

ESTUDIO ELECTROKINÉTICO DE UN SUELO SOMETIDO A IMPACTO TÉRMICO

ELECTROKINETIC STUDY OF A SOIL AFTER THERMAL IMPACT

ESTUDO ELECTROKINÉTICO DE UM SOLO SUBMETIDO A IMPACTO TÉRMICO

Mario V. Vázquez^{1,2}, Felipe Hernández-Luis³, Carolina Ramírez¹, Carmen D. Arbelo⁴

Recibido: 22/06/09 – Aceptado: 12/06/10

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan algunos cambios producidos en las propiedades de un suelo sometido a impacto térmico. Para llevar a cabo este estudio se utiliza una técnica electrocinética basada en los mismos principios que la electrorremediación. El análisis se enfoca en la variación, durante el tratamiento, de la corriente de electrólisis y de la diferencia de potencial generada en el interior del suelo en una región cercana a la cámara de los electrodos. Los resultados obtenidos se explican con base en las características iniciales que presentan los suelos estudiados antes del proceso electrocinético.

Palabras clave: electrocinética, suelos, incendio, tratamiento térmico.

ABSTRACT

This paper discusses some changes in the characteristics of a soil subjected to thermal shock. The properties are analyzed using an electrokinetics technique derived from the electrorremediación. The analysis focuses on the variation of the electrolysis current, and the potential difference generated within a region near the electrodes chamber during the treatment. The results are explained in relation to the change of some properties of the soil samples subjected to thermal treatment before the electrokinetic process.

Key words: electrokinetics, soil, fire, thermal treatment.

1 Instituto de Química, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. A.A. 1226.

2 electroquímica@quimbaya.udea.edu.co

3 Departamento de Química Física, Universidad de La Laguna, Tenerife, España.

4 Departamento de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna, Tenerife, España.

RESUMO

No presente trabalho foram analisadas algumas propriedades de um solo submetido a tratamento térmico. Para realizar este estudo, utilizou-se uma técnica eletrocinética baseada nos princípios da eletroremediação. A base da análise é a variação, durante o tratamento, da corrente de eletrólise e da diferença de potencial gerada no interior da amostra, numa região próxima aos compartimentos dos eletrodos. Os resultados obtidos são explicados de acordo com as características iniciais dos solos estudados antes do processo eletrocinético.

Palavras-chave: eletrocinética, solos, incêndio, tratamento térmico.

INTRODUCCIÓN

La quema de material vegetal es una actividad agrícola frecuente en muchas partes del mundo. Los efectos ambientales producidos sobre el suelo por dicha quema, ya sea controlada o accidental, tienen gran relevancia ecológica, ya que afecta a la cadena alimenticia, a los ciclos biológicos y físico-químicos del suelo, a la humedad del mismo, etc. Estos efectos han sido objeto de numerosos estudios. Así, por ejemplo, se ha analizado la variación de las propiedades edáficas en función del tiempo de calentamiento (1), se han hecho estudios de laboratorio donde se evalúan los efectos de la temperatura sobre la composición mineral del horizonte orgánico del suelo (2) y se han utilizado métodos calorimétricos para determinar la pérdida de materia orgánica de suelos incendiados (3). También se han evaluado las propiedades hidrológicas del suelo en función de la intensidad del fuego y la ve-

getación que cubre dicho suelo (4), se han realizado estudios sobre la variación del pH, el contenido de materia orgánica, nitrógeno total, relación C/N, fósforo intercambiable, etc., en función del tiempo de calentamiento (5), así como de la variación del nitrógeno total, el carbono oxidable, los iones NH_4^+ y NO_3^- contenidos en suelos de origen volcánico (6) y de la composición y reactividad de los suelos incendiados en función de su morfología (7).

Durante el proceso de calentamiento de un suelo incendiado se generan cambios en los potenciales redox del mismo, que están estrechamente relacionados tanto con la variación del pH como con las propiedades específicas del suelo (8), tales como el contenido de materia orgánica y la presencia de grupos funcionales con posibilidad de participar en reacciones de óxido-reducción.

La mayoría de los estudios mencionados están basados en tediosas rutinas de laboratorio que consumen mucho tiempo de trabajo. Una alternativa interesante para ser considerada es el uso de técnicas electrocinéticas, apoyadas en los mismos fenómenos de la conocida técnica de la electrorremediación. Dicha técnica consiste en aplicar un campo eléctrico constante entre dos electrodos enterrados o puestos en contacto con una muestra de suelo humedecido. Con este simple experimento se puede determinar una serie de parámetros que, al ser analizados de manera conjunta, pueden dar valiosa información sobre el comportamiento del suelo en diversas condiciones (9-15).

Entre los parámetros que pueden ser así determinados están el pH y la conduc-

tividad específica, tanto en la pasta suelo-agua como en las cámaras electródicas, las concentraciones residuales de iones de interés y las variaciones locales del potencial redox y de la corriente de electrólisis del proceso.

Al realizar un experimento electrocinético, los suelos naturales (no tratados ni contaminados) muestran un perfil propio de variación de la corriente de electrólisis con el tiempo. Dicho perfil está relacionado tanto con la presencia de iones de distinta movilidad (diferente grado de retención por las partículas de suelo), como por la presencia de los frentes ácidos y alcalinos electro-generados en las cámaras electródicas (10).

La presencia de cationes móviles en el suelo, especialmente los asimilables (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+}), y su participación en los diferentes equilibrios químicos presentes en el suelo, determinan la magnitud de algunos parámetros usados rutinariamente para caracterizar suelos de interés agrícola, tales como la capacidad de intercambio catiónico, el grado de salinidad o la conductividad específica.

La posibilidad de obtener este tipo de información mediante técnicas electrocinéticas resulta de gran interés, no sólo por su rapidez sino porque se trata de un método *dinámico* que podría estar más relacionado con los procesos que ocurren de forma natural en los suelos, que con los procesos *estáticos* llevados a cabo en los habituales análisis de laboratorio convencionales.

La técnica electrocinética ha sido empleada anteriormente por nuestro grupo (9-15) con el fin de caracterizar algunos suelos de origen volcánico. En esta técnica,

el campo eléctrico aplicado produce el movimiento de especies cargadas y no cargadas hacia los electrodos, generándose una corriente de electrólisis que puede ser registrada. También se puede hacer un seguimiento, en función del tiempo, de la variación de potencial redox del suelo en las inmediaciones de los electrodos, con el objeto de analizar la formación de regiones oxidantes y reductoras en el mismo.

En este trabajo se presentan algunos resultados preliminares obtenidos al estudiar electrocinéticamente una muestra de suelo sometida a diferentes tipos de impacto térmico. Se analizan la variación de la capacidad reguladora del suelo y el estado redox del mismo.

MATERIALES Y MÉTODO

Muestra de suelo

Los estudios se realizaron con un suelo de origen volcánico procedente del Parque Piedras Blancas ($6^{\circ}16'36,41''\text{N}$, $75^{\circ}29'8,06''\text{O}$), situado en las cercanías de la ciudad de Medellín (Colombia). Se tomó de un horizonte A, que no ha sido modificado ni con procesos industriales ni agrícolas. Para llevar a cabo los experimentos, se secaron aproximadamente 1000 g de suelo, a temperatura ambiente. Posteriormente, se tamizó a un tamaño de partícula de 2 mm de diámetro y se dividió en tres muestras iguales (A, B y C). La muestra A no fue sometida a tratamiento térmico, mientras que la B y la C fueron calentadas a 100 °C durante 4 y 8 días, respectivamente. La Tabla 1 muestra algunas propiedades de dichas muestras. Estos análisis fueron realizados por el laboratorio de análisis de suelos de la Uni-

Tabla 1. Algunas características de las muestras de suelo estudiadas.

Suelo	pH _{blanco}	% MO	Arena (g kg ⁻¹)	Limo (g kg ⁻¹)	Arcilla (g kg ⁻¹)	f _β -
A	5,02	50,64	2	22	76	0,985 0,007
B	4,61	72,73	6	20	74	0,990 0,005
C	4,03	70,36	6	14	80	0,984 0,004

versidad Nacional de Colombia, sede Medellín, donde se aplicaron los métodos de análisis rutinarios para determinar pH, materia orgánica y análisis granulométrico (16-18).

Estudios electrocinéticos

Los estudios electrocinéticos se llevaron a cabo en celdas cilíndricas de PVC similares a la esquematizada en la Figura 1. Estas celdas contienen dos electrodos inertes de grafito que actúan como ánodo y cátodo. Se llenaron con una pasta homogénea preparada mezclando suelo y agua con distintas relaciones en peso para las diferentes muestras, con la intención de obtener consistencias de igual densidad en todos los casos. Las relaciones fueron: *A* (1:0,90), *B* (1:0,95) y *C* (1:1,02). Estas pastas saturadas se dejaron equilibrar manteniéndolas en reposo

24 horas antes de introducirlas en la celda electrocinética.

Para el tratamiento electrocinético se utilizó una fuente de poder BK Precision 1666 que mantenía aplicados 1,2 V cm⁻¹ por un periodo de tiempo de 48 horas. Para registrar la variación de la corriente de electrolisis se utilizó un multímetro Fluke 45 conectado a un ordenador. Para medir la diferencia de potencial entre dos electrodos auxiliares que se encontraban en contacto directo con el suelo más cercano a las cámaras de los electrodos (Figura 1) se utilizó un multímetro UT-803.

En todos los casos, después del tratamiento electrocinético, la pasta de suelo-agua fue dividida transversalmente en 5 segmentos de tamaño similar, cada uno de los cuales fue suspendido 24 horas en

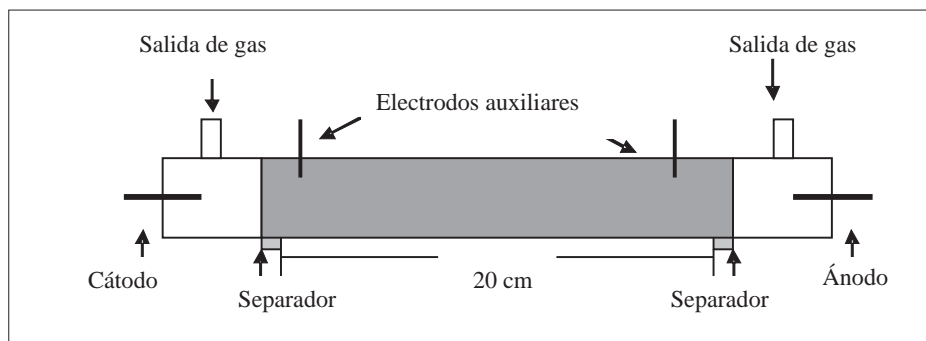


Figura 1. Esquema de la celda utilizada en los experimentos electrocinéticos.

agua desionizada en relación 1:10 (peso/volumen) y con agitación constante. Después de este tiempo se midió el pH del sobrenadante a fin de evaluar el efecto producido por el avance de los frentes ácido y alcalino desde los electrodos hacia el interior de la celda.

Todos los experimentos electrocinéticos fueron realizados por triplicado.

Función Buffer

Para cuantificar la capacidad reguladora de cada muestra, se utilizó la “función buffer” f_B^- o f_B^+ , definida como (10):

$$f_B^- = 1 - \left(\frac{pH_1 - pH_b}{pH_- - pH_b} \right) \text{ y } f_B^+ = 1 - \left(\frac{pH_b - pH_5}{pH_b - pH_+} \right)$$

donde:

pH_1 = pH del segmento más cercano al cátodo

pH_5 = pH del segmento más cercano al ánodo

pH_- = pH de la cámara del cátodo

pH_+ = pH de la cámara del ánodo

pH_b = pH del blanco

A partir de estas definiciones se obtienen los siguientes valores límite:

Caso 1: $pH_1 = pH_b$ o $pH_5 = pH_b$, en este caso $f = 1$. Indica que el pH del suelo no ha variado con el tratamiento electrocinético (capacidad reguladora máxima).

Caso 2: $pH_- = pH_1$ o $pH_+ = pH_5$, en este caso $f = 0$. Indica que el suelo toma el mismo valor de pH que la correspondiente cámara electrolítica (capacidad reguladora mínima).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Corriente de electrólisis

La Figura 2 muestra la variación de la corriente de electrólisis en función del tiempo.

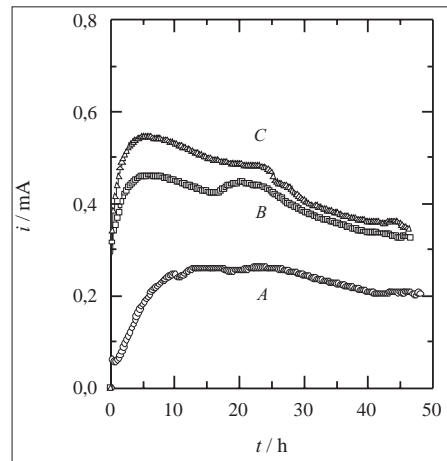
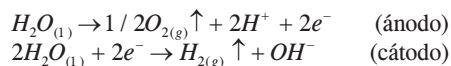


Figura 2. Variación de la corriente de electrólisis con el tiempo.

po para las tres muestras estudiadas. Se observa el perfil característico para este tipo de experimentos: un incremento en la corriente en la primera etapa, relacionado con la electrogeneración de iones H^+ y OH^- en las cámaras de los electrodos, como consecuencia de la electrólisis del agua de acuerdo con las siguientes semi-reacciones:



Después de que la corriente llega a su valor máximo, se observa una disminución de la misma como consecuencia del control ejercido por la resistencia de la pasta suelo-agua.

Se observa que, para los suelos sometidos a tratamiento térmico, la corriente medida es mayor que para el suelo sin tratar. Este hecho estaría relacionado con una disminución de la resistencia de la pasta como consecuencia del posible aumento de iones libres capaces de transportar corriente.

Potenciales redox

En la Figura 3 se muestra la variación, con el tiempo, de la diferencia de potencial entre los electrodos auxiliares de grafito situados cerca de las cámaras electródicas. Esta diferencia de potencial está relacionada con la variación del potencial redox en la celda que, a su vez, está asociado con la presencia de materia orgánica en el suelo. Estas variaciones han sido utilizadas para el estudio de suelos inundados (19) o como medida del estado de oxidación de carbono orgánico en suelos que hayan sido sometidos a impacto térmico (20).

Con la aplicación del campo eléctrico es de esperar que se generen, en el suelo, zonas de distinto potencial redox, especialmente en las cercanías de las cámaras electródicas donde se producen las reacciones de óxido-reducción. En la Figura 3 se observa un comportamiento similar al obtenido con la corriente de electrólisis, con un perfil característico para cada muestra que incluye un marcado incremento inicial de la diferencia de potencial hasta alcanzar un valor casi estacionario. Teniendo en cuenta la estrecha relación existente entre las reacciones que ocurren en las cámaras de los electrodos y el potencial redox del suelo en contacto con ellas, es de esperar que si el tratamiento térmico produce una mayor disponibilidad iónica, y por tanto una mayor corriente de electrólisis, la diferencia de potencial en los extremos del suelo lo hará en la misma secuencia.

Por último, la Figura 4 muestra el pH medido en las distintas suspensiones preparadas con los fragmentos de pasta suelo-agua después del experimento electrocinético. Con fines comparativos también

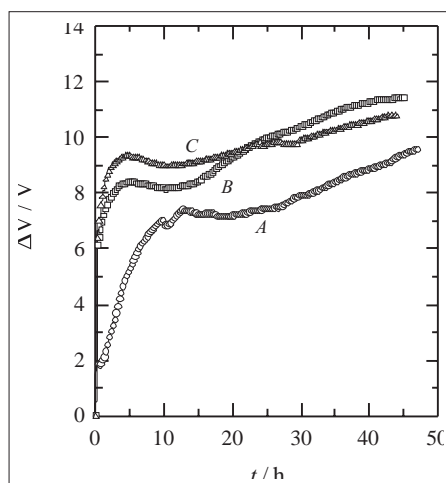


Figura 3. Variación del potencial redox con el tiempo.

se grafican los valores medidos en las disoluciones contenidas en las cámaras electródicas.

Si bien no se aprecian diferencias significativas en el pH de las disoluciones contenidas en las cámaras, el tratamiento térmico sí parece influir ligeramente en la capacidad reguladora del suelo que está en contacto con las mismas, y que es el más afectado por el movimiento de los frentes ácido y alcalino electrogenerados. Este comportamiento puede ser cuantificado analizando la variación en la *función buffer*, f_{β}^{-} (15). En la Tabla 1 se muestran los valores de esta función calculados en cada caso y que parecen mantener relación con el contenido tanto de materia orgánica como de arcilla.

CONCLUSIONES

Los resultados preliminares presentados en este trabajo indican que, mediante la técnica electrocinética, es posible anali-

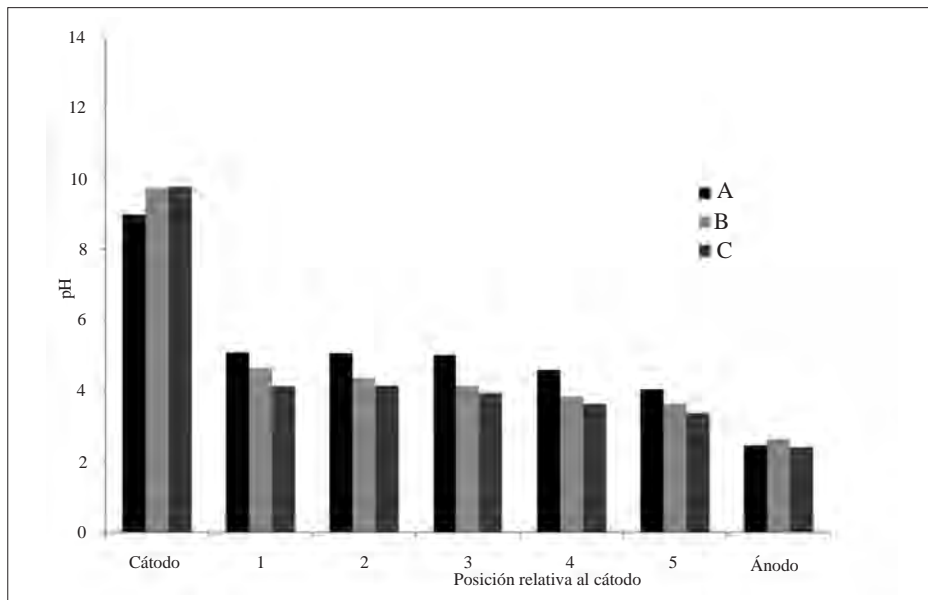


Figura 4. pH de los fragmentos de suelo y de las cámaras electródicas después del tratamiento electrocinético.

zar algunas modificaciones producidas en suelos sometidos a tratamiento térmico.

De los parámetros analizados, la corriente de electrólisis y la diferencia de potencial en los extremos de la celda varían claramente con la intensidad del tratamiento térmico empleado.

Este tratamiento no es suficientemente intenso como para eliminar la materia orgánica por combustión, pero probablemente provoca modificaciones en su contenido, que se reflejan en una mayor concentración de iones libres. De esta manera, la corriente de electrólisis aumenta en comparación con la del suelo sin tratar.

La generación de zonas de distinto comportamiento redox está en directa relación con la intensidad de la corriente, por lo que se obtienen las mismas tendencias.

Con relación a la capacidad reguladora del suelo, relacionada principalmente con

el contenido de materia orgánica y de arcilla, no se ve modificada de manera importante con el tratamiento térmico. Esto podría explicarse considerando que, si bien la materia orgánica se modifica ligeramente, el contenido de arcilla permanece invariable debido de la baja intensidad del tratamiento térmico. Esto ha sido verificado en otros estudios en curso, donde se trabaja a temperaturas de 300 y 500 °C.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Antioquia (Comité para el Desarrollo de la Investigación, CODI) el apoyo dado para la realización de este trabajo. Asimismo, agradecen a la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECI) del Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación de España, la cual, a través de su Programa de Cooperación Interuniversitaria (PCI

A/023795/09), ha hecho posible la movilidad de investigadores entre las Universidades de Antioquia y La Laguna. También, a la Oficina de Relaciones Internacionales (ORI) de la Universidad de La Laguna por su ayuda en la gestión de estas movibilidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Afif Khouri, E.; Oliveira Prendes, J. A. Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Invest Agrar: Sist Recur For.* 2006. **15**: 262-270.
2. Quintana, J. R.; Cala, V.; Moreno, A. M.; Parra, J. G. Effect of heating on mineral components of the soil organic horizon from a Spanish juniper (*Juniperus thurifera* L.) Woodland. *Journal of Arid Environments.* 2007. **71**: 45-56.
3. Salgado, J.; Mato, M. M.; Vázquez-Galiñanes, A.; Paz-Andrade, M. I.; Carballas, T. Comparison of two calorimetric methods to determine the loss of organic matter in Galician soils (NW Spain) due to forest wildfires. *Thermochim. Acta.* 2004. **410**: 141-148.
4. González-Pelayo, O.; Andreu, V.; Campo, J.; Gimeno-García, E.; Rubio, J. L. Hydrological properties of a Mediterranean soil burned with different fire intensities. *Catena.* 2006. **68**: 186-193.
5. Marcos, E.; Tárrega, R.; Luis, L. Changes in a Humic Cambisol heated (100–500 °C) under laboratory conditions: The significance of heating time. *Geoderma.* 2007. **138**: 237-243.
6. Notario del Pino, J. S.; Dorta-Almeñar, I.; Navarro-Rivero, F.; Rodríguez-Rodríguez, A.; Arbelo, C. D.; Armas-Herrera, C.; Guerra-García, J. A.; Mora-Hernández, J. L. Temporal evolution of organic carbon and nitrogen forms in volcanic soils under broom scrub affected by a wildfire. *Sci. Total Environ.* 2007. **378**: 245-252.
7. Rumpel, C.; González-Pérez, J. A.; Bardoux, G.; Largeau, C.; González-Vila, F. J.; Valentin, C. Composition and reactivity of morphologically distinct charred materials left after slash-and-burn practices in agricultural tropical soils. *Org. Geochem.* 2007. **38**: 911-920.
8. Sparks, D. L. Environmental soil chemistry. Elsevier, Academic Press. 2003. 352 pp.
9. Hernández-Luis, F.; Benjumea, D. M.; Vázquez, M. V. Efecto del tiempo de tratamiento sobre la eficacia de electroremediación de andisoles contaminados con metales pesados. *Innovación.* 2004. **16**: 7-12.
10. Hernández-Luis, F.; Lemus, M.; Grandoso, D.; Vázquez, M. V.; Arbelo, C. D. Electroremediation: A study of the influence of buffering behavior in contaminated soils. *Remediation.* 2004. **14**: 105-112.
11. Hernández-Luis, F.; Lemus, M.; Grandoso, D.; Vázquez, M. V.; Arbelo, C. D. Electroremediation Part II: A study of the movement of

- heavy metals during an electroremediation process in andisol soil. *Remediation*. 2005. **16**: 107-116.
12. Vázquez, M. V.; Hernández-Luis, F.; Benjumea, D.; Grandoso, D.; Lemus, M.; Arbelo, C. D. Electrokinetic determination of the buffer capacity of andisols. *Sci. Total Environ*. 2007. **378**: 214-217.
 13. Vázquez, M. V.; Hernández-Luis, F.; Grandoso, D.; Arbelo, C. D. Study of the electrical resistance of andisols subjected to electroremediation treatment. *Portugaliae Electrochim. Acta*. 2004. **22**: 399-410.
 14. Vázquez, M. V., Hernández-Luis, F.; Lemus, M., Arbelo, C. D. Integral analysis of the process of electroremediation of andisols polluted by heavy metals. *Portugaliae Electrochim. Acta*. 2004. **22**: 387-398.
 15. Vázquez, M. V.; Vasco, D. A.; Hernández-Luis, F.; Grandoso, D.; Lemus, M.; Benjumea, D.; Arbelo, C. D. Electrokinetic study of the buffer capacity of the some soils from Tenerife. Comparison with a volumetric technique. *Geoderma*. 2009. **148**: 261-266.
 16. Norma técnica colombiana NTC 5264. Calidad del suelo. Determinación del pH. 2008. p. 9.
 17. Norma técnica colombiana NTC 5403.
 18. Dewis, J.; Freitas, F. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre suelos. 1970. **10**: 36-57. FAO, Roma.
 19. Gao, S.; Tanji, K. K.; Scardaci, S. C.; Chow, A. T. Comparison of Redox Indicators in a Paddy Soil during Rice-Growing Season. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2002. **66**: 805-817.
 20. Chadwick, O. A.; Masiello, C. A.; Baldock, J.; Smernik, R.; Randsen, J. The oxidation state of soil organic carbon: a new proxy for carbon storage mechanisms and land use change. *2001-2006 Mission Kearney Foundation of Soil Science: Soil Carbon and California's Terrestrial Ecosystems. Final Report*: 2002/2004.1/1/2003-12/31/ 2004.