

CALIDAD DE SUELO EN TRES SISTEMAS DE USO DE SUELO EN LAS LAGUNAS, BUGABA

SOIL QUALITY IN THREE LAND USE SYSTEMS IN LAS LAGUNAS, BUGABA

Felicita González¹, Richard José Ortega Justavino¹ y Eva S. Moreno¹*

¹Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Suelos y Agua. Panamá (felicita.gonzalez@up.ac.pa, <https://orcid.org/0000-0003-1594-3899>; richard.ortega@up.ac.pa, <https://orcid.org/0000-0003-2877-019X>; evasofiamoreno@gmail.com)

*Correo de Correspondencia: felicita.gonzalez@up.ac.pa

Recibido: 10/08/2022

Aceptado: 09/09/2022

RESUMEN. Con el propósito de evaluar la calidad de suelo en tres sistemas de uso de suelo, se establecieron en la comunidad de Las Lagunas, Distrito de Bugaba, Provincia de Chiriquí; parcelas de muestreo donde cada finca representó un sistema de cultivo. Los sistemas evaluados fueron: sistema agroforestal de cacao, sistema de cultivos intercalados y monocultivo de plátano. Para la obtención de los valores de índice de Calidad de Sitio (ICS) se utilizó la metodología propuesta por Cantú et al. (2007), los indicadores químicos-físicos se analizan mediante la metodología de Díaz Romeu y Hunter (1978) y Henríquez y Cabalceta (1999). De acuerdo con la caracterización el sistema intercalado y cultivo de plátano son similares, diferenciándose del SAF de cacao pudiéndose considerar este último como orgánico. Los atributos seleccionados para ICS fueron: pH en agua (1:2.5), disponibilidad de nutrientes, nitrógeno% y densidad aparente; correspondiéndole al sistema de cultivo de plátano un valor de 2.85, cultivo intercalado 2.55 y SAF cacao 2.54. Para los indicadores físicos - químicos la parcela de cultivo de plátano y cultivos intercalados registraron los mayores contenidos de fósforo, potasio, calcio, magnesio, materia orgánica, nitrógeno, densidad aparente y mejor pH; en relación con el sistema agroforestal de cacao. La densidad aparente para el sistema agroforestal de cacao fue de muy alta calidad, siendo un sistema más orgánico y de mejor calidad de suelo.

PALABRAS CLAVE: Sistema agroforestal, indicadores, fertilidad, índice de calidad de suelos.

ABSTRACT. With the purpose of evaluating the soil quality in three land use systems, they were established in the community of Las Lagunas, District of Bugaba, Province of Chiriquí; sampling plots where each farm represented a cropping system. The systems evaluated were: cocoa agroforestry system, intercropping system and plantain monoculture. To obtain the site quality index (ICS) values, the methodology proposed by Cantú et al. (2007), the chemical-physical indicators are analyzed using the methodology of Díaz Romeu and Hunter (1978) and Henríquez and Cabalceta (1999). According to the characterization, the intercropped system and plantain cultivation are similar, differing from the SAF of cocoa, the latter being able to be considered organic. The attributes selected for ICS were: pH in water (1:2.5), availability of nutrients, nitrogen% and bulk density; corresponding to the plantain cultivation system a value of 2.85, intercropping 2.55 and SAF cocoa 2.54. For the physical - chemical indicators, the plot of plantain cultivation and intercropping recorded the highest contents of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, organic matter, nitrogen, apparent density and better pH; in relation to the cocoa agroforestry system. The bulk density for the cocoa agroforestry system was of very high quality, being a more organic system with better soil quality.

KEYWORDS: Agroforestry system, indicators, fertility, soil quality index.

INTRODUCCIÓN

El suelo constituye la base para el desarrollo sostenible de los agroecosistemas cumplen tres funciones esenciales, actuando como medio para el crecimiento de las plantas y desarrollo de la actividad biológica, regula la reserva y flujo de agua, y degrada compuestos contaminantes para el ambiente de los ecosistemas. (Gliessman, R. 2002; Vandermeer, J. 2011).

El concepto de calidad de suelos se define con base en las diferentes facetas de esas tres funciones del suelo como: la capacidad del suelo para funcionar en un ecosistema, para mantener y mejorar

la productividad biológica, la calidad ambiental y la salud de plantas y animales (Doran y Parkin 1994, Doran et al. 1996).

El analizar la calidad de suelos permite detectar cambios en el suelo, especialmente en la parte biológica, provee los aspectos básicos para evaluar la sostenibilidad del manejo del sistema y tiene relación directa con la producción sostenible; por tales razones, la calidad del suelo es el indicador primario del manejo sostenible de suelos y se considera un componente crítico de la agricultura sostenible (Doran y Parkin 1994, Larson y Pearce 1994, Karlen et al. 1997, Herrick 2000).

Existen evidencias de los beneficios de los sistemas agroforestales en la producción y aporte de biomasa, reducen la pérdida de nutrientes, favoreciendo a la fertilidad y la biota del suelo (Schroth 2003); en comparación con los sistemas de cultivo convencionales estos pueden tener efectos negativos en el suelo por la aplicación de insumos sintéticos.

Esta investigación tuvo como finalidad generar información mediante la caracterización, metodologías e indicadores de calidad de suelo: químicos y físicos; permitiendo identificar transversalmente condiciones de estos suelos bajo tres sistemas de uso.

METODOLOGÍA

El área del estudio se localiza entre los 8° 30' 0" de latitud norte y los 82° 43' 0.1338" de longitud este, figura 1, con una altitud de 252 metros sobre el nivel del mar, pendiente entre 0 a 3 grados (Ministerio de Ambiente, 2010).



Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio. Las Lagunas.

El clima del área es Tropical Húmedo (Ministerio de Ambiente, 2010), la temperatura anual promedio es 27°C, la precipitación anual promedio es de 3459.9 milímetros, de acuerdo con datos de la Estación meteorológica de Jacú, mientras que la humedad relativa anual promedio: 83.4 por ciento. (ETESA, 2022. <https://www.hidromet.com.pa/es/clima-historicos>).

Los suelos de esta región son aluviales de formación reciente, se distinguen por su alto contenido de materia orgánica en el horizonte superficial, por lo que se clasifican entre los mejores para la agricultura. (IDIAP, 2010; Matthews et al,1960). El orden de suelo son inceptisoles derivados tanto de depósitos fluviónicos como residuales, y están formados por materiales líticos de naturaleza volcánica y sedimentaria. Son superficiales a moderadamente profundos y de topografía plana a quebrada. Morfológicamente presentan perfiles de formación incipiente, en los cuales se destaca la presencia de un horizonte cámbico (B) de matices rojizos a pardo amarillento rojizo, excepcionalmente pardo amarillentos, y con evidencias darás de alteración y no de acumulación de material iluviado. (Núñez, 1981). La zona de vida es Bosque Húmedo Tropical, (Ministerio de Ambiente, 2010).

Se establecieron tres parcelas de muestreo temporal correspondiendo la parcela uno al sistema agroforestal de cacao con sombra, con un área total de 7,032.3 metros cuadrados; parcela dos cultivos intercalados, con cultivos como: habas (*Vicia faba*), oteo (*Discorea alata*), guandú (*Cajanus cajan*) y ñampi (*Colocasia esculenta*) con un área de 4,248.6 metros cuadrados y una tercera parcela en monocultivo de plátano híbrido FHIA 21, (*Musa paradisiaca*) con 5,590.7 metros cuadrados. De acuerdo con el sistema seleccionado se marcó una parcela de 20 x 50 m (1000 m²), en la que se realizaron los muestreos de suelo. En cada parcela, se ubicó en un lugar representativo de las condiciones predominantes de producción del sistema. Se registraron las coordenadas (GPS), para ubicarlas posteriormente. (Figura 2).



Figura 2. Mapa de ubicación de los sistemas evaluados.

La caracterización de los sistemas se realizó, mediante la aplicación de una encuesta a los productores, conociendo sobre el historial de la finca, manejo, frecuencia de prácticas de cultivos, insumos, rendimientos, problemas del cultivo.

El análisis de la calidad de suelos de los tres sistemas se basó en la medición de indicadores químicos y físicos. La Tabla 1, indica la profundidad de muestreo y la metodología utilizada para cada indicador; la evaluación de estos indicadores se realizó una sola vez, por ser relativamente estables (García y Hernández 2003).

Tabla 1. Indicadores químicos - físicos, para determinar la calidad de suelo en los tres sistemas. Las Lagunas.

INDICADORES	Profundidad (cm)	METODOLOGÍA UTILIZADA	FUENTE	
Q U Í M I C O	pH	0-20	pH-metro en agua	Díaz Romeu y Hunter (1978)
	Ca (cmol(+) l-1)	0-20	Extracción de P, K, Cu, Mn, Ca, Mg, Zn. Método Carolina del Norte. Lectura de P, método colorimétrico, la determinación de los demás elementos (K, Cu, Mn, Zn, Ca y Mg) mediante espectroscopia por absorción atómica.	
	Mg (cmol(+) l-1)			
	P (mg l-1)			
	K (mg l-1)			
	Cu (mg l-1)			
	Mn (mg l-1)			
	Zn (mg l-1)			
	Fe (mg l-1)			
	%Materia orgánica (MO)	0-20		% Materia orgánica = % C x 1,724
F Í S I C O	Densidad aparente (DA) (g cc ⁻¹)	0-5		Extracción de suelo con cilindros de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro en tres sitios. Secado en horno a 105°C por 24 horas.
	Textura % Arcilla % Arena % Limo	0-20	Método granulométrico de Bouyoucos	-

El muestreo para cada parcela consto de 12 submuestras de suelo, para obtener una muestra compuesta de 500 gramos. En la parcela con sistema agroforestal de cacao, se tomaron cuatro submuestras de suelo a un metro del tronco de los árboles de sombra, cuatro submuestras en medio de dos árboles de sombra, y otras cuatro a un metro del tronco de los árboles de cacao.

Para los sistemas de uso de suelo monocultivo de plátano y cultivos intercalados se realizó un recorrido en zig-zag tomando 12 submuestras hasta abarcar toda el área. Las muestras compuestas fueron puestas en bolsas plásticas y rotuladas; estas bolsas no fueron cerradas para evitar cambios bioquímicos que alteren las características de la muestra.

Para definir los ICS y los valores asociados se usó la metodología propuesta por Cantú *et al.* (2007), para lo cual se requiere definir los límites máximos (I_{max}) y mínimo (I_{min}) de los atributos seleccionados.

Los valores de los indicadores fueron normalizados utilizando una escala de 0 a 1. Para los ICS estos valores representan la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, respectivamente. En los suelos agrícolas, el valor máximo del indicador I_{max} (valor normalizado $V_n = 1$) representa el valor ideal al que se aspira llegar o la mejor situación de calidad del suelo

(Cantú *et al.*, 2007). El valor mínimo del mismo I_{\min} (valor normalizado $V_n = 0$) representa el mínimo deseable o la calidad mínima aceptable.

El cálculo del valor normalizado de los indicadores se realizó de la siguiente manera:

$$V_n = \frac{(I_m - I_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})}$$

Dónde: V_n : valor normalizado del indicador

I_m : medida experimental del atributo considerado como indicador;

I_{\min} : valor mínimo del atributo considerado como indicador;

I_{\max} : valor máximo del atributo considerado como indicador.

En la Tabla 2, se presentan los límites máximos (I_{\max}) y mínimo (I_{\min}) considerados para los atributos utilizados como indicadores de suelo. Los mismos se derivan en base a niveles críticos establecidos para las metodologías de extracción.

Tabla 2. *Atributos utilizados como indicadores de suelo. Las Lagunas, Bugaba*

INDICADOR	VALOR MÁXIMO (I_{\max})	VALOR MÍNIMO (I_{\min})
pH (H ₂ O) (1:2.5)	6.5	5.0
Materia orgánica (MO) (%)	6.0	2.0
P _{ext} mg/L (ppm)	56.0	10.0
Na mg/L (ppm)	150.0	50.0
Fe mg/L (ppm)	74.0	25.0
Cu mg/L (ppm)	6.0	2.0
Mn mg/L (ppm)	49.0	15.0
Zn mg/L (ppm)	14.0	4.0
Al (Cmol kg ⁻¹)	2.50	0.50
Ca (Cmol kg ⁻¹)	5.0	2.0
Mg (Cmol kg ⁻¹)	1.50	0.60
K (Cmol kg ⁻¹)	0.38	0.13
N (%)	0.14	0.08
Densidad aparente (g/cc)	1.2	0.8

I_{\min} : valor mínimo del atributo; **I_{\max}** : valor máximo del atributo

Para la interpretación de los indicadores de calidad generados para los suelos de las tres parcelas de las Lagunas, se utilizó una escala de siete clases de calidad para cada indicador (Tabla 3), una clase mayor a uno y otra menor de cero, debido al amplio rango de valores que presentaron los indicadores generados para los suelos de Las Lagunas.

Tabla 3. Escala de clases de calidad de suelos. Las Lagunas, Bugaba.

Clases de calidad	Escala
Exceso	1.00 1.30
Muy alta calidad	0.80 1.00
Alta calidad	0.60 0.79
Moderada calidad	0.40 0.59
Baja calidad	0.20 0.39
Muy baja calidad	0.00 0.19
Déficit	-1.00 0.00

RESULTADOS

Caracterización de los Sistemas

Los tres sistemas, plátano en monocultivo, cultivos intercalados y SAF de cacao con sombra, no son similares en sus características. El sistema intercalado y cultivo de plátano son similares, ambos se diferencian del SAF de cacao. Las diferencias más importantes se dan en las prácticas de manejo que son más frecuentes e incluyen aplicación de insumos. El sistema de cacao con sombra tiene árboles que diversifican la producción, este sistema acumula gran cantidad de hojarasca sobre el suelo, pudiéndose considerar como orgánico, sin embargo, recibe algunas aplicaciones de fertilizantes y fungicidas para el control de las enfermedades.

Para el SAF de cacao, los problemas que presenta el cultivo en su producción son las hormigas ardillas y la enfermedad monilia, Este sistema presenta especies leñosas como: mango (*Mangifera indica*), nance (*Byrsonima crassifolia*), naranja (*Citrus sinensis*), limón persa (*Citrus latifolia*), eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), cedro (*Cedrela odorata*), palmas pixvae (*Bactris gasipaes*), mamon chino (*Nephelium lappaceum*), banano (*M. sapientum*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*). En el caso del sistema plátano en monocultivo, los problemas fitosanitarios que presenta durante la fase del cultivo son sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), nematodos (*Nematoda*) y el picudo negro del plátano (*Cosmopolites sordidus* Germar).

Índice de calidad de suelo (ICS)

La fertilidad del suelo integra atributos físicos, químicos y biológicos del suelo (Pieri, 1989). Los atributos seleccionados para esta investigación fueron: pH en agua (1:2.5), materia orgánica, disponibilidad de nutrimentos, nitrógeno% y densidad aparente, para los tres sistemas de cultivos en estudio; estas variables se seleccionaron debido a que son usados con frecuencia para definir la fertilidad del suelo. Analizando los sistemas en base a las clases de calidad de suelos, estos se encuentran fuera de los límites considerados correspondiéndole al sistema de cultivo de plátano un valor de 2.85 seguido por el de cultivo intercalado con 2.55 y SAF cacao 2.54, esto se debe a la valoración en conjunto de los indicadores químicos.

En los sistemas estudiados, existen indicadores químicos que se encuentran en exceso indicando que tanto en el monocultivo de plátano como en los cultivos intercalados se utilizan insumos externos (fertilizantes), lo que aumenta la concentración de algunos nutrientes en el suelo (fósforo, potasio y nitrógeno); en caso de zinc y cobre sus contenidos pueden incrementarse debido a las aplicaciones de agroquímicos que se utilizan tradicionalmente.

Estudios realizados por Cerda (2008), sobre calidad de suelo en plantaciones de cacao y plátano en monocultivo, encontró que la ventaja que tiene el cultivo de plátano se debe al mayor contenido de P, K, Ca y Mg, y menor pH que en los suelos de los otros sistemas; esto le permite tener mayores valores en el índice de calidad de suelo. En este mismo sentido indica, que los mayores contenidos de dichos nutrientes y menor pH en suelos cultivados bajo este sistema de plátano en monocultivo se explican por la aplicación de fertilizantes sintéticos como la fórmula completa y urea azufrada. Además, la aplicación de insecticidas (clorados fosforados y piretroides), como los que se aplican en esta investigación.

Fertilidad (Nutrientes)

Promover el uso sustentable del suelo ha surgido como respuesta a los múltiples y diversos problemas a los que se ha enfrentado la calidad y la cantidad de los suelos aptos para el cultivo de alimentos y árboles de todo el mundo.

Diversos estudios han estimado que la naturaleza por sí sola puede tardar unos 200 años en lograr producir un centímetro de suelo fértil, por ello es realmente importante protegerlos y cuidarlos para garantizar su conservación. La productividad de un suelo, la cual se logra en gran parte gracias a una buena fertilidad, por eso es importante el contenido de nutrientes, pH, al igual que se hace con otros indicadores.

Los valores de índices de calidad para pH, aluminio y fósforo se observan en la figura 3. Donde los valores de pH y aluminio considerados como de baja calidad y muy baja calidad se explican por el material parental que caracteriza este orden de suelo.

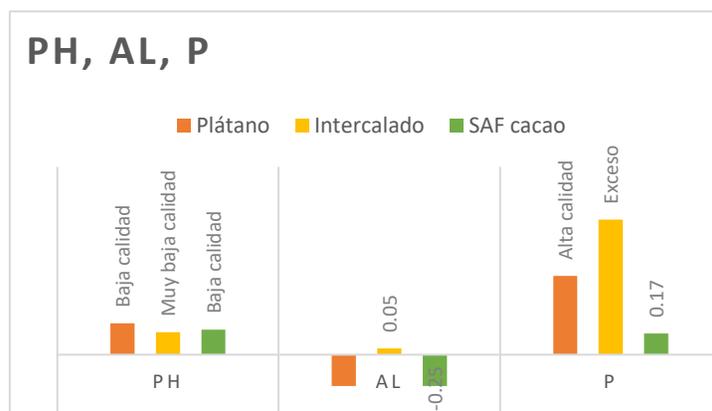


Figura 3. Valores de los indicadores de calidad de suelo para pH, fósforo y aluminio. Las Lagunas.

En el caso del fósforo al comparar los contenidos en los tres sistemas en estudio, el sistema de cultivos intercalados registra una clasificación de muy baja calidad, que significa mayor contenido de fósforo, seguido por el sistema de monocultivo de plátano y finalmente el SAF de cacao, esto se justifica ya que en los dos primeros sistemas de acuerdo a la caracterización se utilizan insumos como fertilizantes, lo cual contribuye al aumento en los contenidos de este indicador. La aplicación de insecticidas (clorados fosforados y piretroides), en estos dos primeros sistemas incrementan la disponibilidad de P en el suelo, esto sugiere que se incrementan las actividades de microorganismos que intervienen en la mineralización y solubilización del fósforo, y que se libera fósforo de la fauna animal muerta por efecto de los insecticidas (Das y Mukherjee 2000).

La característica de estos suelos nos indica, que los contenidos en este caso están por encima de los valores registrados para este orden de suelo. Para el caso del SAF de cacao por su manejo orgánico se asemeja más a los valores esperados para los suelos de la región. De acuerdo con Isaacs et al (2007); Fassbender et al. (1991), la disponibilidad de fósforo puede ser menor en sistemas agroforestales que en monocultivos, pero esta es una limitante general en los suelos de agroecosistema tropicales, debido a la alta fijación de este nutriente en suelos ácidos; en otros suelos de sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica también se reportaron bajos contenidos de fósforo. Los sistemas de cultivos de plátano y SAF de cacao, registraron valores de aluminio por debajo del nivel crítico, clasificándose en el ICS como Déficit, sin embargo, el sistema de cultivos intercalados presento valores medios de acuerdo a los niveles críticos, con un ICS de muy baja calidad.

Para los nutrimentos calcio, magnesio y potasio, los índices de calidad alcanzan valores superiores a los establecidos como niveles críticos para nuestro estudio, clasificándose como en "Exceso", guardando relación con el material originario de estos suelos. Lo que es reafirmado en investigación realizada por Villarreal (2013), con suelos del mismo orden sobre índice de calidad de suelos cultivados con banano en Panamá, donde reportó en los diferentes sitios del estudio altos contenidos de calcio, magnesio y potasio, el mismo autor presento en el primer taller latinoamericano globalsoilmap.net, en Brasil (IDIAP 2010); mapa de fertilidad de suelos basado en función de niveles críticos para calcio, magnesio y potasio, en el que se aprecia para esta región occidental de la provincia de Chiriquí niveles altos para estos tres nutrimentos.

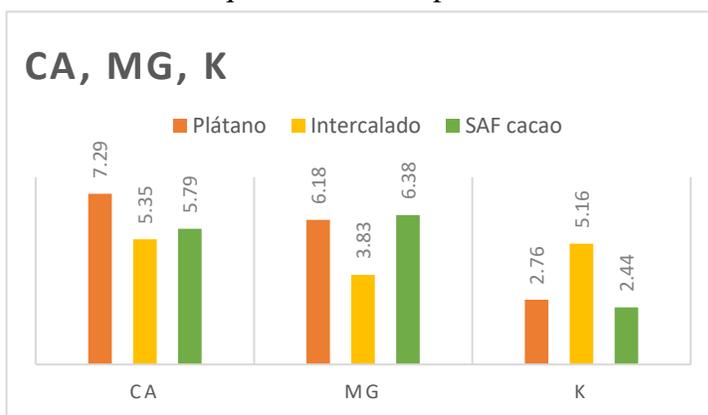


Figura 4. Valores de los indicadores de calidad de suelo para calcio, magnesio y potasio. Las Lagunas.

De los tres sistemas estudiados los cultivos intercalados y el cultivo de plátano presentaron mayores valores que el SAF de cacao, incrementándose por las adiciones de fertilizantes sintéticos.

Los micro nutrientes como hierro, cobre y manganeso presentan contenidos por encima del nivel crítico, de acuerdo al ICS clasificado de Exceso, esto es característico en estos suelos producto de alto contenido de materia orgánica que a su vez contribuye a la retención de humedad.

El sistema SAF – cacao, registro el mayor valor de hierro, reafirmando lo encontrado ya que dentro del sistema hay una gran diversidad de especies arbóreas que aportan altos contenidos de hojarasca, que al depositarse en el suelo mantienen mayor humedad y al mineralizarse aumentan la materia orgánica en el suelo. La formación de óxidos de hierro en el suelo es afectada por la materia orgánica y por las bacterias, el hierro forma quelatos metálicos con la materia orgánica y algunas bacterias participan en el ciclo del hierro. La distribución de hierro extraíble depende de la presencia de la materia orgánica. Los ácidos húmicos del suelo son fuertemente adsorbidos o complejados con el hierro en pH mayores de tres (Duxbury et al., 1989).

En el caso de los micronutrientes manganeso y cobre, los sistemas con niveles mayores lo fueron los sistemas de monocultivos de plátano y cultivos intercalados, atribuyéndose a la retención de agua y poco drenaje; otra entrada de estos micro nutrientes al sistema se da por el uso de insumos (agroquímicos) cuya composición química son a base de estos elementos, contribuyendo al aumento de estos. Mientras que el zinc en los tres sistemas obtuvo niveles críticos medios, correspondiendo según la escala de calidad de suelo, a clasificación entre alta calidad para el sistema de monocultivo de plátano a muy baja calidad para el SAF – cacao. Según Bordoli et al. (2013), en estudios realizados en el cultivo de soja encontraron que cuando el pH del suelo era ácido (menor a 5,3) la concentración de Zn en planta era muy alta comparada con un suelo más alcalino (pH mayor a 7,3) donde el contenido de nutriente en planta era muy bajo, lo que muestra que el cambio en el pH del suelo hace variar la disponibilidad de Zn.

Materia orgánica y nitrógeno

Los tres sistemas de uso de suelo evaluados presentaron la misma tendencia superando los porcentajes de materia orgánica y nitrógeno, obteniendo el sistema de cultivo de plátano. el mayor porcentaje tanto de nitrógeno y materia orgánica 0.50% y 8.61% respectivamente, seguido por el SAF – Cacao con sombra y cultivos intercalados; para un ICS de 1.65, 1.34 y 1.25 respectivamente, clasificándose como en exceso, coincidiendo con lo encontrado por Maldonado et al. (2006), en plantaciones de banano y plátano, donde los residuos vegetales después de una cosecha ayudan a mantener la materia orgánica y protegen al suelo de la erosión. Nos indica Gamarra *et al.* (2016), que valores altos implican que la materia orgánica se descompone lentamente, ya que los microorganismos inmovilizan el nitrógeno, por lo que no puede ser utilizado por los vegetales. En sistemas agroforestales la hojarasca es la mayor proveedora de nitrógeno (Chander et al. 1998).

Indicador físico

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000). La densidad aparente es una propiedad física del suelo que se ha propuesto como indicador de calidad.

El SAF- cacao presento un ICS de muy alta calidad, a pesar de tener una diferencia de 0.31% de materia orgánica que el cultivo de plátano, sin embargo, la materia orgánica fue clasificada en Exceso para los tres sistemas, esto se atribuye a los mayores porcentajes de materia orgánica presente en los tres sistemas estudiados ya que estos indicadores están estrechamente correlacionados, figura 5. La materia orgánica es uno de los factores fundamentales porque influye en la estructura del suelo al mejorar la estabilidad de agregados (Stenberg et al. 2000), favorece a una mejor distribución de poros de diferentes tamaños (Kirkby y Powlson 2004) y disminuye la densidad aparente porque sus componentes son menos densos que los componentes minerales (Henríquez y Cabalceta 1999).

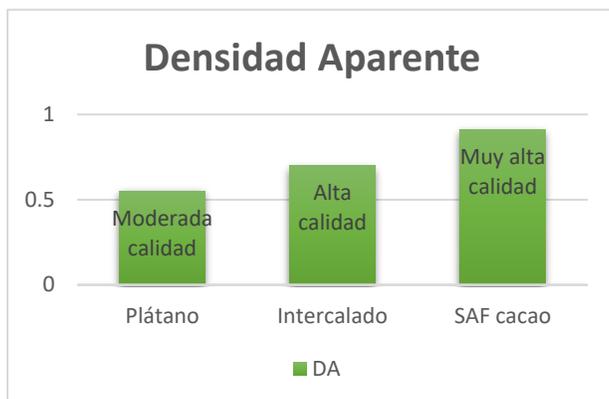


Figura 5. Valores de los indicadores de calidad de suelo para densidad aparente. Las Lagunas.

CONCLUSIONES

- En base a los atributos de suelo evaluados se encontró que el sistema de cultivo de plátano y cultivos intercalados tienen los mejores Índices de Calidad de Suelo (2.85 y 2.55 respectivamente), debido a la aplicación de fertilizantes sintéticos, indicando que, sin esa aplicación, la calidad de los suelos sería menor. Para el sistema agroforestal de cacao el ICS fue de 2.54.
- Al considerar la sostenibilidad de los tres sistemas estudiados, podemos decir que en SAF de cacao, a pesar de registrar una diferencia de 0.3 en el ICS, se obtuvieron valores bajos de densidad aparente (0.85 kg/L) y porcentajes altos de materia orgánica, lo que indica que este sistema aporta cantidades altas de biomasa y a su vez reservas de nutrientes que son reciclados, importante para la sostenibilidad y autosuficiencia del sistema.
- En este mismo sentido permitieron desarrollar recomendaciones en cuanto a balance de bases y otros nutrientes y de esta forma evitar antagonismos y problemas de sostenibilidad de los suelos. Estableciéndose como línea base para futuras investigaciones.
- El sistema de cacao con sombra recibe poco manejo, tiene árboles que diversifican la producción, este sistema acumula gran cantidad de hojarasca sobre el suelo, pudiéndose

considerar como orgánico; mientras que los sistemas de cultivo de plátano y cultivos intercalados el manejo es más frecuente y con aplicaciones de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas sintéticos.

- Para los indicadores físicos -químicos la parcela cultivo de plátano y cultivos intercalados registraron los mayores contenidos de P, K, Ca, Mg, M.O, N, D.A y mejor pH; en relación con el SAF de cacao. La D.A para este sistema fue de muy alta calidad, siendo un sistema más orgánico y de mejor calidad de suelo.

REFERENCIAS

- Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 157 p.
- Bordoli, J.; Mallarino, A. (1998). Deep and shallow banding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agronomy Journal*. 90: 27-33.
- Cantú, M. P., A. Becker, J.C. Bedano, y H. F. Schiviano. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices en la Pampa Argentina. *Ciencia Suelo*. 25: 173-178.
- Cerda, R. (2008). Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el Valle de Talamanca, Costa Rica (en línea). Tesis. Magister. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Consultado el 23 de abr de 2020. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A1822e/A1822e.pdf>
- Chander, K; Goyal, S; Nandal, DP; Kapoor, KK. (1998). Soil organic matter, microbial biomass and enzyme activities in a tropical agroforestry system. *Biology and Fertility of Soils* 27:168-172. Das, AC; Mukherjee, D. 2000. Soil application of insecticides influences microorganisms and plant nutrients. *Applied Soil Ecology* 14:55-62.
- Das, AC; Mukherjee, D. 2000. Soil application of insecticides influences microorganisms and plant nutrients. *Applied Soil Ecology* 14:55-62.
- Diaz Romeu, R; Hunter A. (1978). Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos, tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, CR, CATIE. 68 p.
- Duxbury, J.M., M.S. Smith y J.W. Doran. (1989). Organic matter as a source and a sink of plant nutrients. pp. 33-68. In: Coleman, D.C., J.M. Oades y G. Uehara (eds.). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. University of Hawaii Press. Honolulu, Hawaii.
- ETESA. (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A). (2022). Hidrometeorología Etesa. (En línea). Consultado el 30 de agosto de 2022. Disponible en: <https://www.hidromet.com.pa/es/> <https://www.hidromet.com.pa/es/clima-historicos>

- Fassbender, HW; Beer, J; Heuvelodop, J; Imback, A; Enriquez, G; Bonnemann, A. (1991). Ten-year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 45:173–183.
- Gamarra, C; Díaz, M; Ortiz, M; Galeano, M; Cabrera, A. (2016). Relación Carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco Paraguayo (en línea). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9 (46): 7. Consultado el 16 de mayo de 2021. Disponible en: <https://mail.google.com/mail/u/1/?pli=1#inbox/FMfcgxwLtkPITSbPHvGsltJNGHTVJsfi?projector=1&messagePartId=0.4>
- García, C; Hernández, T. (2003). Introducción. In García, C; Gil, F; Hernández, T; Trasar, C. eds. *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos de Suelos: Medidas de actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana*. Madrid, ES, Mundi-Prensa. p. 7-21
- Gliessman, R. 2002. *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, C.R: CATIE.
- Google Earth. (2020). Santo Domingo, Las Lagunas, Bugaba Consultado 18 de mayo del 2019. Disponible en: <https://www.google.com/earth/>
- Henríquez, C; Calbalceta, G. (1999). Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 112 p.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias IDIAP. (2006). Zonificación de suelos de Panamá por niveles de nutrientes. Panamá. 24p.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. IDIAP (2010). 1 er TALLER LATINOAMERICANO GLOBALSOILMAP.NET. ATLAS DE SUELOS DE LATINOAMERICA. Brasil. 42p
- Isaac, ME; Timmer, VR; Quashie-Sam, SJ. (2007). Shade tree effects in an 8-year-old cocoa agroforestry system: biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis. *Nutrient cycling in agroecosystems*. Volume 78, Number 2, 155-165.
- Kirkby, M; Powlson, D. (2004). Introduction: linkages and research priorities. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:245-247.
- Larson, W. E; Pierce, F.J. (1994). The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *Soil Science Society of America* 677: 37-51.
- Maldonado, F; Jasso, J; Palma-López, D; Salgado, S; González, V. (2006). Dinámica de materia orgánica, P y K en suelos de sistemas agroforestales “cedro-plátano” en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(3):223-230.
- Matthews. E. D.; Guzmán L. E.; Hansen. D. E. (1960). Clasificación agrológica, capacidad de las tierras y agricultura del suroeste de la provincia de Chiriquí. Servicio Interamericano de

- Cooperación Agrícola en Panamá. United States of América Operations Mission to Panamá. Ministerio de Agricultura, Comercio e Industrias. República de Panamá. 135p.
- Ministerio de Ambiente. (2010). Atlas Ambiental de la República de Panamá. (En línea). Consultado el 7 de jul de 2019. Disponible en: www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtualImg/AtlasAmbiental.pdf
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). (2021). Cierre año agrícola 2020-2021. Documento de actividades productivas. (En línea). Consultado el 10 de enero de 2022. Disponible en: <https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2021/10/CIERREAGRICOLA2020-2021-modificado.pdf>
- Núñez, J. (1981). Fundamentos de Edafología. (En línea). Consultado el 20 de jun. de 2019. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1825.PDF>
- Pieri, C. (1989). Fertilité des Terres de Savanes. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT. Paris, Francia. pp: 33-60.
- Singer, M.J. y Ewing, S. (2000). Soil Quality. En Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Vandermeer, J. (2011). The Ecology of Agroecosystems. by Jones and Barlett Publishers. Massachussetts, USA.
- Villarreal, J. (2013). Índice de calidad del suelo en áreas cultivadas con banano en Panamá. (En línea) Consultado el 18 de mar. de 2021. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212013000200007