

“Evaluación de los cambios en la fertilidad de los suelos de la meseta de Ibagué cultivados con arroz (*Oryza sativa* L.) a través del tiempo”

Mónica Liliana Gaspar Flórez¹; Juan Carlos Granobles Torres²

El estudio se realizó en suelos con cultivo intensivo de *Oryza sativa* L. en zonas aledañas al municipio del Ibagué dentro del área conocida como La meseta de Ibagué, departamento del Tolima. Se interpretaron 125 análisis de suelos realizados en las mismas zonas arroceras durante el periodo 2004 – 2016 para encontrar diferencias significativas en indicadores químicos asociados a la fertilidad. Se evaluaron variables como pH, %MO, CIC, P, Ca, Mg, K, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Na, B, S, % Saturación de Al, % Saturación de bases y relación de bases intercambiables. Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza para verificar cambios en los nutrientes del suelo a través del tiempo. Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) en los valores de pH, P, CIC, Fe, % Saturación de bases y diferencias significativas en la MO ($p = 0,0103$) y contenidos de Al ($p = 0,0324$) como indicadores de la fertilidad del suelo y la acidez. Los análisis químicos establecieron que estas zonas agrícolas presentan fertilidad moderada a baja y tendencia a la acidez por la disminución continua del pH y presencia de Al y Fe en concentraciones medias a elevadas, lo que permite afirmar que en estas zonas tienen alta tendencia a la degradación porque no se están desarrollando planes de manejo integrado de nutrientes continuos para mejorar la calidad de los suelos.

Palabras clave: Acidez, Análisis, Indicadores, Químicos, degradación.

-
1. Estudiante de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. monicagaspar1980@gmail.com. Biólogo. Trabajo presentado como requisito para obtener el título de Maestría.
 2. Juan Carlos Granobles Torres. Msc. Docente Investigador Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. jcgranobles@umanizales.edu.co.

"Evaluation of the changes in the fertility of the soils of the Ibagué plateau cultivated with rice (*Oryza sativa* L.) over time"

The study was carried out on intensively cultivated soils of *Oryza sativa* L. in areas surrounding the municipality of Ibagué within the area known as La meseta de Ibagué, department of Tolima. We interpreted 125 analyzes of soils made in the same rice areas during the period 2004 - 2016 to find significant differences in chemical indicators associated with fertility. Variables were evaluated as pH, % MO, CIC, P, Ca, Mg, K, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Na, B, S, % Al saturation, % Base saturation and ratio of interchangeable bases. The results were subjected to analysis of variance to verify changes in soil nutrients over time. Highly significant differences were found ($p < 0.001$) in the values of pH, P, CIC, Fe, % base saturation and significant differences in MO ($p = 0.0103$) and Al contents ($p = 0.00324$) as indicators of soil fertility and acidity. The chemical analyzes established that these agricultural areas have moderate to low fertility and tendency to acidity due to the continuous decrease in pH and the presence of Al and Fe in medium to high concentrations, which allows to affirm that in these zones they have a high tendency to degradation because integrated management plans of continuous nutrients are not being developed to improve the quality of the soils.

Key words: Acidity, Analysis, Indicators, Chemicals, degradation.

INTRODUCCION

El suelo como recurso natural constituye la base fundamental de la dinámica de los seres vivos ya que interviene en múltiples funciones como el ciclaje de nutrientes, reservorios de agua, hábitat de insectos y microorganismos que contribuyen a su continua transformación. *“La salud de los recursos del suelo y una correcta gestión de los mismos es vital, no sólo para el correcto funcionamiento de los ecosistemas, sino también para que los suelos desempeñen múltiples funciones en la mejora de la productividad biológica, soporte para el crecimiento de la cobertura vegetal, regulación y almacenamiento del flujo hídrico en el medio ambiente, atenuación de los efectos nocivos de los contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos”.* (Millares, I. 2006).

Atributos como la fertilidad permiten identificar en un suelo la capacidad para suministrar los nutrimentos esenciales para el crecimiento de los cultivos con el fin de obtener altos índices de calidad y productividad en las cosechas. *Para la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas*

de producción es necesario disponer de indicadores que permitan determinar la calidad ambiental, a largo plazo, que provocará el manejo (Doran y Parkin, 1994).

Actualmente, las áreas agrícolas están monitoreados por parámetros físicos, químicos o biológicos que permiten diagnosticar el estado de la superficie del suelo con el fin de mantener condiciones estables, *“así surgen los indicadores, pues las variables representan una condición y conllevan información sobre los cambios o tendencias”* (Dumanski *et al.*, 1998). La herramienta más útil para evaluar los cambios en las zonas agrícolas son los análisis de suelos ya que determinan cuantitativamente propiedades fisicoquímicas en forma periódica. Desde el punto de vista agronómico y medioambiental, los análisis de suelos determinan el grado de fertilidad por valoración de nutrimentos y a su vez permiten formular planes de mejoramiento de abonado para mejorar su productividad en lo posible con menores impactos contaminantes. *El análisis de suelos, es una importante herramienta que permite determinar la fertilidad de un suelo, en un momento determinado; referido esto a la disponibilidad de los principales macro y micronutrientes para las plantas y al nivel de acidez de este* (Montenegro, 2011).

Las propiedades químicas del suelo son importantes para evaluar el potencial de un suelo y por ende su capacidad de productividad agrícola. *“Por lo tanto, los análisis físico-químicos del suelo pueden suministrar información valiosa para clasificar los suelos en grupos afines, elaborar recomendaciones de fertilizantes y determinar el grado de afectación.”* (Nayarit., Seder., Sagarpa & Imta., 2010). *Las propiedades químicas del suelo pueden ser consideradas como posibles indicadores de su fertilidad* (Lal, 2008). Los indicadores químicos que permiten evaluar la fertilidad del suelo son el pH, Capacidad de Intercambio de Cationes, bases intercambiables, materia orgánica y la composición mineral.

El pH es uno de los indicadores más importantes ya que de él depende la disponibilidad de nutrimentos en cantidad suficiente y en relaciones equilibradas, en la agricultura el pH óptimo de los suelos se considera entre 6 y 7. La continua fertilización puede ocasionar variaciones en el pH y puede alterar la solubilidad de estos nutrimentos, generando a corto plazo excesos o deficiencias que alteran del desarrollo de las plantas. Los suelos se consideran ácidos cuando los valores de pH están por debajo de 6,5; neutros en valores de pH que oscilan entre 6,6 y 7,5 y básicos con valores de pH por encima de 7,5. *La mayor solubilidad de gran parte de los nutrientes se encuentra entre un pH de 5,5 a 7, suelos con pH excesivamente ácidos presentan poca disponibilidad de nutrientes como fósforo, calcio, magnesio, potasio y molibdeno y aumentan la solubilización de zinc, cobre, hierro, manganeso y aluminio, que en función al manejo de suelo y fertilizantes aplicados pueden alcanzar niveles tóxicos para las plantas.* (Moriya, K. 2016), *en Colombia, los suelos ácidos ocupan más del 80% del territorio* (Zapata, R. 2004).

El contenido de materia orgánica de un suelo depende del tipo de material vegetal, textura y pH del suelo, en niveles ideales contribuye a la estructura, aireación, capacidad de retención de agua y actúa como barrera protectora además *“aumenta la capacidad total de cambio favoreciendo una buena reserva de elementos nutritivos”* (Condori, M. 2016). *“La materia orgánica del suelo contiene cerca del 5% de N total, pero también contiene otros elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes”* (Anónimo, 1988; Graetz, 1997). A nivel de fertilidad, niveles óptimos de materia orgánica en el suelo favorece la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C), que le permite al suelo retener e intercambiar nutrientes además cumple una función buffer o tampón frente al suministro de sustancias básicas o ácidas que permitan mantener el pH constante del suelo cuando se realizan actividades de enclavamiento para mejorar las condiciones de cultivo. La capacidad de Intercambio catiónico (C.I.C.) y el porcentaje de saturación de bases se consideran indicadores de fertilidad, ya que en rangos o valores altos indican su alta capacidad de suministro de nutrientes, *“lo ideal es que el porcentaje de saturación de bases de un suelo sea mayor de 50%”* (Blanco, J. 2003). Adicionalmente, dentro de los criterios de sostenibilidad de un suelo se considera que, *“el manejo integrado de nutrientes implica criterios de enmiendas de origen orgánico e inorgánico a los cultivos y el uso de fertilizantes en forma eficiente en dosis, época de aplicación y fuentes influye directamente en función la fertilidad”* (Castilla., L. 2002).

Con el paso de los años la calidad del suelo va en detrimento como resultado de la sobreexplotación agrícola intensiva en las que las malas prácticas manejo del suelo que afecta directamente a la pérdida de nutrimentos necesarios para la adecuación de cultivos pancoger, *“la degradación del suelo afecta los contenidos de nutrientes, materia orgánica y destruye su estructura”* (Buschiazzo et al. 2009.; Castro, C. et al. 2010.; Sánchez, S. et al. 2011). Adicionalmente el uso de fertilizantes de síntesis química como los de origen fosfatado y nitrogenado al ser aplicados en cantidades considerables tienden a cambiar la el pH del suelo, tal como lo referencia Liebig et al., (2002). La aplicación frecuente de fertilizantes también contribuye a la disminución de pH en el suelo.

El cultivo de arroz en el departamento del Tolima se siembra por inundación ya que crece mejor bajo estas condiciones y *“proporciona al cultivo un buen suministro de agua, controla las malezas y mejora algunas características químicas del suelo”* (CIAT, et al., 2001). El arroz es ligeramente tolerante a la acidez y *“el nivel óptimo es 6.6, pues con este valor la liberación microbiana de nitrógeno y fósforo de la materia orgánica, y la disponibilidad de fósforo son altas y además las concentraciones de sustancias que interfieren la absorción de nutrientes, tales como aluminio, manganeso, hierro, dióxido de carbono y ácidos orgánicos están por debajo del nivel tóxico”*. (Franquet, J.M. 2004). Además este sistema de siembra favorece la disponibilidad de otros elementos, *“como el Ca, K, Mg y S aumentan su contenido con la inundación y aumentan las*

concentraciones de elementos menores como el Fe, Mn, y disminuye el Cu. (Bejarano, M. 2000) mientras que *“el comportamiento del Boro no es afectado por la inundación del suelo”* (Estrella H. Quintero, 2003). Adicionalmente este cultivo requiere aportes importantes de nutrimentos esenciales para la germinación, floración y cosecha. Según Mogollón (2006), *“los principales nutrientes que el arroz requiere para su normal desarrollo son nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y magnesio (Mg)”*.

Una de las zonas del Tolima de más alta productividad con condiciones favorables del clima y amplias planicies es la zona conocida como *“La Meseta de Ibagué”*, *denominación de uso extendido en la literatura geológica de Colombia*, son suelos fértiles por el alto contenido mineral derivado de la actividad volcánica de la zona y *“generalmente saturados con contenidos medios a altos de Potasio, Calcio y Magnesio”* (Castilla., L. 2000). En los últimos años estos suelos han trascendido de actividades ganaderas a suelos agrícolas en especial cultivos de arroz a gran escala, se estima que de 25.000 ha totales de estas llanuras bañadas por los ríos Combeima y Alvarado cerca del 60% de su extensión, (aprox. 15000 ha.) de los suelos están destinados a la producción de este cereal.

La producción intensiva de arroz (*Oryza sativa* L.) genera serios problemas ambientales en el suelo por el uso excesivo de agroquímicos que contaminan el agua y alteran la composición química como también la adecuación de tecnologías que alteran la estructura física del suelo y conllevan a largo plazo a la pérdida de su capacidad productiva en estos suelos agrícolas. *El uso de prácticas inadecuadas en el cultivo del arroz, puede provocar efectos negativos sobre el medio ambiente, como la erosión y contaminación del suelo, la pérdida y degradación del ecosistema y la contaminación de las aguas a causa del uso de agroquímicos, son algunos de ellos* (Piedra, L. et al., 2017). En los últimos años la sostenibilidad de los monocultivos pertenecientes a esta región del Tolima está en riesgo, ya que la continua extracción de cosechas, fertilización química intensiva, alta mecanización y la poca o nula rotación de cultivos inducen a la pérdida de contenidos materia orgánica en forma acelerada, *“la labranza continua causa una disminución en la MOS”* (Dalal y Mayer, 1986; Doran, 1987) y por ende disminuye la fertilidad.

El manejo inadecuado de los agroecosistemas con fines de producir alimentos y productos para la sociedad, ha originado en mayor o menor medida cambios y deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, con el consiguiente efecto de disminución sobre la productividad y la producción en general (Lal 2000). Estudios similares se han realizado con respecto a los cambios en las condiciones de los suelos a través del tiempo, como en el caso de la investigación *“Monitoreo de cambios en la fertilidad de suelos por medio de análisis de laboratorio”* en Panamá en el año 2012, se tuvo en cuenta análisis químicos de suelos realizados por 21 años en zonas azucareras de la misma región, teniendo en cuenta indicadores que permitan valorar la pérdida de

su capacidad productiva a través del tiempo como por ejemplo, *el pH del suelo, disminución del contenido de nutrimentos, pérdida de materia orgánica, incremento en la acidificación, aumento en la conductividad eléctrica, disminución en la capacidad de retención de humedad, vulnerabilidad a la erosión, formación de costras en la superficie del suelo, compactación, pérdida de la estructura, etc.* (Sicard, 2001).

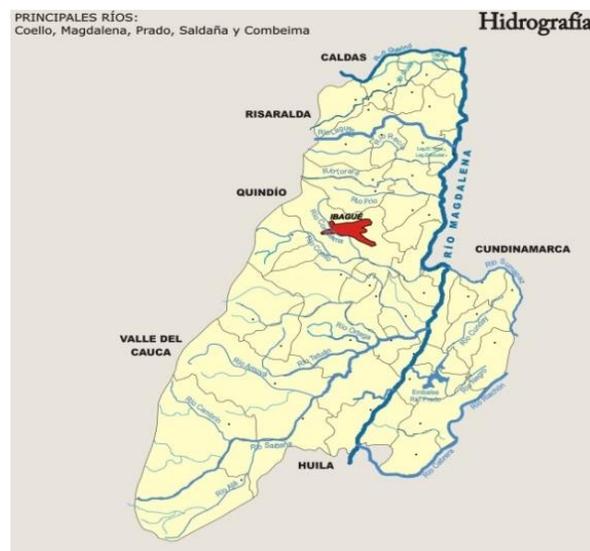
En el presente estudio se pretende evaluar los cambios en las condiciones de fertilidad de suelos cultivados con arroz (*Oryza sativa* L.) establecidos en la meseta de Ibagué, a través del tiempo tomando como fuente de investigación análisis químicos de suelos realizados en esta zona de manera continua entre los años 2004 a 2016.

METODOLOGIA

Localización

El estudio se realizó en zonas aledañas al municipio del Ibagué en el área conocida como La meseta de Ibagué, perteneciente a la zona centro del departamento del Tolima, éste territorio forma parte de una derivación de la cordillera Central y ocupa una extensión aproximada de 35 mil hectáreas, según Etherington (1942) y Barrero (1969), *es una formación geológica que constituye el subsuelo de la meseta conocido como “Cono o Abanico aluvial de Ibagué”*. En el costado occidental, se encuentra la zona urbana de la ciudad de Ibagué, capital del Departamento ver figura 1. A nivel geológico, los suelos de esta pertenecen al grupo de los Andisoles, es decir, derivados de ceniza volcánica.

Figura 1. Localización de la zona de Estudio dentro del mapa del departamento del Tolima



Fuente: Sociedad Geográfica de Colombia.
Atlas de Colombia, IGAC. 2002

La meseta o abanico aluvial de Ibagué, hace parte de los municipios de Ibagué, Alvarado y Piedras. El relieve de la zona es de topografía plana, con ligeras inclinaciones, moderadas ondulaciones y suelos de textura media a gruesas, correspondientes a los grupos: Franco Arcillosas y Franco Arcillo Arenosas.

Esta investigación se realizó a partir de análisis químicos de suelos realizados en las mismas zonas arroceras aledañas al municipio de Ibagué desde año 2004 hasta el año 2016, con el fin de evaluar los cambios en las condiciones de fertilidad en estos suelos a través del tiempo. En la Tabla 1, se relacionan las variables químicas de calidad del suelo consideradas en el estudio, como patrón de referencia para determinar el tipo de indicadores de calidad de estos suelos de acuerdo a su grado de significancia.

Tabla 1. Propiedades químicas y atributos preseleccionados para evaluar la calidad de suelos

Propiedad /atributo	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
Propiedades Químicas		
pH	Define la acidez o alcalinidad y la actividad biológica.	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana.
Materia orgánica	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	% de C
P, K, Ca y Mg disponibles – Oligoelementos (Fe, Mn, Zn, Cu, B y S) y CIC.	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental	%, mg/kg y meq. /100 g.
Saturación de bases	Evalúa la acidez, disponibilidad de nutrientes y fertilidad.	% Ca, Mg y K
Saturación de Aluminio	Toxicidad en las plantas; reduce el % de saturación de bases.	% Al

Fuente: modificado de Doran J.; Parkin T., 1994.

Determinación de parámetros químicos del suelo

En este trabajo se tuvo en cuenta indicadores químicos que fueron obtenidos por diversos análisis de laboratorio como se describe en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades químicas y métodos de análisis de suelos en el laboratorio.

Propiedad /atributo	Metodología / Técnica	Unidades de medida
pH	Potenciometría	
Aluminio en el Suelo	Cloruro de potasio 1M7 Volumetría	meq/100 g suelo
Materia orgánica	Walkley Black / Volumetría	%
Determinación de Fósforo	Bray II; Olsen modificado/ Colorimetría	mg/kg
Determinación bases intercambiables (K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y Na⁺)	Acetato de amonio 1 M/ Absorción atómica	meq/100 g suelo
Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)	Suma de Cationes	meq/100 g suelo
Determinación de Azufre	Turbidimetría/ Fosfato monocálcico 0,008F	mg/kg
Boro	Agua caliente/Colorimetría	mg/kg
Elementos menores (Fe, Mn, Cu y Zn)	Olsen/EDTA, absorción atómica	mg/kg

Fuente: Laboratorio de suelos. Universidad del Magdalena, sf.

Evaluación de indicadores para determinar la fertilidad del suelo

Para el análisis de la información se elaboró una tabla de niveles críticos para la interpretación de los resultados químicos de suelos, teniendo en cuenta parámetros para el cultivo de arroz (**Tabla 3**), para esta investigación se tuvo en cuenta 125 muestras de análisis de suelos realizados en sectores arroceros aledaños a Ibagué en la sur de la meseta de Ibagué, suministrados por el laboratorio de suelos de la universidad del Tolima “LASEREX”. Se tabularon los datos en el programa Excel y se realizó el análisis estadístico empleando S.A.S (Statistical Analysis System v. 9.0) y comparación de medias a través de la prueba múltiple de DUNCAN al 5%.

Tabla 3. Niveles críticos para las variables químicas en el cultivo de arroz, modificado de ICA (1992), quinta aproximación y Fedearroz (2001).

Limitación	pH	M.O	C.I.C	P	K	Ca	Mg	Al	Sat. Al
	Unidades	%	meq./100 g.	mg/kg	meq./100 g.	meq./100 g.	meq./100 g.	meq./100g	%
Bajo	<6,0	<1,4	<10	<10	<0,20	<3	<1,5	<0,25	≤3,09
Medio	6,0 – 6,5	1,5 – 3,0	10 – 20	10 – 20	0,20 – 0,40	3-6	1,5 – 2,5	0,26 – 0,50	3,10 – 6,09
Alto	> 6,5	>3	>20	> 20	>0,40	>6	>2,5	>0,51	>6,10

Limitación	Fe	Mn	Zn	Cu	B	S	Sat. Bas	Ca/Mg	Ca+Mg/K	Mg/K
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	meq./100 g.	meq./100 g.	meq./100 g.
Bajo	<25	<5	<1,5	<1,0	<0,20	<10	<50	≤1	10,1 – 40	<1,0
Medio	25-50	5-10	1,5 – 3,0	1,0 – 3,0	0,20 -0,40	10 – 20	50 – 90	1,1 -3,0	40,1 – 120	1 – 3
Alto	> 50	> 10	>3,0	> 3,0	> 0,40	>20	>90	>3,0	>120	3 – 18

Fuente: Gaspar F., M.L. 2019

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en los análisis de suelos demostraron cambios en las propiedades químicas de los suelos de la meseta de Ibagué, la **Figura 2** muestra el comportamiento de variables pH y concentración de Al como indicadores asociados a la acidez. El elemento Aluminio presentó diferencias significativas ($p= 0,0324$), entre el año 2006 al 2011 se registraron en forma continua concentraciones mínimas de este elemento, con el valor más alto de concentración en el año 2011 (0,20 meq. /100 g.), según Castilla (2002), los suelos del Tolima contienen niveles de Aluminio (Al) en una proporción promedio 3%.

Según Fassbender, H.; Bornemisza, E. (1994), El pH, es un buen indicador de la acidez. Los resultados demostraron diferencias altamente significativas a través del tiempo ($p \leq 0,0001$), es decir, existen cambios en el pH con registro del valor más bajo en el año 2011 (pH=5,6) y el valor más alto en el año 2004 (pH=6,7), estos resultados concuerdan con la investigación realizada por Castilla, L.A. “Efectos de diferentes fuentes de materia orgánica sobre el rendimiento de la variedad Fedearroz 50 en la meseta de Ibagué” en el año 1999, con un registro más alto de pH de de 6,7.

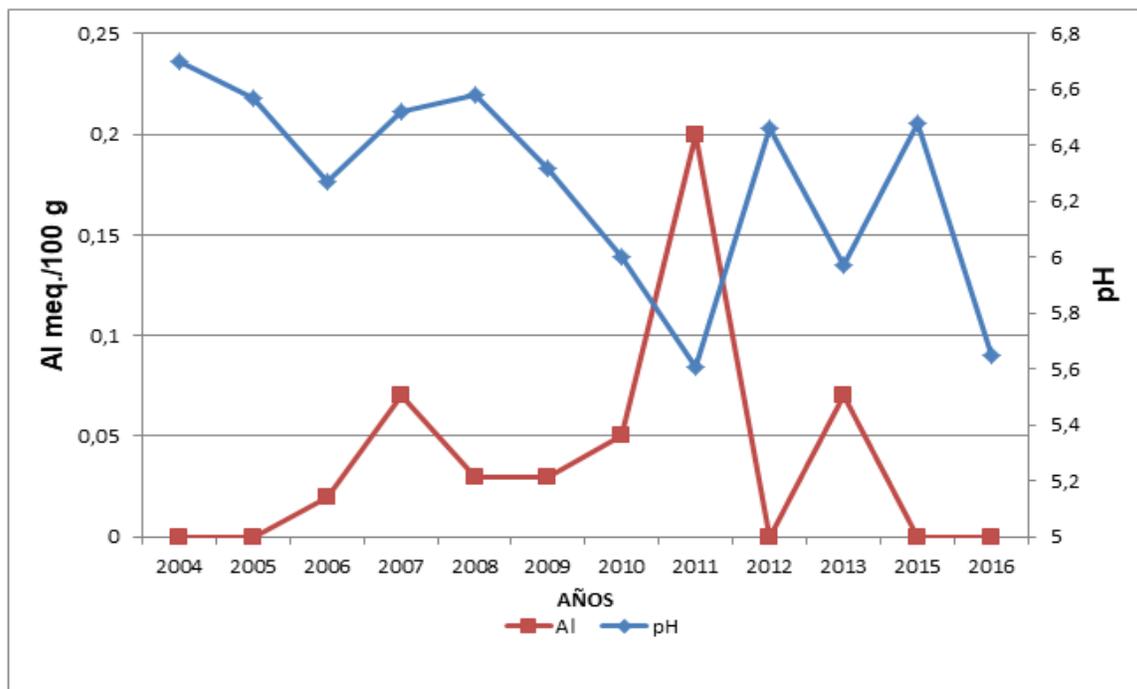


Figura 2. Acidez en cultivos de arroz (*Oryza sativa*) en la meseta de Ibagué. Departamento del Tolima. **Fuente:** Gaspar F., M.L. 2019

En este estudio, se encontraron concentraciones bajas de Al con un ligero incremento en algunos años en relación al descenso del pH, como ocurrió en el año 2011 donde el pH registró el valor más bajo y el nivel más alto de concentración de Al, lo que permite afirmar que cantidades mínimas de este elemento influyen en la acidez de estos suelos, lo que concuerda con lo descrito por Bohn et al. (1993), *el Al presente en el suelo depende directamente del pH, es así que a un pH bajo predomina el Al³⁺*, un factor que también altera la acidez es la adición de fertilizantes de síntesis química de origen nitrogenado en forma continua, según Castellanos (2014), los fertilizantes nitrogenados que contienen o forman amonio (NH₄⁺) incrementan la acidez del suelo, el amonio (NH₄⁺) se transforma en nitrato (NO₃⁻) gracias a la acción biológica y libera hidrógeno que acidifica el suelo.

Adicionalmente, un factor que puede generar cambios en el comportamiento del pH es el enclamiento y las condiciones de inundación en las que se siembran estos cultivos, *“sin embargo, se debe resaltar que el objetivo principal del enclado no es elevar el pH sino conseguir la mayor disminución de la concentración del aluminio tóxico, para lograr niveles tolerables por las plantas”* (Valerio & Molina, 2012). Los resultados presentaron tendencias a la neutralidad como en el caso del año 2004 con un pH de 6,7. Según los autores *“condiciones de inundación modifican el pH hacia la neutralidad, siendo los suelos más apropiados para el cultivo de arroz aquellos que*

presenten valores de pH entre 5 y 7" (CIAT, et al., 2001), en el departamento del Tolima los cultivos de arroz se encuentran dentro de "los rangos de tolerancia pH 5,6 a 6,4" (ICA, 1992).

En la **Figura 3**, se relacionan los contenidos de materia orgánica y la cantidad de Fósforo. Los contenidos de MO presentaron diferencias significativas en este estudio con un valor $p= 0,0103$, se registró el valor más bajo en el año 2005 (0,82%) y el valor más alto en el año 2007 (1,98%), la materia orgánica es un indicador de la fertilidad, de acuerdo a los resultados, los suelos a nivel general de esta zona presentan una fertilidad baja a moderada ya que en promedio la mayoría de los resultados registran valores % MO <1,4 y muy pocos valores intermedio (1,5% - 3,0%). Según Castilla (2002), las zonas arroceras de la meseta de Ibagué presentan promedios bajos de MO (1,4%). La baja cantidad de MO en estos suelos arroceros está relacionada con su continua explotación, Rovira (2001) afirma que, los sistemas agrícolas intensivos llevaron a una reducción de la materia orgánica debido sobre todo a la labranza y al uso de pesticidas y según Sánchez et al. (2011) la menor acumulación de MO se registró en la superficie de suelos utilizados con arroz.

El elemento Fósforo también presentó diferencias altamente significativas ($p= 0,0003$), con niveles altos en el año 2016 (60,25mg/kg) y el valor más bajo en el año 2008 (13,42 mg/kg), lo que indica cambios en su concentración durante los años 2004 al 2016. Se ha descrito que al incrementar la MO en el suelo se incrementa la concentración de P en los suelos (Castilla, L. 2002), en los suelos analizados a pesar que hay niveles bajos de MO las concentraciones de P tienen registros altos (>20 mg/kg) , esto es debido a la influencia del pH, según Sharpley (2000), el pH es el factor más importante en la regulación del P disponible en el suelo y su disponibilidad óptima es de pH 6-7, en este estudio el pH se encontró en la mayoría de resultados es este rango de pH óptimo, con descensos en el pH desde el año 2007 hasta el año 2011 .

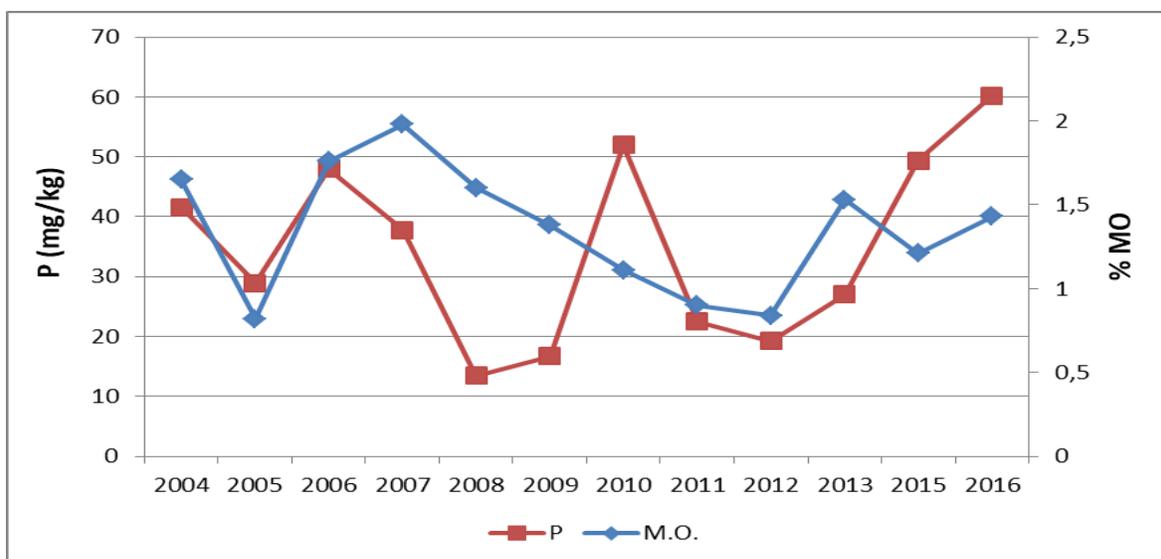


Figura 3 Contenidos de Materia Orgánica y Fósforo en suelos con cultivos de arroz (*Oryza sativa*) en la meseta de Ibagué. Departamento del Tolima. **Fuente:** Gaspar F.,M.L. 2019

La **Figura 4** describe la relación entre los contenidos de M.O y pH. Los suelos de esta zona presentan contenidos de MO en niveles bajos (<2,0%) en la mayoría del tiempo evaluado y rangos de pH neutros con alta tendencia a ligeramente ácidos (pH< 6,6), estos resultados se deben a la relación existente entre la materia orgánica y el pH del suelo, debido a que la materia orgánica cumple una función reguladora sobre el pH del suelo, según Martínez et, al. (2008), la MOS tiende a aumentar el pH cuando el suelo es ácido, como ocurrió en los años 2006 al 2008 y 2013 al 2016 se registró un aumento de la MOS favoreció el aumento del pH en estos suelos. Además se puede apreciar que a partir del año 2008 al 2011 existe una relación paralela entre el contenido de materia orgánica y el pH del suelo que indica, que no existió o no se desarrolló planes de manejo con el fin de favorecer la materia orgánica del suelo.

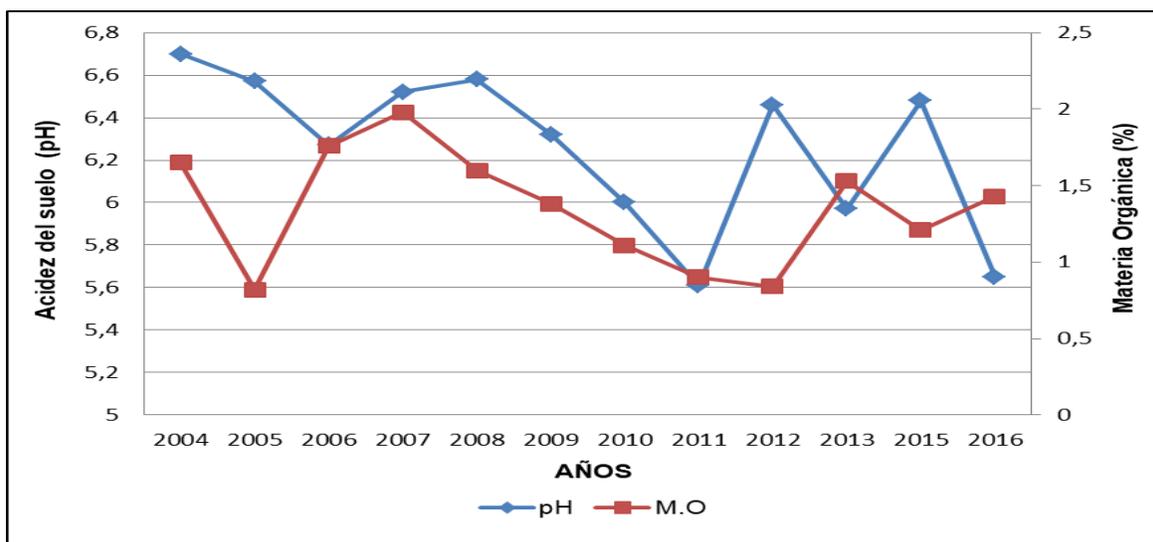


Figura 4. Variaciones del pH y contenidos de Materia Orgánica en suelos arroceros de la meseta de Ibagué. Departamento del Tolima. **Fuente:** Gaspar F.,M.L. 2019

La **Tabla 4** en la relación de los parámetros Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.), contenidos de bases intercambiables (Ca^{++} y Mg^{++}) y % de saturación de bases en los suelos arroceros de la meseta de Ibagué, se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0,0001$). La C.I.C. tuvo el valor más alto en el año 2016 (19,75 meq./100 g.) y el valor más bajo en el año 2007 (8,41 meq./100 g.), con respecto al Ca^{++} tuvo el valor más alto en el año 2008 (9,36 meq./100 g.) y el valor más bajo en el año 2012 (3,01 meq./100 g.) mientras que el % sat. bases tuvo el valor más bajo en el año 2016 (46,35%) y el valor más alto en el año 2007 (178,85%).

A nivel general la C.I.C registró niveles de concentración media durante el presente estudio, se ha descrito que esta variable favorece el cultivo de arroz, ya que “al incrementar el pH por efecto de riego continuo o inundación se favorece la retención de cationes Ca^{++} , Mg y K^{+} ” (CIAT, et al.,2001). Otros autores afirman que la MO tiene un efecto sobre las propiedades químicas del suelo, ya que “aumenta la capacidad de cambio del suelo” (Julca., A. et al. 2006). La C.I.C. Según Evans et al. (1995), un incremento de pH provoca un incremento de la adsorción y retención de cationes, con

un máximo en torno a la neutralidad, de acuerdo a los resultados, el pH y la cantidad de MOS elevaron la C.I.C a niveles moderados, lo que favoreció la concentración de Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y K⁺ en concentraciones intermedias. (Ver tabla 3).

Tabla 4 Capacidad de Intercambio Catiónico y bases en suelos con cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.) en la meseta de Ibagué. Departamento del Tolima.

Fuente de Variación	Categoría	Capacidad de Intercambio Catiónico y bases			
		C.I.C. meq./100g	Ca meq./100g	Mg meq./100g	K meq./100g
Años	2004	14,23 bcd	7,92 abc	3,08 abc	0,34 a
	2005	16,14 abc	8,20 abc	2,99 abc	0,27 a
	2006	11,63 de	8,13 abc	3,04 abc	0,31 a
	2007	8,41 e	8,63 ab	3,73 a	0,22 a
	2008	12,38 cde	9,36 a	2,98 abc	1,40 a
	2009	14,34 bcd	5,41 cde	2,25 bc	0,20 a
	2010	15,43 bcd	5,04 cde	1,95 bc	0,17 a
	2011	12,14 cde	3,43 de	1,91 bc	0,33 a
	2012	9,31 e	3,01 e	1,65 c	0,17 a
	2013	15,00 bcd	6,77 abc	2,60 abc	0,54 a
	2015	18,38 ab	5,89 bcde	3,31 ab	0,32 a
2016	19,75 a	6,25 abcd	2,28 bc	0,39 a	
Significancia años	=	<0,0001 **	<0,0001 **	0,0021 **	0,6144 NS
R²	=	0,4186	0,3660	0,2252	0,0762
S_{n-1}	=	3,5858	2,6886	1,1928	1,2688
CV	=	26,7%	40,4%	44,7%	338,4%

Fuente: Gaspar F., M.L. 2019

Al realizar una comparación entre el porcentaje de saturación de bases y los contenidos de materia orgánica como se observa en la **Figura 5**, se encontró que ambas variables se relacionan directamente, es decir, al reducir los contenidos de MO se reduce los porcentajes de saturación de bases, se ha descrito “cuanto mayor sea el grado de saturación más posibilidades tiene el suelo para retener cationes” (Garrido, 1993).

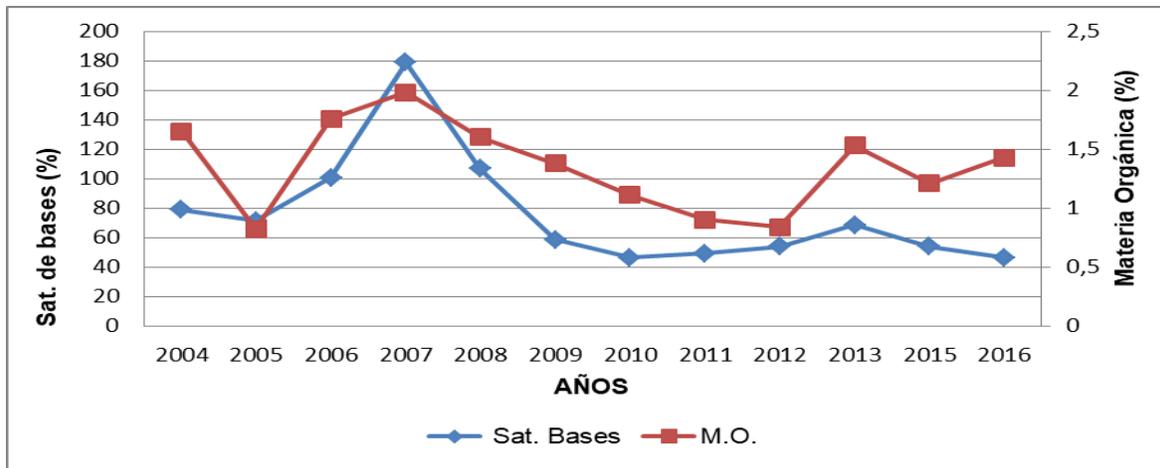


Figura 5 Porcentaje de bases y Materia Orgánica en suelos arroceros de la meseta de Ibagué. Departamento del Tolima. **Fuente:** Gaspar F.,M.L. 2019

En la **Tabla 5** se relacionan los contenidos de micronutrientes, con valores altamente significativos ($p < 0,01$) para los elementos Fe, Cu, Mn, B y significativos para los elementos Zn ($p = 0,0410$) y S ($p = 0,0437$), lo que evidencia cambios en la disponibilidad de estos nutrimentos a través del tiempo. Para el elemento Fe, el valor más bajo se registró en el año 2016 con 7,08 mg/kg en y el valor más alto en el año 2007 con 73 mg/kg, que al ser comparados con la **Tabla 3** se consideran en escalas medias a altas de concentración en estos suelos, “en suelos ácidos inundados, la concentración del ión ferroso (Fe^{++}) aumenta con la profundidad, alcanzando altas concentraciones en la solución del suelo” (CIAT, 1981). Según Castilla (2002) el incremento en la acidez del suelo promueve la presencia de los elementos Fe^{+3} y Al^{+3} , lo que concuerda con los resultados de pH que al presentar valores ligeramente ácidos (pH entre 6,1 a 6.5) aumenta la concentración de Fe en estos suelos.

En este estudio, el Cu registró diferencias altamente significativas ($p = 0.0011$) con alta tendencia a bajas concentraciones entre los años 2007 al 2013 ($< 1,0$ mg/kg), época en la que no se aplicó o no se desarrolló planes para MO en estos suelos, se ha descrito, que “la MO es fuente al algunos elementos menores como el Boro y el Cobre” (Blanco, J. 2003), es posible que las condiciones de inundación “disminuye la concentración de Cu” (Bejarano, M. 2000) y los bajos contenidos de MO reflejan la poca concentración de este elemento “La meseta de Ibagué” y el Boro registró valores medios a altos entre 20 y 40 mg/k, ya que este no se afecta bajo estas condiciones de cultivo.

En cuanto a los contenidos de Manganeso en los años 2004 a 2015 fueron relativamente altos (>10 mg/kg), según Castilla (2002) al disminuir el pH aumenta la concentración de Mn^{+2} , como en el año 2011 se registró el nivel más bajo de pH (5,61) y uno de los niveles más alto de Mn^{+2} (37,73 mg/kg), con respecto al Zn se encontraron diferencias significativas ($p = 0,0410$) lo que indica que la concentración de este micronutriente en los suelos se encuentra en rangos medios a altos (1,5 a 3 mg/kg). Según la literatura “La práctica agrícola de fertilización exhaustiva con sales de zinc ha

mejorado el rendimiento de los cultivos; sin embargo, la aplicación constante de grandes cantidades de zinc pueden elevar sus contenidos en el suelo” (Amezcuca, J. y Lara, M. 2017), en estas zonas es común los canales de riego en el que la calidad del agua proviene de afluentes que atraviesan el casco urbano de Ibagué.

A nivel general “los valores de pH del suelo de 5.0-6.5, la mayor parte de los nutrientes suelen estar en forma de especies químicas directamente asimilables para la mayor parte de las plantas” (Ibañez, 2019), en este estudio el pH a lo largo del tiempo en la mayoría de los resultados estuvo en escalas aceptables para la disponibilidad de estos elementos.

Tabla 5 Contenido de micronutrientes en suelos asociados a cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.) en la meseta de Ibagué. Departamento del Tolima”.

Fuente de Variación	Categoría	Contenido de micronutrientes					
		Fe mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	B mg/kg	S mg/kg
Años	2004	64,40 ab	1,18 abc	5,78 a	60,33 a	0,25 de	55,85 a
	2005	57,80 abc	1,78 a	4,65 ab	60,84 a	0,33 bcde	30,65 a
	2006	54,40 abc	1,39 ab	4,04 ab	35,91 b	0,35 bcde	44,84 a
	2007	73,00 a	0,30 bc	1,67 b	37,53 b	0,16 e	32,83 a
	2008	40,05 bcd	0,18 c	2,43 ab	27,78 bcd	0,30 cde	49,49 a
	2009	42,47 bcd	0,97 abc	2,87 ab	34,38 bc	0,24 de	15,30 a
	2010	21,17 de	0,42 bc	1,13 b	13,06 cd	0,73 a	38,97 a
	2011	37,14 cd	0,66 bc	2,77 ab	37,73 b	0,50 abcd	60,60 a
	2012	43,63 bcd	0,44 bc	2,43 ab	38,13 b	0,59 abc	55,75 a
	2013	55,33 abc	0,87 abc	4,47 ab	26,40 bcd	0,63 ab	58,67 a
	2015	36,00 cd	1,19 abc	3,53 ab	34,06 bc	0,61 ab	61,00 a
2016	7,08 e	0,73 abc	1,98 b	8,83 d	0,53 abcd	45,00 a	
Significancia años	=	<0,0001 **	0,0011 **	0,0410 *	<0,0001 **	<0,0001 **	0,6437 NS
R ²	=	0,3739	0,2382	0,1628	0,3492	0,3345	0,0744
S _{n-1}	=	21,51	0,9250	2,9607	19,1007	0,2691	53,1751
CV	=	47,6%	107,6 %	98,6%	55,4%	66,5%	127,8%

Fuente: Gaspar F., M.L. 2019

Para evaluar la acidez en los suelos de la meseta de Ibagué, también se relacionaron los contenidos de bases intercambiables Ca/Mg, (Ca+Mg)/K y Mg/K, los resultaron se agruparon en la **Tabla 6**, la relación Ca/Mg presentó diferencias altamente significativas ($p = 0,0032$), con el valor más alto en el año 2008 (3,58%) y el valor más bajo en el año 2015 (1,83%), la relación de entre las bases (Ca+Mg)/K presentó diferencias significativas ($p = 0,0139$), con el valor más alto en el año 2008 (82,43%) y el valor más bajo en el año 2011 (18,47%)., mientras que la relación Mg/K no registró diferencias significativas.

Tabla 6 Relación de bases en suelos asociados a cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.) en la meseta de Ibagué. Departamento del Tolima.

Fuente de Variación	Categoría	Relación de bases		
		Ca/Mg meq. /100 g	(Ca+Mg)/K meq. /100 g	Mg/K meq. /100 g
Años	2004	2,65 ab	36,87 abc	10,42 ab
	2005	2,82 ab	45,21 abc	11,70 ab
	2006	2,93 ab	62,25 abc	17,31 ab
	2007	2,33 b	70,12 ab	21,27 ab
	2008	3,58 a	82,43 a	21,92 a
	2009	2,83 ab	48,32 abc	13,57 ab
	2010	2,65 ab	42,51 abc	11,71 ab
	2011	1,86 b	18,47 c	6,53 ab
	2012	1,86 b	29,60 bc	10,41 ab
	2013	2,73 ab	23,43 bc	6,00 b
	2015	1,83 b	37,24 abc	13,57 ab
	2016	2,85 ab	22,68 c	5,90 b
Significancia años	=	0,0032 **	0,0139 *	0,1560 NS
R²	=	0,2173	0,1873	0,1276
S_{n-1}	=	0,9714	39,1420	12,9847
CV	=	36,6 %	79,4 %	92,0 %

Fuente: Gaspar F.,M.L. 2019

En el caso de los suelos de la meseta de Ibagué, los contenidos bajos de MO y pH en los rangos de 6 a 7 en promedio aumentan la retención de los iones Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, Según Bohn et al. (2001) el incremento el pH del suelo aumenta la preferencia de por los iones polivalentes en contra de los monovalentes, como en el caso de K⁺ que no registró concentraciones tan altas a diferencia de los elementos Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺.

En todo el estudio los coeficientes de variación presentaron valores muy altos (>30) en los resultados, a pesar de que los análisis químicos de suelos se realizaron en una misma zona durante años continuos se evidencia alta variabilidad en la concentración de un elemento en los análisis de suelos de un predio a otro, esto es debido a las diferentes prácticas de labranza, fertilización química, enclamiento, calidad del agua de riego, control de malezas y diversos factores ambientales que pueden alterar la disponibilidad de los elementos de una parcela a otra como también diferencias en la textura pueden cambiar el comportamiento de las propiedades químicas del suelo como no se tuvo en cuenta esta propiedad se recomienda no mezclar zonas con diferencias de textura ya que esto provoca variaciones en otros parámetros del suelo.

DIRECTRICES PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL SUELO

El deterioro del suelo es la consecuencia de la explotación continua para generar bienes y servicios necesarios para el sustento de la humanidad, el ritmo acelerado de la degradación de los suelos agrícolas es el resultado de prácticas inadecuadas como por ejemplo la continua fertilización química para incrementar la tasa productiva en cultivos como el arroz que cosecha tras cosecha conllevan con el paso de los años a la pérdida de nutrientes y por ende la disminución de la capacidad productiva. Ante el deterioro actual de los suelos, es indispensable adoptar principios

encaminados a la Gestión Sostenible del Suelo (GSS), con el fin de restaurar el impacto de los suelos degradados a partir de prácticas basadas en mejorar la calidad del suelo y su productividad.

En suelos con tendencia a la acidez como los descritos en este estudio, la FAO (2006) recomienda:

- ✓ Manejar dosis y periodos equilibrados de fertilizantes y enmiendas de origen orgánico.
- ✓ Incrementar la materia orgánica del suelo (a través de rotación de cultivos o suministro de materia orgánica en forma continua de origen animal o vegetal), con el fin de incrementar la fertilidad.
- ✓ Incrementar la fauna en el suelo ya que cumplen funciones reguladoras de muchos procesos del ecosistema como la conservación de la estructura, la aireación, el movimiento y retención de agua, el intercambio gaseoso y en las propiedades químicas y nutricionales del mismo y están involucrados en la conservación y ciclado de nutrientes.
- ✓ Monitorear los suelos de manera periódica a través de análisis fisicoquímicos.
- ✓ Supervisar periódicamente la calidad del agua de riego respecto a los nutrientes y las sustancias potencialmente nocivas.

CONCLUSIONES

- Las zonas arroceras del área sur de la meseta de Ibagué presentaron bajos contenidos de MO (<1,4%) en la mayoría de los resultados; pH promedio de 5,5 - 6,5, % sat. de bases intermedia (50-90%), CIC en concentraciones moderadas (10-20 meq /100 g suelo) lo que permite caracterizar a esta zona con fertilidad moderada a baja.
- La presencia de cationes ácidos como el H, Al, Fe y Mn, son el resultado de la pérdida de la MO del suelo y el uso inapropiado de fertilizantes nitrogenados, lo que incrementa la tendencia a la acidez de los suelos agrícolas de estas zonas arroceras.
- Los sistemas por inundación también son formas de enclavamiento para favorecer el pH a valores cercanos a la neutralidad e incrementar las concentraciones de los elementos P, Mg, K y S, en este estudio los resultados fueron favorables ya que estos elementos presentaron concentraciones en promedio moderado a alto.
- La baja concentración de MO y la siembra por inundación afectaron las concentraciones del elemento Cu en estos suelos agrícolas.
- En este estudio se demostró entre los años 2008 a 2011 no existió o no se desarrolló planes de manejo con el fin de favorecer la materia orgánica del suelo lo que demuestra la pérdida de la calidad del suelo en este periodo de tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias a la contribución del Dr. Luis Oveimar Barbosa, director del Laboratorio en análisis químico "LASEREX" de la universidad del Tolima y el coordinador Edgar Villanueva, quienes suministraron los análisis de suelos para realizar esta investigación.

REFERENCIAS

Amezcuca J. y Larra, M. (Julio-Setiembre de 2017). El zinc en las plantas. Revista Ciencia. 68(3). pp 32. Recuperado de:
https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/68_3_zinc_plantas.pdf

Anónimo, 1988. *Manual de fertilidad de suelos*. Potash & PHosphHate Institute. Georgia. USA, 85 p.

Bejarano, M. Y. 2000. Respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de Silicio en el departamento de Casanare. (Tesis de pregrado). Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y ambientales. Santafé de Bogotá.

Bhon, H., Mc Neal, B. y G. O'Connor. 1993. Química del suelo. Limusa, S.A. México. 370p.

Blanco, J. (2003). *Manejo Integral de Suelos con énfasis en el cultivo de arroz*. Cúcuta. Norte de Santander. Colombia. Recuperado de:
<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4185/1/Manejo%20del%20suelos%20para%20arroz.pdf>

Bohn, H. L.; Mcneal, B.L.; O'Connor, G. A. 2001. Soil Chemistry. Tercera edición. John Wiley & Sons, INC, New York. 307 p.

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.

Castellanos, J. Z. 2014. Acidez del Suelo y su Corrección. Hojas Técnicas de Fertilab, México. 4 p. Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo>.

Castilla, L. A. 2000. Factores que afectan la eficiencia de la fertilización en el cultivo del Arroz. En: *Fundamentos técnicos de los fertilizantes y la fertilización en el cultivo del Arroz*. Ibagué. Colombia.

Castilla, L.A. 2002. Manejo sostenible del suelo para la producción de arroz. pp. 35–78. En: FEDEARROZ. *Manejo integrado del cultivo de arroz en Colombia*, Ibagué.

Castro, H. (2010). *"Bases técnicas para el conocimiento y manejo de los suelos del Valle Cálido del Alto del Magdalena"*. Ibagué – Colombia. Corpoica.
Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?isbn=9589460003>

CIAT. 1981. Química de suelos inundados. Recuperado de:
https://books.google.com.co/books?id=z_wCLLZvAuQC

CIAT, ICA, FEDEARROZ & UNIVERSIDAD DEL TOLIMA. (2001). *Suelos y fertilización en el cultivo de arroz en Colombia*. Recuperado de:
http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2015/SB_191_R5_U58_Vol.4.pdf

Condori, M. (2016). "Estudio de niveles de Boro y Arsénico en suelo agrícola en el distrito de Cocachacra. Valle de tambo" (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú. Recuperado de: <https://docplayer.es/92810466-Universidad-nacional-de-san-agustin-de-arequipa-facultad-de-ciencias-naturales-y-formales-escuela-profesional-de-quimica.html>

Dalal RC, Mayer RJ (1986) Long-term trend in fertility on soil under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. I. Overall changes in soil properties and trends in winter cereal yields. *Aus. J. Soil Res.* 24: 265-279.

Doran, J.W., & Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. En J.W. Doran, D.C. Coleman, D.E. Bezdicek, & B.A. Stewart (eds.). *Defining soil quality for sustainable environment* (pp.3-21). Madison: Soil Science Society of América.

Dumanski, J. *et al.* Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank. Washington DC, USA. 1998

Etherington, Th. J., 1942. Distribución geográfica de la Formación Gualí (Pleistoceno) en una parte del valle del alto Magdalena. *Inst. Geol. Petr. Est. Técnico.* T 4: 3-9.

Evans, L.J., Spiers, G.A., Zhao, G., 1995. "Chemical aspects of heavy metal solubility with reference to sewage sludge amended soils". *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 59: 291-302.

Estrella, H. 2003. Los micronutrientes. Recuperado de: <https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/001/326/1/Tesis.pdf>

FAO.2006. Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos. Alianza Mundial por el Suelo. Roma. Italia. Pp.7-13. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i6874s.pdf>

Fassbender, H.; Bornemisza, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Tropical. IICA, Costa Rica. 418 p.

Franquet bernis, J.M. (2004). Variedades y mejoras del arroz (*Oryza sativa*, L.). Universidad internacional de cataluña, escuela universitaria de ciencias, experimentos y tecnología.

Garrido, S.(1993). "Interpretación de análisis de suelos". Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Getafe- Madrid (España). Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf

Graetz, H. A., 1997. *Suelos y Fertilización*. Traducido por: F. Luna Orozco. Trillas. México. 80 p.

Ibañez, J.J. (Abril 8 de 2019). Componentes, Estructuras y Procesos en los Suelos. Madrimasd blog. Recuperado de: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/category/componentes-estructuras-y-procesos-en-los-suelos>

ICA. 1992. *Fertilización en diferentes cultivos. Quinta aproximación*. Santa Fe de Bogotá – Colombia. Editorial Produmedios.

Julca, A., Meneses, L., Blas, R y Bello, S. (Abril 2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Rev. Idesia* 24(2). Chile. doi <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>

Lal, R.J. (2000) Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21st century. *Soil science.* 165:192-207

Lal, R. (2008). Carbon sequestration. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 63, 815-830.

Liebig, M.A., G.E. Varvel, J.W. Doran, y B.J. Wienhold. 2002. Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western corn belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:596-601

Miralles, I. (2006). *Calidad de Suelos en Ambientes Calizos Mediterráneos: Parque Natural de Sierra María -Los Vélez.* UNIVERSIDAD DE GRANADA.

Mogollón, J. (2006). *Una alternativa para disminuir los costos de producción de los cultivos de arroz en el municipio del Espinal Tolima.* (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle. Bogotá D.C. Colombia.

Montenegro, A. (2011). Muestreo de suelos para análisis de fertilidad (On line). Centro Regional de Investigación, Instituto de Investigación Agraria Carillanca. Vilcún, Chile. (15 Oct. 2011).

Moriya, M. (Septiembre 9 de 2016). El Encalado en la regulación de PH. Engormix. Recuperado de: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/encalado-de-suelos-t26571.htm>

Nayarit., Seder., *Sagarpa & Imta.* (2010.). Salinidad del Suelo. *Pp 40.*
Recuperado de: <https://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/indice/publicaciones-nayarit/FOLLETOS%20Y%20MANUALES/FOLLETOS%20IMTA%202009/folleto%206%20salinidaddel suelo.pdf>

Piedra C, L.; Ramírez M, F.; Luna M, S.; Araya V, A. 2017. Manual de buenas prácticas agrícolas y ambientales para el cultivo arroz en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado (RNVS Barra de Colorado), Costa Rica. Área de Conservación Tortuguero (ACTo)-Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC)-Proyecto para la Promoción del Manejo Participativo en la Conservación de la Biodiversidad (MAPCOBIO)-Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). Guápiles, Costa Rica. 35 p. Recuperado de:

Rovira P. 2001. Decomposition and stabilisation of organic matter in Mediterranean forest soils: quality, physical protection, and depth effects. Ph.D. Thesis, Universitat de Barcelona.

Sánchez, R.; Ramos, R.; Geissen, V.; Mendoza, J. D. De la cruz, E.; Salcedo, E.; Palma, D. 2011. Contenido de carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico mexicano. *Terra Latinoamericana.* 29(2):211 - 219.

Sharpley, A. 2000. Phosphorus availability. En: M.E. Sumner (ed.) *Handbook of Soil Science.* CRC Press. Boca Raton, EE.UU. D18-D38.

Sicard, TL. 2001. Relaciones agricultura-ambiente en la degradación de tierras en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 32 p

Valerio, J.; Molina, E. 2012. Evaluación de una fuente de enmienda líquida en el rendimiento de arroz en un Ultisol de la zona norte de Costa Rica. *Agr. Costarric.* 36(1):86-96.

Zapata Hernández, R. 2004. Química de la acidez del suelo. Cali, Colombia. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/1735/7/9583367125.7.pdf>