



# Evaluación de indicadores de sostenibilidad del suelo y de salud del cultivo en sistemas convencionales y orgánicos de yuca

## Evaluation of soil sustainability and crop health indicators in conventional and organic cassava systems

Luis Felipe De-La-Ossa-Puello<sup>1</sup> ; José Luis Barrera-Violeth<sup>1\*</sup> ; Enrique Miguel Combatt-Caballero<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad de Córdoba, Grupo de Investigación Agricultura sostenible. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: fdelaossa@correo.unicordoba.edu.co; jlbarrera@correo.unicordoba.edu.co

<sup>2</sup>Universidad de Córdoba, Grupo de Investigación cultivos tropicales de clima cálido. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: emcombatt@correo.unicordoba.edu.co.

\*autor de correspondencia: jlbarrera@correo.unicordoba.edu.co

**Cómo citar:** De-La-Ossa-Puello, L.F.; Barrera-Violeth, J.L.; Combatt-Caballero, E.M. 2024. Evaluación de indicadores de sostenibilidad del suelo y de salud del cultivo en sistemas convencionales y orgánicos de yuca. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(2):e2402. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n2.2024.2402>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

**Recibido:** abril 27 de 2023

**Aceptado:** octubre 22 de 2024

**Editado por:** Helber Adrián Arévalo Maldonado

### RESUMEN

El cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Colombia, se realiza empleado sistemas de siembra, como el monocultivo, con prácticas que vulneran la sostenibilidad del agroecosistema, por degradación de los suelos, erosión y extracción de nutrientes y, entre éstas, el uso de maquinarias y la aplicación de fertilizantes inorgánicos. Debido a esta situación, se ha generado un interés por el implemento de técnicas de manejo orgánico, enfoque que ha demostrado producir beneficios al sistema suelo-planta. En esta investigación se evaluaron los niveles de sostenibilidad en sistemas de cultivo de yuca, del municipio de Ciénaga de Oro-Córdoba, Colombia. Para ello fueron definidos tres sistemas de cultivo de manejo orgánico y tres con sistemas convencionales. Cada 30 días, durante periodo de 18 meses, se analizaron 10 indicadores de calidad de suelos y 10 de salud de cultivos, con base en la metodología de diagnóstico rápido de la sostenibilidad de los cultivos. Los sistemas orgánicos obtuvieron mejores resultados para las variables de calidad de suelo, con promedios que oscilaron entre 7,00 y 9,00; igualmente, para salud de cultivo, con promedios entre 5,00 y 10,00 y respecto a los sistemas convencionales, con valores entre 2,00 y 8,00, en proporción para los indicadores de calidad de suelo y salud de cultivo. La implementación de prácticas agrícolas con manejo orgánico se convierte en una alternativa importante para mejorar la productividad en los sistemas agronómicos de la región.

Palabras clave: Agricultura convencional; Agricultura orgánica; Agroecosistemas; Diagnóstico rápido; Raíces tuberosas.

### ABSTRACT

The cassava (*Manihot esculenta* Crantz) crop in Colombia is carried out using planting systems such as monoculture, with practices that impact the sustainability of the agroecosystem due to soil degradation, erosion, and nutrient extraction, including the use of machinery and the application of inorganic fertilizers. Due to this situation, interest has been generated in implementing organic management techniques, an approach that has been shown to benefit the soil-plant system. This research evaluated the levels of sustainability in cassava crop systems in the municipality of Ciénaga de Oro-Córdoba, Colombia. For this purpose, three organic farming systems and three conventional systems were defined. Every 30 days during a period of 18 months 10 soil quality indicators and 10 crop health indicators were analyzed based on the rapid diagnosis methodology of crop sustainability. Organic systems obtained better results for soil quality variables, with averages ranging between 7.00 and 9.00, as well as for crop health, with averages between 5.00 and 10.00 compared to conventional systems, with values between 2.00 and 8.00 in proportion to soil quality and crop health indicators. The implementation of organic farming practices becomes an important alternative to improve productivity in the region's agronomic systems.

Keywords: Agroecosystems; Conventional agriculture; Organic agriculture; Rapid diagnosis; Tuberous roots.

## INTRODUCCIÓN

La yuca *Manihot esculenta* Crantz es uno cultivo importante en las regiones tropicales, a nivel mundial, debido a que representa el cuarto producto básico más relevante después del arroz, el trigo y el maíz, respecto a la cantidad de calorías y proteínas obtenidas por hectárea (Zhang *et al.* 2023). Actualmente, se cultiva en zonas con altitud, hasta los 2.000 m s.n.m., con temperaturas entre 25 y 29 °C, precipitaciones en un rango de 750 a 2.000 mm anuales y fotoperiodo de 10 a 12 horas (Jácome Gómez & Carrillo Cruz, 2020).

Para el 2020 se reportaron cerca de 28.243.258 millones de hectáreas establecidas, con una producción global de 315 millones de toneladas métricas, en 2021 y un rendimiento promedio de 10,7 toneladas por hectárea (FAO, 2020).

En Colombia, la falta de diversificación de prácticas agrícolas en el cultivo de la yuca se evidencia en la persistencia en el uso de técnicas convencionales, como labranza mecanizada tradicional y el uso de agroquímicos, actividades agrícolas que promueven el deterioro de los componentes ambientales y fisicoquímicos del suelo (Anwar *et al.* 2023). Estas prácticas, que generan la reducción de la productividad, por lo cual, es necesario buscar alternativas que minimicen el acelerado proceso de contaminación del suelo y del agua subterránea y se despierte el interés por el uso racional de los agroquímicos y la implementación de un complemento nutricional con “fertilización ecológica” (Sepúlveda-Vargas, 2020), basada en el uso de fertilizantes orgánicos.

Los sistemas de manejo orgánico se caracterizan por presentar biodiversidad vegetal y animal adecuada, que cumplen funciones biológicas, que contribuyen a mantener el equilibrio dinámico en un estado favorable, contexto que se relaciona con el implemento de prácticas agrícolas, como rotaciones de cultivos, policultivos, aplicación de fertilizantes orgánicos, entre otros procesos que, en conjunto, fomentan la sostenibilidad del sistema, ya que facilitan la restauración progresiva de los suelos, principalmente, los que están bajo explotación agropecuaria permanente. Por consiguiente, pueden influir directamente sobre la productividad del cultivo (Porta *et al.* 2019; Fonseca-Carreño & Narváez-Benavidez, 2020).

En los últimos años, trabajos realizados en el departamento de Córdoba, Colombia, demuestran los efectos benéficos del uso de técnicas de manejo orgánico, en los niveles de sostenibilidad de sistemas de cultivo tradicionales, como banano, maíz, arroz y ñame (Caicedo-Camposano *et al.* 2020), situación que, de acuerdo con Anwar *et al.* (2023), no es ajena al cultivo de yuca.

Los indicadores de sostenibilidad se definen como un conjunto de herramientas específicas que se pueden utilizar para determinar el comportamiento espaciotemporal del sistema de cultivo, mediante el análisis del nivel ambiental, socioeconómico y cultural; además, se pueden medir aplicando análisis cuantitativos o cualitativos, dependiendo de la metodología y atributos planteados (Cuenca *et al.* 2021).

En la actualidad, existe una serie de metodologías basadas en indicadores de sostenibilidad para determinar puntos críticos, como aplicación excesiva de agroquímicos, bajo nivel de biodiversidad, procesos erosivos intensos, alto nivel de compactación, incidencia evidente de plagas y enfermedades, baja productividad anual, variables que condicionan la estabilidad en diferentes sistemas de cultivos y permiten establecer estrategias de recuperación, a mediano plazo (Savels *et al.* 2024).

Algunas de estas metodologías son: el Marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS), propuesta por Maserá *et al.* (1999); la evaluación de agroecosistemas, mediante indicadores de sustentabilidad (EAMIS), descrita por Sarandón & flores (2009), ambas con énfasis en la evaluación integral de agroecosistemas, mediante el análisis de los niveles económico, social y ecológico; la establecida por Marull (2005), que se basa en la aplicación de métodos de parametrización socioambientales, que permiten analizar la vulnerabilidad del agroecosistema, a escala espaciotemporal, de manera global y la planteada por Altieri & Nicholls (2002), que presenta una inclinación hacia el estudio de la dimensión ambiental con mayor relevancia en los aspectos concernientes a la producción agrícola, como la calidad del suelo y la salud de cultivo.

Considerando lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar los indicadores calidad de suelo y de salud de los cultivos que determinan la sostenibilidad de sistemas de cultivo de yuca, manejados de forma convencional y orgánica, en el municipio de Ciénaga de Oro, departamento de Córdoba, Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Descripción de la zona de estudio.** La investigación se realizó en el municipio de Ciénaga de Oro, departamento de Córdoba, Colombia. Esta área, pertenece a la subregión del Medio Sinú, se encuentra a 13 m s.n.m.; según la clasificación de Holdridge (2000) **corresponde a la zona de vida de bosque seco tropical**, con temperatura máxima de 33,58 °C, mínima de 24,25 °C y promedio de 28,92 °C, humedad relativa de 83 % y precipitación anual de 1.500 mm.

Los seis lotes productores de yuca seleccionados están ubicados en el centro poblado San Antonio del Táchira (8°48'21" N y 75°33'37" W), Canta Gallo (8°50'03" N y 75°32'46" W), Mayoría (8°50'22" N y 75°34'28" W) y el centro poblado Las Palmitas (8°48'41" N y 75°37'12" W), La Gloria (8°50'48" N y 78°49'36" W), Torrente 8°50'30" N 76°39'13" W y El Llano (8°47'35" N y 75°35'04" W).

Los suelos característicos del área de estudio corresponden a tipo Fluventic Haplustepts (Inceptisol) (Soil Survey Staff, 2022), de texturas medias a finas (franco arcilloso a franco arcilloso limoso), con régimen de humedad údico-acuico y régimen de temperatura isohipertérmico. La morfología del perfil muestra un Ap. horizonte sobre un Bw, siendo el primero de color pardo grisáceo muy oscuro, con estructura de bloques angulares, moderadamente desarrollados. El segundo horizonte es de color pardo amarillento.

**Recolección de datos y análisis.** En esta investigación se utilizó la metodología denominada “sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelos y salud de cultivos”, formulada por Altieri & Nicholls (2002), para cultivos del café, ajustada para el sistema de cultivo de yuca, ya que esta metodología permite comprobar el nivel de sostenibilidad actual de sistemas de cultivo, mediante la determinación de 10 indicadores para suelo y 10 indicadores para el cultivo, que se evalúan a través de atributos específicos, que se les asignan valores de 1, 5 o 10, dependiendo de la valoración visual; por último, a partir de los datos obtenidos de la medición u observación, se calcula el índice general de sostenibilidad ecológica.

Para obtener información se realizaron encuestas directamente con los dirigentes de los lotes y se obtuvo la respuesta de 40 unidades de producción. A partir de la información obtenida fueron seleccionados los lotes Carreto, Las Brisas y Calichetres, con fundamentos orgánicos y los lotes La Lucha, Lote Siete y Caribe, cultivados bajo un sistema convencional.

La selección de los seis lotes evaluados se basó en la determinación de características, como en el uso de productos químicos, durante un período de cinco años y la implementación de estrategias que promovieran la conservación de los recursos locales, confirmando que, en los sistemas con manejo de cultivo orgánico, el control de plagas y de enfermedades fue realizado mediante la aplicación de sustancias naturales; en cambio, en los demás sistemas definidos inicialmente como orgánicos, se aplicó herbicidas e insecticidas, en cosechas realizadas en los últimos años.

Además, en estos lotes se evidenció la realización de labores agrícolas, como preparación del terreno y cosecha de manera manual, incorporación de arvenses y de residuos de cosecha al suelo, uso de abonos caseros, rotación de cultivos, asociación con especies, como maíz y ñame, siembra de especies naturales circundantes, como roble, cedro, caracolí y vara de humo.

Por otra parte, en los lotes con manejo de cultivo convencional se caracterizaron, en general, por efectuar prácticas, como monocultivo, producción con fines industriales, preparación del terreno mecanizada, tratamiento de la semilla con agroquímicos, control químico de arvenses con preemergentes, herbicidas e insecticidas dirigidos, uso de fertilizantes minerales, entre los que cabe mencionar urea, KCl y NPK (15-15-15), recolección y quema arvenses y residuos de cosecha.

**Medición y monitoreo de indicadores.** Para realizar la valoración y la asignación de los valores respectivos para los indicadores de calidad del suelo y salud de cultivos, se realizaron nueve monitoreos, durante un periodo de 16 meses, cada 30 días, que correspondieron a la época seca (enero-marzo) y lluviosa (mayo-octubre), teniendo en cuenta el ciclo biológico de los cultivos (15 meses) y la frecuencia del mantenimiento, como son limpias y escardas, aporcado, riego, abonado y control de arvenses.

Los datos de percepción se obtuvieron mediante una encuesta, que abarcó el total de indicadores evaluados (10 de calidad de suelos y 10 de salud de cultivos), atributos y valor asignado; por último, los resultados fueron clasificados en niveles, como atributo deseable (10), atributo medio (5) y atributo indeseable (1).

**Muestreo y análisis de suelos.** El muestreo se realizó a principios de época seca, correspondiente a enero y en época de lluvia, para julio. Las muestras recolectadas en cada uno de los lotes fueron llevadas al laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Córdoba.

Para realizar el análisis fisicoquímico de las muestras se emplearon los métodos analíticos, estandarizados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2006). Se determinaron los parámetros: pH, por potenciométrie (relación suelo: agua 1:1); materia orgánica M.O. (%), por el método de Walkley-Black; S ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ), por el método de monofosfato de calcio; P ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ), mediante Bray II; Ca, Mg, K y Na ( $\text{cmolc Kg}^{-1}$ ), por el método de acetato de amonio 1N a pH 7,0; Al+H ( $\text{cmolc Kg}^{-1}$ ), por KCl 1 N; la CICE, por sumatoria de cationes y textura, con el hidrómetro de Bouyoucos.

**Prueba de respiración.** Para determinar la tasa de respiración en el suelo se utilizó método descrito por Alef & Nannipieri (1995). Se hicieron lecturas en cada lote, distribuyendo las muestras en el campo en 3 puntos, seleccionados al azar y 3 consistieron como testigos, con un total de 21 muestras, cada una, con 30 ml de 0,2 N de NaOH. Cada muestra se dejó incubar durante 24 horas, se adicionaron 2 ml de  $\text{BaCl}_2$  y se tituló con HCl 0,2 N, usando fenolfaleína, como indicador.

**Análisis estadístico.** Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANAVA ( $P < 0,05$ ), para aplicar la prueba de correlación de Pearson. Los análisis se realizaron en el software SAS (SAS, 2012) y las gráficas tipo amebas y de columnas, entre las unidades examinadas vs promedio de indicadores, se realizaron en R v. 2021.09.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis de indicadores.** Los resultados obtenidos de la prueba de correlación de Pearson respecto a la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de yuca orgánico y convencional se observan en la tabla 1, para calidad de suelos y salud de cultivos.

El análisis de correlación muestra que el indicador contenido de materia orgánica presentó asociación significativa ( $p \leq 0,05$ ), con los indicadores signos de actividad biológica del 96 %, control de la erosión del suelo 95 %, retención de humedad 90 %, cobertura de suelo 87 % (Tabla 1). De acuerdo con Altieri & Nicholls (2012), existe una relación directa entre la adición de materia orgánica, tasa de respiración y propiedades físicas del suelo, debido a que la velocidad de descomposición de la materia orgánica aumenta y, en la misma proporción, la formación de agregados minerales, contexto que favorecen la estabilidad del suelo, evitando que los efectos directos propios de la erosión hídrica y degradación química.

Tabla 1. Prueba de correlaciones de Pearson para los indicadores de salud de cultivos y los indicadores de calidad de suelos, de las seis unidades de producción de yuca.

<b>Correlaciones de Pearson de los indicadores de salud de los cultivos</b>										
Variable	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	
V1	0,92***	0,93***	0,90**	ns	0,95***	0,75*	ns	0,83**	ns	
V2		0,98***	0,91**	ns	0,89**	0,92**	ns	0,94***	ns	
V3			0,94***	0,73*	0,95***	0,90**	ns	0,94***	ns	
V4				ns	0,86**	0,75*	ns	0,79*	ns	
V5					ns	0,80*	ns	0,74*	ns	
V6						0,81*	ns	0,89**	ns	
V7							0,79*	0,98***	ns	
V8								0,78*	ns	
V9									ns	
<b>Indicadores de salud de cultivos</b>										
V1	Control de arvenses					V2	Diversidad genética			
V3	Diversidad de cultivos					V4	Rendimiento actual o potencial			
V5	Crecimiento del cultivo					V6	Aspecto del cultivo			
V7	Control de plagas					V8	Resistencia a enfermedades			
V9	Resistencia o tolerancia a estrés					V10	Diversidad natural circundante			
<b>Correlaciones de Pearson de los indicadores de calidad de suelos</b>										
Variable	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	
V11	0,96***	ns	0,80*	ns	0,80*	0,79*	0,95***	0,90**	0,87**	
V12		0,81**	0,93***	ns	0,87**	0,86**	0,93***	0,86**	0,87**	
V13			0,91**	0,95***	ns	0,73*	0,75*	ns	0,75*	
V14				0,88**	0,84**	0,87**	0,78*	ns	0,75*	
V15					ns	0,77*	ns	ns	ns	
V16						ns	0,75*	0,89**	0,87**	
V17							0,80*	ns	ns	
V18								0,81**	0,93***	
V19									0,84**	
<b>Indicadores de calidad de suelos</b>										
V11	Contenido de materia orgánica color y olor					V12	signos de actividad biológica			
V13	Nivel de desarrollo radicular					V14	Estado de residuos			
V15	Compactación e infiltración					V16	Estructura			
V17	Profundidad del suelo					V18	Control de la erosión del suelo			
V19	Retención de humedad					V20	Cobertura de suelo			

\* Diferencias estadísticas al 10 %, \*\* Diferencias estadísticas al 5 %, \*\*\* Diferencias estadísticas al 1 %, ns: no hay diferencias estadísticas.

En el aspecto salud del cultivo, el indicador diversidad genética mostró asociación significativa con los indicadores diversidad de cultivos del 98 % y resistencia o tolerancia a estrés 94%, control de arvenses 92 %, control de plagas 92 % y rendimiento del cultivo 91 %.

Esto estuvo ligado, al hecho de que los agroecosistemas, sobre todo con cultivos orgánicos, presentan condiciones cercanas al ecosistema circundante, con policultivos, lo cual, según López-López *et al.* (2018), se debe a que el sistema de cultivo está asociado con especies silvestres adaptadas y tolerantes a las al ataque de plagas que, además, influyen directamente en el incremento de residuos orgánicos, aumentando la actividad biológica del suelo.

**Valoración de indicadores.** Los promedios arrojados por el análisis visual de los indicadores estudiados para calidad de suelos y salud de cultivos para el final del proyecto se señalan, respectivamente, en las figuras 1 y 2.

En cuanto a los indicadores de calidad de suelos se encontró que los sistemas con fundamento orgánico presentaron promedios que oscilaron entre 7,00 y 9,00, valoración que fue considerada como deseable, mientras que los sistemas convencionales mostraron valores entre 2,00 y 8,00, obteniendo los promedios más bajos en los indicadores de contenido de materia orgánica, retención de humedad, cobertura de suelo y signos de actividad biológica (Figura 1).

Este resultado se ajusta a lo reportando por Cuenca *et al.* (2021), quienes indicaron que las parcelas con maní y maíz, ubicadas en la Parroquia Casanga del cantón Paltas, Ecuador, cultivadas con sistemas de manejo orgánico, presentaron mejor calidad de suelos, con promedio general entre el 63 y 80 %, en comparación con las parcelas con sistema convencional, las cuales, obtuvieron promedio general entre 54 y 58 %.

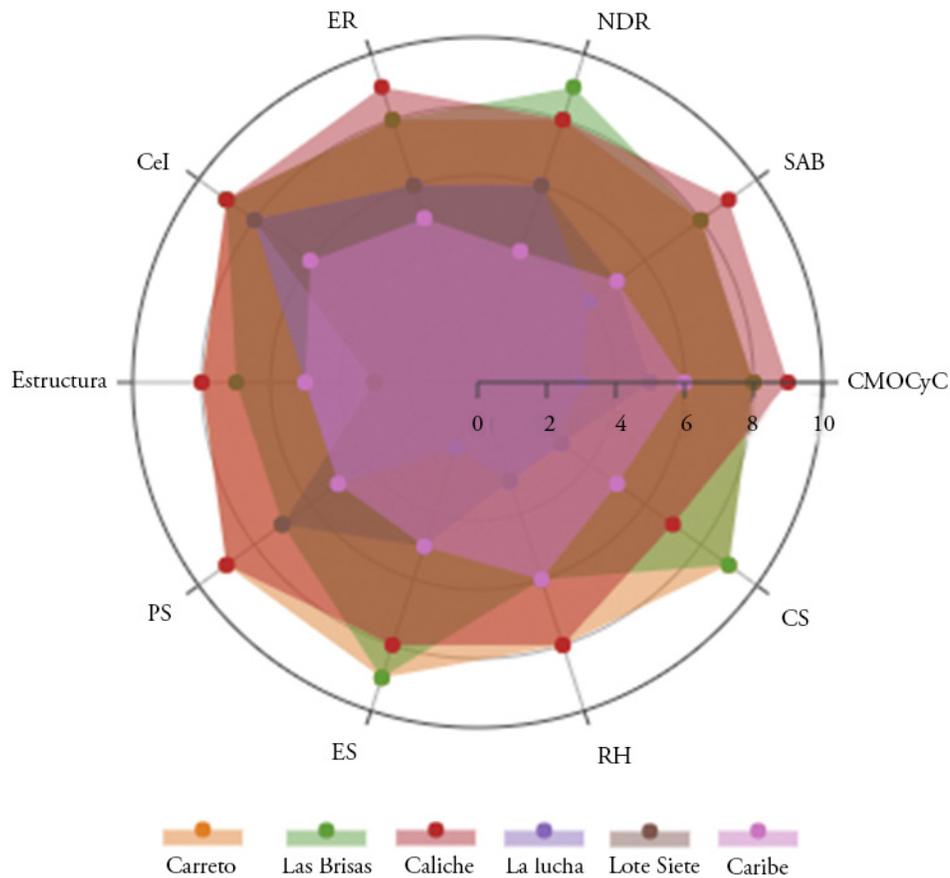


Figura 1. Diagrama de valores de indicadores de calidad del suelo. Carreto, Las Brisas y Caliche lotes con sistema de cultivo de yuca orgánico. La Lucha, Lote Siete y Caribe lotes con sistema de cultivo de yuca convencional. CMOCyO: contenido de materia orgánica color y olor; SAB: signos de actividad biológica; NDR: nivel de desarrollo radicular; ER: estado de residuos; Cel: compactación e infiltración; estructura; PS: profundidad del suelo; CES: control de la erosión del suelo; RH: retención de humedad y CS: cobertura de suelo.

En lo referente a los indicadores de salud del cultivo, se determinó que los cultivos con sistemas orgánicos obtuvieron valores que variaron de 5,00 y 10,00, con relación a los sistemas convencionales, que fueron entre 2,00 y 8,00; los mayores promedios se mostraron en los indicadores, en el aspecto del cultivo, en la diversidad de vegetal de cultivos y en el control de plagas (Figura 2). Según Estay (2021), esto se debe a que poseen suelos con mejor estado de conservación,

debido al equilibrio ecológico presente entre las condiciones agroclimáticas y el sistema; estos valores son concordante con los publicados por Savels *et al.* (2024), quienes evaluaron la influencia del manejo orgánico en el estado fitosanitario de cultivos pequeños en Flandes, Bélgica, reportando que estos sistemas obtuvieron promedios altos en los indicadores resiliencia (80), eficiencia (75), diversidad (73).

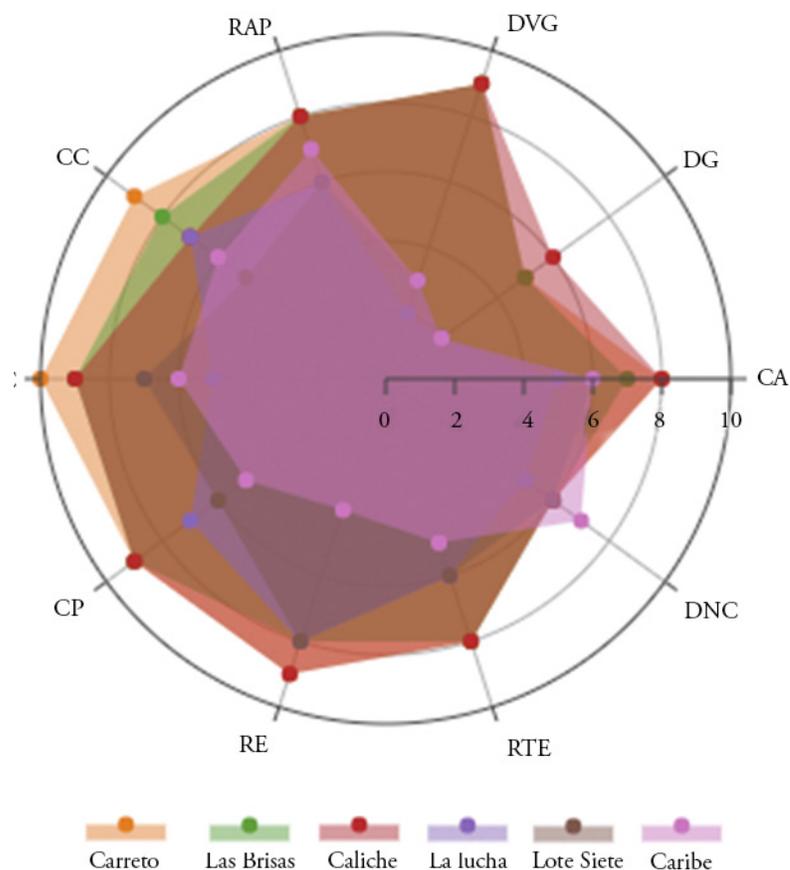


Figura 2. Diagrama de valores de indicadores de salud del cultivo. Lotes Carreto, Las Brisas y Caliche con sistema de cultivo de yuca orgánico. La Lucha, Lote Siete y Caribe lotes con sistema cultivos de yuca convencionales.

CA: Control de arvenses; DG: diversidad genética; DVG: diversidad de cultivos; RAP: rendimiento actual o potencial; CC: crecimiento del cultivo; AC: aspecto del cultivo; CP: control de plagas; RE: resistencia a enfermedades; RTE: resistencia o tolerancia a estrés y DNC: diversidad natural circundante.

**Nivel de sostenibilidad de los agroecosistemas de yuca.** El promedio obtenido con los indicadores de calidad de suelos y salud de cultivos muestra que las unidades de producción orgánica se encuentran por encima del umbral de sostenibilidad (5,00), con promedios de 8,25, 7,85 y 8,15, correspondientemente, mientras que las unidades de producción convencional se encuentran cerca o por debajo del umbral con promedios de 4,90, 5,30 y 5,15, respectivamente (Figura 3).

Estos resultados se podrían relacionar con los beneficios que genera la agricultura orgánica, caracterizada por el aporte de biofertilizantes, diversidad natural circundante, prácticas que

propician un mejor porcentaje de materia orgánica que, de acuerdo con el análisis de suelo, obtuvo promedios entre 1,80 y 2,53 % y respecto a los convencionales, de 0,32 a 1,23 % (Tabla 2). En conclusión, aumentan el contenido de minerales esenciales, favorece la actividad biológica, retención de humedad y la estructura del suelo (Altieri & Nicholls, 2017; Barrales-Brito *et al.* 2020).

En este sentido, Palestina-González *et al.* (2021) reportaron que pequeños sistemas de cultivo de la Región Alta del Yaonáhuac, Puebla-México, mostraron un índice de sostenibilidad entre intermedio a súper fuerte, con valores de 52,2 y 92,7, determinando que la aplicación de abonos orgánicos presentó influencia en el

rendimiento del cultivo. Por su lado, Tuesta *et al.* (2017) estudiaron la sostenibilidad de fincas con cultivo de cacao en San Martín, Perú, indicando que las fincas superaron el umbral de sostenibilidad, obteniendo para el sistema de producción orgánica un promedio

general de 6,90, respecto al sistema convencional, que fue de 6,38, concluyendo, que la condición fisicoquímica y biológica del suelo del sistema orgánico favoreció, en mayor medida, la productiva del cultivo.

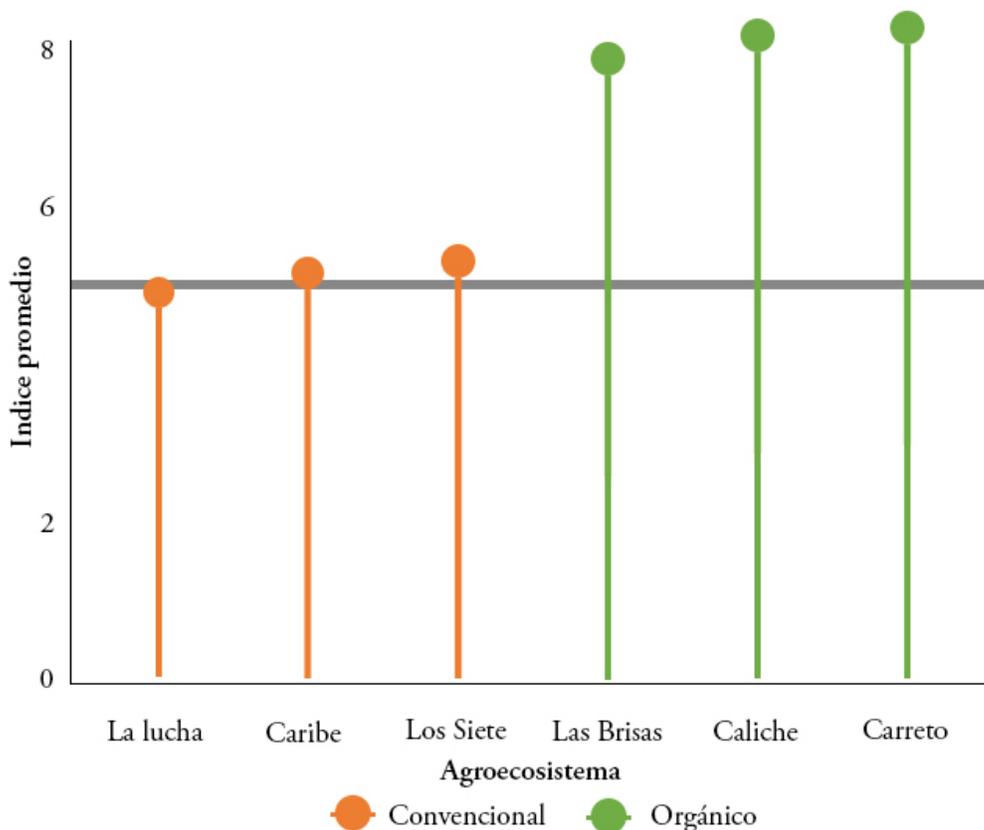


Figura 3. Índice general de los indicadores de sostenibilidad ecológica en agroecosistemas de yuca. Carreto, Las Brisas y Caliche lotes con sistema cultivos de yuca orgánicos, La Lucha, Lote Siete y Caribe lotes con sistema cultivos de yuca convencionales.

**Características fisicoquímicas del suelo.** Los resultados de los análisis fisicoquímicos del suelo indicaron que el rango de variación del pH fue de fuertemente ácido a ligeramente ácido; contenidos de materia orgánica entre deficientes y medios; contenidos deficientes de P y S. Por último, los promedios obtenidos para Ca, Mg, K, Na fueron definidos entre medios y altos. La textura fue variable entre franco arcillosa, Franco y Franco- Arenoso, que se asocia a un mayor contenido de arcilla (Tabla 2).

En resumen, las características fisicoquímicas del suelo, según el criterio de Cadavid (2002), se encontraron dentro y por encima del nivel crítico de fertilidad de suelo específico, para el cultivo de yuca.

Por otra parte, las pruebas de respiración realizadas en los lotes indican mayores signos de actividad biológica, en los cultivares de yuca ecológica, con valores de 8,10; 8,66 y 8,44 kg/ha/día de CO<sub>2</sub>, con relación a los convencionales, con valores 6,61, 6,75 y 7,02 kg/ha/día de CO<sub>2</sub> (Tabla 3), cuyos promedios están cercanos a los rangos normales de respiración, que se encuentran entre 10-100 kg/ha/día CO<sub>2</sub>, según lo reportado por Gortaire Díaz *et al.* (2020).

Los valores obtenidos en los lotes orgánicos se atribuyeron a que se presentó asociación significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre los indicadores signo de actividad biológica y contenido de materia orgánica (Tabla 1), debido a que se presentó mayor tasa de descomposición que, generalmente, es asociada a la presencia de una mayor proporción de organismos en el suelo (Adekiya *et al.* 2019; Willer *et al.* 2022).

En cuanto a los cultivos de yuca convencionales, los indicadores de actividad biológica arrojan valores muy bajos, pues según Magaña Valenzuela *et al.* (2021), el uso de prácticas de basan en aplicación de agroquímicos sin aporte de materia orgánica, limitan la actividad de los organismos y microorganismos del suelo (Tabla 3).

Resultados similares fueron publicados por Marín *et al.* (2017), quienes encontraron mayor tasa de respiración en el suelo con tratamiento orgánico (0,247 mg/g/día CO<sub>2</sub>), en correspondencia con el convencional (0,170 mg/g/día CO<sub>2</sub>).

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del suelo de las seis unidades de producción de yuca, en el municipio de Ciénaga de Oro, Corbona.

Propiedades fisicoquímicas		Período seco					
		Lotes manejo orgánico			Lotes manejo convencional		
		Carreto	Las Brisas	Caliche	La Lucha	Lote Siete	Caribe
pH	(1:1)	6,25	6,32	5,25	5,67	5,89	5,13
M.O.	(%)	2,53	2,51	1,85	0,94	0,32	0,67
S	mg Kg <sup>-1</sup>	14,5	12,4	13,3	9,30	10,2	10,2
P		4,20	3,5	5,20	2,50	2,70	2,6
Ca	Cmolc Kg <sup>-1</sup>	8,60	10,5	6,50	4,50	4,60	5,00
Mg		7,50	4,20	3,30	3,60	0,80	2,50
K		0,77	0,77	0,76	0,70	0,64	0,70
Na			0,17	0,13	0,11	0,11	0,17
Al+H		--	--	0,2	--	--	0,36
CIC <sub>e</sub>		17,07	15,64	10,89	8,91	6,15	8,73
Propiedades fisicoquímicas		Período húmedo					
		Lotes manejo orgánico			Lotes manejo convencional		
		Carreto	Las Brisas	Caliche	La Lucha	Lote Siete	Caribe
pH	(1:1)	5,84	6,31	5,00	5,12	5,52	5,15
M.O.	(%)	2,18	2,24	1,80	1,23	0,47	0,84
S	mg Kg <sup>-1</sup>	10,45	9,65	10,20	7,70	9,40	10,6
P		5,40	3,90	4,70	2,80	2,30	2,20
Ca	Cmolc Kg <sup>-1</sup>	6,70	8,50	6,30	4,10	3,90	6,10
Mg		7,30	3,80	3,40	4,80	0,80	3,00
K		0,72	0,63	0,69	0,56	0,58	0,62
Na		0,15	0,12	0,12	0,15	0,09	0,23
Al+H		--	--	0,14	0,76	--	0,46
CIC <sub>e</sub>		14,87	13,06	10,65	11,37	5,90	10,41
Textura			Franco arcilloso	Franco	Franco arenoso	Franco arcilloso	Arenoso franco

Tabla 3. Prueba de respiración del suelo en los seis agroecosistemas de yuca, con sistemas de cultivo orgánico y convencional.

Unidad experimental	Cantidad de CO <sub>2</sub> Kg/ha/día CO <sub>2</sub> -C (25 °C)
Testigo	
Carreto	8,10
Las Brisas	8,66
Caliche	8,44
La Lucha	6,61
Lote Siete	6,75
Caribe	7,02

Con base en los resultados obtenidos, se concluyó que los sistemas de cultivo de yuca orgánicos del municipio de Ciénaga de Oro son un modelo de producción que representa una alternativa fiable para establecer en los sistemas agronómicos de la región y, de esta manera, mejorar los parámetros productivos.

La diversidad vegetal presente en los sistemas de producción orgánica de yuca representó el principal elemento que promovió la estabilidad del estado fitosanitario del cultivo, aspecto evidenciado en la capacidad de los mismos para mantener la autosostenibilidad, ante la presencia de factores causante de estrés, como la variación brusca del nivel de humedad en suelo, ataque de plagas, la cual, se fundamentó en la relación directa entre de la variedad de especies asociadas al cultivo y el aporte de materia orgánica al sistema.

El contenido de materia orgánica fue el indicador que más influyó en la calidad del suelo de los agroecosistemas de yuca; esta asociación positiva entre la aplicación de enmiendas orgánicas y condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo se manifestó en la ausencia visible de los efectos adversos, propios de la erosión hídrica y degradación química que, generalmente, son causados por el arrastre de suelo, acidificación y salinización.

**Agradecimientos.** A la Universidad de Córdoba, al Grupo de Investigación de Agricultura Sostenible de la Universidad de Córdoba y a los propietarios de las fincas, por el apoyo en la realización de la investigación. Conflicto de intereses: El artículo fue redactado y revisado con la participación de todos los autores, quienes manifiestan que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en duda la validez de los resultados presentados. Contribución autores: Administración del proyecto por José Barrera. Reseña escrita y edición por Enrique Combatt. Conceptualización, supervisión y redacción por Luis De La Ossa.

## REFERENCIAS

- ADEKIYA, A.O.; AGBEDE, T.M.; ABOYEJI, C.M.; DUNSING, O.; UGBE, J.O. 2019. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 18(2):218-223. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.05.005>
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Ed. Academic Press. Inglaterra. 576p.
- ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I. 2012. Diseños agroecológicos para potenciar el control biológico de plagas: incrementando la biodiversidad de entomofauna benéfica en agroecosistemas. Ed. Académica Española. Alemania. 80p.
- ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I. 2017. Agroecology: a brief account of its origins and currents of thought in Latin America. Agroecology and Sustainable Food Systems. 41(3-4):231-237. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1287147>
- ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I. 2002. Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. 64(3):17-24.
- ANWAR, S.; SANTOSA, E.; PURWONO. 2023. Cassava growth and yield on ultisol of different soil organic carbon content and NPK fertilizer levels. Jurnal Agronomi Indonesia. 51(3):312-323. <https://doi.org/10.24831/jai.v51i3.47806>
- BARRALES-BRITO, E.; PAZ-PELLAT, F.; ETCHEVERS-BARRA, J.D.; HIDALGO-MORENO, C.; VELÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, A. 2020. Dinámica de carbono en agregados del suelo con diferentes tipos de usos de suelo en el monte Tláloc, Estado de México. Terra Latinoamericana. 38:275-288. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.680>
- CADAVID, L.F. 2002. Suelo y fertilización para la yuca. En: Ospina, B.; Ceballos, H. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. p.76-103.
- CAICEDO-CAMPOSANO, O.; SOPLÍN-VILLACORTA, H.; BALMASEDA-ESPINOSA, C.; CADENA-PIEDRAHITA, L.; LEYVA-VÁZQUEZ, M. 2020. Sustentabilidad de sistemas de producción de banano (*Musa paradisiaca* AAA) en Babahoyo, Ecuador. Revista investigación operacional. 41(3):379-388.
- CUENCA, K.I.; QUIZHPE, W.R.; RAMÍREZ-IGLESIAS, E. 2021. Evaluación de sustentabilidad en sistemas de producción de maíz y maní en la provincia de Loja, Ecuador. Agronomía Tropical. 71:1-13. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4567645>
- ESTAY, S.A. 2021. Bases Ecológicas para el Manejo de Plagas. Ed. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. 162p.
- FONSECA-CARREÑO, N.E.; NARVÁEZ-BENAVIDEZ, C.A. 2020. Aplicación de la metodología MESMIS para la evaluación de sustentabilidad en sistemas de producción campesina en Sumapaz, Cundinamarca. Revista Ciencias Agropecuarias. 6(2):31-47. <https://doi.org/10.36436/24223484.318>
- GORTAIRE DÍAZ, D.; VANEGAS REDONDO, W.; CARVAJAL CAÑARTE, E.; ORTEGA PACHECO, D.; SANTOS ORDÓÑEZ, A. 2020. Análisis de sostenibilidad socioeconómica, productiva y ambiental de productores agroecológicos a pequeña escala en Manabí-Ecuador. Journal of Science and Research. 5(2):40-65. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3820760>
- HOLDRIDGE, L. 2000. Ecología basada en zonas de vida. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. 225p.

- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 6ª ed. IGAC. 513p.
- JÁCOME GÓMEZ, L.R.; CARRILLO CRUZ, A.I. 2020. Efecto de la fertilización química en el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Santo Domingo de los Tsáchilas. Revista de Investigación Científica TSE'DE. 3(2):87-98.
- LÓPEZ-LÓPEZ, R.; RAMÍREZ-GUILLERMO, M.A.; MARTÍNEZ-HERRERA, J.; CÁMARA-CÓRDOVA, J.; DURÁN-PRADO, A. 2018. Respuesta de la yuca para raíz *Manihot esculenta* Crantz a la fertilización mineral con NPK en un Acrisol Húmico de Tabasco. UJAT. En: Martínez Herrera, J.; Ramírez Guillermo, M.A.; Cámara-Córdova, J. Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. p.114-123.
- MAGAÑA VALENZUELA, W.; OBRADOR OLÁN, J.J.; GARCÍA LÓPEZ, E.; CASTELÁN ESTRADA, M.; CARRILLO ÁVILA, E. 2021. Rendimiento comparativo de la yuca bajo fertilización mineral y abono verde. Revista mexicana de ciencias agrícolas.11(6):1259-1271. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2202>
- MARÍN, S.; BERTSCH, F.; CASTRO, L. 2017. Efecto del manejo orgánico y convencional sobre propiedades bioquímicas de un andisol y el cultivo de papa en invernadero. Agronomía Costarricense. 41(2):27-46. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v41i2.31298>.
- MARULL, J. 2005. Metodologías paramétricas para la evaluación ambiental estratégica. Ecosistemas. 14(2):97-108.
- MASERA, O.R.; ASTIER, M.; LÓPEZ-RIADURA, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El Marco de evaluación MESMIS. Ed. Mundiprensa-GIRA-UNAM. México D.F. 101p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, FAO. 2020. Faostat. Disponible desde Internet en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- PALESTINA-GONZÁLEZ, M.I.; CARRANZA-CERDA, I.; LÓPEZ-REYES, L.; TORRES, E.; SILVA-GÓMEZ, S.E. 2021. Sustainability assessment of traditional agroecosystems in the high region of Yaonáhuac, Puebla, Mexico. Environments. 8:40. <https://doi.org/10.3390/environments8050040>
- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. 2019. Edafología: uso y protección de suelos. Ed. Mundi-Prensa. España. 541p.
- SARANDÓN, S.J.; FLORES, C.C. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. Agroecología. 4:19-28.
- SAS. 2012. Statistical Analysis System, User's Guide. Statistical. Version 9.1<sup>th</sup> ed. SAS. Inst. Inc. Cary. N.C. USA.
- SAVELS, R.; DESSEIN, J.; LUCANTONI, D.; SPEELMAN, S. 2024. Assessing the agroecological performance and sustainability of Community Supported Agriculture farms in Flanders, Belgium. Frontiers in Sustainable Food Systems. 8:1359083. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1359083>
- SEPÚLVEDA-VARGAS, R.D. 2020. Economía y agroecología. Construyendo alternativas al desarrollo rural. Ed. Universidad Pontificia Bolivariana. Colombia. 217p.
- SOIL SURVEY STAFF. 2022. Keys to soil taxonomy. Ed. USDA. Natural Resources Conservation Service (U.S.A). 101p.
- TUESTA, O.; SANTISTEVAN, M.; BORJAS, R.; CASTRO, V.; JULCA, A. 2017. Sustentabilidad de fincas cacaoteras en el distrito de Huicungo San Martín, Perú con el "Método Agroecológico Rápido". Peruvian Journal of Agronomy. 1(1):8-13. <https://doi.org/10.21704/pja.v1i1.1062>
- WILLER, H.; JAN, T.; CLAUDIA, M.; BERNHARD, S. 2022. The world of organic agriculture. statistics and emerging trends. Bonn 2019. Research Institute of Organic Agriculture FiBL., Frick, and International Federation of Organic Agriculture Movements IFOAM-Organics International. p.174-214.
- ZHANG, Y.; FENG, Y.; GAO, Y.; WU, J.; TAN, L.; WANG, H.; WANG, R.; NIU, X.; CHEN, Y. 2023. Effects of an organic amendment on cassava growth and rhizosphere microbial diversity. Agriculture. 13:1830. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091830>