

EVALUACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN AGRO-ECOSISTEMAS GANADEROS FRÁGILES DE LA PROVINCIA DE GRANMA, CUBA EVALUATION OF SUSTAINABILITY INDICATORS IN FRAGILE LIVESTOCK AGRO-ECOSYSTEMS IN THE PROVINCE OF GRANMA, CUBA

✉ IDALMIS RODRÍGUEZ GARCÍA^{1,✉}, LICET CHÁVEZ SUÁREZ², DIOCLES BENÍTEZ JIMÉNEZ²,
VERENA TORRES CÁRDENAS¹, ALEXANDER ÁLVAREZ FONSECA²

1. Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba.
2. Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov". Carretera vía Manzanillo km 16 ½, Peralejo, Bayamo, Granma, Cuba.

RESUMEN: Se determinó la estabilidad del suelo en cinco agro ecosistemas de pastizales de la provincia Granma, mediante la evaluación de un grupo de indicadores (composición taxonómica y funcional de la biota edáfica y su relación con las propiedades físicas y químicas del suelo, así como las características de la vegetación) de sostenibilidad del suelo. Se utilizaron las técnicas multivariadas (análisis de componentes principales (ACP) y/o el Modelo de evaluación del impacto (MEMI). La microflora mostró valores de preponderancia elevados y las tres variables se agruparon en una componente que explicó el 64.97 % de la variabilidad. Las variables de la mesofauna se agruparon en dos componentes y explicaron 66.93% de la variabilidad. En la primera componente denominada "Nematodos y grupos funcionales" se concentraron siete variables que explican el 51.17%. La segunda componente denominada "Mesofauna y depredadores" agrupó dos variables que explican el 15.76%. De las 13 variables estudiadas de la Macrofauna sólo 6 fueron las que mostraron mayor variabilidad del conjunto de 416 datos. El modelo seleccionado extrajo tres componentes los cuales explicaron el 70.87 % de la variabilidad total. El análisis de las propiedades químicas del suelo mostró que con dos componentes se puede explicar 86.10 %. La primera componente denominada pH y nutrientes, agrupo cinco variables y en este caso la materia orgánica estuvo inversamente proporcional al resto de las demás variables. Las variables seleccionadas permitieron relacionar e integrar los conocimientos para detectar y/o proponer alternativas que permitan mejorar el grado de fertilidad de los suelos.

PALABRAS CLAVE: biología del suelo, suelo-planta, multivariado.

ABSTRACT: Soil stability was determined in five grassland agroecosystems in Granma province, through the evaluation of a group of indicators (taxonomic and functional composition of soil biota and its relationship with the physical and chemical properties of the soil, as well as vegetation characteristics). Multivariate techniques (principal component analysis (PCA) and/or the Impact Assessment Model (MEMI) were used. The microflora showed high preponderance values and the three variables were grouped into a component that explained 64.97 % of the variability. The mesofauna variables were grouped into two components and explained 66.93% of the variability. In the first component called "Nematodes and functional groups" seven variables were concentrated that explain 51.17%. The second component called "Mesofauna and predators" grouped two variables that explain 15.76%. Of the 13 variables studied of the Macrofauna, only 6 were those that showed greater variability of the set of 416 data. The selected model extracted three components which explained 70.87% of the total variability. The analysis of the chemical properties of the soil showed that with two components 86.10 % can be explained. The first component called pH and nutrients, grouped five variables and in this case the BM was inversely proportional to the rest of the other variables. The selected variables allowed to relate and integrate the knowledge to detect and / or propose alternatives that allow correcting the degree of fertility of the soils.

KEYWORDS: multivariate, soil-plant, soil biology.

✉ Idalmis Rodríguez García
idalmisdoloresrodriguezgarcia@gmail.com

Recibido: 02 de marzo de 2023

Aceptado: 10 de agosto de 2023



Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons



<https://cu-id.com/2403/n514e03>

INTRODUCCIÓN

Por lo general, la evaluación o caracterización de la fertilidad integral (física, química y biológica) de los suelos en los sistemas agropecuarios recurren al uso de las técnicas multivariadas (Acevedo *et al.*, 2021; Chent *et al.*, 2020; Hernández-Vigoa *et al.*, 2018). Las cuales permiten reducir la dimensión del número de variables estudiadas y constituye una herramienta muy eficaz para seleccionar y crear índices que permitan interpretar el grado de estabilidad de los sistemas.

Por otra parte, para identificar las variables-indicadores y tipificar el comportamiento del proceso que se analiza se puede utilizar, el Modelo de evaluación del impacto (MEMI) propuesto por Torres *et al.* (2008). El MEMI, es una combinación coherente y armónica de métodos multivariados. Consta de 8 etapas, que van desde la digitalización de las matrices de datos, la comprobación de las premisas necesarias a través de criterios estadísticos adecuados, para lograr el doble propósito de identificar variables-indicadores fundamentales, responsables de la variabilidad o cambios producidos. Mediante la integración de indicadores, se puede determinar los impactos de forma cuantitativa, como un valor absoluto, y con ellos clasificar y tipificar el comportamiento de los sistemas. Existe en la literatura una amplia reseña de investigaciones relacionadas con la utilización de este modelo en agro-ecosistemas agropecuarios (Lok, 2015; Rodríguez, 2004; Rodríguez *et al.*, 2014 y Torres *et al.*, (2008) que corroboran la eficacia del mismo para seleccionar las variables de mayor preponderancia. Es por ello que el objetivo de este trabajo es evaluar un grupo de indicadores de sostenibilidad en agro-ecosistemas ganaderos frágiles de la provincia de Granma, en Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló durante tres años (julio de 2014 hasta marzo de 2017) en cinco agro ecosistemas de pastizales de la provincia Granma, ubicada en la porción suroeste de la región oriental de la isla de Cuba entre las coordenadas 20°23'00"N y 76°39'09"O. En el período lluvioso se tomaron como meses de muestreo de julio a septiembre y en el período poco lluvioso de enero a marzo, por ser los meses más representativos de ambos períodos climáticos en la región.

Para la selección de los agro ecosistemas de pastizales (Tabla 1) se consideró el estudio de Benítez *et al.* (2002), los que realizaron la caracterización del manejo de las áreas de ganadería en la Cuenca del Cauto. El Sistema de Información Geográfica (Fig. 1) permitió seleccionar las áreas con características

contrastantes en cuanto a tipo de suelo, factor limitante, manejo, tipo de pasto y propósito productivo.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se determinó la estabilidad del suelo en cinco agro-ecosistemas de pastizales, mediante la evaluación de un grupo de indicadores relacionados con la composición taxonómica y funcional de la biota edáfica y su relación con las propiedades físicas y químicas del suelo, así como las características de la vegetación.

En la tabla 2 se muestra los indicadores evaluados y las metodologías utilizadas. Los muestreos se realizaron, según cada grupo evaluado, de la siguiente forma: *Indicadores microbianos*: Se tomaron cinco muestras compuestas por diez submuestras, a una profundidad de 0-20 cm, con ayuda de una piqueta, al finalizar el período experimental (marzo 2017). *Mesofauna*: El muestreo se desarrolló una vez en cada período climático en los tres años de la investigación. Se utilizó el método de los embudos Berlese-Tullgren, para lo cual se extrajeron las muestras con ayuda de cilindros metálicos con base cortante de 10 cm de altura y cuatro cm de diámetro. Se tomaron diez cilindros ha⁻¹. También se colectaron ejemplares de la mesofauna en las trampas de caída ya descritas. *Nematodos*: El muestreo se desarrolló una vez en cada período climático, en los dos primeros años de la investigación. Se tomaron cuatro muestras de suelo, a una profundidad de 0-20 cm, compuestas por diez submuestras o puntos tomadas en zig-zag, en toda el área de muestreo, en cada agro ecosistema. En ambos casos el peso final de la muestra compuesta fue de 500 g. La extracción de los nematodos de las muestras de suelo y de las raíces, se hizo por el método de decantación-tamizado, para lo cual se tomaron 100 g de muestra. *Macrofauna*: El muestreo se desarrolló una vez en cada período climático en los tres años de la investigación. Se utilizaron dos métodos: monolitos y las trampas de caída o *pitfall*. Para el primer método se limpió la hojarasca previamente y se extrajo todo tipo de cuerpos extraños, tales como piedras y residuos vegetales. En la diagonal del área de muestreo se extrajeron 5 monolitos por ha, de 25 x 25 x 20 cm, a una distancia de 20 m. Manualmente se recolectaron y contaron los individuos *in situ*. Para el segundo método de muestreo se colocaron en cada área de estudio nueve trampas, dispuestas en las dos diagonales, en forma de cruz, con una trampa en el centro de la misma.

Determinación de las propiedades químicas y físicas del suelo: El muestreo de suelo se realizó una vez, al finalizar el período experimental (marzo 2017). Para la determinación de los indicadores

TABLA 1. Principales características de los agro-ecosistemas estudiados. T: El Triángulo P: El Progreso.
 TABLE 1. Main characteristics of the agroecosystems studied. T: El Triángulo P: El Progreso

Agro ecosistema	El Triángulo y El Progreso	Cupeycito	Ojo de agua	Estación de Pastos
Municipio	Bayamo	Jiguani	Guisa	Bayamo
Afiliación	UBPC "Francisco Suárez Soa"	Empresa Genética "Manuel Fajardo"	Finca de Rafael Almáguer, CCS "Braulio Coroneaux"	IIA "Jorge Dimitrov"
Propósito	Producción de leche	Cría	Ceba de toros	Ceba de toros
Tipo de suelo	Vertisol Pélico	Pardo mullido carbonatado	Pardo mullido carbonatado	Fluvisol
Método de pastoreo	Continuo	Rotacional	Continuo	Rotacional
Área total de pastoreo (ha)	T:18,5 P: 20,4	14,2	6,7	0,8
Área de muestreo (ha) y % que representa del área total	T: 2 11 % P: 2 10 %	1,8 13 %	1,2 18 %	0,8 100 %
Tipo de pastos predominante	Jiribilla (<i>Dichanthium caricosum</i> L. A. Camus) y pasto estrella (<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst.)	Hierba de guinea (<i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.)	Jiribilla (<i>Dichanthium caricosum</i> L. A. Camus)	Sistema silvopastoril de hierba de guinea y <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.)
Área de forraje (ha)	Caña: 2 King grass:1,5	1 4	0,5 3	-
Tiempo de explotación	20 años	10 años	7 años	10 años
Raza y carga animal (UGM ha⁻¹)	Mestizo Siboney 1,5	Criollo 1,7	Mestizo 2,2	Mestizo Siboney 1
Condiciones generales	Área de pastoreo totalmente deforestada, sin cuartones, se encharca en la época de lluvia	Buen nivel de sombra por árboles pedregosidad. Especies de árboles: coco (Cocos nucifera); guácima (<i>Guazuma ulmifolia</i>); álamo	Buen nivel de sombra por árboles (10). Susceptibilidad a la erosión. Especies de árboles: <i>Leucaena leucocephala</i> ; algarrobo (<i>Samanea saman</i>); caoba (<i>Swietenia mahagoni</i>); cedro (<i>Cedrela odorata</i>)	Buen nivel de sombra, zona de intensa sequía

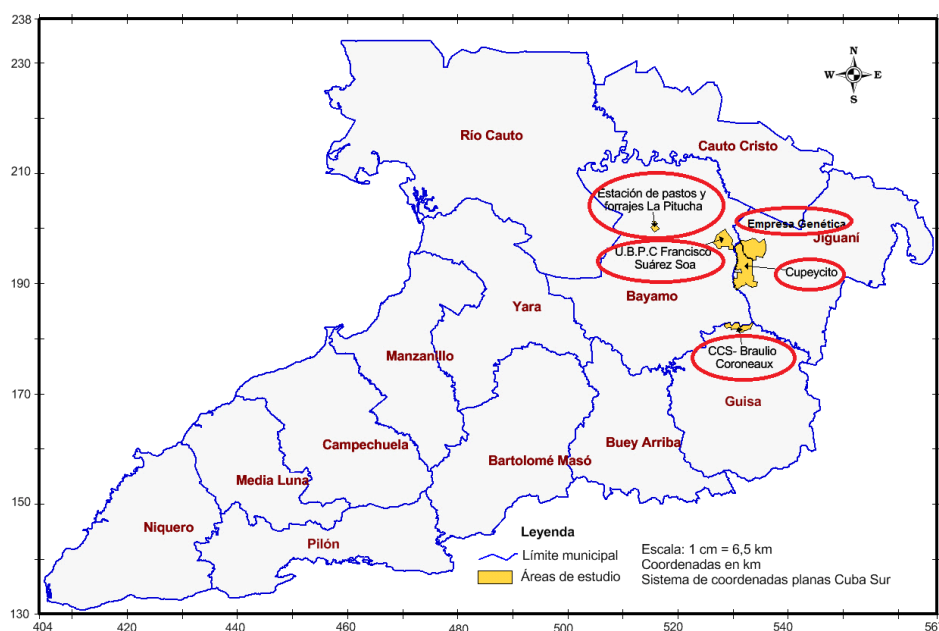


FIGURA 1. Ubicación geográfica de los agro-ecosistemas estudiados.

FIGURE 1. Geographical location of the agro-ecosystems studied.

químicos y físicos se tomaron cinco muestras compuestas (diez submuestras tomadas en zig-zag), en toda el área de muestreo, en la profundidad de 0-20 cm, con la ayuda de una barrena helicoidal. Para la determinación de la densidad aparente se tomaron muestras de suelo no disturbados.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La matriz de datos se organizó de manera que en las columnas se encontraba el número de variables a medir en cada subgrupo y en las filas los momentos de muestreo dentro de cada uno de los períodos climáticos estudiados en los cinco agro ecosistemas (30 individuos).

Se utilizó el análisis de componentes principales y el Modelo de medición de impacto (MEMI) (Torres *et al.*, 2008) para cada subgrupo en cada componente (suelo-pasto) con el objetivo de seleccionar las variables de mayor peso dentro de cada subconjunto. Se tomó como criterio de análisis aquellos componentes principales que presentaron valor propio superior a uno y factores de suma o de preponderancia superior a 0,70. Se consideraron los supuestos de KMO y Bartlett, y la matriz de covarianza de puntuación de componentes para evaluar el modelo. Posteriormente se elaboró una matriz con los datos de las variables que resultaron seleccionadas en cada subgrupo analizado y se incorporaron además los datos climáticos de cada agro ecosistema (Chávez, 2019).

RESULTADOS

Microflora. Las tres variables se agruparon en un solo componente explicando el 64.97 % de la variabilidad. Los actinomicetos presentaron los mayores valores de peso (0.94) seguido de las bacterias (0.72) y los hongos (-0.71) presentaron valores negativos.

Mesofauna. En este caso se evaluaron 16 indicadores que se agruparon en dos componentes que explicaron 66.93% de la variabilidad (tabla 3). En el primer componente denominado “Nematodos y grupos funcionales” se concentraron siete variables que explican el 51.17%. El segundo componente denominado “Mesofauna y depredadores” agrupó dos variables que explican el 15.76%. En ambos componentes las variables presentaron valores de preponderancia elevados, destacándose los nematodos en el suelo y en la raíz lo cual evidencia la importancia de este grupo.

MACROFAUNA

De las 13 variables estudiadas sólo 6 fueron las que mostraron mayor variabilidad del conjunto de 416 datos. El modelo seleccionado extrajo tres componentes o factores los cuales explicaron el 70.87 % de la variabilidad total (tabla 4). Los tres factores fueron identificados y en el primer componente reconocido como “Total de grupos funcionales y detritívoros” se explica 42.46 % de la varianza total. En este caso la mayor cantidad de variables se agruparon en ella y sólo dos tuvieron valores superiores a 0.70.

TABLA 2. Indicadores del suelo evaluados y metodologías utilizadas.
TABLE 2. Soil indicators evaluated and methodologies used.

Indicadores	VARIABLES	Metodologías
Suelo-Químicos	Na, P, Ca, Mg, K, pH, MO, C, CCB y CE (conductividad eléctrica)	Potenciómetro, NC ISO 10390: 1999 NC ISO-51, 1999
		Extracción con AcNH ₄ , por el método de Maslova
		Determinación por Fotometría de llama
		Determinación por Volumetría con EDTA <i>Omiani., 1964.</i>
		Conductimétrico NC 112:2001
Suelo-Físicos	Arcilla, Porosidad total, Densidad real y Densidad aparente, Estabilidad estructural, Higrscopicidad, k(constante de estabilidad en seco)	NRAG 408, 1981 Método gravimétrico NC 110, 2001 NRAG 370, 1980 NC 11 508, 2000 Método de Savinov Cálculo Pt = (1-Da/Dr)*100 CO=MO*0,58
Suelo-Biológicos	Microflora: (3) (bacterias, hongos y actinomicetos) Mesofauna y nematodos (16) (número total de individuos y grupos mesofauna. Número total de mesofauna detritívoros y depredadores. Número y grupos de nematodos/suelo y la raíz. Número de nematodos depredadores, bacterívoros, fungívoros, omnívoros y fitopatógenos en el suelo y en la raíz	<i>Mayea et al., 1998</i> Trampas de caída o <i>pitfall</i> (<i>Moreira et al. 2012</i>). Embudos Berlese- Tullgren <i>Rosales et al., 2009</i>
Pasto	Macrofauna (12) (número de: Individuos, ingenieros, detritívoros, herbívoros, parasitoides y grupos /método de muestreo (trampa y monolito) Composición botánica, disponibilidad, porcentaje de pastos (%), de arvenses (%) y de suelo desnudo (%), producción de biomasa (t ha ⁻¹).	<i>Mannetje y Haydock., 1963</i> <i>Haydock y Shaw., 1975</i>

TABLA 3. Identificación de los dos factores seleccionados en el MEMI para la mesofauna

TABLE 3. Identification of the two factors selected in the MEMI for mesofauna

Identificación de factores	VARIABLES	Pesos	Valores propios	Varianza explicada%
Nematodos y grupos funcionales	Número total de nematodos en el suelo	0,95	8,18	51,17
	Número de nematodos bacteriófagos en el suelo	0,82		
	Número de nematodos fungívoros en el suelo	0,85		
	Número de nematodos omnívoros en el suelo	0,82		
	Número total de nematodos en la raíz	0,96		
	Número de grupos totales de nematodos en la raíz	0,87		
	Número de nematodos bacteriófagos en la raíz	0,82		
Mesofauna y depredadores	Número total de individuos de la mesofauna	0,95	2,52	15,76
	Número de depredadores de la mesofauna	0,85		

TABLA 4. Identificación de los tres factores seleccionados en el MEMI para la macrofauna

TABLE 4. Identification of the three factors selected in the MEMI for macrofauna

Identificación de factores	VARIABLES	Pesos	Valores propios	Varianza explicada, %
Total de grupos funcionales y detritívoros	Número total de grupos, trampa	0,75	5,52	42,46
	Número de detritívoros, trampa	0,83		
Individuos e ingenieros	Número total de individuos, trampa	0,91	2,01	57,95
	Número de ingenieros, trampas	0,91		
Depredadores y detritívoros	Número de detritívoros, monolitos	0,88	1,67	70,87
	Número de depredadores, monolitos	0,83		

Cuando analizamos el comportamiento de esta componente en los diferentes períodos evaluados en cada uno de los agro ecosistemas estudiados, podemos apreciar según el gráfico de evaluación del impacto, que en el agro ecosistema de la “Estación” se determina un mayor número de grupos de la macrofauna respecto a los demás, aunque el primer año fue extremadamente seco en ambos períodos climáticos y en los demás agro ecosistemas el impacto fue positivo solo en el período lluvioso del segundo año (Fig. 2).

El segundo factor con un 15.49 % de explicación, fue denominado “Individuos e ingenieros”. Es de destacar que en esta componente se encuentran las variables de mayor peso. En el tercero denominado “Depredadores y detritívoros” se explica 12.91%.

En la tabla 5 se resume los resultados del análisis de componentes principales realizado para cada subgrupo de indicadores.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Se evaluaron siete indicadores, los cuales se agruparon en dos componentes (90.46%). La primera

componente explica el 55.92% y fue nombrada “Estabilidad estructural”, agrupo las variables Humedad higroscópica y Por ciento de arcilla las cuales estuvieron inversamente proporcional a las variables Sumatoria y Coeficiente de estructura en seco, K. En la segunda componente “Densidad” se agruparon las variables de igual nombre y la porosidad total. En este caso la Densidad real se relacionó de forma inversa con la densidad aparente y la porosidad total.

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

De las diez variables estudiadas se seleccionaron aquellas que presentaron mayor coeficiente de correlación y no son redundante. Las siete variables analizadas con el MEMI (tabla 5) se agruparon en dos componentes que explicaron el 86.10%. La primera componente denominada pH y nutrientes, agrupo cinco variables y en este caso el pH y la MO estuvieron inversamente proporcional al resto de las demás variables.

Pastos. En una componente se explica el 74.43 % de la variabilidad y se agruparon las cuatro variables estudiadas. Las variables % Arvenses y Despoblación

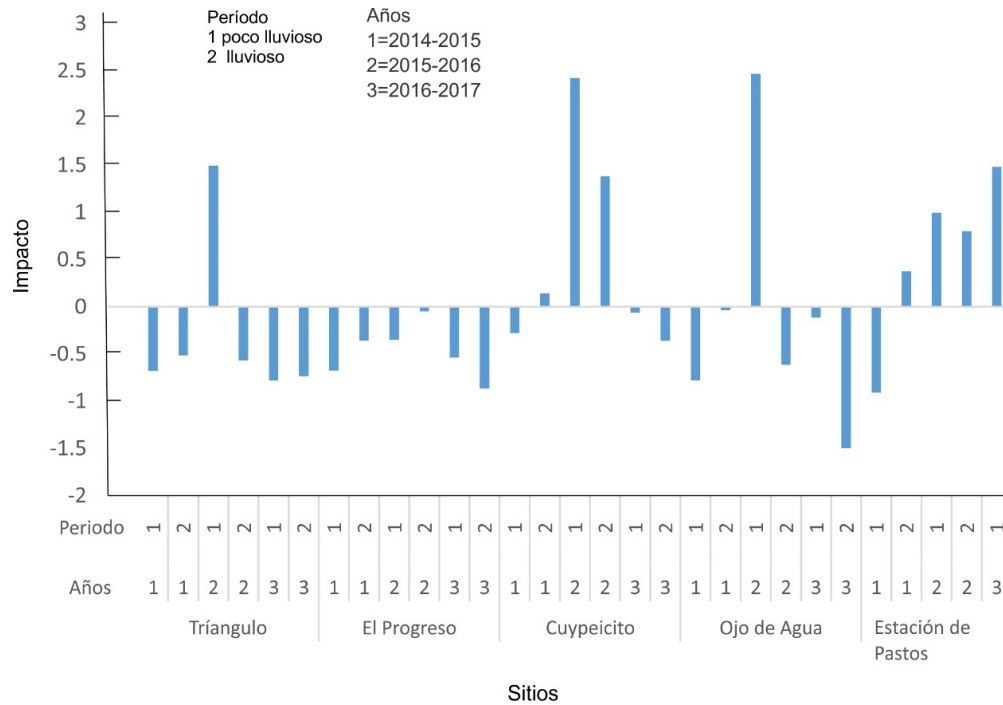


FIGURA 2. Comportamiento de la componente “total de grupo funcionales y detritívoros (Impacto) en los diferentes períodos evaluados en cada uno del agro ecosistemas estudiados.

FIGURE 2. Behavior of the component "total group functional and detritivorous (Impact) in the different periods evaluated in each of the agro ecosystems studied.

influyen inversamente proporcional al Porcentaje de pastos presentes y a la Producción de biomasa.

La utilización del análisis de componentes principales permitió reducir el número de variables de cada subgrupo y realizar una evaluación integral añadiendo, además variables de los factores climáticos (tabla 6).

Con cuatro componentes se logró explicar el 74.13 % de la variabilidad total. La primera componente relacionada con el suelo explicó el mayor porcentaje de la variabilidad (26.60%). La variable número de nematodos se relacionó directamente con la variable Días con lluvia en la cuarta componente y presentó valores de preponderancia superiores a los demás grupos de macro y mesofauna.

DISCUSIÓN

Las técnicas multivariadas utilizadas permitieron demostrar que a través de las mismas se pueden extraer las variables que mayor variabilidad presentan en el sistema suelo-planta y de esta forma relacionar e integrar los conocimientos para detectar y/o proponer alternativas que permitan corregir el grado de fertilidad de los suelos.

La caracterización de la composición funcional de la macrofauna edáfica en los cinco agro ecosistemas de pastizales estudiados, permitió identificar estos grupos como indicadores claves para evaluar el grado

de estabilidad de los sistemas, lo anterior corrobora los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas por Chávez *et al.* (2020, 2021) en estos agro ecosistemas. Las variables de la biota edáfica número de individuos de la macrofauna, de la mesofauna y el número de nematodos presente en la raíz, fueron las que mayor aporte realizaron a la caracterización de los sistemas.

Según Marsden *et al.* (2019) la macrofauna es uno de los grupos más estudiados en la región tropical. Estos autores recomiendan dirigir los estudios para determinar el funcionamiento de ese grupo en los ecosistemas. Sin embargo, los resultados de esta investigación demuestran la importancia de la selección de indicadores de la mesofauna incluso de grupos pocos reconocidos como son los nematodos.

El componente Pastos influye directamente en la estabilidad de los agros ecosistemas estudiados. Se pudo apreciar un efecto negativo de los demás indicadores estudiados en los sistemas donde la presencia de los mismos era menor. Resultados similares determinó Pestana *et al.* (2021) en Brasil, al relacionar la estructura de la vegetación con la diversidad y composición de los grupos de la mesofauna.

En Colombia Giraldo (2021) demostró los beneficios de los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) en la calidad del suelo al igual que los resultados obtenidos en la presente investigación. De igual forma Giraldo y Chará (2022) encontraron que

los SSPi disminuyen significativamente la tasa de pérdida de suelo hasta un 35.3%, mejoran la infiltración y conductividad hidráulica y mejoran considerablemente la dinámica biológica del suelo, registrando hasta 90 morfoespecies, con un total máximo de individuos de 12 281, representados en 16 órdenes, 3 clases taxonómicas, agrupados hasta

en 6 grupos funcionales cuya representación estuvo marcada por los detritívoros y depredadores. En general los sistemas silvopastoriles mostraron las mejores condiciones biológicas lo cual aporta al mantenimiento de las características hidrológicas y a la conservación del suelo.

TABLA 5. Identificación de los factores seleccionados en el MEMI para cada grupo de las variables de las propiedades del suelo (físicos y químicos) y el componente Pastos

TABLE 5. Identification of the two factors selected in the MEMI for the variables of soil properties and the Pasture component

Componente	Identificación de factores	Variabes	Pesos	Valores propios	Varianza explicada%
Suelo-Físicos	Estabilidad estructural	Humedad higroscópica	-0,84	3,91	55,92
		Por ciento de arcilla	-0,93		
		Estabilidad estructural	0,97		
		Coefficiente de estructura en seco, K	0,96		
	Densidad	Densidad aparente	-0,94	2,41	34,54
		Porosidad total	0,99		
Densidad real		0,70			
Suelo-químicos	pH y nutrientes	Mg	0,89	4,07	58,23
		P	0,93		
		MO	-0,77		
		Conductividad Eléctrica, CE	0,91		
		pH	-0,90		
		Bases	Na		
	Ca	0,95			
	Pastos	Pastos	Porcentaje de pastos presentes	0,94	2,97
Arvenses			-0,87		
Despoblación			-0,74		
Producción de biomasa			0,84		

TABLA 6. Identificación de los factores seleccionados en el MEMI para la evaluación integral de todas las variables seleccionadas

TABLE 6. Identification of the factors selected in the MEMI for the comprehensive evaluation of all selected variables

Identificación de factores	Variabes	Pesos	Valores propios	Varianza explicada, %
Suelo	Contenido de P	0,97	3,07	26,60
	pH	-0,90		
	Densidad aparente	0,83		
Macrofauna	Número total de individuos, trampa	0,89	1,92	16,61
	Número de grupos, trampas	0,71		
Pastos y mesofauna	Número total de individuos de la mesofauna	0,75	1,35	16,12
	Porcentaje de pasto presente	0,76		
Clima y nematodos	Días con lluvia	0,72	1,06	14,80
	Número de nematodos, raíz	0,85		

Los subgrupos que se crearon para cada componente (suelo-pastos) contribuyó a la selección de un mayor número de indicadores. Sin embargo, en otras investigaciones analizadas no ocurre así. Morales-Velasco *et al.* (2015) que de igual forma estudiaron un gran número de variables biofísicas, en doce sistemas agro silvopastoriles, determinaron que la mayor variabilidad se concentra en un menor número de indicadores, al realizar un análisis de componentes principales único.

Resultados similares obtuvieron Rodríguez (2004), Lok (2015) en Cuba y Vásquez *et al.* (2020) en Colombia, al evaluar más de 30 indicadores del suelo, diferentes grupos funcionales de la macrofauna y el pasto en diferentes agro ecosistemas con la utilización de sistemas silvopastoriles.

Jiménez *et al.* (2022) en Ecuador demostraron la importancia del conocimiento local de los agricultores sobre las prácticas de manejo del suelo y su fertilidad con el objetivo de mantener el agro ecosistemas sostenibles. En este trabajo se resalta el uso de indicadores visibles por parte de los productores.

Las variables seleccionadas permitieron relacionar e integrar los conocimientos para detectar y/o proponer alternativas que permitan mejorar el grado de fertilidad de los suelos. La biota edáfica resultó ser un indicador muy importante para evaluar la sostenibilidad en los agro-ecosistemas ganaderos frágiles de la provincia de Granma, en Cuba. La metodología utilizada con el análisis de componentes principales y el Modelo de medición del impacto (MEMI) permitieron realizar un análisis integral del complejo sistema suelo-pasto.

AGRADECIMIENTOS. Se agradece a los directivos y colectivos laborales de las unidades donde se realizó la investigación y al proyecto nacional P131_LH002_016 "Rehabilitación de sistemas pastoriles en ecosistemas frágiles y degradados de la región oriental cubana" por el financiamiento para la investigación. Además, al departamento de Biomatemática del Instituto de Ciencia Animal.

REFERENCIAS

- Benítez, D.G., Cordoví, E., Gómez, I., Ray J.V., Fajardo, E., Viamonte, M.I., Boza, P., Ramírez, A. y Díaz, M. (2002). Factores determinantes de los rebaños de fincas ganaderas en sistemas de doble propósito en el Valle del Cauto (Granma), Cuba. *Revista Cubana Ciencia. Agrícola*, 36(3), 101-106.
- Acevedo Ingrid, Sánchez Aymara y Mendoza Betty. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quibor. I. ANÁLISIS MULTIVARIADO. *Bioagro* 33(1): 59-66. doi: <http://www.doi.org/10.51372/bioagro331>.
- Chávez, L, Rodríguez Idalmis, Benítez, D., Torres, V., Estrada, W., Herrera M., Medina, Y., y B. Diana. (2020). Characterization of the edaphic macrofauna in five grassland agroecosystems from Granma province. Richness and abundance. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(4), 585-597.
- Chávez, L, Rodríguez, I., Estrada-Prado, W., Herrera-Villafranca, M., y Medina-Mesa, Y. (2021). Functional composition of the edaphic macrofauna in five pastureland agroecosystems in the Granma province, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 44, 1-11.
- Chávez, L. (2019). *Caracterización de la biota edáfica y su relación con las propiedades del suelo en agro ecosistemas ganaderos de la provincia de Granma*. [Tesis presentada en opción al grado de doctor en ciencias agrícolas. Universidad Agraria de la Habana. Mayabeque, Cuba].
- Chen, S., B. Lin, Y. Li, y S. Zhou. (2020). Spatial and temporal changes of soil properties and soil fertility evaluation in a large grain-production area of subtropical plain, China. *Geoderma* 357: 113937. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113937>.
- Giraldo N. V y Chará J. (2022). Efecto de los sistemas silvopastoriles intensivos en la reducción de la degradación física y biológica del suelo. *Livestock Research for Rural Development*, 34. <http://www.lrrd.org/lrrd34/3/3417vicky.html>
- Giraldo, N. V. (2021). *Propuesta de indicadores de calidad del suelo para monitoreo de los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) en la Ecoregión Cafetalera, Colombia*. [Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Colombia].
- Haydock, K.P y Shaw, N.H. (1975). The comparative yield method for estimations dry matter yield of pastures. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15, 663.
- Jiménez L, Jiménez W, Felicito D, Quichimbo P, Sánchez D y Capa-Mra D. (2022). Rediscovering the edaphic knowledge of smallholder farmers in southern Ecuador. *Geoderma*, 406(15). <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115468>.
- Lok, S. (2015). *Determinación y selección de indicadores del sistema suelo-pasto en pastizales dedicados a la producción de ganado vacuno*. [Tesis presentada en opción al grado de doctor en ciencias agrícolas. Universidad Agraria de la Habana. Mayabeque, Cuba].
- Marsden, C., Martin-Chave, A., Cortet, J., Hedde, M., y Capowiez, Y. (2019). How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review. *Plant Soil* <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04322-4>
- Anderson, J.M., e Ingranm, J.S.I. (Eds.). (1993). Eds. *Tropical soil biology and fertility: A handbook of*

- methods*. 2nd ed. Wallingford, U.K: CAB International.
- Mayea, S., Novo, R., Boado, I., Silveira, E., Soria, M., Morales, Y. y Valiño, A. (1998). *Microbiología Agropecuaria*. Tomo III. Editorial Félix Varela. La Habana.
- Moreira, F.M.S., Huisings, E.J., Bignell, D.E. (2012). *Manual de Biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Oniani, O.G. (1964). Determinación del fósforo y potasio del suelo en una misma solución de los suelos Krasnozen y Podzólicos en Georgia. *Agrojima*, 6, 25.
- Pestana, L. F, de Souza, A. L., Tanaka, M. O, Labarque, F. M, Soares, J. H. (2021). Interactive effects between vegetation structure and soil fertility on tropical ground-dwelling arthropod assemblages. *Applied and Soil Ecology*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103624>
- Rodríguez, I. (2004). *Evaluación del impacto de los sistemas ganaderos actuales en el recurso suelo en la provincia Habana*. [Informe final de proyecto No.0417. Instituto de Ciencia Animal. Mayabeque, Cuba.
- Rodríguez, I. Verena Torres, Omar Martínez, J, Alonso, J, Álvarez. (2014). Environmental, socio-economical and technical evaluation of a genetic Enterprise from Mayabeque, Cuba, using the Statistical Model of Impact Measuring (SMIM). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 48 (2), 219-226.
- Rosales, L., Rodríguez, M. y Suárez, S. (2009). Toma de muestras de suelo y raíces para diagnóstico de nematodos Fito parasíticos. *INIA Divulga*, 13, 23-26.
- Van Mannequin, L. y Haydock, K. P. (1963). The dry weight rank method for the botanical analysis of pastures. *Journal. British. Grassland. Society*, 18, 268.
- Torres, V., Ramos N., Lizaso D., Monteagudo F. y Noda A. (2008). Statistical model for measuring the impact of innovation or technology transfer in agricultural. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 42(2), 133-139.
- Torres, V., Cobo, R. C; Sánchez, L. y Ruez, N. R. (2013). Statistical tool for measuring the impact of milk production on the local development of a province in Cuba. *Livestock Research for Rural Development*, Volume 25, Number 7, July 2013

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** I. Rodríguez García y L. Chávez Suárez. **Muestreos:** L. Chávez Suárez, D. Benítez Jiménez y A. Álvarez Fonseca. **Escritura del documento:** I. Rodríguez García, L. Chávez Suárez, V. Torres Cárdenas. **Revisión y Edición:** I. Rodríguez García, L. Chávez Suárez, V. Torres Cárdenas.