

Modelos agroecológicos como alternativas de sostenibilidad ambiental en región central del Valle del Cauca, Colombia*

Luz Elena Santacoloma Varón**

Jessica Almeida Braga***

Sonia Esperanza Aguirre Forero****

Palabras clave

Biodiversidad,
agroecosistema,
sustentabilidad

Clasificación JEL

R11 - O21 - H75

Resumen

El cambio en el uso del suelo para ampliación de la frontera agrícola, como el caso del monocultivo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, ha generado prácticas de deforestación, con pérdida de biodiversidad, daño del suelo y afectación del flujo hídrico. Como alternativa fueron identificados tres modelos agroecológicos de producción a los que se les realizó un análisis comparativo de variables (factores edáficos, calidad del agua y biodiversidad) con el fin de evidenciar diferencias y similitudes. Los resultados

Cómo citar este artículo: Santacoloma Varón, L., Almeida Braga, J., & Aguirre Forero, S. (2024). Modelos agroecológicos como alternativas de sostenibilidad ambiental en región central del Valle del Cauca, Colombia. *Equidad y Desarrollo*, (44), e1658. <https://doi.org/10.19052/eq.voll.iss44.9>

Recibido: 11 de septiembre de 2023. **Aprobado:** 18 de enero de 2024

Versión Online First: 21 de junio de 2024

* Artículo derivado de la investigación “Análisis ambiental integral en sistemas de producción agroecológica de la región central del Valle del Cauca”, realizado durante el 2021 y 2022 Código ECAPMAPIE052022 y financiado por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD

** Zootecnista Universidad Nacional de Colombia, Mg. Sc. en Gestión Ambiental para el desarrollo Sostenible, Universidad Javeriana, Especialista en Nutrición Animal, y Ph. D. en Desarrollo Sostenible Universidad Católica de Ávila, docente asociada Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Correo electrónico: luz.santacoloma@unad.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2731-6825>

*** Estadística y Magíster en Gerencia Empresarial, Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Correo electrónico: jessica.almeida@unad.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8761-1415>

**** Ingeniera agrónoma Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Mg. Sc. Manejo y Conservación de Suelos y Aguas, Ph. D. en Ciencias Agrarias, énfasis suelos, Universidad Nacional de Colombia, docente titular Universidad del Magdalena, Facultad de Ingeniería. Correo electrónico: saguirre@unimagdalena.edu.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6975-1940>



resaltan las ventajas ambientales que promueven estos sistemas y el análisis integral de parámetros biológicos y fisicoquímicos de los suelos indican su grado de estabilidad y sustentabilidad. Se demostró la necesidad de incentivar sistemas agroecológicos, al ser corredores de biodiversidad, despensa de alimentos e implementar así prácticas de conservación de suelos que pueden constituir una estrategia de mitigación al cambio climático en el sector agrícola.

Agroecological Models as Environmental Sustainability Alternative in Central Región of Cauca Valley, Colombia

Keywords

Biodiversity,
agroecosystems,
sustainability

Abstract

Changes in the land use to expand the agricultural frontier, such as the case of sugar cane monoculture in Valle del Cauca, have generated deforestation with loss of biodiversity, soil damage and impact on water flows. A comparative analysis on alternative agroecological models of peasant production was carried out to identify differences and similarities with the monoculture model related to three variables: water and soil quality and biodiversity. The study showed that agroecology has positive environmental impacts and can improve soil stability and sustainability. Agroecological systems can also be used as biodiversity corridors, food provision and to implement soil conservation practices helping this way to mitigate climate change in the agricultural sector.

Introducción

En la región central del Valle del Cauca, originariamente bosque nativo, se ha modificado el uso del suelo en un 70%, con el fin de dedicarlo al monocultivo de caña de azúcar y ganadería. Este modelo de producción, extendido durante el siglo XX, alcanzó amplias zonas del sistema andino y, unido a procesos de colonización, ha generado deforestación, deterioro del suelo con afectación del recurso hídrico, fragmentación de hábitats y pérdida de la biodiversidad (Buriticá & Arias 2015). Para Nichols y Altieri (2019) estos fenómenos se exacerban debido a cambios de temperaturas y perturbaciones en el régimen de precipitaciones que afectan

los paisajes naturales, alteran la heterogeneidad espacial e inciden en la seguridad alimentaria de las economías campesinas.

No obstante, en algunas zonas planas y de laderas en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental, en el valle geográfico del río Cauca, se han establecido modelos agroecológicos que facilitan el intercambio de productos, establecen circuitos cortos de comercialización e impulsan redes de cooperación entre sus participantes. Lo expuesto coincide con los planteamientos de Noguera et al. (2019), quienes afirman que la agroecología se nutre de experiencias exitosas, de gran valor ecológico, social y económico, este último factor casi siempre en desventaja por acceso a la tierra (áreas pequeñas) y débil apoyo institucional.

En consecuencia, el presente estudio tuvo como objetivo el análisis comparativo del estado actual del suelo, el recurso hídrico y la biodiversidad en tres sistemas de producción agroecológica en diferentes contextos edáficos y agroproductivos del centro del Valle del Cauca. La primera, finca campesina agroecológica, la segunda, sistema agroforestal pecuario, y el tercero, sistema agroecológico cafetero. Como puntos de referencia para el análisis se tuvieron presentes otras investigaciones en las que se identificaron valores de biodiversidad, calidad del agua y del suelo. Para los contenidos de microbiota y mesofauna del suelo se tuvo en cuenta los valores dados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAG) para suelos con baja perturbación.

Referentes teóricos

Nichols et al. (2017) expresan la necesidad de implementar sistemas mixtos de agricultura con miras a promover la biodiversidad, la resiliencia y la variedad de alimentos. Sarandón (2021), por su parte, manifiesta la importancia de contar con una variedad de sistemas agroecológicos en contextos productivos y sociales, con diversos objetivos. Ávila et al. (2019) exponen que la agroecología es un paradigma de agricultura sostenible, localizada en un 75% de los 1,5 millones de pequeños propietarios campesinos en 350 millones de pequeñas explotaciones en todo el mundo que producen y viven de ella. Lo expuesto pone de manifiesto la importancia de conocer y caracterizar los sistemas para determinar singularidades, interacciones y las propiedades emergentes que surgen.

Finca de café agroecológico

194

Su análisis reviste particular interés, toda vez que el café es un renglón importante de la economía del país, el cual para el 2019 reportó 14,8 millones de sacos de café verde, en un área de 853 000 ha, con más de 550 000 familias que derivan sus ingresos de esta actividad (Ocampo et al., 2017). Cifras importantes si se tiene en cuenta que el 96% de los productores cuentan con plantaciones de menos de cinco hectáreas y generan el 69% del total del café en Colombia (Figuroa et al. 2019); en el Valle del Cauca (suroccidente de Colombia) se da el 11% del total del café colombiano, con un área de cultivo de 75 800 ha en 26 038 fincas cafeteras.

De acuerdo con la Federación Nacional de Cafeteros, en este producto se implementan Normas de Gestión Ambiental (ISO 14001) para acceder a certificaciones y sellos verdes, lo cual da acceso a canales de comercialización diferenciales (Sánchez, 2017). Estas tendencias se extienden en diferentes regiones del país y, en los últimos años, se han incrementado diversidad de modelos agroforestales de bajo impacto ambiental. En este contexto, Turbay et al. (2014) destacan la adaptación del café a condiciones de semisombrio, al combinarse con especies como plátanos (*Musa* sp), guamos (*Inga* sp), nogales (*Cordia alliodora*, cedros (*Cedrela* sp.) y pisquines (*Albizia carbonaria*), entre otros. Con estos modelos, afines a los que se analizan en el presente estudio, se obtiene menor producción, pero alta calidad del grano, mejor manejo del suelo, reciclaje de nutrientes y baja dependencia de fertilizantes, debido a que la biomasa se descompone y forma materia orgánica en el suelo (MOS) que sustenta los agroecosistemas.

Los sistemas agroecológicos de café generan estabilidad económica y alimentaria, debido a que en momentos en los que el grano baja su precio, se cuenta con diversas fuentes de ingresos tales como cacao, yuca, plátano, frijól, hortalizas, pollo gallina, cerdos y peces (Contino et al., 2018). Al respecto, Turbay et al. (2014) plantean que los agroecosistemas son altamente resilientes a la variabilidad y el cambio climático, debido a que las prácticas agroecológicas disminuyen la temperatura diurna, protegen el suelo y los cultivos de efectos del viento y de altas precipitaciones, reducen la luminosidad y, en general, protegen el sistema del estrés hídrico.

Sistemas agroforestales pecuarios

La asociación de la ganadería con cultivos y especies forestales constituye una opción en la mitigación de los efectos que sobre el ambiente tiene esta actividad productiva. Lo anterior, si se tiene presente que la ganadería representa el 70% del área agrícola del planeta, el 30% de la superficie terrestre y es considerada como aportante de gases efecto invernadero (CO_2 , CH_4 , NO_2), con incidencia en el cambio climático (Buitrago et al., 2018). No obstante, Murgueitio et al. (2013) exponen que la ganadería con sistemas silvopastoriles y aplicación de principios agroecológicos disminuye este impacto y fomenta procesos biofísicos como la fotosíntesis en varios estratos de la vegetación, la fijación de N y reciclado de nutrientes, así como el incremento de biomasa y contenido de materia orgánica del suelo (MOS).

Estos modelos promueven la fertilidad del suelo a causa de la presencia de raíces en diferentes estratos y la adición permanente de hojarasca que, al incorporarse al suelo, con la actividad microbiana generan nutrientes en el sistema suelo-planta, lo protegen de erosión y compactación, al igual que permiten el aprovechamiento de capas más profundas al impulsar el intercambio catiónico (Aguirre Forero et al., 2021; Buitrago et al., 2018). Al respecto, Gallego et al. (2014) plantean que la presencia de leguminosas en los potreros, propia de sistemas agroforestales, mitigan emisiones de N_2O al disminuir la disponibilidad de nitrato para procesos de desnitrificación. En consecuencia, los sistemas pecuarios agroforestales constituyen una alternativa de producción que contribuye a preservar el suelo y la biodiversidad al ciclar nutrientes, aumentar la retención de carbono y regular la relación C/N en el sistema.

Entretanto, una *finca agroecológica campesina* se concibe como un sistema multiestrato de alto nivel de complejidad, debido a las múltiples interacciones que se establecen entre los diversos componentes del sistema. Un elemento importante es la presencia de la huerta casera, complementada con cultivos de pancoger o policultivos que mejoran la seguridad alimentaria de las familias campesinas (Moreno et al., 2019). En estos modelos es usual la presencia del componente pecuario, fundamental en aportes de proteína de alto valor biológico y en la contribución al flujo de caja de ingresos del hogar rural. Santacoloma y Braga (2022) plantean que los subsistemas pecuarios en producción agroecológica contribuyen al aprovechamiento de la agrobiodiversidad local, al acervo de conocimiento de la comunidad y a la autogestión económica.

En estos agroecosistemas los elementos constitutivos cumplen funciones específicas y están distribuidos espacialmente en la unidad productiva, en la que generan sinergias y evitan la competencia entre especies (Gómez et al., 2015). Las especies arbóreas (maderables, frutales o de conservación de suelos) ocupan estratos altos y, aunque no representan un medio de ingresos inmediato, constituyen áreas biológicamente activas de conservación y protección del recurso hídrico, a la vez que aportan hojarasca y materia orgánica que resguarda el suelo de factores ambientales (Altieri & Nichols, 2020).

Los estratos medios están destinados a cultivos de frutales, musáceas, café y cacao, dirigidos al mercadeo, y los estratos bajos ocupados por plantas aromáticas, hortalizas, así como algunos lotes pueden presentar especies arvenses que son utilizadas como fuente de nutrientes para el suelo. En este estrato también se concentra la actividad pecuaria con especies de pastizales o forrajes que componen bancos de proteína (Santacoloma, 2015). De esta manera, el suelo se considera el último estrato, con sus dinámicas biológicas y bioquímicas, que lo hacen una entidad viva en permanente transformación, la cual además integra alta biodiversidad, así como estabiliza la red trófica y los ciclos biogeoquímicos (Mateos, 2017).

Los tres agroecosistemas presentan múltiples ventajas para el medio, ante lo cual Abel et al. (2017) consideran que al ser policultivos mantienen una producción constante y diversificada, factor importante por el potencial de captar CO₂. Pérez y Juan (2016), por su parte, advierten la importancia de conservar el suelo en un sistema agroecológico y destacan la utilidad de obras de infraestructura, terrazas, trinchos, siembra a curvas de nivel y la adición constante de materia orgánica (MO). Ramos (2020) expone que las zanjas o los canales para retener el agua lluvia, propios de estos sistemas, facilitan la captación hídrica que por infiltración desciende hacia capas más profundas y evitan la escorrentía y la pérdida de nutrientes.

Si se tiene en consideración que la mayor parte de los sistemas agroecológicos se encuentra en zonas de gran fragilidad ecosistémica, las prácticas y los manejos adecuados de los sistemas productivos, respecto al suelo, el agua y la biodiversidad, constituyen una alternativa de producción ambientalmente sostenible.

Métodos

Se utilizó una metodología mixta, es decir, una investigación que describe, recopila, compara, analiza e integra métodos cuantitativos y cualitativos para

comprender mejor un fenómeno (Nebel & Wright, 1999, como se citan en Muñoz-Pedreras 2004; García Monteagudo, 2021). En este sentido, se realizó una descripción de las unidades productivas (UP) agroecológicas finca campesina agroecológica, sistema agroforestal pecuario y sistema agroecológico cafetero. Se realizó también un análisis comparativo de variables edáficas, calidad de agua y biodiversidad en los tres sistemas agroecológicos. En el análisis fisicoquímico del suelo se aplicaron metodologías del laboratorio nacional de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Asimismo, en este laboratorio se realizaron los análisis de mesofauna y microbiota del suelo, al igual que el estudio de calidad del agua; se tomaron como puntos de referencia los parámetros de calidad que tiene el IGAC para el estudio comparativo de las UP.

El área de estudio la constituyen las fincas agroecológicas analizadas y ubicadas en la región central del Valle del Cauca, suroccidente de Colombia, noroeste de Latinoamérica, tal como se aprecia en la Figura 1.

Figura 1. Mapa de la ubicación geográfica de los sistemas agroecológicos analizados



La finca campesina agroecológica pertenece al corregimiento de Tres Esquinas, municipio de Tuluá, en las coordenadas 4°08'17.2" latitud Norte y 76°13'19,2" longitud occidental. Entre tanto, la finca de sistemas agroforestales pecuarios está ubicada en el corregimiento de Nariño, municipio de Tuluá, a 4°05'21.2" latitud

norte $76^{\circ}12'47.3''$ longitud occidental. Los dos sistemas están localizados a 960 msnm, con temperatura media de 24° , promedio anual de humedad de 78%, lluvias anuales de 1302,1mm y rangos de irradiación entre 3,5 a $4,28 \text{ kwh/m}^2$ (Centro Meteorológico Farfán). Están caracterizados, según CVC y Funagua (2010), como bosque cálido seco en planicie aluvial + (+BsT), tal como se observa en Figura 2 (A y B).

El sistema agroecológico cafetero está localizado en zona montañosa, en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental en los Andes colombianos, terreno fuertemente inclinado, con temperaturas entre 16 y 26 C , promedio anual de humedad de 80%, altitud de 1120 msnm, lluvias anuales de 1302,1 mm y rangos de irradiación entre 3,5 a $4,28 \text{ kwh/m}^2$. Según la categorización de Montoya (2010), esta finca pertenece al ecosistema Orobioma Bajo de los Andes templado Húmedo en Montaña, dominado por Bosque Natural (ObTHMoBN) (véase la figura 2, C). Pertenece al corregimiento de Salónica, municipio de Friofrío, en coordenadas $4^{\circ},10'39.8''$ latitud norte, $76^{\circ}38'18.7''$ longitud occidental.

Figura 2. Panorámica de los sistemas agroecológicos evaluados



A. Panorama de la finca agroecológica campesina.



B. Panorama de sistemas agroforestales pecuarios



C. Panorama de la finca agroecológica cafetera

Fuente: Google Earth, 2023.

Criterios de selección de las fincas o unidades productivas (UP)

199

Las fincas seleccionadas cumplieron con cuatro principios agroecológicos: ciclaje de nutrientes y energía, manejo microbiológico del suelo, conservación de biodiversidad y uso racional del recurso hídrico. Las variables analizadas (véase la Tabla 1) fueron: características edáficas e hídricas, índice de biodiversidad florística (índice de Fisher Alfa e índice de equidad (E)). Para calidad del agua de riego y características edáficas relacionadas con la microbiota (solubilizadores de fosfatos, bacterias, actinomicetos, hongos, celulolíticas, bacterias fijadoras de nitrógeno) y mesofauna presente en suelos se tomó como referencia o testigo parámetros de valores de referencia del IGAG 2023 asociados a buenas prácticas de manejo.

Tabla 1. Criterios para la evaluación ambiental integral

Dimensión	Indicadores
Edáfica	En biodiversidad (UFC) hongos, bacterias, fijadores N, solubilizadores fosfatos y celulíticos. Características fisicoquímicas: retención de humedad, textura pH, nitrógeno total, nitrógeno nítrico, nitrato, fósforo, potasio, azufre y materia orgánica, carbono orgánico).
Hídrica	Calidad del agua de riego
Biodiversidad florística	Índices de Fisher alfa y equitatividad

En el análisis de variables edáficas relacionadas con características fisicoquímicas se tuvo en cuenta las metodologías propuestas por el IGAC que se aprecian en la tabla 2, mientras para la discusión fueron considerados autores de referencia que han investigado en este campo de conocimiento.

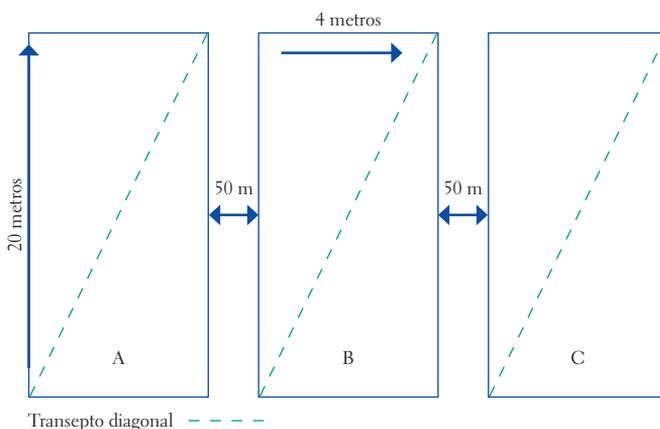
Tabla 2. Metodología aplicada para análisis de variables fisicoquímicas

Variable	Símbolo	Unidad	Método
PH	pH	unid	Método potencio métrica relación 1:2
Densidad aparente	Da	(g cm ⁻³)	Cilindro de vol. conocido
Densidad real	Dr.	(g/cm ³)	Picnómetro
Porosidad	Pt	%	Cálculo
Humedad	H	%	Multiparámetro
Temperatura	T	°C	Multiparámetro
Conductividad eléctrica	CE	dS m ⁻¹	Pasta de saturación.
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	Cmol kg ⁻¹	absorción atómica
Carbono orgánico	CO	%	Walkley & Black
Materia orgánica	MO	%	CO x 1,723
Nitrógeno total	Nt	%	Digestión ácida

Toma de muestras

Para los sitios de muestreo de suelo e índices de biodiversidad florística se establecieron tres transeptos delimitados en cada una de las fincas, de 20 x 4 m (80 m²), separados por 50 m de distancia (véase la figura 3). Se tuvo en cuenta lugares representativos de las fincas y se evitó efecto de borde, a fin de evitar distorsión en los resultados.

Figura 3. Transeptos delimitados en cada sistema agroecológico



Cada cuadrante (transepto) fue dividido mediante estacas y piola con el fin de determinar el número de individuos por área. Para organismos del suelo se utilizó la trampa de caída *pitfall* y el embudo de Berlese con miras a determinar densidad y frecuencia. Las especies vegetales se clasificaron en árboles, arbustos y hierbas para determinar el porcentaje de cobertura de cada una y esta información fue consignada en la tabla 3.

Tabla 3. Tabla utilizada para consignar información sobre estrato arbustivo y herbáceo

Parcela _____ No _____ Fecha _____ Área _____				
Altitud _____ Pendiente % _____				
Nombre común	Nombre científico	Número de individuos	Porcentaje de cobertura	Observaciones

La recolección de muestras de suelo se realizó de acuerdo con metodología del IGAC para la evaluación fisicoquímica (retención de humedad, textura, pH, nitrógeno total, nitrógeno nítrico, nitrato, fósforo, potasio, azufre y materia orgánica, carbono orgánico). En el análisis microbiológico se tomaron submuestras de 10 a 20 cm de profundidad de los transeptos y se siguió una forma de zigzag para un muestreo representativo. Se recolectó en bolsas plásticas ziploc y se envió al Laboratorio de Suelos de IGAC.

En el análisis de calidad del agua se tomaron muestras de las fuentes superficiales de los arroyos al inicio y salida de las fincas y se recolectaron en un envase limpio y hermético. La recolección del agua se realizó de acuerdo con los lineamientos técnicos del Ideam (2007). En consecuencia, se sumergió el envase 20 cm por debajo de la superficie del agua, y la boca se dirigió contra la corriente a fin de evitar la presencia de plantas o algas. Estas muestras fueron embaladas con hielo seco y enviadas al laboratorio de calidad del agua del IGAC donde se procede, de acuerdo con las metodologías descritas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2012 (Rice et al., 2012).

Análisis de información

Se realizó una descripción comparativa de las fincas para el análisis de variables, se tomaron como referencia fuentes bibliográficas y parámetros de calidad de agua del riego y de grupos funcionales de la microbiota edáfica, así como mesofauna, establecidos por el IGAC como indicadores de adecuado manejo del suelo. En los parámetros fisicoquímicos del suelo se utilizaron técnicas estadísticas básicas en parámetros estándar con Control Estadístico de Procesos de Calidad (SPC) como cartas de control, a fin de identificar alertas o alteraciones que comprometan el proceso productivo y/o el medio ambiente, a la vez que evidencien límites.

Resultados

Los indicadores microbiológicos del suelo se presentan en la tabla 4, en la cual se observa el sistema y los rangos obtenidos de los resultados del análisis de actividad microbiológica.

Tabla 4. Resultados de análisis microbiológico de suelos

Agroecosistema	Hongos UFC/g	Bacterias heterótrofas UFC/g	Bacterias tipo actinomicetos UFC/g	Fijadores Nitrógeno UFC/g	Solubilizadores Fosfatos UFC/g	Celulíticos UFC/g
Finca agroecológica campesina	$3,1 \times 10^4$	$5,2 \times 10^7$	$1,6 \times 10^6$	$4,8 \times 10^6$	$3,5 \times 10^5$	$2,8 \times 10^5$
Sistemas agroforestales pecuarios	$3,0 \times 10^4$	$8,6 \times 10^7$	$1,7 \times 10^6$	$5,6 \times 10^6$	$3,9 \times 10^5$	$3,8 \times 10^5$
Finca Café agroecológico	$5,6 \times 10^4$	$1,2 \times 10^7$	$1,5 \times 10^6$	$2,0 \times 10^6$	$5,7 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$
Suelos en condiciones naturales de bosque o con buenas prácticas de manejo (IGAC, 2023)	$>1E+0^4$	$>1E+0^6$	$>1E+0^5$	$>1E+0^5$	$>1E+0^4$	$<1E+0^4$

Notación científica con número de ceros según cifra después del símbolo ^, ejemplo: $2^5 = 200000$
 UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

El rol relevante de la mesofauna edáfica en la descomposición de la MO y en la provisión de servicios ecosistémicos es fundamental en la salud del sistema. La actividad microbiológica y ciclado de nutrientes en el suelo involucra el grupo de micro artrópodos (ácaros, colémbolos, dipluros y sínfilos) (Benckiser, 2018). En la tabla 5 se presentan los indicadores de equitatividad, riqueza y biodiversidad en los tres agroecosistemas analizados.

Tabla 5. Resultados de análisis de mesofauna de los suelos

Agroecosistema	Índice de equitatividad	Índice de riqueza	Índice de diversidad
Finca agroecológica campesina	0,811	2,172	0,562
Sistemas agroforestales pecuarios	0,8	2,09	0,78
Finca café agroecológico	1,000	4,947	1,099
Valores de referencia en sistemas bien manejados (IGAC, 2023)	>0,8	>1,5	>0,8

Las tablas 6 y 7 evidencian los resultados de la capacidad de retención de agua y análisis granulométrico de los suelos en los sistemas estudiados.

Tabla 6. Capacidad de retención de agua del suelo en los sistemas agroecológicos

Agroecosistema	RH* a 0(kPa) Θ _g (%)	RH* a -33 kPa	RH* a -1500 kPa
Finca agroecológica campesina	59,91	32,76	17,57
Sistemas agroforestales pecuarios	69,11	32,76	18,87
Finca café agroecológico	90,52	44,96	29,76
Valores normales: sistemas bien manejados*	≥ 40	≥ 20	≥ 15

Or et al. (2011) Retención de humedad: RH

Tabla 7. Composición granulométrica de los sistemas agroecológicos

Agroecosistema	% arena	% Limo	% arcilla	Clase textural
Finca agroecológica campesina	23,7	49,1	27,2	F
Sistemas agroforestales pecuarios	36,1	40,8	23,1	F
Finca café agroecológico	37,5	29,2	33,3	F Ar
Valores normales: sistemas bien manejados IGAC, 2023	35	35	20	F

En la tabla 8 se observan los valores de las propiedades químicas analizadas.

Tabla 8. Valores de propiedades químicas de los sistemas agroecológicos

Variable	Finca agroecológica campesina	Sistemas agroforestales pecuarios	Finca Café agroecológico	Valores óptimos de referencia ICAC, 2023
pH (1:1)	7,530	6,950	4,7	6,5-7,5 Alta disponibilidad de nutrientes
% CO	2,850	3,084	2,36	Mayores a 2,0
% MO	4,88	5,28	4,08	Mayores a 4
% N calculado	0,24	0,26	0,20	Valores iguales o mayores a 0,2
Relación C/N	11,8	11,79	11,76	10 y 14 óptima Mineralización
Fósforo disponible mg/Kg	349,66*	581,04*	0,79	Más de 30
CIC (emolc kg-1)	22,404	22,794	29,970	Superiores a 10 - 15
CICE	20,404	19,079	18,852	Más de 12
Ca (meq/100 g suelo)	26,280*	19,420*	5,180	Más de 5 meq/100 g suelo)
Mg	3,360*	3,270	11,620*	5-14 meq/L
K	0,020*	0,020*	0,100*	0,4-0,6 meq/100 g suelo
Na	0,100*	0,130*	0,150*	Menores a 5
S.B.%	SAT	SAT	56,89	Más de 80% o SAT

La tabla 9 muestra los resultados de la caracterización de la estructura, composición, riqueza y diversidad de especies en los sistemas evaluados a través de los índices Alfa Fisher de riqueza florística y equitatividad.

Tabla 9. Índices de Alfa Fisher de riqueza florística y de equitatividad

Agroecosistema	Índice de Alfa	Índice Equitability_J
Finca agroecológica campesina	20,43	0,888
Sistemas agroforestales pecuarios	2,97	0,8972
Finca café agroecológico	2,04	0,8697
Valores de referencia	< 2 Bajos 2- 4 Medios Altos > 4 Muy altos > 5	0,7-1,0 Altamente equitativo 0,4-0,7 Medianamente equitativo 0-0,3 Poco equitativo

En la tabla 10 se registran los resultados obtenidos del laboratorio de pH, CE, RAS, dureza, STSD, los parámetros que muestran la calidad del recurso agua y las restricciones por afectaciones si están fuera del rango.

Tabla 10. Valores de calidad de agua para riego en los tres sistemas agroecológicos

Agroecosistema	pH	CE (µS/cm)	RAS*	Total Cationes mmol(+)/L	Total aniones mmol(-)/L	Dureza total (C.H.F)	STSD* (mg/L)
Finca agroecológica campesina (Clase C2-S1)	7,950 A	403,00 A	0,13 A	4,025 A	4,05 A	19,051 A	257,920 A
	7,920 B	400,00 B	0,132 B	4,027 B	4,01 B	19,002 B	259,000 B
Sistema agroforestal pecuario (Clase C1-S1)	8,100 A	167,30 A	0,090 A	2,083 A	2,08 A	9,923 A	107,072 A
	8,100 B	168,00 B	0,091 B	2,080 B	2,03 B	9,751 B	109,444 B
Finca café agroecológico (Clase C2-S1)	6,5 A	480,00 A	0,17 A	4,94 A	4,81 A	21,1 A	273,980 A
	6,2 B	479,00 B	0,17 B	4,95 B	4,79 B	21,0 B	272,052 B

Agroecosistema	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	RAS*	Total Cationes mmol(+)/L	Total aniones mmol(-)/L	Dureza total (C.H.F)	STSD* (mg/L)
Valores de referencia agua para riego	6,5 a 8,4	< 1200	< 3	Equilibrio Σ cationes- aniones	Equilibrio Σ cationes- aniones	7 a 22	<500 mg/L

CE (Conductividad Eléctrica), RAS* (Relación de Absorción de Sodio), STSD* Sales totales de Sólidos disueltos)

A. Toma de muestra fuente hídrica entrada en finca

B. Toma de muestra fuente hídrica salida de finca

Discusión

En la “Tabla 4” se evidencia la presencia de organismos importantes en los procesos de mineralización del carbono orgánico del suelo COS (Morochó & Leiva, 2019) y se aprecia que existe una elevada población de hongos (*Aspergillus* sp, y *Trichoderma* sp) en la finca de café agroecológico, probablemente como consecuencia del manejo de residuos orgánicos y las condiciones climáticas. Los actinomicetos presentan cantidades similares en todos los sistemas, con diferencias mínimas, lo cual es un indicador de salud del suelo, toda vez que estos intervienen en el ciclaje de la MO (compostaje), mejoran las condiciones físicas en los suelos y son fundamentales en la mineralización del nitrógeno, la solubilización y la asimilación del hierro (Chaurasia et al., 2018).

En bacterias fijadoras de nitrógeno se aprecia mayor concentración en los sistemas agroforestales pecuarios con $5,6 \times 10^6$, presumiblemente por la presencia de leguminosas y árboles forrajeros que desarrollan simbiosis con estos organismos. Las bacterias solubilizadoras de fosfatos, importantes en la producción de ácidos orgánicos y enzimas (Patiño & Sánchez, 2014), se observaron en mayor proporción en el agroecosistema café. Este parámetro reviste importancia en todos los sistemas de producción agrícola, siendo el P básico para el desarrollo de raíz en las primeras fases vegetativas (Cisneros Rojas et al., 2016).

Los organismos celulíticos, responsables de degradar celulosa, se encuentran en mayor cantidad en el sistema agroforestal pecuario con un valor de $3,8 \times 10^5$,

y valores menores en la finca cafetera, con $1,1 \times 10^5$. Las dinámicas poblacionales de estos organismos y su movilidad responden a variaciones en cobertura vegetal, temperatura y humedad del suelo (Martínez et al., 2018). Encontrarlos en el sistema evidencia buen ciclaje de la MO.

En la mesofauna del suelo se destaca que el índice de equitatividad fue similar entre las fincas, con diferencias mínimas entre ellas y superiores a valores de referencia para sistemas bien manejados. En los índices de riqueza se aprecia que la finca de café agroecológico es significativamente alta con respecto a la finca agroforestal pecuaria y a la agroecológica campesina, pero en todas se aprecian valores superiores a los de referencia. En el índice de diversidad en mesofauna del suelo la finca agroecología cafetera destaca por sus altos niveles, lo cual indica que sistemas con prácticas agroecológicas similares como las que fueron analizadas en el estudio, pueden presentar comportamientos disímiles en este indicador.

Se resaltan los valores óptimos de retención de agua del suelo (véase la tabla 6), que, en algunos sistemas, constituye una limitante importante en el crecimiento de las plantas (tanto su exceso como carencia) (Largaespada & Henríquez, 2015). Al respecto, la materia orgánica es uno de los hidrorretenedores más usados e importantes en la agricultura, mientras la cobertura vegetal hace parte del ciclo del carbono en el suelo, reconocido como una alternativa para ayudar a la retención de agua en los suelos. Anaya et al. (2016) demostraron que la concentración de COS correlaciona con la variación en la humedad en suelos y con la masa de mantillo en

un ecosistema de bosque de niebla de Michoacán, así como resaltan la influencia de la materia orgánica en la disponibilidad de agua para las plantas. De igual forma, Mondragón Valencia et al. (2022) evidenciaron que las coberturas vegetales afectan el secuestro de COS, lo cual incide en la agregación del suelo y consecuentemente interviene en la distribución del espacio poroso, lo que afecta propiedades físicas, como, por ejemplo, la capacidad de retención de agua en el suelo.

“En el índice de diversidad en mesofauna del suelo la finca agroecología cafetera destaca por sus altos niveles, lo cual indica que sistemas con prácticas agroecológicas similares como las que fueron analizadas en el estudio, pueden presentar comportamientos disímiles en este indicador”.

De otro lado, la variedad de especies nativas y de cultivos de sistemas agroecológicos estudiados sostienen interacciones complejas con un ciclaje permanente de materia orgánica que facilita sinergias bióticas, reducen la radiación directa sobre el suelo y mejoran la retención de humedad. Los valores de retención de humedad de los sistemas agroecológicos fueron altos, en particular en el sistema de agroecología cafetera, con un 90,52, asociado con los altos contenidos de arcilla. Estos valores fueron superiores a los reportados por Malagón (2016) para suelos finos y francosa-finos (entre 30 a 45% de Ar). Al respecto, Minasny y Mcbratney (2018) consideran que el agua disponible en el suelo se relaciona con el contenido de materia orgánica (MO). No obstante, la textura condiciona las características fisicoquímicas, entre ellas la capacidad de retención hídrica, la distribución del tamaño de los poros, la capacidad e intercambio de cationes y almacenamiento de materia orgánica (Lamanna et al., 2016). En la tabla 7 se advierte que las fincas agroecológicas pertenecen a la clase textural Franco, de adecuada cohesión, capacidad de retención y filtración de agua, así como presentan proporciones balanceadas de arcilla, limo y arena, lo que contribuye a la estabilidad edáfica del sistema.

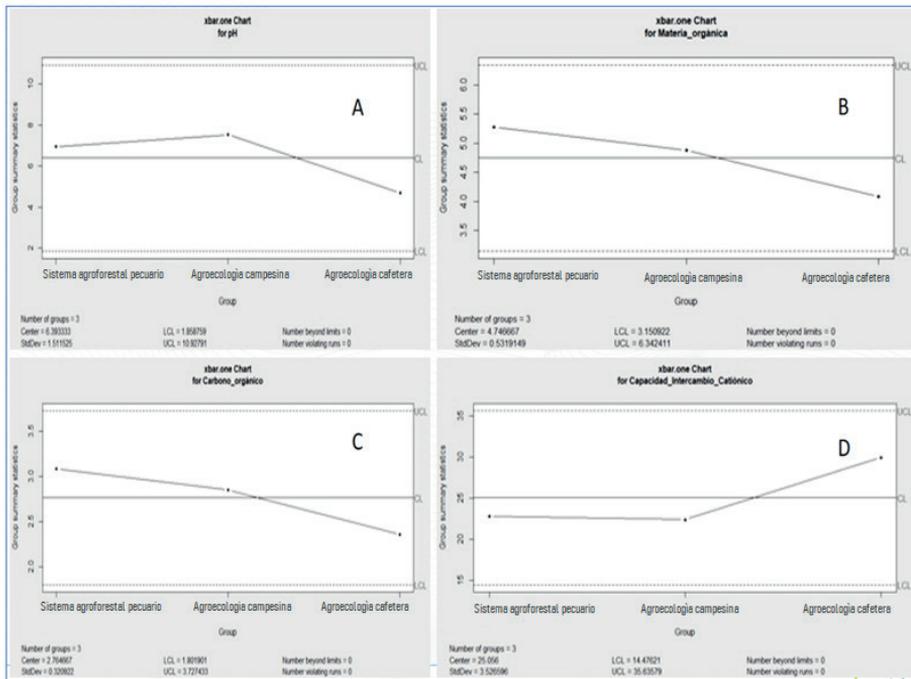
Aplicación de cartas de control en análisis químico de suelos

Los atributos químicos de los suelos, altamente asociados a las propiedades físicas y microbiológicas, contribuyen al análisis integral del componente ambiental en sistemas agroproductivos. Torres et al. (2017) advierten que la alta complejidad y el carácter multifuncional de los suelos, así como su incidencia en los diferentes paisajes, dependen de las condiciones climáticas, los sistemas productivos y la aplicación de prácticas agrícolas.

En la carta de control expuesta en la figura 4 (A) se advierte el pH en las tres fincas del estudio, con un promedio de 6,393. Se destaca que el valor identificado en la finca de café agroecológico altera la desviación del proceso en 1,515, pero en la evaluación general de los parámetros no se evidencia que esto constituya amenazas en el proceso productivo, ya que los valores no sobrepasan los límites establecidos (UCL 1,8587 y LCL 10,927). No obstante, este valor reviste importancia si se considera que el pH condiciona las reacciones químicas y biológicas que suceden en el medio edáfico, como, por ejemplo, la disponibilidad de los nutrientes. Al respecto, es claro que el valor de pH de 4,7 en la finca de café agro-

ecológico afecta la disponibilidad de fósforo, la cual presenta valores de 0,79 mg/kg, muy distantes de los obtenidos en el sistema agroforestal pecuario y la finca agroecológica campesina, con 581,04 mg/kg y 349,66 mg/kg, respectivamente. Sin embargo, el cultivo no expresa visualmente ninguna deficiencia, por lo que se puede inferir que existen mecanismos como la simbiosis y la actividad fúngica que median el proceso.

Figura 4. Cartas de control de variables químicas



A. Carta de control pH.

B. Carta de control porcentaje de materia orgánica.

C. Carta de control del porcentaje de Carbono orgánico.

D. Carta de control de la capacidad de intercambio catiónico (cmol (+)/kg).

Para contenido de materia orgánica (véase la figura 4B) es posible visualizar que los tres modelos productivos presentan valores similares con StdDev=0,531, al igual que valores superiores a 4,0, considerados óptimos para un suelo. Se destaca que la finca agroforestal pecuaria, con un valor de 5,28, presenta recolección de

excretas y manejo de residuos orgánicos que estimulan la actividad de los microorganismos. Los resultados permiten concluir que los tres sistemas presentan alta actividad biológica, lo cual redundo en la retención y entrega de nutrientes al suelo y se refleja en los valores de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) con 22,794, 22,404 y 29,970 para el sistema agroforestal pecuario, finca agroecológica campesina y café agroecológico, respectivamente. En este indicador se aprecia en la figura 4 (D) un comportamiento estable con límites inferior y superior de control de 14,476 y 35,635, respectivamente, y valores óptimos de referencia superiores a 10.

El porcentaje de COS que se aprecia en la figura 4C muestra cómo los valores fluctúan de manera aleatoria dentro de los límites de control (UCL y LCL), y demuestran que estos contenidos son estables, con desviación estándar (Std-Dev=0,3209). Los valores superiores a 2,0, por encima de los valores de referencia, muestran la calidad de los sistemas agroecológicos en cuanto sumideros de carbono en la biosfera (Burbano, 2018). Dado que en el suelo ocurren procesos de regulación como respiración y (o) oxidación de materia orgánica por microorganismos y respiración de las células de las raíces de las plantas, altos contenidos de (COS) reflejan altas tasas de descomposición de la MO. Estos resultados evidencian la calidad de los residuos y la dinámica de los microorganismos que incide en la tasa de humificación (Mazilli et al., 2014).

El indicador C/N es importante respecto a la velocidad de proliferación de microorganismos y la velocidad con que se mineraliza o se humifica la MOS (Gamarra et al., 2018). En la figura 4C se observa que los límites de control inferior y superior (11,71; 11,84) se mantienen ajustados como consecuencia de una baja desviación estándar (0,022), lo cual señala que en las fincas analizadas los microorganismos cuentan con suficiente carbono para usar como fuente de energía y nitrógeno en la síntesis de proteína que regula el ciclo de materiales orgánicos. Entretanto, la saturación de bases en los sistemas agroforestales y campesinos agroecológicos es de 100%, lo cual revela que las bases se absorben totalmente en la superficie de las partículas del suelo. Por su parte, en el sistema de finca agroecológica de café se advierte una saturación de 56,89, posiblemente a causa de las condiciones de acidez que presenta este suelo.

Al analizar integralmente los resultados evaluados de las características químicas en los agroecosistemas (véase la tabla 8) se evidencian sistemas funcionales con contenidos medios de MO, altos de N y variable en P; este último indicador presenta un valor muy bajo en la finca de café agroecológico, probablemente por su condición de alta acidez. Sin embargo, los tres sistemas muestran alta capacidad

de cationes reflejados en altos contenidos de Ca y Mg. La variable *K* en los tres sistemas está por debajo del nivel de referencia, por lo que es necesario buscar una fuente para suplirlo y llama la atención la relación entre las bases, lo que evidencia una deficiencia inducida de *K* por la concentración elevada de Ca acentuándose en los sistemas agroforestal pecuario y agroecología campesina. Sería conveniente adición de neutralizantes de acidez en el agroecosistema de café para corregir los efectos negativos que pueda tener Al y Fe a este rango de pH.

El Índice de riqueza florística de Alfa Fisher y de equitatividad

El primero se basa en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica), y el de equitatividad representa la dominancia de especie. Los valores que se aprecian en la tabla 9 muestran que el sistema agroecológico campesino presenta una riqueza florística significativamente alta, con 20,43, si se tiene en cuenta que valores de referencia > 5 son considerados muy altos. El índice de equitatividad similar en los tres sistemas analizados, con valores superiores a 0,80, muestran la abundancia de especies, ya que valores cercanos a 1 representan condiciones de alta exuberancia florística, en tanto que aquéllos cercanos a 0 expresan la dominancia de una sola especie.

Recurso hídrico

Como se aprecia en la tabla 10, se analizaron las variables de calidad del agua: pH, conductividad eléctrica, relación de absorción de sodio, cationes totales (calcio, magnesio, potasio, sodio), aniones totales sulfatos, cloruros, carbonatos, bicarbonatos), dureza y sales totales de sólidos disueltos, a la entrada y salida de las fincas. Se advierte que los valores de pH del agua para uso agropecuario con fines de riego están dentro de los rangos de normalidad para favorecer la absorción de nutrientes. En la RAS (relación de absorción de sodio) se aprecia que todos los valores se encuentran por debajo de niveles críticos, por lo cual las fuentes de agua no presentan ningún riesgo de absorción por sodio.

Respecto a la conductividad eléctrica, los tres sistemas agroecológicos se encuentran por debajo de niveles menores a 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que corresponde a valores

óptimos respecto a salinidad o sales disueltas en el medio. La dureza total (GHF), del mismo modo, se encuentra dentro de los estándares recomendados y es caracterizada como medianamente blanda. En sales totales de sólidos disueltos en el agua las fincas muestran valores menores a 500 (mg/L), lo cual indica que el contenido de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas en forma suspendida molecular, ionizada o microgranulada se encuentra dentro de parámetros normales. Entretanto el balance de iones es apropiado, ya que la sumatoria entre los aniones coincide aproximadamente con la de los cationes expresados en sumatorias de meq/l.

La toma de muestra de fuentes superficiales de agua en el ingreso y la salida de la finca brinda información importante sobre el grado de afectación durante su recorrido, pero su calidad no es estrictamente atribuible al manejo agroecológico de cada uno de los sistemas agroecológicos. No obstante, la alta calidad del agua identificada en los sistemas agroecológicos analizados, incide en el desempeño integral ambiental y en sus objetivos de producción y sustentabilidad.

“La toma de muestra de fuentes superficiales de agua en el ingreso y la salida de la finca brinda información importante sobre el grado de afectación durante su recorrido, pero su calidad no es estrictamente atribuible al manejo agroecológico de cada uno de los sistemas agroecológicos”.

Conclusiones

Al analizar los factores ambientales de los tres sistemas de producción agroecológica (campesina, agroforestería pecuaria y café agroecológico) se advierte que las variables edáficas (microbiológicas y fisicoquímicas), así como la biodiversidad florística están dentro de parámetros estándar o por encima de valores correspondientes a sistemas de producción convencionales. Los cambios en la calidad del agua en la salida respecto a la entrada de cada sistema productivo muestran que no se presenta afectación durante el recorrido en cada finca. No obstante, su alta calidad no es atribuible en sentido estricto al manejo de los sistemas productivos.

Los indicadores evaluados de mesofauna, microbiota del suelo (hongos, bacterias, fijadores N, solubilizadores fosfatos y celulíticos), complementados con análisis de MO, COS, C: N, CIC, evidencian el ciclaje de la biomasa en el suelo,

con incidencia sobre las demás propiedades edáficas de los sistemas, al igual que un adecuado balance de la conservación y fertilidad del recurso.

En los índices de riqueza florística se advierten los valores sustancialmente altos del agroecosistema campesino con respecto a los otros sistemas, con índices de riqueza media. Sin embargo, los tres sistemas analizados presentan altos índices de equitatividad, lo cual muestra que todas las especies comparten abundancias similares y ninguna de ellas domina sobre las otras.

El estudio pone de manifiesto que los principios agroecológicos desarrollados en las fincas analizadas responden positivamente sobre las variables evaluadas al mostrar equilibrio ambiental y exhibir valores que indican sustentabilidad de los agroecosistemas.

Agradecimientos

Las autoras agradecen a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD por el apoyo brindado en la realización de la presente investigación. También agradecen a la Dra. Denisse Viviana Cortés Castillo, por su colaboración en la determinación de los iniciadores de biodiversidad. Un reconocimiento especial a los productores de las fincas agroecológicas estudiadas por su disposición para participar en el presente proyecto.

Conflictos de intereses

El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Referencias

Abel, R., Pozas, J., Soria, F., & Cruz, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 149-160. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i2.166>

Aguirre-Forero, S. E., Piraneque-Gambasica, N. V., & Abaunza-Suárez, C. F. (2021). Especies con potencial para sistemas agroforestales en el departamento del Magdalena, Colombia. *Información tecnológica*, 32(5),

13-28. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000500013>

Altieri, M. A., & Nichols, C. I. (2020). Agroecology: Challenges and Opportunities for Farming in the Anthropocene. *Ciencia e Investigación Agraria: Revista Latinoamericana de Ciencias de la Agricultura*, 47(3), 204-215. <http://dx.doi.org/10.7764/ijanr.v47i3.2281>

Anaya, C. A., Mendoza, M., Rivera, M., Páez, R., & Olivares-Martínez, L. D. (2016). Contenido de carbono orgánico y retención de agua en suelos de un bosque de niebla en Michoacán, México. *Agrociencia*, 50(2), 251-269. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1208>

Ávila, L. E., Cordero, E., Ledezma, J., Galvis, A., & Ávila, R. A. (2019). La agroecología como alternativa: movimiento, ciencia y práctica para la justicia y soberanía alimentaria. *Inter Disciplina*, 7(19), 195-218. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70293>

Benckiser, G. (2018). *Fauna in Soil Ecosystems. Recycling Processes, Nutrient Fluxes, and Agricultural Production*. CRC Press.

Buitrago, M., Ospina, L., & Narváez, W. (2018). Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Boletín Científico Centro de Museos*, 22(1), 31-42. <https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.1.2>

Burbano-Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>

Buriticá, A., & Arias, A. (2016). Gestión ambiental y gobernanza en los municipios del valle del Cauca. *Ambiente y Sostenibilidad*, 5(1), 78-96. <https://doi.org/10.25100/ays.v5i1.4304>

Cisneros Rojas, C. Sánchez de P., M., & Menjívar F. J. (2016). Influencia de mi-

croorganismos solubilizadores de fósforo del suelo y su absorción por plántulas de café. *Bioagro*, 28(2),95-106. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612016000200004

Contino, Y., Iglesias, J., Toral, Odalys., Blanco, J., González, M., Caballero, R, & Pereira, E. (2018). Adopción de nuevas prácticas agroecológicas en tres unidades básicas de producción cooperativa. *Pastos y Forrajes*, 41(1), 56-63. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v41n1/pyf08118.pdf>

Corporación Autónoma Regional del Valle Del Cauca (CVC) & Fundación Agua Viva-Funagua. (2010). *Aunar esfuerzos técnicos y económicos para realizar el análisis preliminar de la representatividad ecosistémica, a través de la recopilación, clasificación y ajuste de información primaria y secundaria con rectificaciones de campo del mapa de ecosistemas de Colombia, para la jurisdicción del Valle del Cauca. Informe Final*. CVC; Funagua.

Chaurasia, A., Meena, B.R., Tripathi, A., Pandey, K., Rai, A., & Singh. B. (2018). Actinomycetes: An Unexplored Microorganism for Plant Growth Promotion and Biocontrol in Vegetable Crops. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11274-018-2517-5>

Figueroa, E., Pérez, F., Godínez, L., & Pérez, R. A. (2019). Los precios de café en la producción y las exportaciones a nivel mundial. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*. 14(1), 41-56. <https://doi.org/10.21919/remef.v14i1.358>

Gallego, L., Mahecha, L., & Angulo. P (2014). Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 393-403. <https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15454>

Gamarra A, C., Díaz M., Vera, M., Galeano, M., & Cabrera, A. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas

silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 4-26. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/134>

García Monteagudo, D. (2021). Representación escolar de los espacios rurales: una investigación didáctica mediante métodos mixtos. *OBETS. Revista De Ciencias Sociales*, 16(2), 297-314. <https://doi.org/10.14198/OBETS2021.16.2.05>

Gómez, L. F., Ríos, L., & Eschenhagen, M. (2015). Las bases epistemológicas de la agroecología. *Agrociencia*, 49(6), 679-688. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000600007

Lamanna, L., Rostagno, C. M., Buduba, C. G., Irisarri, Jy., & Navas, A. (2016). Determinaciones de granulometría en suelos volcánicos: comparación entre distintos métodos analíticos. *Ciencia del Suelo*, 34(2), 355-364. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1850-20672016000200016

Largaespada, K., & Henríquez, C. (2015). Distribución espacial de la humedad y su relación con la textura en un suelo. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 137-147. <https://doi.org/10.15517/rac.v39i3.21814>

Malagón, D. (Ed). (2016). *Suelos y tierras de Colombia* (tomo 2). Ediciones Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Martínez, L. E., Vallone, R. C., & Pino, M. M. (2018). Variación temporal de indicadores microbiológicos y químicos de suelo árido regadío incubado con abonos orgánicos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 44(2), 39-47. <https://www.redalyc.org/journal/864/86457304001/html/>

Mateos, S. (2017). La agroecología, una nueva ciencia nada discutible. *Gestión Ambiental*, 15, 28-32. <https://revistas.pucese.edu.ec/gestion-ambiental/article/view/179>

Mazzilli, S. R., Kemanian, A. R., Ernst, O. R., Jackson R. B., & Piñeiro, G. (2014). Priming of Soil Organic Carbon Decomposition Induced by Corn Compared to Soybean Crops. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 273-281. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.04.005>

Minasny, B., & Mcbratney, A. B. (2018). Limited Effect of Organic Matter on Soil Available Water Capacity. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 39-47. <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>

Mondragón Valencia, V. A., Moreno Hurtado, F., & Jaramillo, D. F. (2022). Impacto del uso de suelo sobre el secuestro del carbono orgánico en un área natural de Medellín, Colombia. *Acta Agronómica*, 71(1), 39-46. <https://doi.org/10.15446/acag.v71n1.101342>

Montoya, A. (2010). Conformación del mapa de ecosistemas del Valle del Cauca empleando Sistemas de Información Geográfica. *Ventana Informática*, 22, 11-38. <https://doi.org/10.30554/ventanainform.22.207.2010>

Moreno, N., González, A., Medina, J., Rodríguez, J., & Cisneros, C. (2019). Huertas caseras como opción de sostenibilidad socioambiental. *Cultura, Educación y Sociedad*, 10(2), 37-46. <https://doi.org/10.17981/cultedu-soc.10.2.2019.03>

Morocho, T. M., & Leiva Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v46n2/0253-5785-cag-46-02-93.pdf>

Muñoz-Pedreras, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista chilena de historia natural*, 77(1), 139-156. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2004000100011>

Murgueitio, E., Charà, J.D., Solarte, A., Uribe, F., Zapata, C., & Rivera, J. E. (2013). Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera

- al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, (26), 313-316. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324845>
- Nebel, B. J., & Wright, R.T. (Ed). (1999). *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*. Prentice Hall Hispanoamericana.
- Nichols, C., & Altieri, M.A. (2019). Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *Cuadernos de Investigación UNED*, 1(1), 55-61. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/cuadernos/article/view/2322>
- Nichols, C. I., Henao, A., & Altieri, M. A. (2017). Agroecología y el diseño de sistemas Agrícola resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1), 7-31. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300711>
- Noguera, A., Salmeón, F., & Reyes, N. (2019). Bases teórico-metodológicas para el diseño de sistemas agroecológicos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 51(1), 273-293. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/2451>
- Ocampo, O. Castañeda, K., & Vélez, J. (2017). Caracterización de los ecotopos cafeteros colombianos en el Triángulo del Café. *Perspectiva Geográfica*, 22(1), 89-108. <https://doi.org/10.19053/01233769.6100>
- Patiño, C., & Sánchez, M. (2014). Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos. *Acta Agronómica*, (63), 136-144. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.36956>
- Pérez, J., & Juan, J. (2016). Agricultura de terrazas en el cerro Tenismo, Toluca. *Terra*, 32(51), 163-184. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892016000100008
- Ramos, H. (2020). Descripción y propuesta de manejo agroecológico de la cuenca del río Vilcanota. *Journal of Science and Research*, 5(2), 162-185. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/846>
- Rice, E. W., Bridgewater, L., & American Public Health Association (Eds.). (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (vol. 10). American Public Health Association.
- Sánchez, I. (2017). Mercado de productos agrícolas agroecológicos en Colombia. *Suma de Negocios*, 8(18), 153-163. <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.10.001>
- Sarandón, S. (2021). Agroecología: una revolución del pensamiento en las ciencias agrarias. *Ciencia, Tecnología y Política*, 4(6), 1-10. <https://doi.org/10.24215/26183188e055>
- Santacoloma, L. (2015). Importancia de la economía campesina en los contextos contemporáneos: una mirada al caso colombiano. *Revista Entramado*, 11(2), 38-50. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/entramado/article/view/1159>
- Santacoloma, L. E., & Braga, J. (2022). Sostenibilidad económica de sistemas agroecológicos en el centro del Valle del Cauca (Colombia): importancia del tamaño del predio y el componente pecuario. *Gestión y Ambiente*, 25(1), 100244. <https://doi.org/10.15446/ga.v25n1.100244>
- Torres, D., Álvarez J. Contreras, M. Henríquez, W. Hernández, J. Lorbes, & Mogollón, (2017). Identificación de potencialidades y limitaciones de suelos agrícolas del Estado Lara. *Bioagro*, 29(3), 207-218. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85752807006>
- Turbay, S. B., Nates, B. Jaramillo, F. L., Vélez, J. J., & Ocampo, O. L. (2014). Adaptación a la variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia. *Investigaciones Geográficas*, 85, 95-112. <https://doi.org/10.14350/rig.42298>