

MARCO PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMA DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES INCORPORANDO INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD (MESMIS), PARA EVALUAR LA CALIDAD DE SUELOS

FRAMEWORK FOR THE EVALUATION OF THE NATURAL RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM INCORPORATING SUSTAINABILITY INDICATORS (MESMIS), TO EVALUATE THE QUALITY OF SOIL

Frank Antonio Silva Mocizo^{1*}, Fernando José Méndez Pereira², Fiorela Alejandra Suarez³, Frank Gustavo Tovar Zerpa⁴ y Reynaldo Ortiz⁵

¹Facultad de Farmacia y Bioanálisis Departamento de Análisis Farmacéutico.

Universidad de Los Andes. Mérida. ²Facultad de Ciencias, Departamento de Química Laboratorio de Espectroscopia Molecular (LEM). Universidad de Los Andes. Mérida

³Departamento de Desarrollo Humano. PFG en Gestión Ambiental Universidad

Bolivariana de Venezuela. ⁴Departamento de Ciencias del Agro y el Mar, Universidad

Politécnica Territorial del Estado Mérida. ⁵Facultad de Ciencias, Departamento de

Química, Universidad de Los Andes Mérida. fmocizo@mail.com

Recibido: 30-10-2024

Aceptado: 15-11-2024

RESUMEN

En este trabajo, se propone un conjunto de indicadores de calidad del suelo para evaluar la sustentabilidad agrícola en cinco fincas: El Manantial, San Benito, La Rodriguera, La Montañita y La Lejanía, ubicadas en la población de La Azulita, municipio Andrés Bello del Estado Bolivariano de Mérida. Como herramienta metodológica, se utilizó el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales (MESMIS). La información se obtuvo mediante encuestas y observación directa en el campo, evaluando 10 indicadores de calidad del suelo cuyos valores de referencia se determinaron a partir de fuentes documentales. Para el análisis de los resultados, se utilizaron gráficas tipo AMEBA, las cuales mostraron que los valores más altos se observaron en los atributos de estructura del suelo, estado de residuo, cobertura del suelo y actividad biológica (indicadores de suelos saludables). Asimismo, se observaron valores elevados en ciertos atributos del recurso, como estructura del suelo, estado de residuo, cobertura del suelo, actividad biológica y materia orgánica en las diferentes fincas. Estos valores están por encima del promedio establecido, indicando que los suelos son aptos para el cultivo. En conclusión, los indicadores evaluados mostraron que las fincas presentan valores por encima del umbral de sostenibilidad (5), lo cual indica que el recurso aún no presenta síntomas de mala salud y conserva excelentes propiedades físicas, químicas y biológicas.

Palabras clave: MESMIS, evaluación de suelos, calidad de suelos, indicadores de sustentabilidad, agricultura sostenible, sistemas de manejo de recursos naturales.

Frank Antonio Silva Mocizo: Dr. En Ecología del Desarrollo Humano Insttución. Químico especializado en métodos analíticos en investigación, para el desarrollo de productos, control de calidad, docencia o industria. Universidad Magíster en Química Analítica Insttución, experto en técnicas de análisis químico. Especialista en docencia universitaria con habilidades pedagógicas, diseño curricular y evaluación Universidad,,e-mail fmocizo@mail.com

Fernando José Méndez Pereira: Dr en Química Analítica. Universidad de los Andes (ULA) Mérida -Venezuela. Personal docente y de investigación Facultad de Ciencias de la Universidad de los Andes, e-MAIL: mendezpfj@gmail.com

Frank Gustavo Tovar Zerpa: Dr en Antropología, Instituto de Investigaciones Bioantropológicas y Arqueológicas, Universidad de Los Andes (ULA). Personal docente y de investigación Departamento de Ciencias del Agro y del Mar, Programa Nacional de Formación (PNF) en Ingeniería en Agroalimentación. Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida “Kléber Ramírez” (UPTM).

Fiorela Alejandra Suarez : Dra en Ecología del Desarrollo Humano. MSc en Dirección, Universidad de Oriente: Santiago de Cuba. Especialización en Docencia Universitaria, UBV Venezuela. Abogada Universidad de Los Andes.

Reynaldo Ortiz: Dr en Química Aplicada, opción Electroquímica (ULA), Lcdo. en Química (ULA), investigador de la Facultad de Ciencias-ULA Mérida-Venezuela. Email: reynaldoluis@gmail.com.

MARCO PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMA DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES INCORPORANDO INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD (MESMIS), PARA EVALUAR LA CALIDAD DE SUELOS

FRAMEWORK FOR THE EVALUATION OF THE NATURAL RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM INCORPORATING SUSTAINABILITY INDICATORS (MESMIS), TO EVALUATE THE QUALITY OF SOIL

Frank Antonio Silva Mocizo^{1*}, Fernando José Méndez Pereira², Fiorela Alejandra Suarez³, Frank Gustavo Tovar Zerpa⁴ y Reynaldo Ortiz⁵

¹Facultad de Farmacia y Bioanálisis Departamento de Análisis Farmacéutico.

Universidad de Los Andes. Mérida. ²Facultad de Ciencias, Departamento de Química Laboratorio de Espectroscopia Molecular (LEM). Universidad de Los Andes. Mérida

³Departamento de Desarrollo Humano. PFG en Gestión Ambiental Universidad Bolivariana de Venezuela. ⁴Departamento de Ciencias del Agro y el Mar, Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida. ⁵Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Universidad de Los Andes Mérida. fmocizo@mail.com

Recibido: 30-10-2024

Aceptado: 15-11-2024

ABSTRACT

In this work, a set of soil quality indicators is proposed to evaluate agricultural sustainability in five farms: El Manantial, San Benito, La Rodriguera, La Montañita and La Lejanía, located in the town of La Azulita, Andrés Bello municipality of the Bolivarian State of Mérida. As a methodological tool, the Framework for the Evaluation of Natural Resource Management Systems (MESMIS) was used. The information was obtained through surveys and direct observation in the field, evaluating 10 soil quality indicators whose reference values were determined from documentary sources. For the analysis of the results, AMEBA type graphs were used, which showed that the highest values were observed in the attributes of soil structure, residue status, soil cover and biological activity (indicators of healthy soils). Likewise, high values were observed in certain attributes of the resource, such as soil structure, residue status, soil cover, biological activity and organic matter in the different farms. These values are above the established average, indicating that the soils are suitable for cultivation. In conclusion, the indicators evaluated showed that the farms have values above the sustainability threshold (5), indicating that the resource does not yet show symptoms of poor health and retains excellent physical, chemical and biological properties.

Key words: MESMIS, soil assessment, soil quality, sustainability indicators, sustainable agriculture, natural resource management systems..

Frank Antonio Silva Mocizo: Dr. En Ecología del Desarrollo Humano Insttución. Químico especializado en métodos analíticos en investigación, para el desarrollo de productos, control de calidad, docencia o industria. Universidad Magíster en Química Analítica Insttución, experto en técnicas de análisis químico. Especialista en docencia universitaria con habilidades pedagógicas, diseño curricular y evaluación Universidad,, e-mail fmocizo@mail.com

Fernando José Méndez Pereira: Dr en Química Analítica. Universidad de los Andes (ULA) Mérida -Venezuela. Personal docente y de investigación Facultad de Ciencias de la Universidad de los Andes, e-MAIL: mendezpfj@gmail.com

Frank Gustavo Tovar Zerpa: Dr en Antropología, Instituto de Investigaciones Bioantropológicas y Arqueológicas, Universidad de Los Andes (ULA). Personal docente y de investigación Departamento de Ciencias del Agro y del Mar, Programa Nacional de Formación (PNF) en Ingeniería en Agroalimentación. Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida "Kléber Ramírez" (UPTM).

Fiorela Alejandra Suarez : Dra en Ecología del Desarrollo Humano. MSc en Dirección, Universidad de Oriente: Santiago de Cuba. Especialización en Docencia Universitaria, UBV Venezuela. Abogada Universidad de Los Andes.

Reynaldo Ortiz: Dr en Química Aplicada, opción Electroquímica (ULA), Lcdo. en Química (ULA), investigador de la Facultad de Ciencias-ULA Mérida-Venezuela. Email: reynaldoluis@gmail.com.

Introducción

Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), es una herramienta metodológica integral diseñada para evaluar sistemas de manejo de recursos naturales a nivel local, como parcelas, unidades productivas y comunidades. Este marco se ha convertido en una referencia para investigadores, técnicos y productores interesados en promover prácticas de manejo sostenible que aseguren la conservación y mejora de los recursos naturales a largo plazo.¹

Se basa en un enfoque participativo y multidimensional que involucra las dimensiones: ambiental, socio-cultural y económica-productiva de los sistemas evaluados. A través de un proceso sistemático, se identifican y seleccionan indicadores específicos que permiten medir y monitorear el desempeño del sistema en relación con sus objetivos de sustentabilidad.² Este proceso incluye la caracterización del sistema, la identificación de fortalezas y áreas de oportunidad, la selección de criterios de diagnóstico, la medición de indicadores, la integración de resultados y la formulación de conclusiones y recomendaciones.

En el contexto de la calidad de suelos, el MESMIS permite evaluar aspectos críticos como la fertilidad, la estructura, la biodiversidad y la capacidad del suelo para sostener la producción agrícola sin degradarse.³

Estos indicadores son fundamentales para entender cómo las prácticas de manejo afectan la salud del suelo y, por ende, la productividad y sostenibilidad del sistema agrícola. Al proporcionar una evaluación integral y detallada, el MESMIS facilita la toma de decisiones informadas y la implementación de estrategias de manejo que promuevan la sustentabilidad a largo plazo.

En resumen, el MESMIS es una herramienta valiosa para evaluar y mejorar la calidad de los suelos, contribuyendo así a la

sostenibilidad de los sistemas de manejo de recursos naturales y al bienestar de las comunidades que dependen de ellos.¹

Metodología

El procedimiento metodológico se basa en la aplicación de un conjunto amplio de indicadores de calidad de suelos, esenciales para evaluar el desarrollo sostenible de los sistemas productivos agrícolas. Estos indicadores permiten identificar, de manera específica, las necesidades de manejo de cada sistema, con el objetivo de mantener o mejorar la productividad, reducir riesgos e incertidumbres, aumentar los servicios ecológicos y socioeconómicos, proteger la base de recursos y prevenir la degradación de suelos, agua y biodiversidad, sin comprometer la viabilidad económica del sistema.⁴

Los indicadores seleccionados destacan por su sencillez y facilidad de aplicación para los agricultores.⁵ Además, son precisos, fáciles de interpretar, sensibles a los cambios ambientales y al impacto de las prácticas de manejo sobre el suelo y el cultivo. Estos indicadores integran propiedades físicas, químicas y biológicas que se relacionan directamente con los procesos del ecosistema.

Es importante mencionar que algunos agricultores utilizan sus propios indicadores para realizar evaluaciones. Por ejemplo, para medir la actividad biológica, toman una muestra de suelo y le aplican agua oxigenada, observando el grado de efervescencia. Si hay poca o ninguna efervescencia, el suelo tiene poca materia orgánica y actividad biológica insuficiente. En cambio, una efervescencia notable indica un suelo rico en materia orgánica y vida microbiana.

Esto les permite evaluar la calidad del recurso o el estado fitosanitario de sus cultivos. Otros ejemplos incluyen el reconocimiento de ciertas malezas que indican suelos ácidos o infértiles, la presencia de lombrices de tierra como signo de un suelo vivo, y el color de las hojas como reflejo del estado nutricional de las plantas.^{6,7}

Finalmente, se seleccionaron indicadores de calidad de suelo relevantes para los agricultores y las condiciones locales, asegurando una evaluación precisa y útil para la gestión sostenible de los recursos naturales.^{8,9}

Cada indicador se estima por separado y se le asigna un valor de 1 a 10, (tabla I) donde 1 representa el valor menos deseable, 5 un valor moderado o medio, y 10 el valor deseado, según las características del suelo observadas para cada indicador. Por ejemplo, para el indicador de estructura del suelo, se asigna un valor de 1 a un suelo polvoso, sin gránulos visibles; un valor de 5 a un suelo con algo de estructura granular, cuyos gránulos se rompen fácilmente bajo una suave presión con los dedos; y un valor de 10 a un suelo firme y granular, con agregados que mantienen su forma incluso después de ser humedecidos y sometidos a una leve presión. También se pueden asignar valores intermedios entre 1 y 5 o entre 5 y 10, según las características observadas.

En este contexto, cuando los valores se

encuentran en el intervalo de 1 a 5, se corresponde a suelos con problemas. Por otro lado, si los valores observados están entre 6 y 10, se puede considerar el suelo como medianamente saludable a saludable. Después de asignar un valor a cada indicador, se suman y se dividen entre el número de indicadores evaluados, obteniendo así el promedio de la calidad del suelo. De este modo, las fincas con valores inferiores a 5 se encuentran por debajo del umbral de sustentabilidad y requieren un manejo que mejore los aspectos en los que los indicadores tienen valores bajos.

En líneas generales, valorar los indicadores será más fácil de interpretar si se grafican los resultados en una gráfica tipo AMEBA. Esta gráfica permite visualizar la calidad del suelo, considerando que mientras más se aproxime la AMEBA al diámetro del círculo (valor de 10), más sostenible se considera el sistema. Además, permite observar en cuáles aspectos existen debilidades (valores menores a 5), lo que facilita la investigación agroecológica para corregir ciertos atributos del suelo.¹⁰

Tabla 1. Indicadores de sustentabilidad de suelos agrícolas.

Estructura		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Cuenta con suelos polvorosos y sin granos.	
5	Presenta suelo suelto con pocos gránulos que se rompen al aplicar presión suave.	
10	Suelos firmes y granular, donde los agregados mantienen la forma, después de aplicar presión suave, aun humedecidos.	

Compactación e infiltración		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Suelos compactos, se anega.	
5	Contiene capas delgadas compactas, permitiendo la infiltración lentamente de agua.	
10	Se tiene suelos no compactos, donde el agua se infiltra fácilmente.	
Profundidad del suelo		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Su subsuelo es casi expuesto.	
5	Presenta un suelo superficial delgado con menos de 10 cm.	
10	Suelo superficial profundo con más de 10 cm.	
Estado de residuos		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Presencia de residuos orgánicos que no se descomponen o lo hacen muy lento.	
5	Contiene residuos viejos en proceso de descomposición.	

10	Presenta residuos en estado de descomposición y viejos descompuestos.	
Color, olor y materia orgánica		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Suelos pálidos, con mal olor o químico, no se observa presencia de materia orgánica o humus.	
5	Suelos pardo claro o rojizo, con poco olor y con algo de materia orgánica o humus.	
10	Suelo negro o pardo oscuro, con olor a tierra fresca y abundante materia orgánica y humus.	
Retención de humedad		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Su suelo se seca con rapidez.	
5	Permanece seco durante la época seca.	
10	Mantiene la humedad durante la época seca.	

Desarrollo de raíces		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Se observan raíces poco desarrolladas, enfermas y cortas.	
5	Raíces con crecimiento limitado, se observan algunas raíces finas.	
10	Se observan raíces con buen crecimiento, saludables y profundas, y con abundante cantidad de raíces finas.	
Cobertura de suelo		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Presenta un suelo desnudo.	
5	Suelo cubierto en menos del 50% por residuos, hojarasca o cubierta viva.	
10	Más del 50% del suelo contiene cobertura viva o muerta.	
Erosión		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Erosión severa, se observa arrastre de suelo y presencia de cárcavas y canalillos.	
5	Erosión evidente, pero poca.	

10	No hay mayores señales de erosión.	
Actividad biológica		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Sin signo de actividad biológica, no se observan lombrices o invertebrados (insectos, arañas, ciempiés, etc.)	
5	Se observan algunas lombrices y artrópodos.	
10	Mucha actividad biológica, abundante lombrices y artrópodos.	

Resultados

Se seleccionaron cinco fincas ubicadas en La Azulita, municipio Andrés Bello del estado Mérida, Venezuela. Geográficamente, estas fincas se encuentran a $71^{\circ}26'39.01''$ de longitud oeste y $8^{\circ}42'47.34''$ de latitud norte. La temperatura en la zona presenta una variabilidad anual, oscilando generalmente entre 16°C y 28°C , aunque pueden registrarse mínimas de 14°C y máximas de 30°C . Las fincas analizadas, con una extensión promedio de 4 a 10 hectáreas, comparten características similares en cuanto a su producción agrícola.

Los resultados obtenidos, producto de un minucioso análisis y reflexión, responden al objetivo general de la investigación centrada en las fincas seleccionadas. Se establecieron diez indicadores clave, agrupados en propiedades físicas (estructura, compactación, profundidad), químicas (pH, materia orgánica) y biológicas (actividad de microorganismos), con el propósito de evaluar la calidad del suelo.

Estos indicadores, considerados relevantes para las prácticas agrícolas locales, fueron validados a través de una encuesta

y evaluados principalmente mediante observaciones visuales, olfativas y táctiles. Por ejemplo, la estructura del suelo se evaluó observando la formación de agregados y su estabilidad, mientras que la materia orgánica se estimó a través del color y el olor del suelo. Para evaluar estos indicadores, se aplicó un diagrama tipo AMEBA, siguiendo las recomendaciones de la metodología MEfSMIS (figura 1)

En primer lugar, se visitó la Finca El Manantial, ubicada en el Sector El salado, vía Mérida, municipio Andrés Bello. La cual cuenta con 4 hectáreas de cultivo.

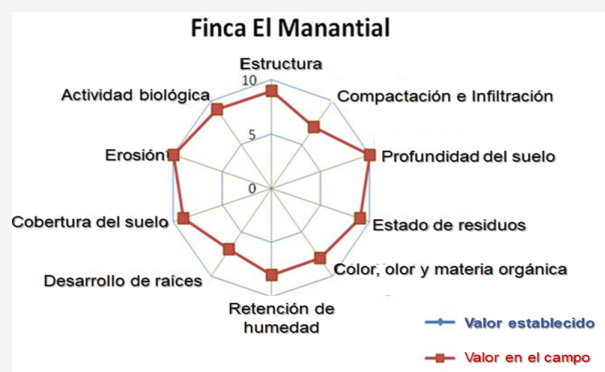


Figura 1. Gráfica AMEBA para la evaluación de la finca El Manantial

La tabla 2 muestra los resultados de la encuesta para valorar los indicadores de calidad de suelo. Finca El Manantial.

Tabla 2. Resultados de la encuesta para valorar los indicadores de calidad de suelo. Finca El Manantial Sr. Marcos Antonio Molina

	Indicador	Valor asignado
1	Estructura	9
2	Compactación e Infiltración	7
3	Profundidad del Suelo	10
4	Estados de Residuos	9
5	Color, Olor y Materia Orgánica	8
6	Retención de humedad	8
7	Desarrollo de Raíces	7
8	Cobertura del Suelo	9
9	Erosión	10
10	Actividad Biológica	9
	Promedio	8,6

Además de mostrar los valores individuales, se calcula un valor promedio de calidad del suelo (8,6) indicando un estado de salud positivo para este recurso. Por otro lado, la figura 1 permite visualizar de manera más clara que los valores obtenidos al aplicar el instrumento de evaluación (encuesta) se

encuentran por encima del valor promedio y cercano al valor deseado. Estos resultados evidencian la existencia de condiciones edáficas óptimas para garantizar la sustentabilidad agrícola en esta finca.

En segundo lugar, se evaluó la Finca San Benito, ubicada en el sector El Salado, vía Mérida, municipio Andrés Bello, contando con 1,2 hectáreas de cultivo, aplicando un diagrama tipo AMEBA, siguiendo las recomendaciones de la metodología MEfSMIS (figura 2).

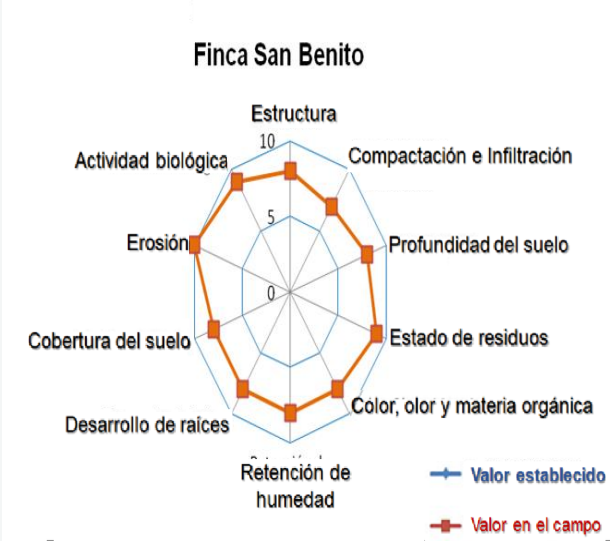


Figura 2. Gráfica AMEBA para la evaluación de la finca San Benito

Asimismo, la Tabla 3 muestra los resultados obtenidos al aplicar el instrumento de evaluación (encuesta). El valor promedio obtenido es de 8,6, lo cual indica un buen estado de salud del suelo en esta finca. Se puede visualizar de manera gráfica que los valores de cada indicador se encuentran cercanos al valor máximo de 10, corroborando así las condiciones óptimas para la sustentabilidad agrícola en esta finca.

En tercer lugar, se evaluó la Finca La Rodriguera, ubicada en la Av. Principal hacia Las Cuevas, sector Las Cuevas, La Azulita. Esa finca tiene aproximadamente 6,5 hectáreas de cultivo.

La Tabla 4 presenta los resultados obtenidos al aplicar la encuesta en la Finca La

Tabla 2. Resultados de la encuesta para valorar los indicadores de calidad de la finca San Benito

	Indicador	Valor asignado
1	Estructura	9
2	Compactación e Infiltración	7
3	Profundidad del Suelo	10
4	Estados de Residuos	9
5	Color, Olor y Materia Orgánica	8
6	Retención de humedad	8
7	Desarrollo de Raíces	7
8	Cobertura del Suelo	9
9	Erosión	10
10	Actividad Biológica	9
	Promedio	8,6

Rodriguera. Según el estudio, se obtuvo un valor promedio de 8,3, lo cual indica un buen estado de salud del suelo en esta finca. La Figura 3 (AMEBA) muestra que los valores de los indicadores se encuentran cercanos al valor máximo de 10, corroborando así las condiciones edáficas óptimas para la sustentabilidad agrícola.

En cuarto lugar, se evaluó la Finca La Montañita Ubicada en el sector Los Raudales, municipio Andrés Bello La Azulita. El área de cultivo de esta finca es de 5,5 hectáreas.

Los resultados de la aplicación de la metodología se presentan en la Tabla 5, donde se obtuvo un valor promedio de 6,9. Este valor indica que el suelo requiere de algunas recomendaciones para mejorar

su salud. Como se observa en la Figura 4 (AMEBA), los indicadores con valores inferiores a 5 deben ser priorizados. En particular, es necesario mejorar la cobertura del suelo para minimizar la erosión y, en consecuencia, aumentar el valor de otros indicadores. De esta manera, se logrará un suelo más saludable que contribuya a la sustentabilidad agrícola de la finca.

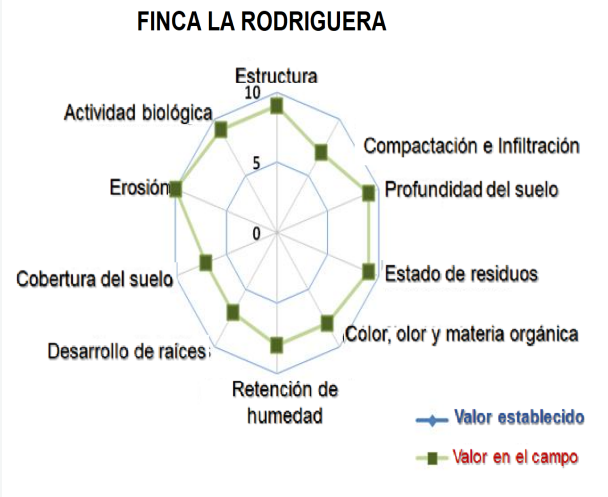


Figura 3. Gráfica AMEBA para la evaluación de la finca La Rodriguera

Tabla 4. Resultados de la encuesta para valorar los indicadores de calidad de suelo de la finca La Rodriguera

	Indicador	Valor asignado
1	Estructura	9
2	Compactación e Infiltración	7
3	Profundidad del Suelo	9
4	Estados de Residuos	9
5	Color, Olor y Materia Orgánica	8
6	Retención de humedad	8
7	Desarrollo de Raíces	7
8	Cobertura del Suelo	7
9	Erosión	10
10	Actividad Biológica	9
	Promedio	8,3

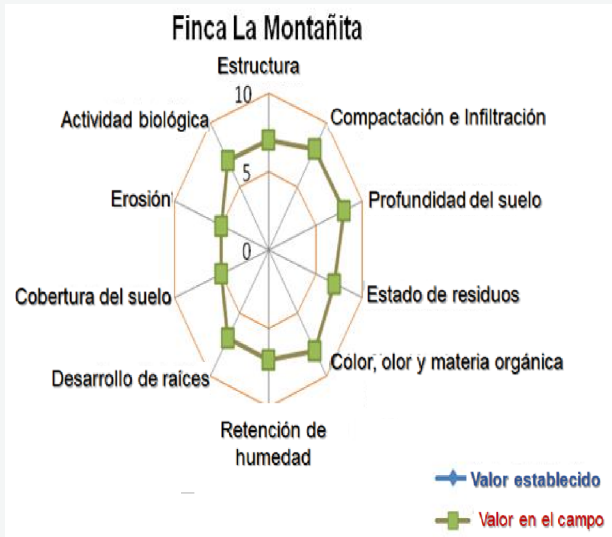


Figura 4. Gráfica AMEBA para la evaluación de la finca La Montaña

Tabla 5. Resultados de la encuesta para valorar los indicadores de calidad de suelo de la finca La Montaña

	Indicador	Valor asignado
1	Estructura	7
2	Compactación e Infiltración	8
3	Profundidad del Suelo	8
4	Estados de Residuos	7
5	Color, Olor y Materia Orgánica	8
6	Retención de humedad	7
7	Desarrollo de Raíces	7
8	Cobertura del Suelo	5
9	Erosión	5
10	Actividad Biológica	7
	Promedio	6,9

En quinto lugar, la Finca La Lejanía, ubicada en la Aldea San Eusebio, sector El Pino. La misma cuenta con 8 hectáreas de cultivo.

La Tabla 6 presenta los resultados obtenidos al aplicar el instrumento de evaluación. Los resultados detallados en la Figura 5 (AMEBA) indican que el sistema presenta un valor promedio de 7,8, lo cual es considerado

aceptable. Sin embargo, algunos indicadores aún se encuentran en el valor medio establecido, por lo que requieren atención para mejorar la calidad del suelo. Como resultado de estas acciones, se logrará un suelo de mejor calidad que contribuirá a la sustentabilidad agrícola de la finca.

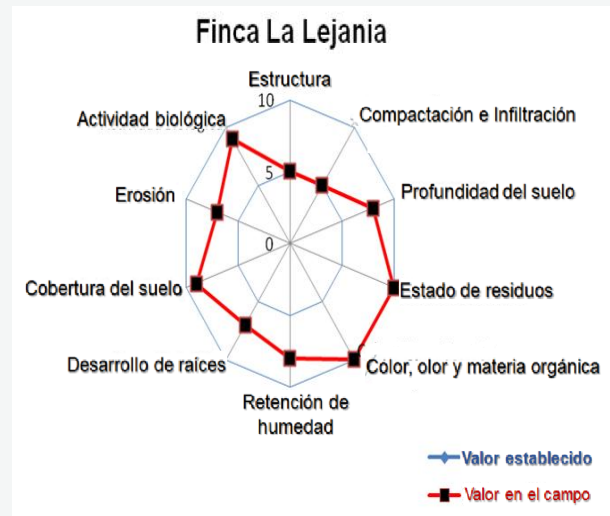


Figura 5. Gráfica AMEBA para la evaluación de la finca La Lejanía

Tabla 6. Resultados de la encuesta para valorar los indicadores de calidad de suelo Finca La Lejanía

	Indicador	Valor asignado
1	Estructura	5
2	Compactación e Infiltración	5
3	Profundidad del Suelo	8
4	Estados de Residuos	10
5	Color, Olor y Materia Orgánica	10
6	Retención de humedad	8
7	Desarrollo de Raíces	7
8	Cobertura del Suelo	9
9	Erosión	7
10	Actividad Biológica	9
	Promedio	7,8

Conclusiones

Se aplicó un conjunto de indicadores sencillos y prácticos que proporcionaron información confiable y comprensible para los productores. La metodología desarrollada constituye una herramienta adecuada para evaluar los puntos críticos de la sustentabilidad en el manejo de agro ecosistemas, haciendo operativo y medible el concepto de sustentabilidad. Esto es posible siempre y cuando los indicadores se deduzcan correctamente a partir de los requisitos de la sustentabilidad.

La selección de las fincas se basó en una evaluación visual de varios parámetros importantes, tanto para los investigadores como para los agricultores de la zona. Estos parámetros incluyeron: ubicación, representatividad del sistema de producción, diversidad de usos de la finca e integralidad de los usos con respecto al suelo. Esto permitió identificar la unidad de producción, su organización, recursos, procesos productivos, combinación de recursos, resultados económicos y financieros, así como sus fortalezas y debilidades internas. A pesar de algunas diferencias en cuanto al área total y el cultivo principal, las fincas presentaron características similares.

La aplicación de la encuesta y las gráficas tipo AMEBA reveló que los valores más altos se obtuvieron en los atributos de estructura del suelo, estado de residuo, cobertura del suelo y actividad biológica, indicadores de suelos saludables. Además, los valores promedio de calidad del suelo para cada finca superaron el valor medio establecido, lo que indica sostenibilidad.

En general, considerando todos los indicadores evaluados y los resultados obtenidos en cada sistema de manejo, se observa que las fincas presentan valores por encima del umbral de sostenibilidad (5). Esto sugiere que el recurso no muestra signos de deterioro y conserva excelentes propiedades físicas, químicas y biológicas.

Finalmente, los indicadores de calidad del suelo han permitido desarrollar una metodología que facilita la conservación, mejora y recuperación de este recurso. Esto implica conocer sus funciones específicas y utilizar indicadores significativos en lugar de calificaciones preestablecidas. De esta manera, se logra la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas. La tabla 7 resume el establecimiento de un sistema de indicadores que facilita la evaluación y seguimiento del desarrollo a nivel local y global.

Tabla 7. Resumen de un sistema de indicadores que facilita la evaluación y seguimiento del desarrollo a nivel local y global.de las fincas evaluadas

Estructura		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Cuenta con suelos polvorosos y sin granos.	
5	Presenta suelo suelto con pocos gránulos que se rompen al aplicar presión suave.	
10	Suelos fiables y granular, donde los agregados mantienen la forma, después de aplicar presión suave, aun humedecidos.	

Compactación e infiltración		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Suelos compactos, se anega.	
5	Contiene capas delgadas compactas, permitiendo la infiltración lentamente de agua.	
10	Se tiene suelos no compactos, donde el agua se infiltra fácilmente.	
Profundidad del suelo		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Su subsuelo es casi expuesto.	
5	Presenta un suelo superficial delgado con menos de 10 cm.	
10	Suelo superficial profundo con más de 10 cm.	
Estado de residuos		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Presencia de residuos orgánicos que no se descomponen o lo hacen muy lento.	
5	Contiene residuos viejos en proceso de descomposición.	
10	Presenta residuos en estado de descomposición y viejos descompuestos.	
Color, olor y materia orgánica		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Suelos pálidos, con mal olor o químico, no se observa presencia de materia orgánica o humus.	
5	Suelos pardo claro o rojizo, con poco olor y con algo de materia orgánica o humus.	
10	Suelo negro o pardo oscuro, con olor a tierra fresca y abundante materia orgánica y humus.	
Retención de humedad		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Su suelo se seca con rapidez.	
5	Permanece seco durante la época seca.	
10	Mantiene la humedad durante la época seca.	

Desarrollo de raíces		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Se observan raíces poco desarrolladas, enfermas y cortas.	
5	Raíces con crecimiento limitado, se observan algunas raíces finas.	
10	Se observan raíces con buen crecimiento, saludables y profundas, y con abundante cantidad de raíces finas.	
Cobertura de suelo		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Presenta un suelo desnudo.	
5	Suelo cubierto en menos del 50% por residuos, hojarasca o cubierta viva.	
10	Más del 50% del suelo contiene cobertura viva o muerta.	
Erosión		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Erosión severa, se observa arrastre de suelo y presencia de cárcavas y canalillos.	
5	Erosión evidente, pero poca.	
10	No hay mayores señales de erosión.	
Actividad biológica		
Valor establecido	Característica	Valor en el Campo
1	Sin signo de actividad biológica, no se observan lombrices o invertebrados (insectos, arañas, ciempiés, etc.)	
5	Se observan algunas lombrices y artrópodos.	
10	Mucha actividad biológica, abundante lombrices y artrópodos.	

Referencias

- 1.- Masera., Astier.y Ridaura, L. (1999). Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El marco de evaluación MESMIS. México, México: Mundiprensa. Recuperado de: <http://www.mesmis.unam.mx:8080/MESMIS2/#>
- 2.- Astier, Masera y López-Ridaura (2001). Evaluando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas integrados: El Marco Mesmis. Boletín de ILEIA.
- 3.- Pérez J, López M. Evaluación de la calidad de suelos utilizando el MESMIS en sistemas agrícolas de la región central de México. Rev Mex Cienc Agric. 2023; 10 (2):123-135. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4576/457645340005/html/>

- 4.- FAO. (2015). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- 5.- Angulo, J., & Martínez, C. (2006). Indicadores de calidad del suelo. Una revisión sistemática. *Revista Ecosistemas*, 15(3), 1598-1154.
- 6.- Pretty, J. N. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Journal of Sustainable Agriculture*, 31(1), 1-24.
- 7.- Fonseca Carreño. N.E. (2021). Metodología para medir la sustentabilidad en Agroecosistemas familiares campesinos.
- 8.- Carreño, N. E.F., & Banquero, Z. Y. V. (2018). Propuesta de Indicadores para evaluar la sostenibilidad en agroecosistemas agrícola ganaderos en la región del Sumapaz. *Pensamiento undécimo*, 2(1).
- 9.- García, Y., Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138. Recuperado en 2 de abril de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So864-03942012000200001&lng=es&tlng=es.
- 10.- Giraldo, R., Nieto, L., y Quiceno, A. (2014). Evaluación de atributos de sustentabilidad de sistemas de producción campesinos en la vereda El Mesón, municipio de Palmira, Valle del cauca (Colombia). Recuperada de. <http://dx.doi.org/10.1804/libemp.v23n1.23106>