



Evaluación de la calidad de los suelos en cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la parroquia Fátima provincia de Pastaza

Evaluation of the quality of the soils in sugarcane cultivars (*Saccharum officinarum* L.) in the parish Fatima province of Pastaza

Víctor González^{1*}, Carlos Bravo¹, M. Romero¹, Sandra Andrade - Yucailla¹, Marco Andino¹., A. Valle², I. Hidalgo - Guerrero³, Verónica Andrade - Yucailla¹

¹Universidad Estatal Amazónica, Puyo-Ecuador; Km 2 ½ Vía a Tena (Paso Lateral)

²Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pastaza

³Universidad Técnica Estatal de Quevedo

*Correspondencia: vh.gonzalezr@uea.edu.ec

Rec.: 15.05.2019. Acept.: 18.10.2019.

Publicado el 31 de diciembre de 2019

Resumen

Al ser el recurso suelo uno de los componentes fundamentales que provee de bienes y servicios para el desarrollo de la vida, para cubrir la necesidad alimentaria en los actuales tiempos, demanda de mayores áreas con monocultivo, esta es la razón de la degradación de los ecosistemas naturales; el objeto de estudio fue evaluar la calidad de los suelos en cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la parroquia Fátima provincia de Pastaza. Se recolectaron muestras de seis unidades productivas agrícolas seleccionadas al azar, a 25 – 30 cm de profundidad. Los parámetros evaluados fueron %W, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, pH, MO y CE. El análisis de salinidad se desarrolló por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados de pH (3.84 a 4.72) de los suelos de la zona revelo que son fuertemente ácidos; con CE (0.36 a 2.02 mS/cm) denotando salinidad baja Ca²⁺ (0.122 a 0.210 meq/100ml), Mg²⁺ (0.022 a 0.046 meq/100ml) y Na⁺ (0.031 a 0.049 meq/100ml) siendo el sodio el responsable del aumento de la CE en los suelos, el contenido MO (12.1 – 12.7%); nutrientes P (5.80 a 14.00 ppm), K (0.12 a 0.36 meq/100ml), Ca (1.90 a 5.00 meq/100ml), Mg (0.60 a 1.30 meq/100ml) y el contenido de humedad (%W) (128.04 a 238.22%) que son características medio ambientales de la Amazonía Ecuatoriana. El deterioro progresivo de los suelos en la parroquia de Fátima obedece a la mala práctica agrícola y tecnologías agrícolas deficientes.

Palabras claves: Suelo, Salinidad, pH, Caña de azúcar, Prácticas agrícolas.

Abstract

Being the ground resource one of the fundamental components that provides goods and services for the development of life, to meet the food need in the present times, demand for larger areas with monoculture, this is the reason for the degradation of ecosystems natural; The object of the study was to evaluate the quality of soils in sugarcane cultivars (*Saccharum officinarum* L.) in the Fatima province parish, Pastaza province. Samples of six randomly selected agricultural production units were collected, at 25-30 cm depth. The parameters evaluated were % W, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, pH, MO and CE. Salinity analysis was developed by atomic absorption spectrophotometry. The pH results (3.84 to 4.72) of the soils of the area revealed to be strongly acidic; with CE (0.36 to 2.02 mS/cm) denoting low salinity Ca²⁺ (0.122 to 0.210 meq/100ml), Mg²⁺ (0.022 to 0.046 meq/100ml) and Na⁺ (0.031 to 0.049 meq/100ml) with sodium being responsible for increasing EC in soils, MO content (12.1 - 12.7%); Nutrients P (5.80 to 14.00 ppm), K (0.12 to 0.36 meq/100ml), Ca (1.90 to 5.00 meq/100ml), Mg (0.60 to 1.30 meq/100ml) and moisture content (% W) (128.04 a 238.22%) which are environmental characteristics of the Ecuadorian Amazon. The progressive deterioration of soils in the parish of Fatima is due to poor agricultural practice and poor agricultural technologies.

Keywords: Soil, Salinity, pH, Sugarcane, Agricultural practices.

Introducción

La selva amazónica es una de las áreas de bosque contiguo más grandes del mundo, con la cuenca amazónica que cubre aproximadamente el 40% de América del Sur y se estima que en el bosque amazónico se encuentran aproximadamente el 25% de las especies terrestres de la Tierra (Guimarães *et al.*, 2017). La Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) representa el 2% de la cuenca del río Amazonas, con una extensión territorial de 116441 Km² que constituye en superficie la región natural más grande del Ecuador con aproximadamente el 45% del territorio Nacional (Bravo *et al.*, 2014). La provincia de Pastaza ubicada en el corazón de la Amazonía Ecuatoriana, con superficie de 29531 km², y una población según el censo en el 2010 de 83933 habitantes (GADPP, 2012).

Apesar de que exhiben un alto nivel de productividad, los suelos de la selva tropical, como los que se encuentran en la cuenca del Amazonas, son pobres en nutrientes, dependen del reciclaje de nutrientes del suelo. La materia orgánica para mantener la fertilidad, tiene una alta tasa de rotación de materia orgánica y puede ser sometida a altos niveles de intemperismo. Esto da como resultado un suelo frágil, vulnerable a la perturbación antropogénica, que puede provocar una pérdida en la función del suelo y, en consecuencia, daños a los componentes de los ecosistemas y los servicios que prestan (Guimarães *et al.*, 2017a).

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es el cultivo más importante para la producción de azúcar, el 60% del azúcar en el mundo se produce de caña (Kaab *et al.*, 2019). En la última década el incremento de áreas cultivadas de caña de azúcar obedeció a la demanda de biocombustibles (etanol) utilizados para producir energía (Ortegón *et al.*, 2016). En la actualidad, el cultivo de caña de azúcar está experimentando cambios intensos en las prácticas de manejo por la introducción de cosecha mecanizada y la quema de la basura de caña. Sin embargo, las quemaduras de estos residuos generan profundos impactos al suelo, destruye la materia orgánica (MO), dejándola expuesta a la erosión, afectando a los microorganismos y contaminación ambiental (Souza *et al.*, 2012).

La producción de la caña de azúcar en la provincia de Pastaza es de 862.05 ha, distribuidas: en la parroquia de Tarqui con 198.75 ha, Puyo 131.35 ha, Diez de Agosto 119 ha, San José 91.90 ha, Fátima 80.35 ha, Madre Tierra 49.75 ha, Veracruz 48.75 ha, Simón Bolívar 43.85 ha y 10 parroquias con 98.35 ha, siendo las de menor producción (GADPP, 2012).

Según Cherubin *et al.*, (2017), indicaron que los impactos de la producción de caña de azúcar en la calidad física y estructural del suelo, se han evaluado tradicionalmente utilizando propiedades físicas del

suelo, como la densidad aparente, porosidad del suelo, resistencia del suelo a la penetración, estabilidad agregada y macroagregación que están indirectamente relacionadas con la estructura del suelo.

Farahani *et al.*, (2019), indican que la calidad física del suelo juega un papel fundamental en la investigación de la calidad del suelo. Ejemplo mala calidad física es cuando se presenta baja infiltración, escorrentía superficial alta, endurecimiento, aireación deficiente, y mala capacidad de enraizamiento Valle *et al.*, (2018). Estos son los impactos causados por los cambios de usos en el suelo (Kuria *et al.*, 2018; Vinhal – Freitas *et al.*, 2017). El cambio de uso de suelo genera también alteraciones en las propiedades químicas y biológicas del suelo en comparación con la cobertura del suelo nativo. Drobnik *et al.*, (2108) el deterioro en la calidad del suelo conlleva a la disminución de las funciones del suelo dentro de los ecosistemas naturales o manejados.

El suelo de la Amazonía Ecuatoriana por sus condiciones y características intrínsecas, son pobres en nutrientes, frágil y vulnerable a las actividades antropogénicas y a las condiciones ambientales propias de la Amazonía. El objeto de investigación se enfoca en la evaluación de la calidad del suelo en cultivos de caña de azúcar, la evaluación se desarrollará en función de las propiedades fisicoquímicas; un suelo de buena calidad garantiza la sostenibilidad del medio ambiente y la biosfera del suelo.

Materiales y métodos

Área de estudio

La parroquia Fátima cubre 71.59 km², es una parroquia del cantón y provincia de Pastaza-Ecuador, geográficamente está situada en: 77°00'00" Oeste de Longitud y 01°24'40" de Latitud Sur, limita al norte con la parroquia Teniente Hugo Ortiz, al sur con las parroquias Puyo y Diez de Agosto, al este con la parroquia Diez de Agosto, y al oeste con la parroquia Mera del cantón Mera (Figura 1), con temperaturas promedio de 18° - 24°C, con precipitaciones entre 3000 – 5000 mm, y una humedad relativa superior al 85% de acuerdo al Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia Fátima (GADPF) (2015). Según el censo poblacional del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo INEC (2010) la parroquia posee 863 habitantes. Su geomorfología es relieves disectados en 88.05%, el 4.37% escarpados y el 7.58% mesetas muy disectadas; con pendientes del 12 a 25% características de los relieves irregulares. La taxonomía de los suelos en el territorio de la parroquia se identifica el orden de suelo Inceptisol (GADPF, 2015). Los suelos en países tropicales están conformados por inceptisoles, que son importantes para la agricultura a pesar de sus limitaciones inherentes,

pendientes pronunciadas y patrones de meteorización mineral alto (Skorupa *et al.*, 2017). La producción agrícola en la parroquia es caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), naranjilla (*Solanum quitoense*), cacao (*Theobroma cacao* L.), y papa china (*Colocasia esculenta*) que están destinado al mercado nacional e internacional, y la producción de plátano (*Musa × paradisiaca*), yuca (*Manihot esculenta*), y maíz duro (*Zea mays*) destinados al autoconsumo y en pequeña proporción al mercado local.

Muestreo de suelo

En la parroquia Fátima se seleccionó al azar seis unidades productivas agrícolas (UPAs) de caña de azúcar, en las cuales se recolectaron las muestras. Para la recolección de las muestras de suelos se realizó por el método estratificado en forma de zigzag con una amplitud de 6 puntos, y formar una muestra compuesta a profundidad de 0 -15 cm (Shen *et al.*, 2018, Norma Mexicana, 2016). Las ubicaciones de los sitios de muestreo se muestran en la Figura 1. Las muestras de suelos recolectadas fueron colocadas en fundas de polietileno de 2 kg y llevadas al laboratorio, donde se dio el tratamiento de separación de residuos

de madera, raíz y piedrecillas, el suelo se procedió al secado a temperatura de 45°C bajo invernadero durante 5 días, molido y tamizado a partículas de 2 mm de diámetros.

Características físicas y químicas del suelo

En el laboratorio se determinó las siguientes propiedades físicas: La densidad de partículas se midió con el método del picnómetro (Dörner *et al.*, 2010); contenido de humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico (López-Martínez y Guerrero, 1999); conductividad eléctrica (EC) se midió con un medidor de conductancia en una relación suelo-agua desionizada de 1:1 en la cual se preparó la pasta de saturación (Huang *et al.*, 2019). El pH se determinó utilizando un medidor de pH estándar en una mezcla de suelo-agua 1: 2.5. (Qiu *et al.*, 2019). Parámetros químicos: el análisis de nutrientes y salinidad se aprovechó el lixiviado de la pasta de saturación y se midió calcio Ca²⁺, magnesio Mg²⁺, y sodio Na⁺ por espectrofotometría de absorción atómica (Huang *et al.*, 2019; Zhao-miao *et al.*, 2014, y Wang *et al.*, 2015), el contenido de materia orgánica (MO) determinado por el método de calcinación.



Figura 1. Localización del área de estudio, parroquia Fátima, cantón y provincia de Pastaza

Resultados y discusión

El cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), es uno de los cultivos de mayor importancia en la producción agrícola de la parroquia Fátima provincia de Pastaza, Ecuador. Los derivados agroindustriales pioneros son: azúcar, panela, etanol artesanal e industrial. Este cultivo genera empleos directos e indirectos por la diversificación de derivados agroindustriales (Sablón-Cossío *et al.*, 2016). En la actualidad en la parroquia los cultivos de caña son plantaciones viejas que han bajado considerablemente los rendimientos productivos, los productores sienten la necesidad de cambiar de suelo para incrementar estos rendimientos. Por lo tanto, es necesario evaluar y medir, de manera integrada, los impactos ambientales causados por la expansión del cultivo de caña de azúcar para verificar si el progreso de la caña de azúcar se produce de manera sostenible. Desde una perspectiva agrícola, la sostenibilidad podría resumirse como la capacidad de los sistemas agrícolas para mantener su producción a largo plazo sin agotar los recursos disponibles, incluida la biodiversidad, la fertilidad del suelo y los recursos hídricos, con su manejo adecuado (Evaristo de Jesús *et al.*, 2019).

El análisis descrito en la Cuadro 1, que incluye densidad de partículas de los suelos cultivados con caña de azúcar, mismos que varía entre 1.93 – 2.16 g/cm³, valores similares presentó el bosque primario BP de 2.13 g/cm³. La densidad de partículas de suelos aptos para el cultivo (2,0 g/cm³), depende de la textura de suelo, de la cantidad de MO y del tipo de cultivo (Mendes – Brito *et al.*, 2018; Thompson & Troeh, 1998). Referente a humedad del suelo, se evidenció que en campo varía de 128.04 a 238.22%, este parámetro indicó que los suelos son altamente húmedos en las áreas de cultivo de caña de azúcar. Las condiciones edafoclimáticas de la amazonia juegan un papel fundamental en la densidad de partícula, puesto que son suelos volcánicos, con altas precipitaciones de 3500 – 5000mm y amplios rangos de temperatura de 18 – 30°C en el área de estudio, a más de una desordenada práctica agrícola que soportan este tipo de suelo.

El pH de los suelos estudiados oscila de 3.84 a 4.72 pH, demostrando ser suelos fuertemente ácidos, la conversión de bosques a cultivo de pasto o de caña de azúcar contribuyó al incremento de pH (Cerqueira *et al.*, 2018), a más de las características intrínsecas de la región amazónica. El pH del suelo es un indicador importante en la calidad del suelo, interviene en muchos procesos del suelo como un indicador de solubilidad y disponibilidad de nutrientes de las plantas, actividad microbiana y la descomposición de la MO del suelo, la absorción de contaminantes y una variedad de procesos

físico-químicos involucrados en el ciclo biogeoquímico (Kome *et al.*, 2018). Al modificarse el pH de suelo se afecta la meso fauna, componente importante de las comunidades biológicas del suelo y desempeña un papel fundamental en la calidad del suelo y una gama de funciones de los ecosistemas (George *et al.*, 2017).

La conductividad eléctrica (CE) de los suelos (sales solubles y sodio intercambiable) oscilan en 0.36 – 2.02 mS/cm (Cuadro 1), suelos con CE < 2 mS/cm son suelos no salinos para uso agrícola (Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE, 2002). La salinidad sigue siendo el principal estrés abiótico que limita y representa una amenaza para la producción agrícola en el mundo (Shomelli *et al.*, 2011). La salinidad (cationes de Ca, Mg y Na) es un factor importante de evaluación en la calidad de los suelos, puesto que son sales que afectan el crecimiento de la plantas; así las concentraciones de estas sales en los suelos estudiados son mínimas, que varían entre 0.122 – 0.172 meq/100g Ca, 0.022 – 0.033 meq/100g Mg, y de 0.031 – 0.049 meq/100g Na, estas concentraciones no afectarían el desarrollo vegetativo de los cultivos. Los cultivares de caña de azúcar presentan gran resistencia a la salinidad, con mayor acumulación de sodio y disminuyen la productividad (Chiconato *et al.*, 2019). Cuando el contenido de sal del suelo en las capas superiores e inferior aumentó simultáneamente, la acumulación de sodio en la planta de Na⁺ en la planta, mientras que el contenido de K⁺ disminuyó (Chen *et al.*, 2019). La salinidad en los suelos disminuye en el área de cultivo de caña de azúcar por la absorción de las plantas y la poca disponibilidad de nutrientes en los suelos amazónicos.

El contenido de materia orgánica MO está en el rango de 12.1 – 12.7% (Cuadro 1), comparando con el contenido de MO del bosque primario (BP) son similares. La similitud en el contenido de MO se debe fundamentalmente a las condiciones adafoclimáticas de la Amazonía por encontrarse dentro de la clasificación de Holdridge de bosque siempre verde piemontano. La MO depositada en los suelos proviene de distintas formas, por deposición de hojas viejas de las plantas, actividad microbiana, residuos de cosechas y por la intervención del ser humano. Los suelos en la región Amazónica ecuatoriana se caracterizan por tener un espesor del horizonte superficial muy delgado con un valor promedio cercano a los 10 cm, donde existe mayor acumulación de materia orgánica con una intensa actividad biológica, la cual influye fuertemente en el comportamiento biogeoquímico y en gran medida su capacidad agroproductiva (Bravo *et al.*, 2017).

El estudio reveló los efectos del sistema de producción de monocultivos de caña de azúcar en la salud de los suelos en la parroquia Fátima (Cuadro 1). Los resultados de las concentraciones de fósforo se

Cuadro 1. Parámetros físicos y químicos de suelos en cultivares de caña de azúcar en la parroquia de Fátima

Parcelas	SECTOR	%W	Dp g/cc	pH	CE mS/cm	% MO	Salinidad (meq/100ml)			P ppm	Nutriente (meq/100ml)		
							Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺		K	Ca	Mg
SMR	Libertad	128.04	2.16	3.84	1.48	12.1	0.132	0.033	0.031	7.00	0.31	2.00	0.80
MGS	Libertad	237.27	1.97	4.72	0.36	12.3	0.133	0.029	0.049	6.75	0.33	1.90	0.75
TL	Murialdo	238.22	1.93	4.32	2.02	12.6	0.128	0.030	0.039	5.80	0.14	2.00	0.60
JVA	Murialdo	175.24	2.25	4.37	1.37	12.5	0.172	0.026	0.038	6.00	0.12	2.00	0.60
PV	Santa Martha	225.01	2.20	4.62	2.00	12.7	0.122	0.022	0.044	8.00	0.36	5.00	1.30
BP	Libertad	210.29	2.13	4.40	2.05	12.7	0.210	0.046	0.048	14.00	0.16	2.00	0.60

SMR: Segundo Misael Rivera; MGS: Manuel Gasitua Sarabia; TL: Teresa Llerena; JVA: Jimmy Vinicio Álvarez; PV: Pastor Valverde; BP: Bosque Primario; %W: Contenido de Humedad en Campo; Dp: Densidad de Partículas; pH: Potencial de Hidrógeno del suelo; CE: Conductividad Eléctrica; %MO: Contenido de Materia Orgánica; Salinidad: Ca²⁺: Calcio, Mg²⁺: Magnesio, Na⁺: Sodio; Nutrientes: P: Fósforo; K: Potasio, Ca: Calcio, Mg: Magnesio.

encontraron en un rango de 5.80 – 14.00 ppm. La mayor concentración de fósforo se encontró en la parcela de bosque primario, y el comportamiento en las parcelas cultivadas caña el comportamiento de la concentración de fósforo son similares. Este macronutriente es el segundo elemento químico que limita el rendimiento de los cultivos, actuando en diversos procesos bioquímicos a nivel celular (transferencia de energía), contribuyendo al fortalecimiento de las raíces y al *rápido desarrollo de las plantas* (Bidwell, 1979). La disponibilidad en la planta de P se ve afectada en gran medida por la textura del suelo y la mineralogía, la estrategia de aplicación y la fuente de P (Borges *et al.*, 2019).

Las concentraciones de potasio oscilan entre 0.12 – 0.36 meq/100ml (Cuadro 1), son valores relativamente bajos para el uso agrícola. Su importancia radica en que el ión K⁺ es uno de los cationes predominantes de la vacuola y el principal osmolito de la planta. Favorece a los procesos enzimáticos (eoxidoreductasa, deshidrogenasa, transferasas, sintetasa, etc.), al crecimiento vegetativo, fructificación y la maduración, las deficiencias y el exceso del ión K⁺ presenta alteración fisiológica en las plantas; por lo que los agricultores deban dosificar al suelo la cantidad óptima de este macronutriente (Bidwell, 1979). La variabilidad de la concentración de K con respecto al bosque primario (0.16 meq/100ml) y del cultivo de caña de azúcar se debió por las condiciones topográficas del área de estudio.

Las concentraciones de calcio Ca en los suelos son similares, presentando el valor más alto en el sector de Santa Martha (PV) (5 meq/100ml) (Cuadro 1), y se evidenció que no existe diferencia numérica en la concentración de Ca en BP; es un elemento estructural que forma parte de la matriz de la pared celular,

favoreciendo al desarrollo de las raíces y hojas, influye directamente en el rendimiento de los cultivos, por ser un agente alcalinizador de los suelos (Bidwell, 1979).

Los resultados en la Cuadro 1 de concentraciones de magnesio Mg se encontraron entre 0.60 – 1.30 (meq/100ml), Las concentraciones en el área de cultivos de caña de azúcar presentan similitud con la de BP. El magnesio es absorbido por las plantas en forma de ión Mg²⁺, la deficiencia de este refleja el crecimiento lento y debilidad estructural de las plantas. Las plantas de caña de azúcar para su desarrollo vegetativo y productivo dependen del balance de minerales o nutrientes (K, Ca, P, Mg, Na, Fe, Mn, Zn y Cu) que proveen los suelos (Dos Santos *et al.*, 2018).

La intervención agrícola en la Amazonía ecuatoriana, cada día se va intensificando y modificando el paisaje natural. La pérdida de cobertura de vegetación nativa, el cambio de uso de la tierra (LUC) y el uso inadecuado del suelo han llevado a la degradación de los recursos naturales y la reducción de la calidad del suelo en relación con sus atributos físicos, químicos y biológicos (Camillo de Carvalho *et al.*, 2018); consecuentemente disminuye las funciones del suelo, que define seis tareas que cumple un suelo, incluida la producción de biomasa, la protección de los seres humanos y el medio ambiente, el depósito genético, la base física de las actividades humanas, la fuente de materias primas y el patrimonio geogénico y cultural. Es fundamental el equilibrio de los ecosistemas naturales y productivos para el desarrollo de la vida en el planeta.

La agricultura de la caña de azúcar en la parroquia Fátima debe buscar alternativas de producción con mayor tecnología y el mejor aprovechamiento de los subproductos agroindustriales, como residuos de cenizas, melaza, bagazo que tiene que ser devueltos a

los capos de caña con el fin de no descompensar en el balance nutricional del suelo.

Conclusiones

En el estudio se evidenció que el suelo ocupado por plantaciones de caña de azúcar absorbe el fósforo en 5.8 – 8.0 ppm de suelo respecto al bosque primario 14 ppm; esto está relacionado con el tipo de cultivo. El comportamiento homogéneo de las propiedades físico químicas está influenciado por las condiciones climáticas y topográficas del suelo, las altas precipitaciones lavan los suelos y se lixivian con mayor velocidad. El deterioro de los suelos en estas áreas se debe fundamentalmente por las malas prácticas agrícolas y el escaso retorno de nutrientes al suelo después de cada cosecha, al ser un monocultivo de larga duración.

Agradecimiento

El equipo de investigación agradece a la Universidad Estatal Amazónica, al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pastaza GADPPz y en especial al Laboratorio de Estudios Ambientales - UEA creado bajo el convenio específico de las mencionadas instituciones, que facilitó el desarrollo de los análisis físicos y químicos, para lograr los objetivos de investigación del presente estudio.

Bibliografía

- Bidwell, R.G.S. (1979). *Fisiología vegetal*. Primera Edición en español, A.G.T. Editor, S.A. México.
- Borges, B. M. M. N., Abdala, D. B., Souza, M. F. de, Viglio, L. M., Coelho, M. J. A., Pavinato, P. S., & Franco, H. C. J. (2019). *Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield*. *Geoderma*, 339, 20–30. doi:10.1016/j.geoderma.2018.12.036
- Bravo, C., Benítez, D., Vargas Burgos, J.C., Alemán, R., Torres, B. (2014). *Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo*. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4 (1): 3-31.
- Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., Navarrete, H., Changoluisa, D. (2017). *Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana*. REDVET-Revista electrónica de Veterinaria- ISSN 1695-7504, 18 (11).
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111117.htm>
- Camillo de Carvalho, M.A., Panosso, A.R., Ribeiro Teixeira, E.E., Araújo, E.G., Brancaglioni, V.A., Dallacort, R. (2018). *Multivariate approach of soil attributes on the*

characterization of land use in the southern Brazilian Amazon. *Soil & Tillage Research* 184: 207 – 215. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.004>

- Cerqueira, A.E.S., Silva, T.H., Nunes, A.C.S., Nunes, D.D., Lobato, L.C., Veloso, T.G.R., De Paula, S.O., Kasuya, M.C.M., Silva, C.C. (2018). *Amazon basin pasture soils reveal susceptibility to phytopathogens and lower fungal community dissimilarity than forest*. *Applied Soil Ecology*. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.07.004>
- Chen, S., Wang, Z., Guo, X., Rasool, G., Zhang, J., Xie, Y., Hamoud, Y., Shao, G. (2019). *Effects of vertically heterogeneous soil salinity on tomato photosynthesis and related physiological parameters*. *Scientia Horticulturae* 249: 120-130. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.049>
- Cherubin, M., Franco, A., Guimaraes, R., Tormena, C., Cerri, C.E.P., Karlen, D., Cerri, C.C. (2017). *Assessing soil structural quality under Brazilian sugar cane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS)*. *Soil & Tillage Research* 173: 64-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2016.05.004>
- Chiconato, D.A., da Silveira Souza Junior, G., dos Santos, D.M.M., Munns, R. (2019). *Adaptation of sugarcane plants to saline soil*. *Environmental and Experimental Botany*, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.021>
- Dörner, L., Deca, D., Pengb, X., Horn, R. (2010). *Effect of land use change on the dynamic behaviour of structural properties of an Andisol in southern Chile under saturated and unsaturated hydraulic conditions*. *Geoderma* 159: 189-197. [10.1016/j.geoderma.2010.07.011](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.07.011)
- Dos Santos, J.M., Quináia, S.P., Felsner, M.L. (2018). *Fast and direct analysis of Cr, Cd and Pb in brown sugar by GF AAS*. *Food Chemistry*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.106>
- Drobnik, T., Greiner, L., Keller, A., Grêt-Regamey, A. (2018). *Soil quality indicators—From soil functions to ecosystem services*. *Ecological Indicators* 94: 151-169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.052>
- Evaristo de Jesús, K. R., Torquato, S. A., Machado, P. G., Brumatti Zorzo, C. R., Cardoso, B. O., Lima Verde Leal, M. R., Moreira, D. A. (2019). *Sustainability assessment of sugarcane production systems: SustenAgro Decision Support System*. *Environmental Development*. doi:10.1016/j.envdev.2019.05.003
- Farahani, E., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Dexter, A.R. (2019). *Prediction of soil hard-setting and physical quality using water retention data*. *Geoderma* 338: 343-354. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.012>
- GADPP, (2012). *Plan de ordenamiento territorial de la provincia de Pastaza 2025 actualización 2012*. En línea: http://www.pastaza.gob.ec/pdf/consejo_planificacion/COMPONENTE%20BIOFISICO.pdf

- George, P., Keith, A., Creer, S., Barrett, G., Lebron, I., Emmett, B., Robinson, D., Jones, D. (2017). *Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme*. Soil Biology & Biochemistry. 115: 537-546. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.09.022>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia de Fátima GADPF, (2015). En línea: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1660011020001_F a P D O T _ G A D % 2 0 Parroquia2015_30-10-2015_15-22-13.pdf
- Huang, M., Zhang, Z., Zhu, C., Zhai, Y., & Lu, P. (2019). *Effect of biochar on sweet corn and soil salinity under conjunctive irrigation with brackish water in coastal saline soil*. Scientia Horticulturae, 250, 405–413. doi:10.1016/j.scienta.2019.02.077
- INEC. (2010). *Población por sexo, según provincia, parroquia y cantón de empadronamiento*. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>
- Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., Chau, K. (2019). *Combined life cycle assessment and artificial intelligence for prediction of output energy and environmental impacts of sugarcane production*. Science of the Total Environment 664:1005-1019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.004>
- Kome, G., Enang, R., Kfuban-Yerima, B., Raoul-Lontsi, M. (2018). *Models relating soil pH measurements in H₂O, KCl and CaCl₂ for volcanic ash soils of Cameroon*. Geoderma Regional xxx: e00185. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00185>
- Kuria, A., Barrios, E., Pagella, T., Muthuri, C., Mukuralinda, A., Sinclair, F. (2018). *Farmers' knowledge of soil quality indicators along a land degradation gradient in Rwanda*. Geoderma Regional 15: 00199. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00199>
- López-Martínez, J. & Guerrero, J. (1999). *Contenido de humedad del suelo para decidir la siembra en agricultura de zonas áridas*. Terra Latinoamericana, 17 (1): 51-57.
- MAE., Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2002). *Recurso Suelo, Libro VI Anexo 2, Norma de la Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para suelos contaminados*, 30 pp. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>
- Mendes – Brito, W., Costa – Campos, M., Costa – Campos, B., da Cunha, J., Franciscon, U., Rodrigues - Soares, M. (2018). *Spatial variability of soil physical properties in Archeological Dark Earths under different uses in southern Amazon*. Soil & Tillage Research 182: 103 – 111. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.008>
- Norma mexicana, (2016). *Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra*. NMX-AA-132-SCFI-2016. Disponible en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-132-scfi-2016.pdf>
- Ortegón, G. P., Arboleda, F. M., Candela, L., Tamoh, K., & Valdes-Abellan, J. (2016). *Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia)*. Science of The Total Environment, 539, 410–419. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.08.153
- Qiu, X., Peng, Q., Wang, H., Wang, Z., Cheng, S. (2019). *Minimum data set for evaluation of stand density effects on soil quality in Larix principis-rupprechtii plantations in North China*. Ecological Indicators 103: 236-147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.010>
- Guimarães, R., Neves, A., Silva, W., Rogers, C., Ball, B., Montes, C., & Pereira, B. (2017). *The merits of the Visual Evaluation of Soil Structure method (VESS) for assessing soil physical quality in the remote, undeveloped regions of the Amazon basin*. Soil and Tillage Research, 173, 75–82. doi:10.1016/j.still.2016.10.014
- Sablón-Cossio, N., Pérez Quintana, M.L., Acevedo Suárez, J.A., Chacón Guerra, E., Villalba Pozo, V. (2016). *La integración en la cadena agroalimentaria de panela en el Puyo, Ecuador*. Cultivos Tropicales, 37 (4): 128-135. DOI: 10.13140/RG.2.2.29471.56480
- Shen, Q., Suarez-Abelenda, M., Camps-Arbestain, M., Calvelo Pereira, R., McNally, S. R., & Kelliher, F. M. (2018). *An investigation of organic matter quality and quantity in acid soils as influenced by soil type and land use*. Geoderma, 328, 44–55. doi:10.1016/j.geoderma.2018.05.006
- Shomelli, M., Nabipour, M., Meskarbashee, M., Memari, H.R. (2011). *Evaluation of Sugarcane (Saccharum officinarum L.) Somaclonals Tolerance to Salinity Via In Vitro and In Vivo*. HAYATI Journal of Biosciences, 18 (2): 91-96. DOI: 10.4308/hjb.18.2.91
- Skorupa, A., Silva, S., Poggere, G., Tassinari, D., Pinto, L., Zinn, Y., & Curi, N. (2017). *Similar Soils but Different Soil-Forming Factors: Converging Evolution of Inceptisols in Brazil*. Pedosphere, 27(4): 747–757. doi:10.1016/s1002-0160(17)60443-0
- Souza, R., Telles, T., Machado, W., Hungria, M., Filho, J., Guimarães, M. (2012). *Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil*. Agriculture, Ecosystems and Environment 155:1–6. doi:10.1016/j.agee.2012.03.012
- Thompson, L. M. y Troeh, F. R. (1988). *Los suelos y su fertilidad*. Ed. Reverté. Cuarta. Barcelona-Bogo-tá-Buenos Aires-Caracas-México
- Valle, S., Dörner, J., Zúñiga, F., Dec, D. (2018). *Seasonal dynamics of the physical quality of volcanic ash soils under different land uses in southern Chile*. Soil & Tillage Research 182: 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.018>
- Vinhal – Freitas, I. Corrêa, G., Wendling, B., Bobul'ská, L.,

- Ferreira, A. (2017). *Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators*. *Ecological Indicators* 74: 182–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecol>
- Wang, Y., Huang, T., Liu, J., Lin, Zh., Li, Sh., Wang, R. y Ge, Y. (2015). *Soil pH value, organic matter and macronutrients contents prediction using optical diffuse reflectance spectroscopy*. *Computers and Electronics in Agriculture* 111, 69–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2014.11.019>
- Zhao-miao, L., Hui-feng, N., Jun-guo, B., Jiang-fang, Q., Zheng-hui, L., Gang-hua, L., Qiang-sheng, W., Shao-hua, W. y Yan-feng, D. (2014). *Effects of Nitrogen Fertilization and Genotype on Rice Grain Macronutrients and Micronutrients*. *Rice Science*, 21(4): 233–242. DOI: 10.1016/S1672-6308(13)60178-X