

Evaluación de la Calidad de los Suelos en Áreas Cultivadas con Arroz Riego y Secano en los Llanos de Casanare

Quality Assessment of the Soil in Areas With Rice Grown in Irrigated and Upland Plains of Casanare

DAVID ALEJANDRO MUÑOZ*
ADRIANA MARTÍNEZ A.**
Fundación Universitaria de Popayán

Recibido: 22 de julio de 2015/Aceptado: 28 de agosto de 2015

RESUMEN

La degradación del suelo es un proceso antropogénico que afecta la física, la biología y la química del suelo, siendo generada por la mala utilización de estos y afectando sus contenidos de nutrientes, materia orgánica y destruyendo su estructura. Promueve, además, su erosión, salinización y compactación, como también el desequilibrio químico por uso excesivo e inadecuado de fertilizantes. Tal diagnóstico se tuvo en cuenta al recolectar muestras de suelos arroceros a una profundidad de 20 centímetros, en lotes seleccionados de las fincas San Ángel (Lote 40-38 hectáreas) y El Boral (Lote 20 -28 hectáreas) de los municipios de San Luis y Nunchía, en el departamento del Casanare. Las muestras se sometieron a análisis de laboratorio para la determinación de propiedades físico-químicas.

Al realizar comparaciones múltiples por tratamiento arroz riego y secano, se obtuvo diferencias significativas para la Porosidad y Materia Orgánica. ($p=0.01$) y ($p=0.00387$), evidenciando que el deterioro de la estructura, junto a la compactación del suelo, produce una disminución de la porosidad. Por lo tanto, se origina una reducción del drenaje y una pérdida de la estabilidad, trayendo como consecuencia, un encostramiento superficial que aumenta la escorrentía.

Palabras clave: Degradación, Suelos arroceros, Propiedades físico-químicas, Porosidad, Materia orgánica.

ABSTRACT

Land degradation is an anthropogenic process that affects physics, biology and chemistry of the soil; is generated by the misuse of these, affecting their nutrient content, organic matter and destroying its structure. Promoting erosion, salinization and compaction; chemical imbalance as excessive and inappropriate use of fertilizers. Paddy soils samples were collected at a depth of 20 centimeters, selected lots of the estates San Ángel (Lot 40 -38 hectares) and El Boral (Lot 20 -28 hectares); in the municipality of San Luis and Nunchía, department of Casanare. The samples were subjected to laboratory analysis for the determination of physical-chemical properties.

When performing multiple comparisons irrigated and upland rice treatment; significant differences in porosity and organic matter was obtained. ($p = 0.01$) ($p = 0.00387$). Showing that the deterioration of the structure, along with soil compaction, produces a decrease in porosity. Therefore, a reduction of drainage and a loss of stability, consequently resulting in an increase of surface crusting runoff originated.

Keywords: Degradation, Rice soils, Physical - chemical properties, Porosity, Organic matter.

* Ingeniero Agrícola, Candidato de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Docente Fundación Universitaria de Popayán, Corporación Universitaria de ComfacaUCA; Grupo de investigación Indicadores Sencillos de Degradación de suelos. dmuoz@unicomfacaUCA.edu.co

** Ingeniero Agrícola, Candidato de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Docente Fundación Universitaria de Popayán. Grupo de investigación Diversidad Biológica. amartinezar@unal.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es considerado un recurso natural importante y esencial para la vida. Es un elemento de enlace entre factores bióticos y abióticos, por lo que se considera un hábitat para el desarrollo de las plantas. Es por eso que el tránsito de maquinaria agrícola en el cultivo de arroz compacta el suelo y lo degrada; lo cual afecta la sostenibilidad y productividad del suelo y el cultivo por la pérdida de agua y aire, y esto disminuye el desarrollo radical (Rodríguez & Valencia, 2012).

La especie *Oryza sativa L.* o arroz pertenece al reino *plantae*, orden *poales*, y familia *poaceae* (Roskov *et al.*, 2014). Es una de las gramíneas de mayor relevancia porque llega a ser el principal alimento a nivel mundial (Monge, 1989, citado por Murillo, 2006). Sumado esto, en la producción de arroz, es evidente la utilización de nuevas tecnologías que alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas, factores importantes en el crecimiento de las plantas; es decir, una evidente degradación del agroecosistema que podría terminar en suelos improductivos si no se corrige a tiempo (Ruiz, Díaz & Polón, 2005). En otras palabras, cada vez resulta más evidente que las diversas actividades humanas generan

un índice alto de pérdida del suelo que supera exponencialmente el de su formación, lo cual, desestabiliza peligrosamente, el equilibrio natural.

La preparación del suelo en cultivadores de arroz es bastante importante, porque de esta depende todo el cultivo, es decir, el establecimiento de las plantas y todo el manejo cultural (Díaz & Carbonell, 1985). Es por eso que teniendo en cuenta que en este cultivo estas labores son constantes, la explotación intensiva del suelo empeora sus propiedades, que limitan el funcionamiento del sistema planta, agua, suelo, atmosfera (Berezin & Gudima, 1994). Por lo anterior, los planteamientos de Ruiz, Díaz y Polón (2005) explican que la irrigación, la fertilización, la mecanización agrícola y otras actividades desequilibradas en el cultivo de arroz, generan compactación del suelo, erosión y malos drenajes. En palabras de otro investigador, existen estudios en Colombia (Casanare), que evidencian disminución de la porosidad en cultivos de arroz por las diferentes labores del cultivo que repercuten en un mal drenaje y pérdida de su estabilidad, entonces se propone un manejo integrado del cultivo desde la siembra hasta la cosecha, que vaya encaminado al manejo sostenible y sustentable (Muñoz, 2014).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación tuvo lugar en los municipios de San Luis y Nunchía, departamento del Casanare, Colombia. En las fincas San Ángel (Lote 40 -38 hectáreas) y El Boral (Lote 20 -28 hectáreas); se realizó la toma de muestras disturbadas a una profundidad de 20 cm de cada una de las zonas representativas de cada uno de los lotes. Se llevaron a cabo en campo pruebas de infiltración y contenido de humedad, así mismo en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia (sede Palmira) se determinaron propiedades físicas y químicas. Finalmente estos datos se especializaron por medio del software ArcGis 10.2.

A continuación se presenta la metodología estadística que se implementó en el análisis de los datos de este estudio.

2.1. Análisis exploratorio de datos

Se realizó un análisis exploratorio de acuerdo a medidas de tendencia central (media) y medidas de dispersión (desviación estándar) con el objetivo de caracterizar los tratamientos; también estos análisis se acompañaron con sus respectivos gráficos de acuerdo al tipo de indicador.

2.2. Diseño de experimento

Se empleó un Diseño Completamente

Aleatorizado (DCA) con estructura factorial balanceado de efectos fijos con tres repeticiones para cada punto de muestreo por tratamiento; se efectuó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA); para determinar diferencias entre pares de tratamientos se utilizó como prueba postanova el test de Tukey y la corrección de Bonferroni para el valor p de las comparaciones múltiples. Para el análisis se empleó el programa estadístico R3.1.1 y las pruebas estadísticas se contrastaron con una significancia del 5 % ($p < 0.05$).

2.2.1. Diseño con estructura factorial

Se llaman experimentos factoriales a aquellos experimentos en los que simultáneamente se estudian dos o más factores, y donde los tratamientos se forman por la combinación de los diferentes niveles de cada uno de los factores. Una de las ventajas de este tipo de diseño es que permiten estudiar los efectos principales y de interacción de factores, además todas las unidades experimentales intervienen en la determinación de los efectos principales y de los de interacción de los factores.

2.2.2. Modelo estadístico

A continuación se presenta el modelo estadístico de una ANOVA de dos vías con

estructura factorial, con i niveles en el factor 1 y j niveles en el factor 2:

$$y_{ik} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad i = 1, 2, \dots, i = 1, 2, \dots \quad k = 3$$

Donde:

y_{ik} = Variable respuesta (Materia orgánica, pH).

μ = Media general

α_i = Efecto del i – esimo nivel del factor 1.

β_j = Efecto del j – esimo nivel del factor 2

ϵ_{ijk} = Error aleatorio.

Supuestos bajo este diseño:

- i) ϵ_{ijk} es i. d. $N(0, \sigma^2)$
- ii) ϵ_{ijk} es independiente.
- iii) ϵ_{ijk} tiene varianza constante.

2.3. Análisis no paramétrico

Ya que en todas las variables no se cumple el supuesto de normalidad requerido por el modelo de análisis de varianza, se empleó el test no paramétrico de Van der Waerden. Esta prueba es utilizada para contrastar los parámetros de centramiento de k muestras aleatorias e independientes siendo análoga en el campo paramétrico al análisis de varianza (ANOVA).

La hipótesis ahora es frente a la igualdad en los k parámetros de centramiento frente a la diferencia en al menos un par de ellos (X_1, \dots, X_k representa a una población con un tratamiento):

$$H_0 : E(X_1) = E(X_2) = \dots = E(X_k) \\ \text{V.s.}$$

$$H_1 : E(X_i) \neq E(X_j) \quad \text{para por lo menos algun par } i \neq j$$

Igualmente se combinan las k muestras en una sola, que es ordenada y ranqueada, en caso de empates se utiliza el rango promedio, luego se transforman los rangos en valores o cuantiles normales, con la misma función inversa de la distribución normal:

$$\phi\left(\frac{R_i}{n + m + 1}\right) = Z_i$$

Posteriormente se calculan los promedios de los valores normales para cada muestra, es decir que se tendrán $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \dots, \bar{A}_k$, donde cada \bar{A}_i es el promedio de los valores normales correspondientes a la i -ésima muestra:

$$\bar{A}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} Z_{ij}$$

Para muestras grandes ($n > 30$) se utiliza una aproximación mediante la distribución ji-cuadrado, construyendo el siguiente estadístico:

$$T_1 = \frac{1}{S^2} \sum_{i=1}^k n_i (\bar{A}_i)^2 \quad T_1 \approx \chi_{k-1}^2$$

donde:

$$S^2 = \frac{1}{n + m - 1} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Z_{ij}^2$$

Por último, para realizar comparaciones múltiples se utiliza el siguiente criterio de decisión:

$$|\bar{A}_i - \bar{A}_j| > t_{(N-k), \alpha/2} \left(S^2 \frac{N-1-T_1}{N-k} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)^{1/2}$$

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron organizados en la Tabla 1.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de la materia orgánica por tratamiento

Tratamiento	n	Pro-medio	DE	Me-diana	Mí-nimo	Má-ximo	CV %
1	72	3.13	0.99	3.19	0.95	5.19	31.63
2	74	2.71	0.81	2.87	0.65	5.31	29.89
3	74	3.09	0.66	3.12	1.07	4.97	21.36

En la Figura 1 se observa el comportamiento de la materia orgánica por tratamiento, se destacan valores altos de materia orgánica en el tratamiento 1 y 3 y dispersiones más altas en el tratamiento 1 y 2, en todos los tratamientos hubo valores atípicos tanto por debajo como por encima de la distribución de la materia orgánica.

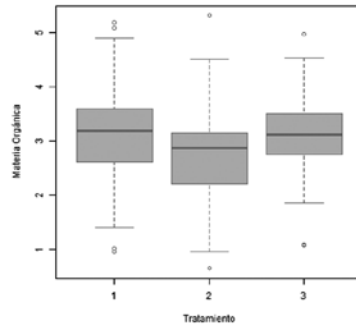


Figura 1. Comportamiento de la Materia Orgánica por tratamiento

Fuente: Muñoz, 2014

En la Tabla 2 se muestra el resumen de estadísticas descriptivas de la porosidad, se denotan mayores valores promedios en el tratamiento 3 (48.59 %) y mayor dispersión en el tratamiento 1 (11.82 %).

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de la porosidad por tratamiento

Tratamiento	n	Pro-medio	DE	Me-diana	Mí-nimo	Má-ximo	CV %
1	72	46.72	5.52	47	35	62	11.82
2	74	44.09	5.64	43	34	59	12.79
3	74	48.59	5.18	48.5	38	59	10.66

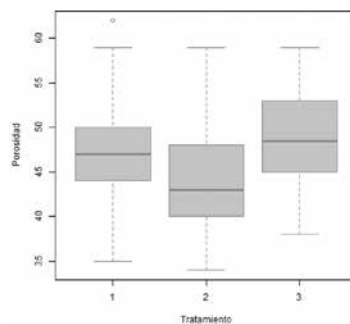


Figura 2. Comportamiento de la Porosidad por tratamiento

Fuente: Muñoz, 2014

En la Tabla 3 se muestran las comparaciones múltiples por tratamiento para la materia orgánica, se destacan diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 2 ($p = 0.01$) y tratamientos 3 y 2 ($p = 0.02$).

Tabla 3. Comparaciones múltiples para la materia orgánica por tratamiento

Comparación	Diferencias	Límite inferior	Límite superior	Valor p
3-2	0.38	0.06	0.70	0.02
1-2	0.42	0.09	0.74	0.01
1-3	0.03	-0.29	0.36	0.97

Continuando con la metodología descrita se ilustran los mapas diseñados por medio de la herramienta Arc-Gis 10.2, según los valores obtenidos de algunas de las propiedades de las zonas muestreadas.

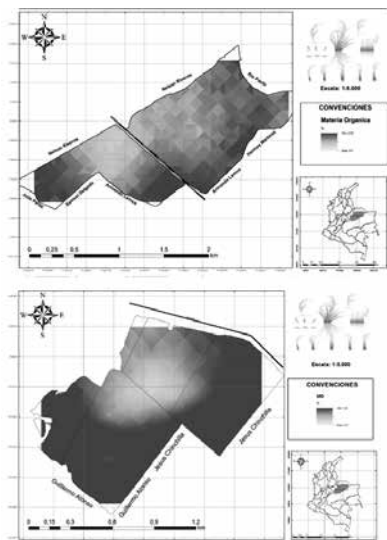


Figura 3. Relación Materia Orgánica en las fincas San Ángel (I) - El Boral (D)

Fuente: Muñoz, 2014

4. DISCUSIÓN

La materia orgánica en este caso es un indicador de la salud del suelo y su efecto positivo sobre la sostenibilidad del sistema productivo depende de su mantenimiento. En este caso se representa para la Hacienda San Ángel los valores obtenidos a través del estudio. El mapa permite apreciar la variación de la materia orgánica en los lotes muestreados donde se evidencia una caída considerable de esta variable, esta no solo depende del clima y del tipo de suelo sino también de la labranza, rotaciones y secuencias en el cultivo.

De otro modo, la finca El Boral se caracteriza por siembra de arroz riego, esta práctica acompañada de una labranza intensiva y la falta de un proceso de rotación ha producido un deterioro del contenido de materia orgánica, debido a que el tipo de suelo y textura presentan una disminución cercana al 50 % de su nivel original; así se explica la aplicación de agregado de nitrógeno (Echeverría & Sainz Rosas, 2007), en menor medida el azufre (Reussi Calvo *et al.*, 2008) y el desencadenamiento de problemas ambientales como la erosión de estos suelos (Lavado, 2006).

Por lo tanto, el comportamiento de la po-

rosidad total para ambos casos, permite determinar que existen valores mínimos en la región central del área de toma de muestras, con un incremento radial al área total del lote. Es notable que las principales propiedades físicas de los suelos que son afectadas por sistemas inapropiados de labranza (intervención humana) como aquellas que tienen que ver con el comportamiento volumétrico del suelo, tales como porosidad total y distribución de tamaño de poros, propiedades íntimamente ligadas a la estructura del suelo.

Así mismo, el estudio evidenció que el deterioro de la estructura, junto a la compactación del suelo, produce una disminución de la porosidad. Por lo tanto, se origina una reducción del drenaje y una pérdida de la estabilidad. Como consecuencia, se genera un encostramiento superficial que aumenta la escorrentía. Es necesario mejorar la condición de alta densidad aparente y de alta resistencia a la penetración de los suelos mediante el uso de implementos de labranza vertical (cincales y subsolado superficial hasta 35 o 40 cm) que permitan el rompimiento del suelo en profundidad. Los cincales ideales para este propósito son los rígidos que son capaces de romper suelos que ofrecen alta resistencia al fra-

ccionamiento. Quien usa cincales debe considerar que suelos muy adensados o compactados se deben empezar a trabajar primero superficialmente y luego sí a mayor profundidad hasta lograr la medida requerida. Si esto no se hace se rompe el tractor o el implemento. Una vez que se ha aflojado el suelo, es necesario “fijar” o “mantener” ese aflojamiento mediante la siembra de pastos o de cultivos de buen sistema radical o mediante la adición de tramos fragmentados, que mantengan la condición lograda con la labranza. Labranzas verticales “fijadas” por un período de tres a cinco años arrojarán un suelo diferente, sobre el cual se pueden realizar sistemas de labranza conservacionista.

Condiciones de baja aireación, se crean por el uso excesivo de la maquinaria agrícola, lo cual conduce a una disminución gradual de macroporos, al realizar las pruebas de infiltración en los lotes incluidos en el estudio se encontró pérdida del movimiento del aire en el suelo. Por ello, es importante que el manejo del cultivo sea integral, desde el proceso de preparación hasta el manejo del suelo una vez finalizada la cosecha, asimismo debe incluir la disposición de la soca como residuo vegetal. Un manejo sostenible ambiental que incluya aspectos

como el requerimiento de producción, el suelo, el sistema productivo y que a su vez permita un diálogo de saberes entre gestores de desarrollo rural, agricultores y comunidades rurales.

Finalmente esta investigación permite concluir que la calidad de suelos utilizados para cultivos de arroz, presentan efectos de degradación que están relacionados con la disminución de la capacidad de retención de agua. Esta consecuencia es especialmente importante por los impactos de las escasas precipitaciones anuales, relacionado con el cambio climático; causando como consecuencia una disminución en las escorrentías de los ríos y la disponibilidad del agua. Se dice que el cambio climático podría afectar propiedades y procesos como la descomposición de la materia orgánica, y la lixiviación y los regímenes de agua se verían afectados por los aumentos de la temperatura, trayendo como consecuencia la disminución en las extensiones de tierra cultivables, salinización y desertificación entre otros (WMO, 2011).

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias y al Programa Especial Jóvenes Investigadores e Innovadores “Virginia Gutiérrez de Pineda” por su apoyo y financiación

del proyecto, a la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, por patrocinar esta investigación, a través del grupo de investigación Indicadores Sencillos de Degradación de Suelos, al ingeniero Ángel Villegas propietario de las fincas utilizadas en el estudio.

6. REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- Andreau, R., Gelati, P., Provaza, M., Bennardi, D Fernández, D. & Vásquez, M. (2012). Degradación física y química de dos suelos del cordón hortícola platense: Alternativas de tratamiento. *Cienc. Suelo*, 30, 107-117. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672012000200008
- Arrastia, E. (1985). Estudio de la influencia de distintas profundidades de preparación de suelo en el cultivo del arroz. En *Reunión de Instrucciones Técnicas para el Cultivo del Arroz*. La Habana: MINAGRI.
- Baker, J. (s.f.). Siembra con labranza cero en agricultura de conservación. Algunas comparaciones económicas. Capítulo 18. FAO. ISBN: 978-84-200-1129-5. p. 81. Disponible en: <http://www.fao>.

- org/docrep/012/al298s/al298s05.pdf
- Berezin, P. N. & Gudima, I. I. (1994). Physical soil degradation. Parameters States. *Pochvovedenie*, (11).
- Buschiazzo, D., Pnebianco, J., Guevara, G., Rojas, J., Zurita, J., Bran, D., López, D., Gaitán, J. & Hurtado, P. (2009). Incidencia potencial de la erosión eólica sobre la degradación del suelo y la calidad del aire en distintas regiones de la Argentina. *Cienc. Suelo*, 27, 255-260. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672009000200012
- Castro, C. & Aliaga, C. (2010). Evaluación de la pérdida de suelo, asociada al proceso de expansión urbana y reconversión productiva: Caso: comunas de Los Andes, Quillota y Concón, valle del Aconcagua. *Rev. Geogr. Norte Gd.*, 41-49. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022010000100003&script=sci_arttext
- Cimmyt (2009). *Ensayos de arroz en terreno no inundado rinden bien en Bangladesh*. Corporate Communications. International Maize and Wheat Improvement Center . Eventos Agronomía. Disponible en: <http://blogesp.cimmyt.org/ensayos-de-arroz-en-terreno-no-inundado-rinden-bien-en-bangladesh/>
- Díaz, A. & Carbonell, J. (1985). *Arroz: Investigaciones y producción. Adecuamiento de tierra para la siembra de arroz*. PNUD. CIAT. Disponible en: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAU383.pdf
- FAO (2014). *Maquinaria, herramientas y equipos, preparación de la tierra. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Lla Alimentación. Departamento de Agricultura y Protección al Consumidor*. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/ca/es/3a.html>
- Glissmann, K., Weber, S. & Conrad, R. (2001). Localization of processes involved in methanogenic degradation of rice straw in anoxic paddy soil. *Environmental Microbiology*, 3(8), 502-511.
- Grover, DK. & Sharma, T. (2011). Alternative Resources Conservative Technologies. In Agriculture: Impact Analysis of Zero - Tillage Technology In Punjab. *Indian Journal of Agri-*

- cultural Research*, 45(4), 283-290. http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/publications/documents/WMO_UNCCD_web_S.pdf
- Gurumurthy, P., Singa, M., Bhaskar, B. & Reddy, B. (2014). Optimizing Tillage and Irrigation for Sunflower Cultivation in Rice Fallow Alfisols of Semiarid Tropics. *Helia*, 31(49), 91-102.
- Irri (2012). *International Maize and Wheat Improvement Center. International Rice Research Institute*. Disponible en: <http://irri.org/?gclid=CKng8a2gtcICFUE-V7AodqWwAZg>
- Kruger, H. (1992). Manejo de Suelos que Sufrieron Inundación Temporal. *Boletín Divulgación* N° 31. Pro-Suelos, INTA, EEA Bordenave. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/inundacion/27-manejo_suelos_inundados.pdf
- Liquin, Z., Najuan, H., Minfang, Y., Xinhua, Z. & Zhengwen, Z. (2014). Effects of Different Tillage and Straw Return on Soil Organic Carbon in a Rice-Wheat Rotation System. *PLoS ONE*, 9(2), 1-7.
- Madr (2013). El arroz: producción en Colombia. *Boletín mensual Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria*, 12, 92. Disponible en: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_junio_2013.pdf
- Mar (s.f.). *Sistemas de Riego por Gravedad: Sistema de Riego por Caudal Intermitente*. Ministerio de Agricultura y Riego del Perú. Hoja de Divulgación. Disponible en: http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Chojas%5Criego_caudal_intermitente.pdf
- Muñoz, D. (2014). En *Casanare, suelos de cultivo de arroz están degradados*. Palmira, mar. 14 de 2014 - Agencia de Noticias UN. Disponible en: <http://www.agencia-denoticias.unal.edu.co/ndetalle/article/cultivos-de-arroz-degradan-suelos-en-casanare.html>