

Mapeo de la fertilidad de los suelos en el municipio de El Rama

Mapping of soil fertility in the municipality of El Rama

 Norman Javier Saballos ¹
norman.saballos@bicu.edu.ni

Kevin Omar Angulo ¹
kevinomar_angulo@yahoo.com

Macdiel Saúl Amador López ¹
amador21macdiel@gmail.com

Oscar Armando Sobalvarro Centeno ¹
oscar.sobalvarro.07@gmail.com

Engel José Villalta Castillo ¹
engelsjosev@gmail.com

Ronaldo González Reyes ¹
ronaldohonzalez@gmail.com

Fecha de Recepción: 29-07-2022

Fecha de Aprobación: 02-09-2022

RESUMEN

Una región que basa su economía en la agricultura debe poner especial atención a las investigaciones de suelo, con el objeto de tecnificar la agricultura. En este sentido, se realizó un estudio descriptivo para determinar la situación actual de los suelos del municipio de El Rama y mapear su fertilidad. Se realizó una caracterización física química y se determinó el nivel de fertilidad. Se visitaron 37 fincas en igual número de comunidades, donde se tomaron muestras de suelo. Los resultados muestran que los suelos se agrupan en la clase textural Arcillosa, los valores de Densidad aparente indican que no son suelos compactados, además presentan una reacción muy fuertemente ácida. Dado a las concentraciones de los elementos estudiados, y de acuerdo a la metodología indicada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se determinó que los suelos tienen un nivel de Baja fertilidad (3 a 5). Bajo las condiciones actuales de baja fertilidad, el nivel de acidez, los niveles de Materia orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónico, se concluye que

¹ Bluefields Indian & Caribbean University. Facultad de Ingeniería Agroforestal, El Rama, Nicaragua



la producción agropecuaria podría ser insostenible en el corto plazo. Lo que indica se debe trabajar con prácticas agronómicas para evitar el deterioro de los suelos y lograr una producción sostenible.

Palabras Clave: acidez de suelo, fertilidad, prácticas agronómicas, textura de suelo.

ABSTRACT

A region that bases its economy on agriculture must pay special attention to soil research, in order to make agriculture more technical. In this sense, a descriptive quantitative study was carried out to determine the current situation of the soils of the municipality of El Rama and map their fertility. A physical chemical characterization was carried out and the level of fertility was determined 37 farms were visited in the same number of communities, where soil samples were taken. The results show that the soils are grouped into the Clay textural class, the bulk density values indicate that they are not compacted soils, and also have a very strongly acid reaction. Given the concentrations of the elements studied, and according to the methodology indicated by the Agustín Codazzi Geographic Institute, it was determined that the soils have a Low level of fertility (3 to 5). Under the current conditions of low fertility, the level of acidity, the levels of Organic Matter, Cation Exchange Capacity, it is concluded that agricultural production could be unsustainable in the short term. What it indicates, it is necessary to work with agronomic practices to avoid soil deterioration and achieve sustainable production.

Keywords: Soil texture, Soil acidity, Fertility, agronomic practices.

AISANKA PRAHNIRA

Plis Kum ai pawanka nani plun mankaia ra sa piura kasak yamni sa laki kaikaia ai tasbaika ba, bapanka kau yamni daukaia. Naha natkara laki kaikan ulbanka natka kum ra, baku laki kaikaia Rama Putka bilara tasbaika ba baku sim ai tasbaika Yamni ka lilka laki kaikaia. Wih laki kaikan 37 insla Nanih sem tawan sirpi bilara tasbaika laki kaikan. Laki kaikan ba marikisa Rama Tasbaika ba Uba ahua brisa an li sip aitani kat luras, baku sim tasbaika marikisa uba suahni sa. Naha nani sut laki kaikan bara Instituto Geográfico Agustín Codazzi, nata ra wan ba naha tasbaikara kasak mayara sa plun mankaia dukia (3 a 5). Baha sut mihta marikisa plun sakia lainkara ai tani apia sa alitani brikaia. Baha Mihta Marikisa sins laka wartka tatakra nanih wal mihta wilkaia bara baku lika kapi yamni kaia.

Bila bak sakan Nani: Tasbaia Suahni, Yamni mamankra, sins laka mamankra, tasbaia prana.

Para citar este artículo (APA): Saballos, N. J., Angulo, K. O., Amador López, M. S., Sobalvarro Centeno, O. A., Villalta Castillo, E. J. y González Reyes, R. (2022). Mapeo de la fertilidad de los suelos en el municipio de El Rama. *Wani* (77), 39 -53. <https://doi.org/10.5377/wani.v38i77.14984>

INTRODUCCIÓN

Según Buckman y Brady (1966), «los suelos constituyen el medio natural en el que las plantas crecen, su verdadero nivel de vida está determinado, frecuentemente por la calidad y alto grado de fertilidad de sus suelos». A juicio de Cepeda (1991) el estudio de suelos tiene objetivos: uno, mostrar la distribución espacial de los suelos sobre un mapa, y dos, proveer información acerca de los suelos en el área mapeada, tecnificando la planificación del uso de la tierra.

De acuerdo con López y Zamora (2016), el diagnóstico de la fertilidad del suelo «ha estado restringido al análisis químico dirigido a predecir o pronosticar la respuesta de los cultivos a la fertilización», y a conocer algunas características físicas y químicas. En este contexto, Reyes (2010) realizó una caracterización física de los suelos del municipio de León, Nicaragua, determinando que las texturas predominantes eran franco arenoso (43%), franco arcilloso arenoso (43%) y los suelos franco arcillosos tan solo ocupaban un 14% del total de muestras. En suelos del Viejo, Chinandega, Munguía y Pacheco (2013) realizaron una evaluación del estado de fertilidad, cuyos resultados fueron que los suelos se encuentran moderadamente ácido con alto contenido de materia orgánica (5.64) y nitrógeno total (0.28), y que los contenidos de macronutrientes y micronutrientes se encuentran en los rangos óptimos a excepción del hierro que se encuentra por encima del rango normal (11-100 ppm).

La producción agropecuaria en el municipio de El Rama presenta diversos problemas, entre los que destacan la erosión, la pérdida de fertilidad de los suelos y la disminución de los rendimientos. Estos problemas son, en buena medida, el resultado de la presión excesiva sobre la tierra (Parra et al., 1993). El 68% de su población vive en condiciones de extrema pobreza (Instituto para el Desarrollo y la Democracia, 2010) y la tendencia es aprovechar un suelo cada vez menos productivo. Las principales actividades agrícolas giran alrededor de los granos básicos, con rendimientos marginales por hectárea (Alcaldía municipal El Rama, 2017). En la actualidad, en el municipio de El Rama, no existen estudios de la fertilidad natural del suelo, lo cual no permite elaborar planes de fertilización para las diferentes actividades agropecuarias a implementar. Ante esta problemática surge la siguiente pregunta ¿Cuál será el nivel de fertilidad de los suelos del municipio de El Rama?

Para contribuir al estudio de la fertilidad de suelos del municipio de El Rama, se realizó una caracterización física química, se determinó la fertilidad de los suelos considerando los valores óptimos de los parámetros físicos y químicos encontrados y se elaboró mediante el software QGIS vs 3.24 mapas de fertilidad, nivel de nitrógeno, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico de suelos. Los mapas permiten visualizar la distribución de fertilidad los suelos del municipio en una forma más amplia, por lo tanto, constituye una información básica cuya utilidad está dirigida esencialmente para planificaciones del uso de tierras y su manejo correspondiente. Además, con la lectura de perfiles se tiene una idea de las propiedades químicas de los suelos del municipio, con el fin de utilizar este recurso adecuadamente y considerar su manejo y conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El municipio de El Rama se localiza entre las coordenadas 11°43'12" y 12° 44' 00" latitud norte y 83° 58' 15" y 85°00'00" longitud oeste (URACAN, 2021, p.1). Limita al norte con los municipios El Ayote y Tortuguero; al sur con los municipios de Nueva Guinea y Bluefields; al este con los municipios de Kukra Hill y Bluefields; y al oeste con los municipios de Muelle de los Bueyes y Nueva Guinea (Alcaldía El Rama, 2017).

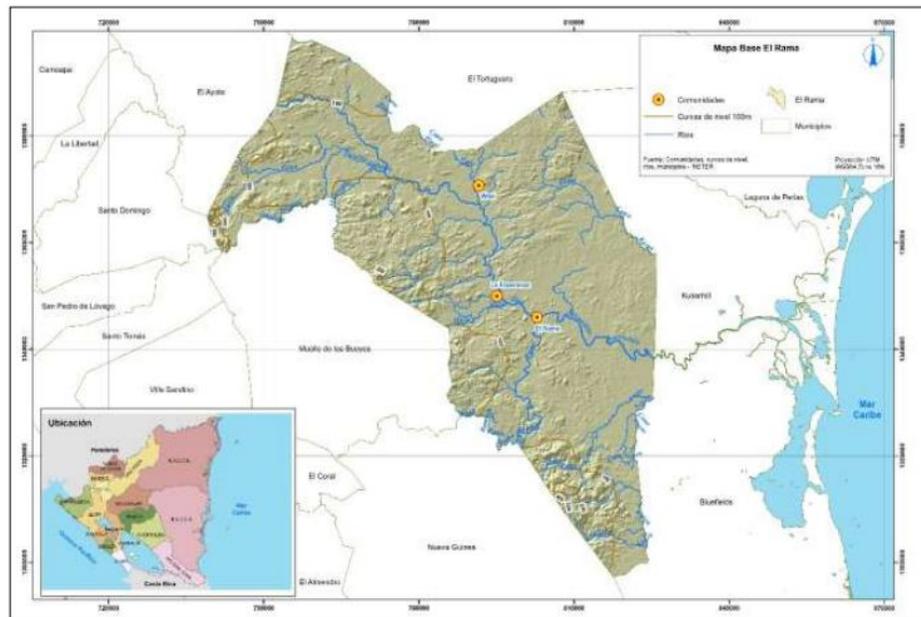


Figura 1. Ubicación espacial el municipio El Rama.

Recolecta y análisis de los datos

Se seleccionaron para este estudio, 37 comunidades del municipio de El Rama, se eligió una finca por comunidad, se abrieron calicatas de la cuales se tomaron muestras compuestas de suelo en los perfiles de 0 a 20 cm y 20 cm a 40 cm de profundidad obteniendo 500 g de suelo por muestra; las muestras fueron secadas en horno de aire forzado a una temperatura de 65 °C durante 24 horas.

Se debe señalar que las muestras de suelo obtenidas por medio de este estudio son únicamente de suelos que se encuentran bajo algún tipo de actividad agrícola y pecuaria. Los análisis de las muestras de suelo se efectuaron siguiendo los métodos rutinarios del Laboratorio Químicos Sociedad Anónima (LAQUISA): textura por Bouyoucos; densidad aparente por el método del terrón parafinado; pH en agua y KCl (1:1) por el método potenciométrico; materia orgánica y carbono orgánico por Walkley y Black; nitrógeno total por Kjeldahl; Ca, Mg y K por espectrofotometría de absorción atómica; capacidad de intercambio de cationes por el método del acetato de amonio pH 7.0; fósforo asimilable por Olsen.

Para la interpretación de resultados se hizo uso del rango de clasificación aproximada de nutrientes en suelos de Nicaragua establecida por Quintana et al., (1983) y de la tabla de interpretación de suelos de LAQUISA. Para el análisis de la fertilidad de los suelos, se utilizó la calificación propuesta por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1979), y adaptada por Chuchuca (2014). La figura 2 ilustra la metodología utilizada para determinar la fertilidad del suelo.

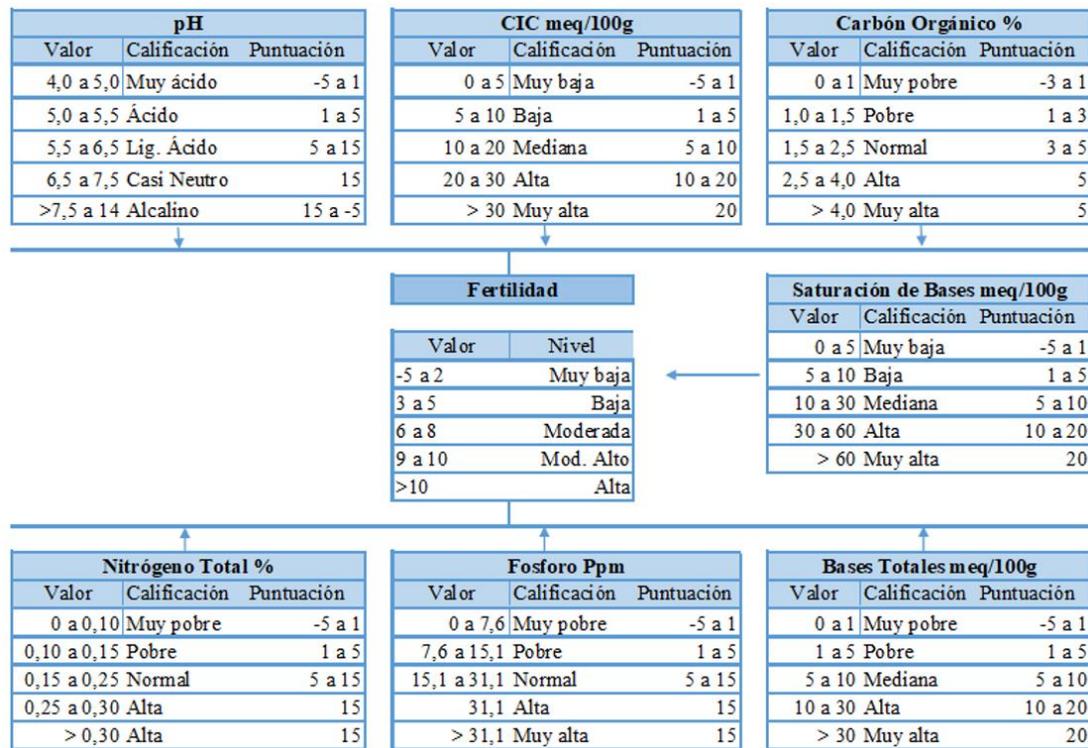


Figura 2. Metodología utilizada para determinar la fertilidad de los suelos, IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1986).

Se utilizó el software de análisis geocientífico SAGA GIS (Conrad et al., 2015) para hacer la interpolación de los atributos acidez, nitrógeno, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y fertilidad, de la herramienta (module multilevel B-Spline interpolation), el cual es un algoritmo de interpolación espacial de datos dispersos, propuesto por Lee, Wolberg y Shin (1997). El método de interpolación multilevel B-Spline, es un método que permite estimar valores desconocidos de una variable espacial a partir de otros valores cuyo valor es conocido. Este procedimiento permitió rasterizar los puntos muestreados con los atributos en estudio. La base de datos obtenida del anterior procedimiento se mapeó en el software Quantum GIS (QGIS Development Team, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el municipio de El Rama los suelos en sus primeros 40 centímetros presentan una granulometría dominada por la fracción arcillosa, sus contenidos de arcilla son muy altos, superiores a 40%, lo que los agrupa en la familia textural arcillosa.

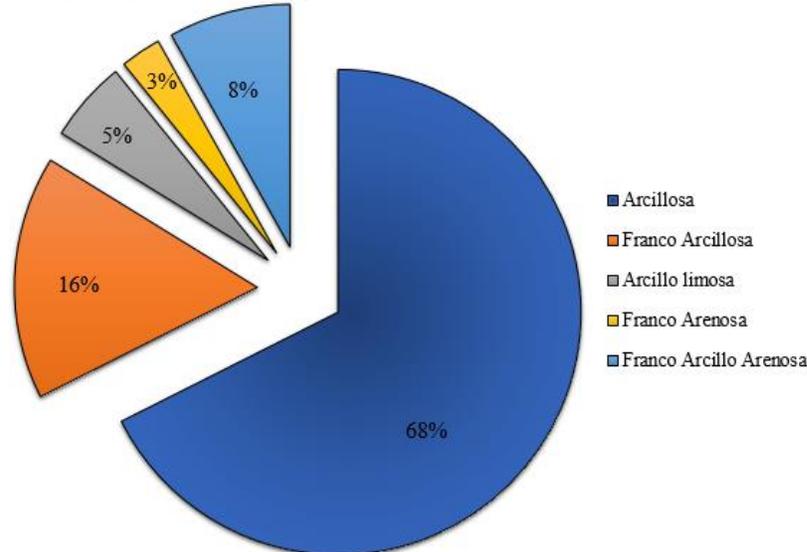


Figura 3. Distribución gráfica en % de las clases texturales en el municipio El Rama

Las figuras 3 y 4, muestran la clase textural arcillosa predominante en los suelos, clase textural que según la FAO (2009) “*condiciona el comportamiento del suelo en cuanto a drenaje, aireación y capacidad de retención de agua*”, lo que concuerda con lo señalado por Andrade y Martínez (2014), suelos con > 30% de arcilla retienen agua por lo que se encharcan, son suelos mal aireados con difícil drenaje. En suelos vertisoles de León, se determinó que predomina la textura franco arenoso (Reyes, 2010).

Los valores de densidad aparente fueron de 1.10 a 1.27 g/cm³, considerándose valores bajos. Los valores menores en el perfil del suelo se encontraron desde 0 a 20 cm. Según los valores de densidad aparente los suelos del municipio de El Rama, no están dentro de la categoría de suelos compactados; ya que se considera un suelo compactado cuando este tiene valores de densidad aparente mayores de 1.8 g/cm³ (Pacheco, 1980). Similares resultados de densidad aparente fueron obtenidos por Reyes (2010) en suelos vertisoles del municipio de León (1.1 g/cm³). Factores como la materia orgánica del suelo (MOS), disminuye la densidad aparente (Reddy, 1991, y Krull et al., (2004). Además, la densidad aparente es fuertemente afectada por el manejo del suelo (Lampurlanés y Cantero, 2003). Carter (2002) señala que la mantención de adecuados niveles de MOS contribuye a disminuir la densidad aparente y resistencia a la compactación del suelo, como lo demuestran los contenidos medios de materia orgánica a profundidades de 20 cm a 40 cm en este estudio.

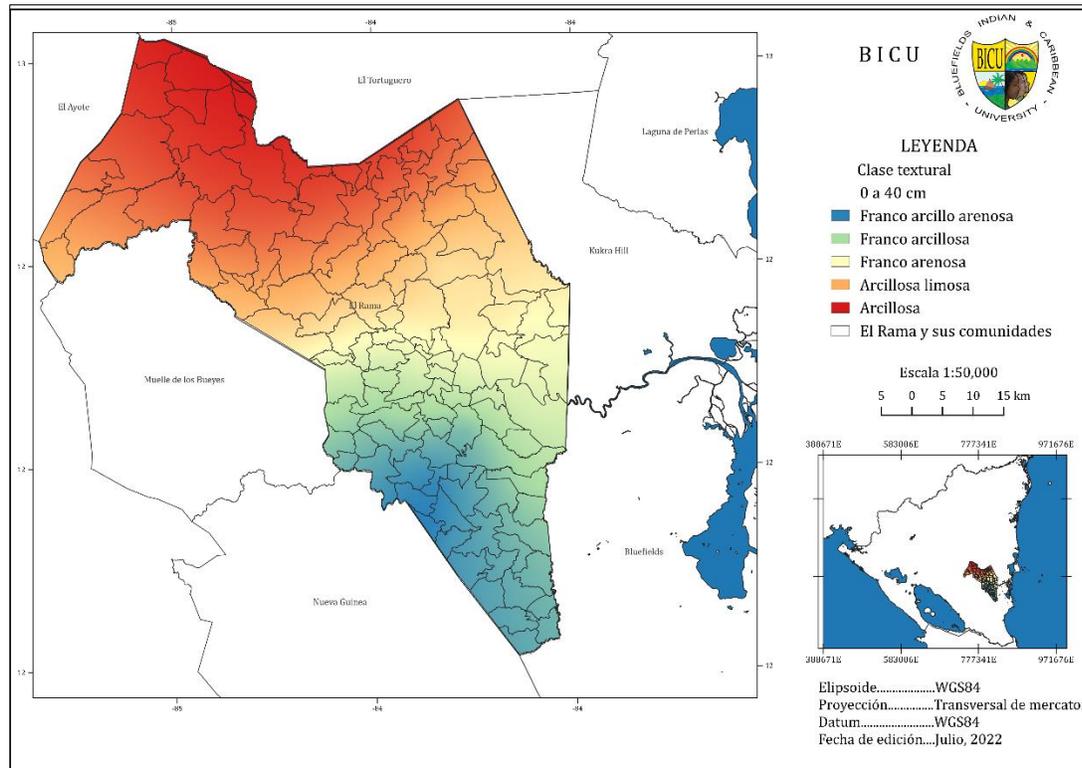


Figura 4. Mapa de las clases texturales y su distribución en el municipio El Rama.

Mapa de los niveles de Acidez del suelo (pH):

Se observa en las figuras 5 y 6 los diferentes niveles de acidez en los suelos. La reacción del suelo en el municipio es muy fuertemente ácida, los valores de acidez tendieron a incrementar ligeramente con la profundidad. Estos niveles de acidez inciden en la disponibilidad de algunos nutrientes (N, K, Ca, Mg y P) para las plantas e influye sobre la CIC como lo señala Bascones (2005). Los valores de pH de este estudio se consideran inapropiados para ciertos cultivos y algunas hortalizas que demandan pH que van desde 6.0 a 7.0 (Andrade y Martínez, 2014).

Macronutrientes (%de Nitrógeno, ppm de Fósforo y cmol+/Kg de Potasio)

En la Figura 7b se puede observar que los niveles de Nitrógeno tienden a disminuir con la profundidad a niveles medios (0.07 – 0.15%).

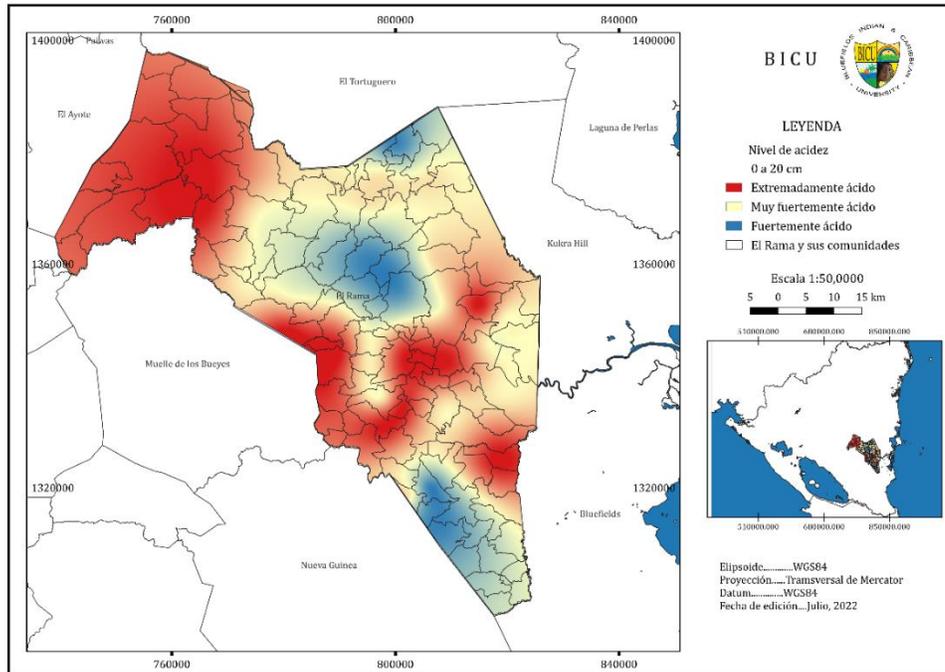


Figura 5. Valores de pH en el perfil de 0 a 20 cm

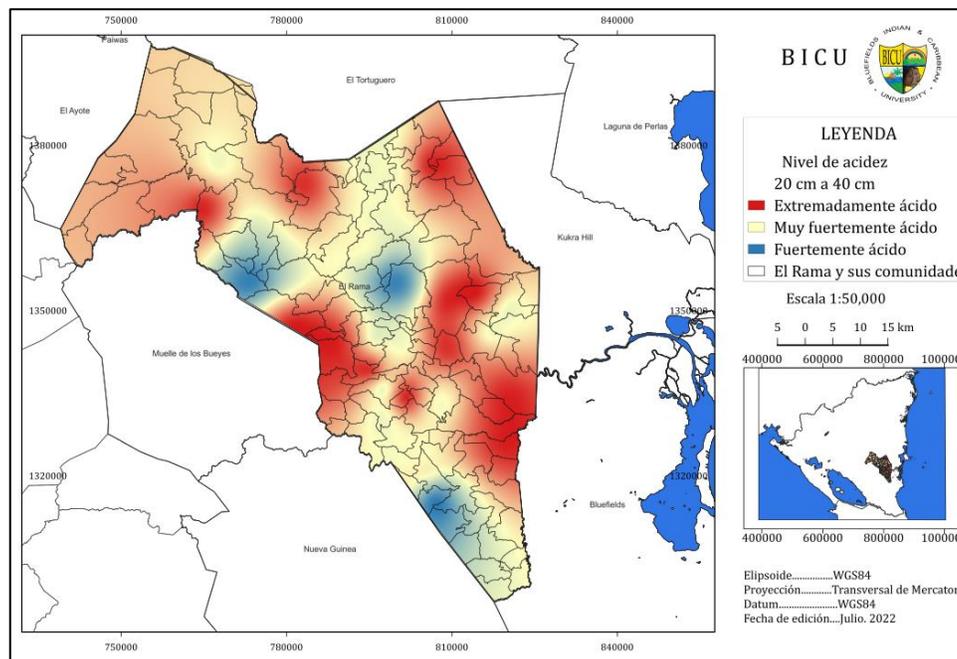


Figura 6. Valores de pH en el perfil de 20 a 40 cm

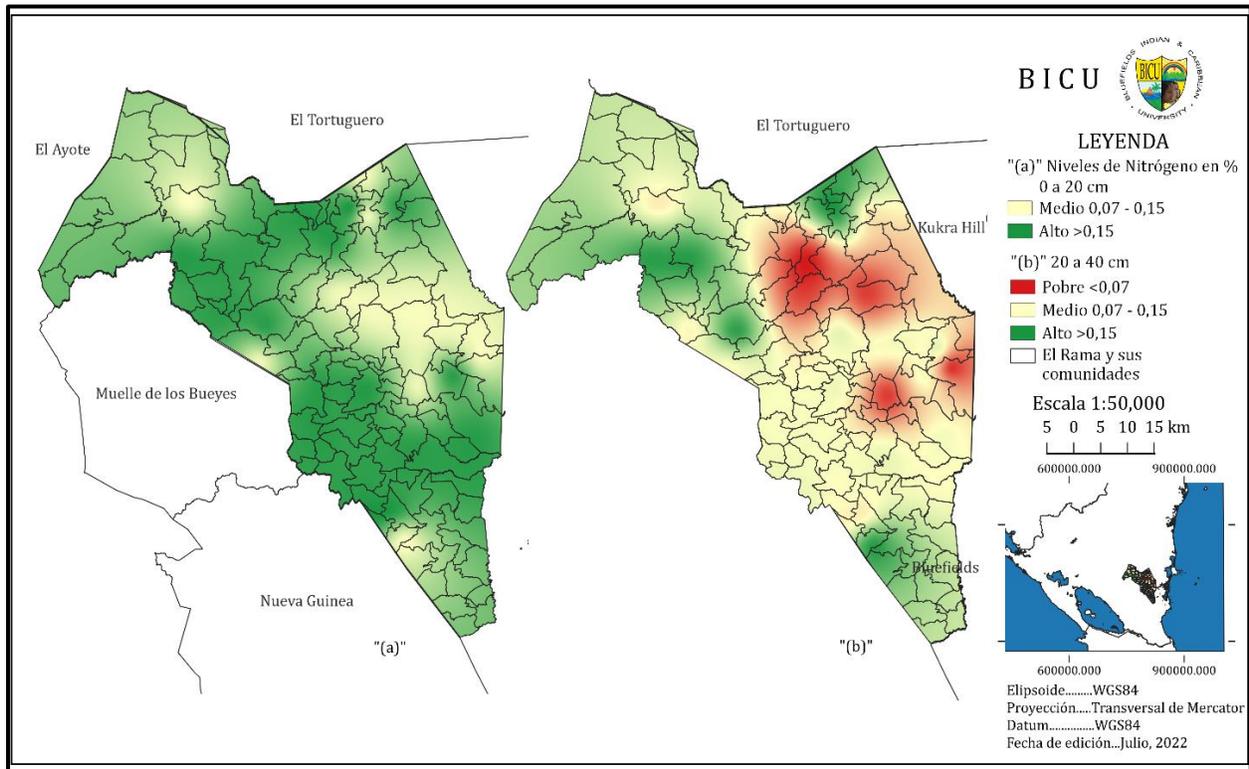


Figura 7. Mapa de niveles de Nitrógeno en suelos del municipio de El Rama

De acuerdo a la clasificación de Quintana et al., (1983) los contenidos de nitrógeno y potasio en los suelos del municipio, se encuentran en los rangos óptimos, pero muestran un nivel pobre de Fósforo (<10 ppm). Los niveles de Fósforo con la profundidad son bastante variable, tendiendo a decrecer en los 20 a 40 cm alcanzando valores mínimos de 1.6 ppm. La asimilación de los fosfatos es más favorable con niveles de pH débilmente ácidos (Agusti, 2003), no es el caso de los suelos del municipio, que presentan una muy fuertemente acidez, lo que incide en la disponibilidad de los fosfatos.

Materia orgánica

De acuerdo a la clasificación de Quintana et al., (1983), los niveles de materia orgánica de los suelos en el 66% del territorio del municipio de El Rama se encuentran en el rango Medio y en los suelos restantes presentan niveles pobres de Materia orgánica (<2%). En la Figura 8 se observa que las comunidades más céntricas del municipio presentan niveles medio de materia orgánica en los primeros 20 cm de profundidad, niveles que tienden a disminuir con la profundidad presentando niveles pobres de Materia orgánica. Factores como el pH ácido del suelo, afectaría la acumulación de Materia orgánica como lo certifica Conti (2009), concordando con nuestro estudio porque tenemos suelos con tendencia muy ácida con 4.79 y 4.75, y contenidos medios de materia orgánica a profundidades de 20 cm a 40 cm.

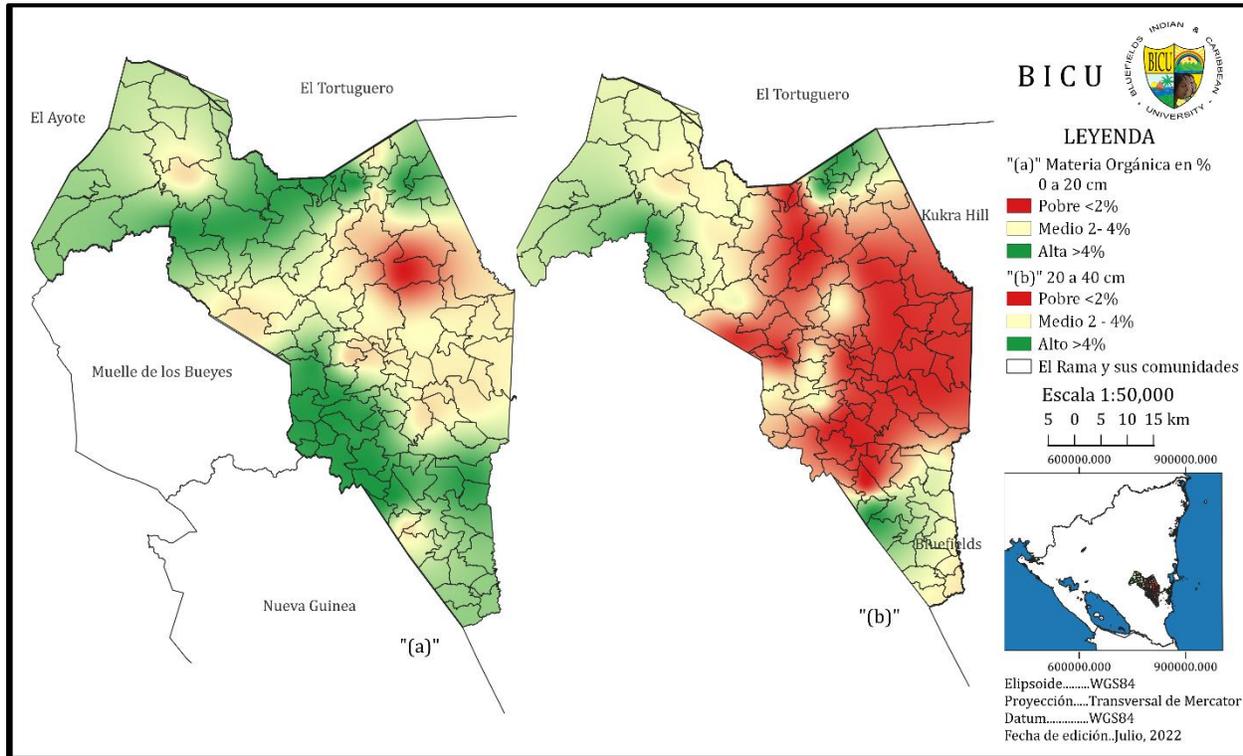


Figura 8. Mapa de niveles de Materia Orgánica en los suelos en estudio a profundidades de 0 a 40 cm

Siendo que la Materia orgánica influye en las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Trinidad y Velasco, 2016), las que a su vez determinan su capacidad productiva (Sánchez et al., 2004,), los niveles de materia orgánica encontrados en este estudio no contribuirán a mejorar la productividad. en un suelo franco de las Grande Planicies, USA; Bauer y Black (1994) estimaron que un aumento de 1 t ha⁻¹ de Materia orgánica en el suelo en los primeros 30 cm del suelo era equivalente a un aumento en productividad de 15 kg ha⁻¹ en granos de trigo.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Según los resultados del análisis de suelo y de acuerdo a la clasificación de Quintana et al., (1983), los suelos del municipio, en los perfiles de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm, presentan en su mayoría una baja capacidad de intercambio catiónico (5 a 15 cmol (+) /Kg). Como se puede observar en la figura 9, la reactividad de los suelos disminuye con la profundidad. La baja CIC de estos suelos se asocia con sus contenidos medios en materia orgánica y al desbalance en las relaciones catiónicas. La limitada reactividad de los suelos del municipio puede afectar la nutrición mineral de los cultivos, la CIC se encuentra en rangos no adecuados para la absorción de nutrientes por la planta y debe ser considerada al momento de aplicar fertilizantes y enmiendas bajo las condiciones climáticas del municipio. De acuerdo a Malagón (1984) los suelos con baja CIC pueden retener pocos cationes y, en consecuencia, requieren dosis bajas y más frecuentes de fertilizantes que los suelos con alta CIC, lo que incrementaría los costos de producción de un cultivo.

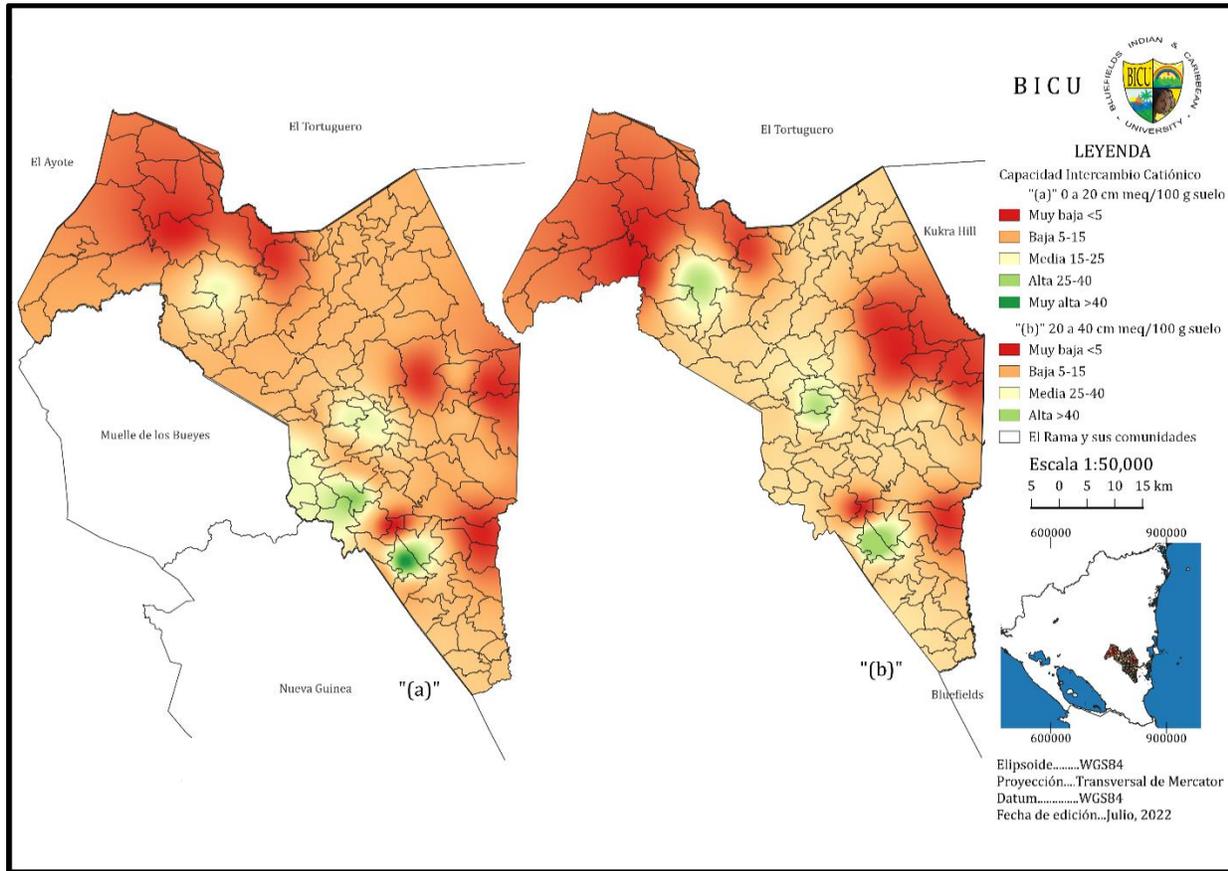


Figura 9. Mapa de niveles de CIC en los suelos en estudio a profundidades de 0 a 40 cm.

Fertilidad

El análisis de fertilidad de suelo según la metodología indicada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1979) y adaptada por Chuchuca (2014), señala que los suelos del municipio tienen un nivel de Baja de fertilidad (3 a 5). En la figura 10a se puede observar una moderada fertilidad en las comunidades ubicadas en la parte centro y oeste del municipio, también se puede apreciar el cambio de categoría de fertilidad de los suelos, pasando de baja fertilidad a muy baja fertilidad (figura 10b), lo que indica que la fertilidad tiende a disminuir con la profundidad del suelo.

Los niveles de fertilidad presentados por los suelos del municipio están relacionados con los niveles de acidez, los bajos niveles de Materia orgánica, la baja reactividad de los suelos y el desbalance en las relaciones catiónicas, factores que determinan su capacidad productiva (Sánchez et al., 2004), y de acuerdo con Reyes (2010) el suelo produce solamente cuando todos los factores están equilibrados. En un suelo ácido (4.8) de Chiapas, México, Trinidad et al., (2000) determinaron que mejorar la fertilidad del suelo mejora el rendimiento del cultivo de Maíz en 1.4 t ha⁻¹. En este sentido se deberá trabajar en el manejo integrado de la fertilidad de suelos.

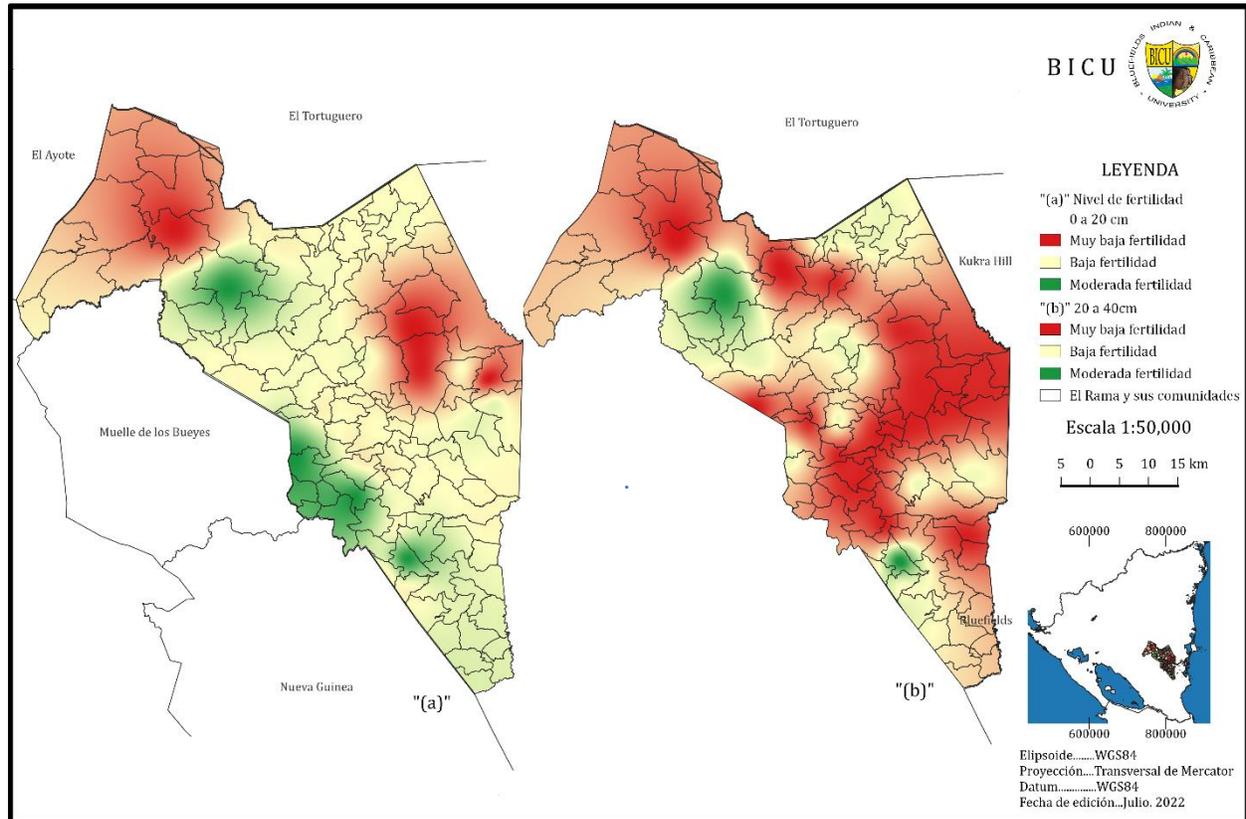


Figura 10. Mapa de Fertilidad de los suelos del municipio de El Rama de 0 a 40 cm

Relaciones Catiónicas

Tomando en consideración los rangos deseables indicados por LAQUISA para las relaciones Ca/Mg, (Ca + Mg) /K, Ca/K y Mg/K: Los niveles presentados en el perfil de 0 a 20 cm, son valores medios, por lo tanto la relación esta en balance, no así en el perfil de 20 a 40 cm, donde la relación catiónica presenta un nivel bajo para Ca/Mg (< 2), en cambio las demás relaciones incrementaron sus valores superando el rango alto (> 40 para (Ca+Mg)/K; >25 para Ca/K y >15 para Mg/K), por lo tanto, las relaciones en el perfil de 20 a 40 cm se encuentran en desbalance. Los resultados de las relaciones catiónicas, sugieren la existencia de ciertos desbalances nutricionales en estos suelos sobre todo en la relación Ca/Mg en el perfil de 20 a 40 cm, lo que de acuerdo a Méndez y Bertsch (2012), limita las posibilidades de absorción de los mismos por la planta.

Prácticas potenciales para la producción agropecuaria sostenible.

Con relación a la evaluación de la fertilidad de suelos, se recomienda un manejo integrado de la fertilidad de suelos en el sistema de producción agrícola, pecuario y forestal mediante las siguientes prácticas:

1. Incorporación de materia orgánica: a) Enriquecimiento de los cultivos de gramíneas con especies leguminosas, b) Rotación de cultivos, c) Reciclaje de los rastrojos de maíz y frijón en el terreno, d) Aplicación de abonos orgánicos.

2. Corregir el nivel de acidez del suelo (pH) a través del Encalado.
3. Reducción de las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión; a) Establecer barreras vivas y muertas y b) Establecer Sistemas agroforestales.
4. Suministro adecuado de nutrientes (dosis y época), según las características del suelo y de los cultivos, en base a una expectativa de producción.
5. Producción de alimento alternativo para el ganado en verano, incluyendo las formas de conservación de forraje.
6. Recuperación de praderas con especies tolerantes como *Brachiaria Brizantha cv Marandú*, *Panicum máxicum cv Massai*, *Brachiaria arrecta Tanner*.
7. Como método de control de malezas, se recomienda incorporar abonos verdes en las parcelas de los cultivos para mantener la cobertura del suelo durante todo el año, evitando las quemadas agrícolas.

CONCLUSIONES

Los niveles de acidez presentada por los suelos del municipio, representan una limitante para la producción agropecuaria y forestal, debida a que la disponibilidad de los macro y micronutrientes guardan una correlación directa con el nivel de pH. La limitada reactividad que presentan los suelos, puede afectar la nutrición mineral de los cultivos, la capacidad de intercambio de cationes se encuentra en rangos no adecuados para la absorción de nutrientes por la planta y debe ser considerada al momento de aplicar fertilizantes y enmiendas bajo las condiciones climáticas del municipio.

Los suelos del municipio de El Rama, presentan un nivel de Baja fertilidad. Las limitaciones impuestas por la baja fertilidad, los niveles de acidez, los bajos niveles de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y el desbalance en las relaciones catiónicas, están incidiendo en la disminución de los rendimientos de los cultivos. en ese sentido, la producción agrícola, pecuaria y forestal en el municipio de El Rama bajo las condiciones actuales de fertilidad del suelo podría ser insostenible.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Alcaldía Municipal El Rama. (2017). Caracterización municipal El Rama.
- Agusti, M. (2003). Citricultura. Editorial Mundi-Prensa, España. Segunda edición.
- Andrade, M., y Martínez, M. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. Universidad de la Rioja. 3a ed. Logroño.
- Báscones, E. (2005). Análisis de suelo y consejos de abonado. p 10. (En línea). INEA. Consultado el 21 de mar. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.larioja.org>
- Bauer, A, y Black, A. (1994). Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 185-193



- Buckman, H, y Brady, N. (1966). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Ed. Montaner y Simons, S.A. Barcelona, España. 590 pp.
- Carter, M. R. (2002). Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94, 38-47.
- Cepeda, D. (1991). *Química de Suelos*. 2 ed. Trillas S.A., México. 167 p.
- Conti. (2009). *Materia Orgánica*. p.61 recuperado del sitio web: <http://ftp.at.fcen.uba.ar/maestria/SUELOS/MaterialDeLectura/MAT-ORG.pdf>
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L, & Böhner, J. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) Geosci. Model Dev (Versión v. 2.1.4).
- Chuchuca, N. (2014). *Mapificación del grado de fertilidad de suelos, mediante los sistemas de información geográfica (SIG), del cantón las lajas provincia de el oro*. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo Universidad Técnica de Machala. Ecuador.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT.). (2009). *Guía para la descripción de suelo*. Trad. por Ronald Vargas Rojas 4 ed. Roma, IT. Cuarta ed. Roma, IT. p. 50
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (1979). *Metodología para la Evaluación de la fertilidad de los suelos*.
- Instituto para el Desarrollo y la Democracia [IPADE]. (2010). *Proyecto Fortalecimiento de un sector cacaotero campesino eficiente y sostenible en la Región Autónoma del Atlántico Sur*.
- Krull, E. S., Skjemstad, J. O, y Baldock, J. A. (2004). *Functions of soil organic matter and the effect on soil properties*. Grains Research & Development Corporation report Project No CSO 00029.
- Lampurlanes, J, y Cantero, C. (2003). Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management system and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal*. 95: 526-536.
- López, G, y Zamora, A. (2016). *Diagnóstico de la fertilidad del suelo en el área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM- MFL*. Tesis previa la obtención del título de ingeniero agrícola. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Colombia.
- Lee, S., Wolberg, G, & Shin, S. Y. (1997). Scattered data interpolation with multilevel B-Splines. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 3 (3), 228-244.
- Méndez, J. C, y Bertsch, F. (2012). *Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica*. 1 ed. San José, C.R.: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, 2012. 108 p. ISBN: 978-9968-9422-6
- Munguía, D, y Pacheco, M. (2013). *Evaluación del estado actual de la fertilidad de los suelos en fincas de pequeños y medianos productores en el Municipio de El Viejo, departamento de Chinandega*. Tesis para optar al grado de Ingeniero en Agroecología Tropical. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua – León, Nicaragua. 73 pág.
- Pacheco, M. (1980). *Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problema de manejo y conservación de suelo en condiciones tropicales*. Maracay: UCV-Fagro.
- QGIS Development Team. (2016). *QGIS Sistema de Información Geográfico*. Open Source Geospatial Foundation. <http://qgis.osgeo.org>.

- Quintana, J. O., Blandón, J., Flores, A., y Mayorga, E. (1983). Manual de Fertilidad para los suelos de Nicaragua. Editorial Primer Territorio Indígena Libre de América Ithaca, Nueva York. Residencial Las Mercedes N° 19-A. Managua, Nicaragua. 60p.
- Reddy, M. S. (1991). Effects of soil amendments on the hardening of red sandy loams (chalka soils) of Andhra Pradesh. *Ann. Agric. Res.* 12, 174–176
- Reyes, O. (2010). *Caracterización del estado actual de los suelos del departamento de León, en base a sus características físicas y sistemas de producción. En el período abril 2009 a junio 2010.* Tesis para optar al grado de Ingeniero en Agroecología Tropical. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua – León, Nicaragua. 73 p.
file:///C:/Users/Siabuc_SIBUL/Downloads/217579.pdf
- Sánchez, J. E., Harwood, R. R., Willson, T. C., Kizilkaya, K., Smeenk, J., Parker, E., Paul, E. A. Knezek, B. D., y Robertson, G. P. (2004). Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agron. J.* 96, 769-775.
- Trinidad, A., Pérez, J., Pool, E., Etchevers, J., & Martínez, A. (2000). Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de los altos de chiapas, México. *Agrociencia*, 34(3), 251-259. [fecha de consulta 22 de agosto de 2022]. ISSN: 1405-3195. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30234301>
- Trinidad, A, y Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Rev. Agroproductividad*: Vol. 9, Núm. 8, agosto. 2016. pp: 52-58.
- Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe de Nicaragua [URACCAN]. (2021). Observatorio de la Autonomía Regional Multiétnica. observatorio.uraccan.edu.ni