDALGO, MEXICO]**

**F. Prieto García^{1*}, J. Prieto Méndez^{1*}, S. de Ita Gutiérrez¹,
M. A. Méndez Marzo², and A. D. Román Gutiérrez¹**

¹*Centro de Investigaciones Químicas,*

²*Centro de Investigaciones de Ciencias de la Tierra y Materiales.*

*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo km. 4.5, C.
P. 42076, Pachuca, Hidalgo, México. Email: prietog@uaeh.edu.mx, jud_292003@yahoo.com.mx*

**Corresponding author*

RESUMEN

En este trabajo se realiza el estudio de caracterización fisicoquímica de los suelos de cultivos de la zona Actopan-Ixmiquilpan (8912 ha), los cuales son irrigados con aguas negras. La caracterización fisicoquímica se realizó mediante determinaciones establecidas en la NOM-021- RECNAT-2000 a partir de los extractos de saturación. Se midió en dichos extractos el potencial zeta, valores que fueron correlacionados con los restantes parámetros fisicoquímicos. De las correlaciones obtenidas se determinó que existe una correlación entre el pH y el potencial Zeta (pZ) de los suelos. Así mismo se establecieron correspondencias entre los valores de pZ con los años de aplicaciones del riego con aguas negras en estos suelos. Estos estudios sientan las bases para posteriores evaluaciones de probables afectaciones a la calidad de los suelos por el uso extensivo de riego con aguas negras.

Palabras clave: Potenciales, coloides, extractos de saturación, correlaciones, potencial Z.

INTRODUCCIÓN

Para la caracterización de los suelos desde el punto de vista químico, la determinación del pH es muy importante porque de él se puede inferir la sorción de metales pesados, ya sean libres o asociados a formas orgánicas o inorgánicas (Cantú *et al.*, 2007). Por otro lado, el potencial de óxido-reducción (Eh) se define como la diferencia de potencial entre un electrodo de trabajo y un electrodo de referencia. La movilidad de los metales pesados varía con el estado de oxidación, el cual está determinado por el Eh (Kabata-Pendias, 2000).

SUMMARY

The study of physico-chemical characterization of soils sustaining crops (8912 ha) of the Actopan-Ixmiquilpan zone is realised, which are irrigated with black waters. The physico-chemical characterization was realised by means of established determinations in NOM-021- RECNAT-2000 from the saturation extracts. The potential Z was moderate in these extracts and were correlated with physico-chemical parameters. From the calculated correlations it was possible to be determined that a correlation between physico-chemical properties of grounds like the pH and the potential Z exists (pZ). Also other correspondences between the values of pZ settle down, with the years of applications of the irrigation with black waters in these grounds. These studies provide the bases for later evaluations of probable affectations to the quality of grounds by the extensive use of irrigation with black waters.

Keyword: Potentials, colloids, extracts of saturation, correlations, potential Z.

La alteración de las condiciones del suelo por el manejo puede afectar la producción de los cultivos debido a que influye en la distribución de la materia orgánica y dinámica de nutrientes; como así también sobre la agregación y porosidad del suelo (Ferrerías *et al.*, 2007). Entre otras características relevantes de los suelos, la presencia de poros y macro poros, que se presentan como caminos o rutas preferenciales para las aguas y los productos químicos. Esto hace que los productos químicos y los contaminantes puedan ser adsorbidos fácilmente. La adsorción se define como la tendencia del producto a unirse al suelo. El coeficiente de adsorción "K" expresa la relación entre la

concentración de un producto en el suelo con relación a la concentración de este mismo producto en la solución; entonces a mayor adsorción mayores valores de K y vice versa. Los suelos varían por su magnetismo, verificándose que cuanto mayor es el contenido de materia orgánica del suelo, mayor va a ser su capacidad para adsorber productos, es decir, mayor magnetismo (Perdomo, 2005). Debido a la relación entre el %MO (porcentaje de materia orgánica) del suelo y K, muchas veces se puede expresar la tendencia de un producto a ser adsorbido de manera independiente, expresándose por el K_{α} que permite corregir el valor de K en función del carbono orgánico. La real adsorción de un producto o elemento particular en un suelo específico se estima a partir de la siguiente fórmula:

$$K = [K_{\alpha} (\%MO/1.7)]/100$$

Los valores de K son útiles para predecir los caminos de salida o vías de contaminación del producto. Sustancias con valores de K superiores a 100 se pierden generalmente asociados a pérdidas de sedimentos. Sustancias con valores de K entre 1 -100, se pierden con el agua de escurrimiento superficial y las sustancias con valores de K entre 0 – 1 suelen perderse con los lavados (Perdomo, 2005).

Un punto de particular interés es el potencial donde se unen la capa difusa y la capa de Stern de un sistema coloidal. Este potencial es conocido como el potencial zeta (pZ), el cual es importante porque puede ser medido de una manera muy simple, mientras que la carga de la superficie y su potencial no pueden medirse. El potencial zeta puede ser un indicador para evaluar el comportamiento del coloide puesto que indica cambios en el potencial de la superficie y en las fuerzas de repulsión entre los coloides. Esto es aplicable a los extractos de saturación de suelos, de esta manera es factible estimar cuan estable es este extracto conteniendo las fracciones solubles de las sales del suelo (Malvern, 2004). Varios métodos pueden ser usados para este propósito, tales como cambios en la atmósfera iónica, el pH o agregando compuestos activos para afectar directamente la carga del coloide. En cada caso la medida del potencial zeta (pZ) indicará el efecto de la alteración, principalmente en su estabilidad. El objetivo central de este trabajo fue determinar la posible correlación entre las características fisicoquímicas en los extractos de saturación de diferentes suelos del distrito de riego 03 (DR03) del Valle del Mezquital, Hidalgo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio comprende los territorios del DR03 (figura 1) en la zona de Actopan e Ixmiquilpan (aproximadamente 8900 ha).

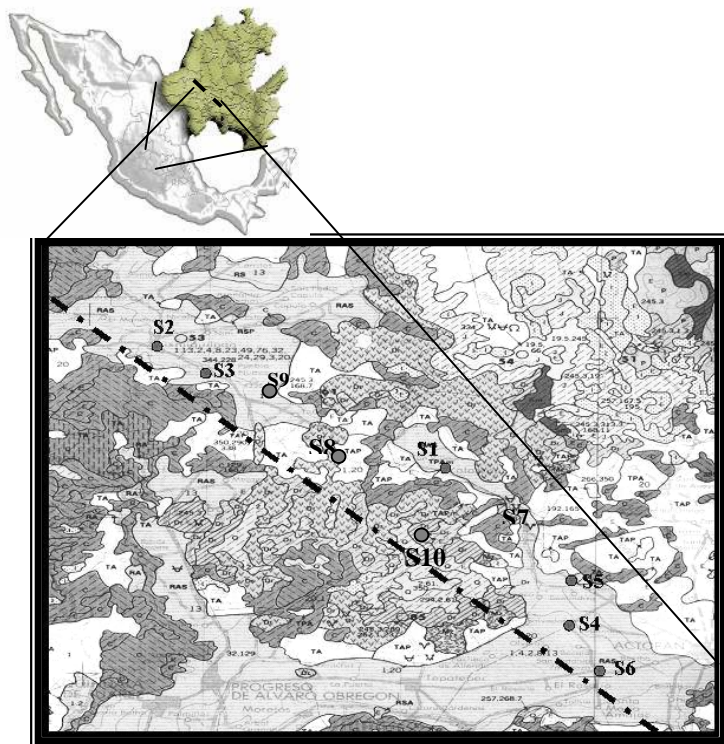


Figura 1. Sitios de muestreos de los suelos que se evaluaron en la región Actopan Ixmiquilpan, del Distrito de riego 03 del Valle del Mezquital.

Se realizó un muestreo de tipo estratificado en el cual la población en estudio se dividió en estratos por tipo de series (Hernández *et al.*, 1994; Flores *et al.*, 1997; Lucho *et al.*, 2005) y por zonas, con el fin de facilitar el estudio y la representatividad del mismo, los datos se muestran en la tabla 1. Los cálculos para definir los tamaños de las muestras se realizaron según los términos y ecuaciones propuestas por Münch, 1998 y Tamayo, 1998:

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q \times N}{N \times e^2 + Z^2 \times p \times q}$$

Donde: n es el tamaño de la muestra a tomar; p la probabilidad a favor; q la probabilidad en contra; Z el nivel de confianza; N como universo o población total y e nivel de error de estimación.

Los suelos fueron inicialmente secados en bandejas metálicas cubiertas con bolsas de plásticos y colocándolas al ambiente. Posteriormente se les limpió manualmente de todo objeto extraño como hojarasca, piedras o insectos. Una vez secos y limpios, se reservaron para análisis de caracterización. A los suelos de este estudio se les realizó los análisis, (según NOM 021 RECNAT 2000), partiendo del extracto de saturación (AS-16) de las muestras: pH, conductividad eléctrica (CE), potencial redox (Eh), potencial zeta (pZ), concentración de protones hidronio (H⁺) y difusión iónica (Dif). Se utilizó un potenciómetro pH-metro Corning Conductivitymeter 441, con un electrodo de vidrio Ag/ AgCl para las

determinaciones del pH, Eh y CE. Para medir pZ y difusión iónica, se utilizó el equipo Zetasizer Modelo 3000 HSA de la firma Malvern Instruments, utilizando el software interpretativo de datos Zeta Mode v1.52.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la caracterización fisicoquímica de los suelos a partir de los extractos de saturación se muestran en la tabla 2. De acuerdo a los valores de pH se trata en todos los casos de suelos moderadamente alcalinos según clasificación de Boulding (1995). En este mismo sentido y de acuerdo a este mismo autor, por los valores de Eh, son suelos poco reductores, de salinidad media (CE) y suelos de baja difusión iónica (pobre movilidad). Con excepción del suelo S4, de serie tipo Lagunilla, de la comunidad de Dios Padre, que presentó una elevada conductividad eléctrica, asociada a una alta salinización de estos suelos. En estos últimos suelos (S4) se ha asociado la alta salinización a las probables aplicaciones excesivas de fertilizantes nitrogenados (información de los agricultores), lo cual ha podido propiciar como consecuencia una tendencia relativamente rápida a disminuir el pH. Según algunos autores, a largo plazo (años), el aumento de pH podría explicarse por la liberación producto de la mineralización de las bases de cambio contenidas en los compuestos orgánicos (Martínez *et al.*, 2008; Pocknee y Sumner, 1997).

Tabla 1. Puntos de muestreos identificados por nombre (lugar de la toma), clasificados por tipos de series (Hernández *et al.*, 1994; Flores *et al.*, 1997; Lucho *et al.*, 2005), años de irrigación con aguas negras y valores del tamaño de muestra calculado (n) en kg.

| Muestra | Serie Tipo | Lugar | Años Irrigación | Tamaños de muestras de suelos en kg |
|---------|------------|------------------|-----------------|-------------------------------------|
| S1 | Progreso | Julián Villagrán | 7 | 2.4 |
| S2 | Lagunilla | Yolotepec | 8 | 2.6 |
| S3 | Actopan | Ixmiquilpan | 9 | 2.3 |
| S4 | Lagunilla | Dios Padre | 12 | 2.8 |
| S5 | Tepatepec | El Arenal | 14 | 2.7 |
| S6 | Actopan | El Rincón | 40 | 3.0 |
| S7 | Lagunilla | La Estancia | 42 | 3.2 |
| S8 | Actopan | Dexthó | 25 | 3.0 |
| S9 | Lagunilla | Lagunilla | 32 | 2.8 |
| S10 | Tepatepec | Guerrero | 20 | 2.7 |

En cuanto a los valores del potencial Zeta (pZ), se conoce que valores > 30 mV indican micelas coloidales positivas muy estables y que valores < -30 mV corresponden a micelas negativas estables (Malvern Instrument, 2004). Se puede inferir de los resultados que en todos los extractos de saturación prevalecen miscela coloidales negativas, asociadas a ácidos húmicos y fúlvicos de los suelos. De acuerdo con estos valores se puede indicar que los suelos más estables y que mejores condiciones presentan para el desarrollo de cultivos de una manera eficiente serían los suelos S1, S2, S3 y S5 (pertenecientes a Julián Villagrán, Yolotepec, Ixmiquilpan y El Arenal, respectivamente). En todos ellos los valores de pZ oscilan entre -20,00 mV y -25,00 mV; correspondiendo además a suelos con menos de 15 años de aplicaciones de riego con aguas negras. La diferencia la marca el suelo S4, que en apariencia, debido a los excesos de aplicaciones de fertilizantes han afectado el grado de salinización y con ello la productividad de los suelos.

Al establecer criterios de correlaciones entre algunas propiedades fisicoquímicas de los suelos, se detecta una estrecha relación entre los valores de pZ y la movilidad de las especies iónicas en los extractos de saturación. En la figura 2 se observa esta correlación. Destaca nuevamente el suelo S4 que se separa de todos los restantes. En general se considera que la movilidad de las especies iónicas es baja en los primeros centímetros de los suelos ya que lixivian a los niveles más profundos siendo un indicador de algún tipo de contaminación antrópica (Sánchez, 2003; Abollino et

al., 2002). Por otra parte la movilidad de los metales pesados disminuye con el incremento del pH debido a la precipitación de éstos en forma de hidróxidos, carbonatos o en la formación de complejos orgánicos inbio-disponibles (Juárez, 2006).

De manera similar ocurre con la estrecha relación que se aprecia entre los valores de pZ y el carácter óxido-reductor (Eh) de los suelos. En la figura 3 se muestra este criterio. Se destaca que a mayor carácter reductor de los suelos los valores de pZ son más negativos, indicando que los extractos de saturación muestran estabilidad de suspensiones coloidales con cargas orgánicas disponible para los cultivos en dichos suelos.

Lucho y colaboradores (Lucho *et al.*, 2005) encontraron una tendencia similar en algunos suelos de esta región para valores de pH y Eh. Por otra parte Isla (2004) también observó en cultivos de cereales, que son más resistentes a suelos salinizados, esto se ha observado por el uso excesivo de fertilizantes y con estos efectos, tendencias a suelos menos alcalinos y menos reductores.

Es importante hacer notar que hasta la fecha no se han reportado correlaciones entre las propiedades fisicoquímicas de los suelos de esta región y los valores de los potenciales zeta (pZ), medidos en los extractos de saturación. En la figura 4 se observa una correlación de los valores de pZ frente a los años de aplicaciones del riego con aguas negras en estos suelos.

Tabla 2. Resultados de los análisis de caracterización de los suelos en estudio a partir de los extractos de saturación. Entre paréntesis se muestran los valores del porcentaje de desviación estándar relativa (%DER).

| Muestra | Años Irrig. | pH | Eh (mV) | CE (mS/cm) | Difus. (μ^2/s) | pZ (mV) | $[H^+]*10^{-3}$ ($\mu g/L$) |
|---------|-------------|-------------|---------------|---------------|-----------------------------------|---------------|-------------------------------|
| S1 | 7 | 8,24 (1,70) | -62,78 (2,94) | 570 (8,32) | $1,99*10^{-3}$ ($2,7*10^{-7}$) | -19,98 (5,82) | 5,79 (2,70) |
| S2 | 8 | 8,41 (0,80) | -71,58 (2,11) | 781,4 (4,36) | $3,77*10^{-3}$ ($6,7*10^{-7}$) | -21,36 (5,82) | 5,91 (1,55) |
| S3 | 9 | 8,34 (2,18) | -68,80 (1,98) | 1234,8 (6,87) | $1,76*10^{-4}$ ($1,9*10^{-8}$) | -20,00 (2,56) | 4,57 (3,22) |
| S4 | 12 | 7,90 (2,90) | -47,68 (2,00) | 12106 (31,21) | $1,37*10^0$ ($4,4*10^{-5}$) | -8,08 (1,19) | 12,5 (1,96) |
| S5 | 34 | 8,42 (0,81) | -71,86(1,98) | 1288,2 (5,32) | $4,98*10^{-4}$ ($9,8*10^{-8}$) | -24,76 (1,59) | 3,80 (2,44) |
| S6 | 40 | 8,32 (1,66) | -66,54 (2,27) | 955,8 (3,86) | $2,29*10^{-3}$ ($2,6*10^{-7}$) | -17,98 (2,15) | 4,79 (1,77) |
| S7 | 42 | 8,23 (1,47) | -62,50 (2,34) | 609,8 (2,78) | $2,51*10^{-2}$ ($4,0*10^{-8}$) | -17,26 (1,67) | 5,89 (1,70) |
| S8 | 25 | 8,18 (1,81) | -69,72 (0,77) | 676,8 (1,29) | $3,09*10^{-4}$ ($4,7*10^{-6}$) | -19,53 (1,81) | 6,61 (6,93) |
| S9 | 32 | 8,41 (0,65) | -80,54 (0,59) | 461,0 (3,43) | $5,61*10^{-3}$ ($1,2*10^{-8}$) | -12,87 (3,12) | 5,89 (1,86) |
| S10 | 20 | 8,08 (1,84) | -65,90 (0,71) | 612,6 (7,53) | $3,40*10^{-1}$ ($1,14*10^{-8}$) | -8,62 (1,13) | 8,31 (2,33) |
| Media | 23 | 8,25 (1,58) | -66,79 (1,77) | 1926,2 (6,51) | $1,41*10^{-1}$ ($1,0*10^{-7}$) | -16,95 (2,29) | 5,62 (3,04) |

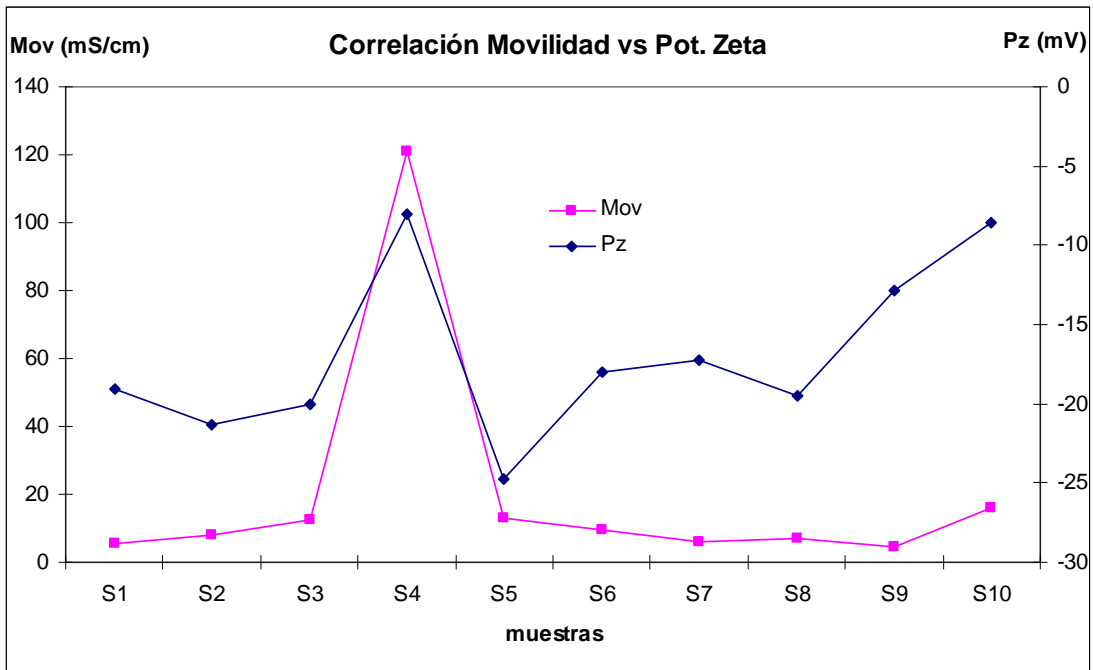


Figura 2. Correlación entre el pZ y la movilidad de las especies iónicas presentes en el extracto de saturación de los suelos en estudio.

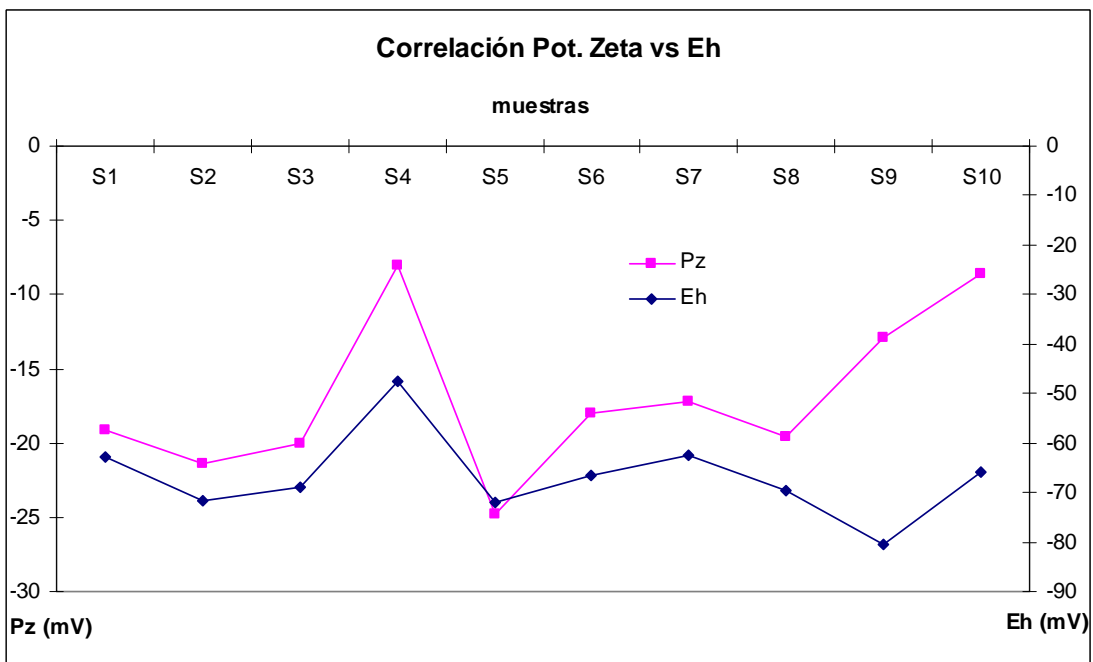


Figura 3. Correlación entre el pZ y el carácter óxido-reductor (Eh) en el extracto de saturación de los suelos en estudio.

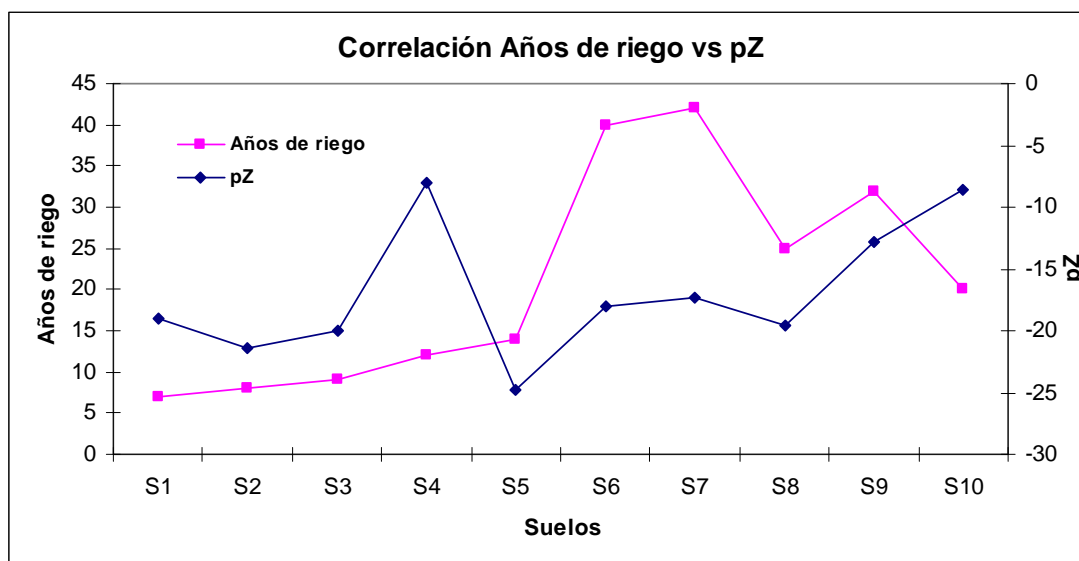


Figura 4. Correlación entre el pZ y el tiempo (años de uso y aplicación del riego con aguas negras) para los suelos en estudio.

Se observa nuevamente que el suelo S4 presenta diferencias del resto de los suelos evaluados, aunque no existe una estrecha relación entre los valores de pZ y los años de aplicaciones de riego; sin embargo puede apreciarse que existe una tendencia hacia valores mayores de -20mV de pZ, a medida que se incrementan los años de riego. No obstante, aunque se asocia a la elevada carga orgánica la estabilidad de los coloides en los extractos de saturación de los suelos (Lucho *et al.*, 2005), no es indicativo que las técnicas de aplicaciones de los riegos sean las más correctas. Puede estar asociado igualmente, a un probable efecto de lavado de arcillas de estos suelos al utilizar técnicas de riego por inundación del terreno.

CONCLUSIONES

Se determinó que existe una correlación entre algunas características fisicoquímicas de los suelos (a partir de los extractos de saturación de los mismos) como variaciones del pH, potencial redox (Eh) y del potencial Zeta (pZ). Así mismo se establecen otras correspondencias entre variaciones de los valores de pZ, con los años de aplicaciones del riego con aguas negras en estos suelos. Con estos criterios de evaluación de suelos se puede inferir que con un mínimo de determinaciones se valora la calidad de los mismos. Estos estudios pueden servir como base para posteriores evaluaciones de probables afectaciones a la calidad de los suelos por el uso extensivo del riego con aguas negras. Es importante señalar que estos indicadores del recurso suelo no son universales sino que deben ser elegidos en función del tipo de ambiente y suelo de en estudio. Estos resultados representan una instantánea para la situación de los suelos de la zona

estudiada. Para poder darle un sentido de generalización será necesario realizar mediciones secuenciales en lapsos de tiempo tales que permitan registrar cambios en los atributos utilizados vinculados a las condiciones de uso y manejo de los suelos.

REFERENCIAS

- Abollino, O.; Aceto, M.; Malandrino, M.; Mentasti, E.; Sarzanini, C.; Barberis, R. 2002. Distribution and mobility of metals in contaminated sites. Chemometric investigation of pollutant profiles. *Environmental pollution*, 119: 177-193.
- Boulding, Russell J. 1995. *Description and Sampling of Contaminated Soils*. Second Edition. Lewis Publisher. USA..
- Cantú, M. P., Becker, A.; Bedano, J. C.; Schiavo, H. F. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Rev. Ciencias del Suelo*. Argentina, 25:173-178.
- Ferreras, L.; Magra, G.; Besson, P.; Kovalevski, E.; García, F. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. *Revista Ciencias del Suelo*. Argentina. 25: 159-172.
- Flores, L., Blas, G., Hernandez, G., Alcalá, R. 1997. Distribution and sequential extraction of some heavy metals from soils irrigated with

- wastewater from Mexico City. *Water Air Soil Pollution*, 98: 105–117.
- Hernández Silva, G., Flores Delgadillo, L., Maples Vermeersch, M., Solorio, M.J.G., Alcalá Martínez, J.R. 1994. Riesgo de acumulación de Cd, Pb, Cr y Co en tres series de suelos del DR03, Estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana Ciencias Geológicas*, 11: 53–61.
- Isla, R. 2004. Efectos de la salinidad de los suelos sobre los cultivos de cebada (*Hordeum vulgare* L.). Análisis de caracteres morfo-fisiológicos y su relación con la tolerancia a la salinidad. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. Salamanca. España, p.5-17.
- Juárez, H. S. 2006. Contaminación del río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de Lima metropolitana. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, pp. 36-39.
- Kabata-Pendias, A. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA. pp. 365, 413.
- Lucho, C. A.; Álvarez, M.; Beltrán, R. I.; Prieto, F.; Poggi, H. 2005. A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environment International*, 31:313-323.
- Malvern Instrument, Inc. 2004. Potencial Zeta. Un curso completo en cinco minutos. Ed. Malvern Inst. Catálogo Zeta-Meter. Westborough, MA 01581-1042, USA.
- Martínez, E.; Fuentes, J. P.; Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Journal Soil Science Plant Nutrition*, 8: 68-96.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2000. 2001. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación del 14 de febrero de 2001. p. 17.
- Perdomo, C. 2005. Calidad de las aguas y su relación con los sistemas agrícolas. *Ingeniería Agrícola*, 15:87-95.
- Pocknee, S.; Sumner, M.E., 1997. Carbon and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. *Soil Science Society America Journal*, 61: 86-92.
- Sánchez, M. I. 2003. Determinación de los metales pesados en suelos de Medina de Campo (Valladolid). Contenidos extraíbles, niveles de fondo y de referencia. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencia. Universidad de Valladolid, España. pp. 26-28.

Submitted June 25, 2008 – Accepted November 24, 2008
Revised received December 02, 2008