

Research Article

# Soil Evaluation Through Quality Indicators

## Evaluación de los suelos a través de indicadores de calidad

Andrea Quisimalin<sup>1</sup>, Ximena Cazorla<sup>1\*</sup>, Miltón Ortega<sup>1</sup>, Pablo Quintuña<sup>2</sup>, Juleysi Cornejo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador

<sup>2</sup>Investigador Independiente, Macas, Ecuador

### ORCID

Ximena Cazorla: <https://orcid.org/0000-0003-1157-8900>

INDEXACIÓN II CONGRESO  
INTERNACIONAL DE  
CIENCIA Y TECNOLOGIA  
MORONA SANTIAGO  
CICTMS 2021

Corresponding Author:  
Ximena Cazorla

Published: 18 April 2024

Production and Hosting by  
Knowledge E

© Andrea Quisimalin  
et al. This article is distributed  
under the terms of the  
Creative Commons  
Attribution License, which  
permits unrestricted use and  
redistribution provided that  
the original author and  
source are credited.

### Abstract

A bibliographic analysis was made on the different types of indicators, physical, chemical, and biological for the evaluation of soil quality, to contribute with new concepts for the determination of environmental quality, and analyzing the most indicated according to their cost. The physical indicators (texture, soil depth, surface soil and roots, infiltration and bulk density, and water retention capacity), chemical (organic matter (total N and C), pH, electrical conductivity, extractable P, N, and K, among others), and biological (C and N of microbial biomass, respiration, moisture content and temperature, potential mineralizable N). For the choice of an indicator, the following should be taken into consideration the ease, cost, and time, depending on the characteristics of the soil, such as conditions and climate. It can be concluded that the best for determining soil quality are the biological parameters since their cost was \$ 22.4, while the most expensive were the ones with an average investment of \$ 66.4, budget usually depends on the property to be analyzed.

**Keywords:** *quality, indicator organisms, soil, condition, environmental.*

### Resumen

Se realizó un análisis bibliográfico sobre los distintos tipos de indicadores: físicos, químicos y biológicos para la evaluación la calidad del suelo, con la finalidad de contribuir con nuevos conceptos para la determinación de la calidad ambiental, y analizar el mas indicado en función a su costo. Los indicadores fisicos (textura, Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces, Infiltración y densidad aparentey Capacidad de retención de agua), químicas (Materia orgánica (N y C total), pH, Conductividad electrica, P, N, y K extractables, entre otros) y biológicos (C y N de la biomasa microbiana, Respiración, contenido de humedad y temperatura, N potencialment e mineralizable). Para la elección de un indicador se deben tomar en consideración la facilidad, costo y el tiempo, dependiendo de las características del suelo, como las condiciones y el clima. Se puede concluir que el mejor para determinar la calidad del suelo son los parámetros biológicos ya que su costos fue de 22,4 \$, mientras que el más costoso fueron los con una inversión promedio de 66,4 \$, presupuesto va a depender de la propiedad en analizar.

**Palabras Clave:** *Calidad, organismos indicadores, suelo, condición, ambiental.*

 OPEN ACCESS



## 1. Introducción

El suelo es uno de los recursos vivos más importantes de la Tierra, ya que es la base para el desarrollo de la agricultura y la silvicultura (1). La producción de alimentos depende en gran medida del uso de la tierra (2). “El suelo es un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e insustituible, creado a partir de una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes capaces de sustentar el crecimiento de organismos vivos y microorganismos”. Su formación es un proceso complejo que implica cambios físicos, químicos y biológicos en la roca madre. Físico significa una reducción en el tamaño de las partículas sin cambios en su composición causados por ciclos de congelación y descongelación, lluvia y otras influencias ambientales. Estos químicos son producidos por la separación de granos minerales en rocas; su transformación o destrucción y resíntesis en compuestos sólidos estables ocurre principalmente como resultado de la exposición al agua, oxígeno, dióxido de carbono y compuestos orgánicos (3).

Así, los cambios biológicos son llevados a cabo por las comunidades que habitan el suelo: flora (plantas), macrofauna (invertebrados), mesofauna (artrópodos, anélidos, nematodos y moluscos), microfauna (protozoos y algunos nematodos) y microbiota (bacterias, actinomicetos, hongos y algas), el 80- 90% de los procesos son respuestas mediadas por microbiota (4).

Estos cambios biológicos incluyen: descomposición y aporte de materia orgánica, producción de CO<sub>2</sub> en la respiración, interferencia con el ciclo biogeoquímico de elementos y acción mecánica de plantas y animales, y fraccionamiento de rocas por raíces, entre otros (5).

Se han propuesto varios conceptos para definir el concepto de tierra; “suelo fértil” se ha utilizado tradicionalmente para comprender la condición y el comportamiento del suelo en entornos agrícolas y forestales (3).

Una definición común de suelo fértil es que proporciona suficientes nutrientes para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (3), esta definición era adecuada para la agricultura industrial hasta que comenzó a mostrar su influencia (1).

El suelo ya no es un recurso renovable, además de su producción debe descomponer materia orgánica y reciclar nutrientes a través de la regeneración (1).

La primera definición excluye otros rasgos que influyen mucho en el crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo que muchos autores la consideran incompleta o limitada; por ejemplo, dicen que la fertilidad del suelo es un concepto más amplio que necesita integrar propiedades físicas, químicas y biológicas (6). Estos tres atributos están íntimamente relacionados y participan activamente en la producción y estabilización de



los agroecosistemas. Por ejemplo, los macroinvertebrados del suelo están involucrados en los procesos de infiltración, aireación e incorporación de materia orgánica al suelo (7), microorganismos como bacterias, hongos y protozoos pueden ser llamados ingenieros químicos del suelo, responsables de la descomposición de la materia orgánica y del aporte de nutrientes a las plantas, animales y humanos, también juegan un papel en la formación del humus [20]. Al respecto, Cairo y Herrera (1994) demostraron que un aumento del 1% en la materia orgánica aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en 2 cmol.kg<sup>-1</sup> (8).

El término "calidad del suelo" se ha utilizado para reconocer su función, Dexter (9) menciona en su estudio a través de este logró reconocer la productividad, el deterioro de los contaminantes y la salud de las plantas.

Para desarrollar este concepto, también se consideró que el suelo es el sustrato básico de las plantas; captura, retiene y drena el agua a la vez que es un filtro ambiental eficaz, como consecuente refleja la capacidad de funcionar e interactuar con el ecosistema al que pertenece (10). Considerándose como la capacidad para funcionar adecuadamente para un uso específico (11). Sin embargo, le dieron al concepto una conexión más ecológica, definiéndolo como la capacidad de recibir, almacenar y reciclar agua, minerales y energía para la producción de cultivos manteniendo un ambiente saludable.

La mayoría de las definiciones modernas de la calidad del suelo se basan en varias de sus funciones y no solo en usos específicos, aunque este concepto está en constante evolución (2). El Comité de Salud del Suelo sintetiza esta definición como la capacidad del suelo para funcionar en ecosistemas naturales o gestionados, mantener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del aire y el agua, y sustentar la salud humana y el hábitat (12).

Para la evaluación de la sustentabilidad de la calidad del suelo es necesario disponer de indicadores que permitan determinar la calidad ambiental, a largo plazo, que provocará el manejo (13). En este sentido, el objetivo del presente artículo reconocer los distintos tipos de indicadores: físicos, químicos y biológicos para la evaluación la calidad del suelo, con la finalidad de contribuir con nuevos conceptos para la determinación de la calidad ambiental, además se realizará una revisión del nivel económico para saber las dimensiones de los costos y de esta manera ver si es conveniente o no aplicar el estudio de los indicadores del suelo en los proyectos que se vayan a realizar.



## 2. Materiales y Métodos

La presente investigación de tipo no experimental y su diseño es bibliográfico, haciendo uso de los referentes existentes a través de técnicas de recolecta y organización de los resultados levantados de información; emplea documentación de fuentes de información, entre artículos científicos, memorias de conferencias, reportes técnicos, patentes, simposios y tesis doctorales, haciendo el uso de términos claves como “Indicadores ambientales”, “Calidad del suelo”, “Evaluación del suelo”, entre otros, a través de repositorios virtuales, adaptados a las herramientas de automatización documental en Word.

Las etapas metodológicas para la revisión fueron la definición del problema planteando como tema “Medición o Evaluación de los Suelos a través de Indicadores de Calidad de Suelo”, se estableció la búsqueda de información y posteriormente a la organización de la información que conlleva realizar las distintas agrupaciones en función de las temáticas, utilizando el software Zotero para realizar la gestión bibliográfica, analizando los aspectos más importantes e ideas al tema propuesto en la presente investigación. Resultados

### 2.1. Desarrollo de la Investigación

A pesar de la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo (14). Sin embargo, varios científicos se han enfocado en analizar sus propiedades alternativas para evaluar la calidad del suelo, Larson y Pierce (15), plantearon un conjunto mínimo de propiedades del suelo para ser usadas como indicadores para evaluar los cambios que ocurren en el suelo con respecto al tiempo, como son físicas, químicas y biológicas, a continuación se detallan los dispuestos por la presente investigación.

### 2.2. Indicadores físicos

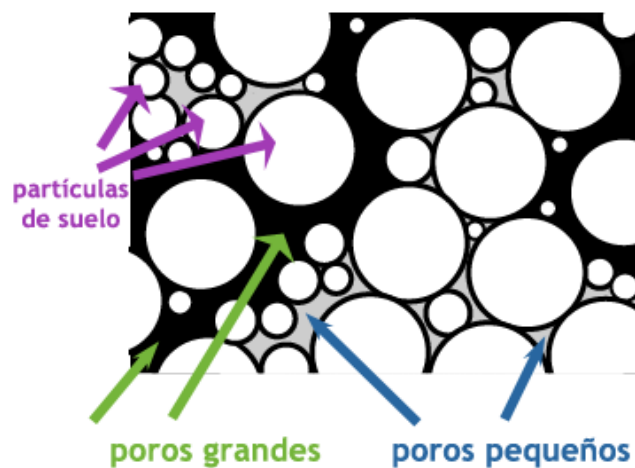
Se refieren a la disposición de partículas sólidas y poros; estos incluyen la profundidad, la densidad aparente, la porosidad, la estabilidad de los agregados, la textura, la formación de costras y la compactación. Los indicadores físicos reflejan principalmente las limitaciones del crecimiento de raíces, crecimiento de plántulas, infiltración (movimiento de agua en el perfil del suelo). Algunos de los indicadores mencionados en la sección

anterior se explican a continuación con referencia a los artículos del USDA publicados en diferentes años (8).

### 2.2.1. Estabilidad de los agregados

Es la capacidad de los agregados del suelo para resistir la descomposición de sus partículas cuando se someten a fuerzas externas, actividades agrícolas en el caso de áreas agrícolas y fenómenos meteorológicos como precipitación o viento. La estabilidad está relacionada con el contenido de MO, la actividad biológica y el ciclo de nutrientes en la tierra (16).

Los agregados brindan información sobre la porosidad (poros pequeños y grandes), esencial para el movimiento de agua y aire a través del suelo, permeabilidad del suelo movimiento de raíces (crecimiento de plantas), nutrientes y biota en el suelo.



**Figura 1**

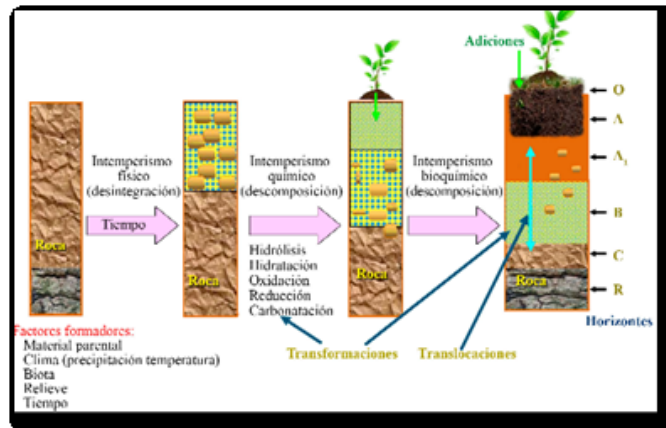
*Transformaciones estructurales naturales del suelo (17).*

El tamaño del agregado húmedo indica la resistencia del suelo al impacto de las gotas de lluvia y la erosión del agua, mientras que la distribución del tamaño del agregado seco se puede utilizar para predecir la resistencia a la erosión eólica del USDA (18).

### 2.2.2. Estructura del Suelo

La estructura del suelo es la disposición espacial de los agregados y la porosidad, y esta propiedad del suelo está relacionada con la función de productividad y la orientación del agua y los solutos. A través de los poros, se altera fácilmente por compactación y erosión. Las funciones más importantes del suelo en relación a su estructura son:

mantenimiento de la productividad biológica y del hábitat, infiltración de agua, drenaje, aireación y almacenamiento de nutrientes y penetración de raíces, esta propiedad es función de otras propiedades como: estructura del suelo (contenido de arcilla), MO, factor biológico (6), este concepto se fundamenta en los distintos procesos de formación del suelo expuesto en la figura 2 donde los horizontes se ven influenciados por diversas transformaciones.



**Figura 2**

*Transformaciones estructurales naturales del suelo (19).*

La agregación de partículas del suelo se ve afectada por la contracción o expansión de la arcilla, a medida que el suelo se seca, la arcilla se contrae y el suelo se contrae en volumen, provocando grietas en puntos discretos, a veces provoca una mala permeabilidad al agua del suelo, mala circulación de aire en el suelo, y actúan como un factor limitante para la permeabilidad y el crecimiento de las raíces. Además de los factores físicos y químicos que afectan la formación de agregados, también existen factores biológicos ya que son importantes para el crecimiento de agregados y poros grandes, que son la residencia de partículas grandes de microorganismos tales como: gusanos y hongos (20). En la tabla 1 se describen de manera general las distintas propiedades de los indicadores físicos.

### 2.3. Indicadores químicos

Dentro de estos indicadores se encuentran mediciones de pH, salinidad, MO, la concentración de P, N, CIC y BI o aquellos que son necesarios para el crecimiento y desarrollo de plantas. La química del suelo afecta la relación suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora, los nutrientes y la disponibilidad de agua para las plantas y otros organismos, y el movimiento de contaminantes (21). Se puntualiza de manera general algunos indicadores necesarios para apreciar la calidad ambiental del suelo.



**Tabla 1**

*Indicadores físicos con su relación, función y unidades (14).*

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión.	cm o m
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad	minutos/2.5 cm de agua y g/cm
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica	% (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación

**Tabla 2**

*Indicadores químicos con su relación, función y unidades (14).*

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	Kg de C o N ha <sup>-1</sup>
pH	Define la actividad química y biológica	comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana	dSm <sup>-1</sup> ; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P, N, y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental	Kg ha <sup>-1</sup> ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos

La tabla 2 se refiere se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos (12). Existen otros indicadores químicos, todos a fin de reconocer a mayor detalle el nivel del parámetro en el suelo, a continuación, se detallan otros tipos de indicadores con sus correspondientes unidades y su capacidad optima en el suelo.

**Tabla 3**

*Indicadores químicas y sus unidades (22).*

Sustancia	Unidades (concentración seca)	Suelo
<b>Parámetros generales</b>		
Conductividad	Mmhos/cm	2
pH		6 <sup>a</sup> 8
Relación de absorción de sodio <b>de absorción de sodio</b>		<b>4</b>
<b>Parámetros inorgánicos</b>		
Arsenio	Mg/kg	5
Sufre	Mg/kg	250
Bario	Mg/kg	200
Boro	Mg/kg	1
Cadmio	Mg/kg	0.5
Cobalto	Mg/kg	10
Cobre	Mg/kg	30
Cromo total	Mg/kg	20
Cromo	Mg/kg	2.5
Cianuro	Mg/kg	0.25
Estaño	Mg/kg	5
Flúor	Mg/kg	200
Zinc		
<b>Parámetros orgánicos</b>		
Benceno	Mg/kg	0.05
Cloro benceno	Mg/kg	0.1
Etilbenceno	Mg/kg	0.1
Estireno	Mg/kg	0.1
Tolueno	Mg/kg	0.1
Xileno	Mg/kg	0.1
PCBs	Mg/kg	0.1
Clarificados alifáticos	Mg/kg	0.1
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Mg/kg	0.05

### 2.3.1. pH del suelo

El USDA define el pH del suelo como el grado en que la acidez o alcalinidad del suelo afecta sus propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos, incluida la nutrición, el crecimiento y el rendimiento de la mayoría de los cultivos. Los factores internos y externos que afectan el pH incluyen el clima, los materiales de partida, la vegetación





(el tipo de humus producido), la distribución del tamaño de las partículas y la materia orgánica. Los suelos gruesos son más propensos a la acidificación en comparación con las arcillas porque tienen baja acidez. La reducción del contenido de materia orgánica y humus también puede ser causada por la erosión.

En las propiedades químicas, el pH influye en la disponibilidad y movilidad de los nutrientes, por ejemplo; en suelos ácidos (pH inferior a 5), el calcio (C), magnesio (Mg), nitrógeno (N), fósforo (P), boro (B) y molibdeno (Mb) son deficientes (23). Para N en condiciones ácidas fuertes; Se inhibe su nitrificación e inmovilización, y el aluminio y el manganeso son abundantes y pueden volverse tóxicos para algunos cultivos debido a la acidificación del suelo. Biológicamente, en condiciones ambientales fuertemente ácidas o extremadamente ácidas, la actividad de la población bacteriana disminuye, como lo indica la baja mineralización de MO (24).

### 2.3.2. Formas del nitrógeno

El nitrógeno es un elemento esencial para la vida, conocido como macronutriente, que junto con el fósforo (P) y el potasio (K), forman parte de las biomoléculas básicas de todos los seres vivos, organismos vivos, cuya presencia afecta la fertilidad del suelo, creando condiciones adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las dos reservas principales de N se encuentran en: a) la atmósfera, en su forma molecular  $N_2$  (78%) y b) en la MO donde aproximadamente un 98% se encuentra formando compuestos orgánicos, por lo cual también se le conoce como N total.

Entre los factores que afectan la cantidad y las propiedades del N: clima, la temperatura y la humedad principalmente afecta la actividad de los microorganismos debido a las bajas temperaturas, pero cuando esta sube la descomposición de la MO es rápida. Por otro lado, se ha observado que el contenido de N total en los suelos cultivados bajo pastizales es mayor que en los suelos arbolados, lo que se debe a que el resto de la vegetación de los bosques se descompone en la superficie del suelo, mientras que pastizales (hierbas y sus raíces) penetran además de los factores mencionados, factores relacionados con la topografía (tracción o deposición de partículas y nutrientes del suelo en la superficie del suelo), pendientes o superficies planas), dirección de la pendiente, tipo de suelo, disponibilidad de recursos y suelo (25).

### 2.3.3. Materia Orgánica

La MO es la parte del suelo que incluye todo lo que alguna vez ha vivido, su significado es una de las propiedades del suelo que tienen mayor influencia en sus otras



propiedades y funciones físicas y químicas, pero principalmente como contiene en la práctica de manejo es la clave de la tierra recuperación y protección.

Entre las funciones de MO esta: garantizar el carbón y la energía para los microorganismos del suelo, partículas de suelo estables y unificadas (USDA, 1996), reduciendo el riesgo de erosión, ayudando a aumentar las plantas. Plantación para almacenar y transmitir el aire y el agua que proporcionan nutrientes como N, P, entre otros, necesarios para el crecimiento de plantas y tierra (26), reteniendo nutrientes en la enfermería del palacio, aumentando la capacidad de intercambiar catión, manteniendo el suelo en un estado de no comprimir la densidad más baja, lo que hace que el suelo sea más flojo y más fácil de usar, reduciendo el impacto negativo de los pesticidas (27).

## 2.4. Indicadores biológicos

Los parámetros biológicos más utilizados según Collins (2011) y la USDA (2009) (24), son: biomasa microbiana, respiración basal (incluye su actividad física o los subproductos), N mineralizable, las actividades enzimáticas, grupos funcionales de la microflora, composición y diversidad de las comunidades microbianas, abundancia y diversidad de macro-, meso- y microfauna, patógenos de raíces, crecimiento y diversidad de plantas, a continuación, se presentan algunas:

### 2.4.1. La respiración del suelo

La liberación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la superficie del suelo se denomina respiración del suelo. Esto se debe a que el CO<sub>2</sub> proviene de fuentes que incluyen la descomposición de la materia orgánica para proporcionar energía para su crecimiento y función (respiración microbiana), respiración de las raíces de las plantas, respiración animal y respiración de las plantas y, finalmente, la disolución del carbonato en la solución del suelo. En general, este indicador muestra potencial, suelo para sustentar la vida (plantas, ganado y microorganismos del suelo) (28).

### 2.4.2. Las enzimas del suelo

Aunque los índices fisicoquímicos del suelo se usan más comúnmente para determinar la calidad del suelo, muchos estudios han comenzado a explorar los indicadores biológicos, ya que pueden considerarse indicadores primarios de estrés, lo que los hace adecuados para su uso en una variedad de procesos de manejo del suelo. programas de monitoreo. Uno de ellos es la actividad enzimática, que ayuda a comprender los

procesos bioquímicos que tienen lugar en el suelo relacionados con su uso o la presencia de contaminantes, ya que son catalizadores (1).

### 2.4.3. La biodiversidad del suelo

Este índice refleja la mezcla de organismos que viven en él, los cuales interactúan entre sí y con pequeñas plantas y animales, creando una red de actividad biológica que mejora varias propiedades y funciones del suelo, tales como: mineralización, materia orgánica, suministro y almacenamiento de agua, movilización de nutrientes y control y equilibrio de la población del suelo (2). A continuación, se representa algunas variedades de fauna y microorganismos del suelo.



**Figura 3**

*Fauna y macrofauna edáfica (19).*

En la tabla 4 se describen los indicadores biológicos más reconocidos en las últimas décadas:

### 2.5. Valoración económica

Analizando la tabla de precios de los parámetros podemos concluir que los análisis físicos tienden a poseer un costo más elevado que los parámetros químicos y biológicos, hay que tener en cuenta la mayor cantidad de análisis son los químicos, es importante realizar todos estos análisis para tener un índice de calidad de suelo con mayor eficacia dependiendo en la aplicabilidad que se los maneje. Los precios también dependen de los laboratorios en los que se realiza y a esto además debemos sumarle los costos de transporte y viáticos.



**Tabla 4**

*Indicadores biológicos con su relación, función y unidades (14).*

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica	Kg de N o C ha <sup>-1</sup> relativo al C y N total o CO <sub>2</sub> producidos
Respiración, contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa	Kg de C ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N	Kg de N ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> relativo al contenido de C y N total.

En total para realizar estos análisis 180 dólares americanos sumando los costos de transporte y viáticos nos dan un total de 250 dólares americanos, todos estos precios debemos tomar en cuenta al realizar los análisis de costos para los índices de calidad de suelo (12). En la tabla 4 se presenta una lista de precios estándares según Estrada et al. (29).

**Tabla 5**

*Catálogo de precios por indicar según su propiedad (29).*

Parámetros Físicos	Pre cios (\$)	Parámetros Químicos	Pre cios (\$)	Parámetros Biológicos	Precios (\$)
Conductividad	4,84	Nitró geno	6,03	Materia Orgánica	11,2
Textur a	6,57	Fósfo ro	6,03	Carbo no Orgánico	11,2
Densidad	3,6	Potásico	6,03	<b>Total</b>	22,4
Humed ad	3,6	Azufr e	6,03		
Capacidad de campo	16,8	Boro	6,03		
Curva de retención de humedad	56	Acide z	6,03		
<b>Total</b>	91,41	Cloro	8,87		
		Sodio	8,87		
		Nitrat os	8,87		
		pH	3,61		
		<b>Total</b>	66,4		



### 3. Discusión

El estudio planteado por Segueda et al (30) tiene concordancia en las conceptualizaciones, mencionan que la evaluación de la calidad del suelo es una herramienta centrada en la dinámica de las propiedades y procesos de los suelos, que es eficaz para evaluar la sustentabilidad de las prácticas de manejo de suelos, realizada para estructurar metas prioritarias, identificar las funciones críticas del suelo necesarias para lograr esas metas y seleccionar indicadores que provean información útil referente al funcionamiento del suelo estudiado.

Para la selección de un indicador se deben relacionar a atributos de sustentabilidad y dependerá de los costos, técnicos, económicos, infraestructura, del tiempo disponible, del rigor requerido y del tipo de usuarios a la que se destina el estudio, en función aquello Vallejo empleó indicadores biológicos en el análisis de suelos de pastos llegando a concluir que el empleo de este tipo de indicadores resuelto económico a comparación de los análisis convencionales (31), así mismo Brunett et al (32), donde en su análisis de calidad del suelo en cultivos de maíz empleando indicadores físico-químicos resultó beneficioso en costo de empleo de análisis laboratoristas, y su vez fue prudente la selección indicada. Conclusiones

Se reconoció los distintos tipos de indicadores: físicos, químicos y biológicos para la evaluación la calidad del suelo, después de analizar los distintos parámetros de indicadores de la calidad del suelo se determinaron tres principales tales son los físicos, químicos y biológicos, se puede concluir aportando que el mejor para determinar la calidad del suelo son los parámetros biológicos, aunque se debe tener en cuenta que existe una relación entre los tres parámetros estudiados, es decir, los biológicos van a depender de los parámetros físicos y químicos, los físicos dependerán de los químicos y biológicos, y lo químicos de los físicos y biológicos. Todo estos parámetros y sus respectivos estudios van a depender de su aplicación, debido a que para un estudio agrícola los parámetros necesarios van a ser distintos que para un estudio de crianza de animales.

Se realizó una revisión del nivel económico para saber las dimensiones de los costos de los distintos indicadores llegan a establecer que va a depender de la propiedad que se quiere analizar entre los más costosos para el análisis son los indicadores químicos con una inversión de \$66,4 promedio, y los más económicos son los biológicos ya que su costo empleado fue de \$22,4 concluyendo que para realizar un análisis conciso se debe plantear el indicar acorde al costo y eficiencia.



## 4. Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses ni problemas al publicar los datos obtenidos en el presente estudio.

## References

- [1] Soto G. Calidad de los suelos: una nueva visión del suelo. I Congreso Latinoamericano de Experimentadores e Investigadores en Producción Orgánica. 2006.
- [2] Martín N, Adad I. Generalidades más importantes de las ciencias del suelo. *Disciplina Ciencias del Suelo*. Vol. 1. Universidad Agraria de La Habana; 2006. 504 p.
- [3] Atlas R, Bartha R. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 4.<sup>a</sup> ed. Biología y Ciencias de la Salud; 2002.
- [4] B?o QL. *Budhu soil mechanics foundations 3rd txtbk*. 2007 [citado 26 de enero de 2023]; Disponible en: [https://www.academia.edu/26522043/Budhu\\_soil\\_mechanics\\_foundations\\_3rd\\_txtbk](https://www.academia.edu/26522043/Budhu_soil_mechanics_foundations_3rd_txtbk)
- [5] Porta J, López M, Roquero M. *Edafología?: para la agricultura y el medio ambiente*. P839e 7352 c1 [Internet]. 1994 [citado 7 de enero de 2023]; Disponible en: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/14463>
- [6] Nannipieri P, Ascher J, Ceccherini MT, Landi L, Pietramellara G, Renella G. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science* [Internet]. 2017 [citado 26 de enero de 2023];68(1):12-26. Disponible en: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ejss.4\\_12398](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ejss.4_12398)
- [7] Huerta Lwanga E, Rodríguez-Olán J, Evia-Castillo I, Montejo-Meneses E, Cruz-Mondragón M de la, García-Hernández R. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana* [Internet]. 2008 [citado 26 de enero de 2023];26(2):171-181. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-57792008000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792008000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [8] Adriaanse A. *Environmental policy performance indicators: A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands*. S.D.U. Uitgeverij; 1993. 175 p.
- [9] Dexter A. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*. 1 de junio de 2004;120:201-214.



- [10] Vascos E. Euskomedia. Kultura Topagunea [Internet]. 2013 [citado 26 de enero de 2023]. Disponible en: <http://www.euskomedia.org/PDFAnlt/va>
- [11] Acevedo E, Carrasco MA, León O, Martínez E, Silva P, Castillo G, et al. Criterio de calidad de suelo de agrícola. 2005;
- [12] SQI-Soil Quality Institute. Indicators for soil quality evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA. 1996.
- [13] Doran JW, Parkin TB. Defining and assessing soil quality. En: Defining soil quality for a sustainable environment [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 1994 [citado 27 de enero de 2023]. p. 1-21. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaspecpub35.c1>
- [14] Cruz AB, Barra JE, Castillo RF del, Gutiérrez C. La calidad del suelo y sus indicadores: Ecosistemas [Internet]. 2004 [citado 24 de diciembre de 2022];13(2). Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- [15] Larson WE, Pierce FJ. Conservation and enhancement of soil quality. Evaluation for sustainable land management in the developing world?: proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai, Thailand, 15-21 September 1991 [Internet]. 1991 [citado 27 de enero de 2023]; Disponible en: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Conservation+and+enhancement+of+soil+quality&author=Larson%2C+W.E.&publication\\_year=1991](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Conservation+and+enhancement+of+soil+quality&author=Larson%2C+W.E.&publication_year=1991)
- [16] Rodríguez N, Florentino A, Torres D, Yendis H, Zamora F. Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón. Revista de la Facultad de Agronomía [Internet]. septiembre de 2009 [citado 27 de enero de 2023];26(3):340-361. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0378-78182009000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0378-78182009000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [17] Plan Ceibal. Porosidad del suelo | El agua en la huerta [Internet]. [citado 27 de enero de 2023]. Disponible en: [https://rea.ceibal.edu.uy/elp/el-agua-en-la-huerta/porosidad\\_del\\_suelo.html](https://rea.ceibal.edu.uy/elp/el-agua-en-la-huerta/porosidad_del_suelo.html)
- [18] J Dumanski, S Gameda, Pieri C. Agriculture and Agri Food. Indicators of land quality and sustainable land management: An annotated bibliography [Internet]. World Bank. 1998 [citado 26 de enero de 2023].



- Disponible en: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/487661468739557843/Indicators-of-land-quality-and-sustainable-land-management-an-annotated-bibliography>
- [19] Arias NMM, Rangel M del CN, López ICP, Sánchez EC, Cruz JM de la. El suelo y su multifuncionalidad: ¿qué ocurre ahí abajo? *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva* [Internet]. 2018 [citado 27 de enero de 2023];25(3). Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/104/10455646009/html/>
- [20] Blagodatskaya E, Dungait J a. J, Schmidt O, Nannipieri, P. et al., 2003. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*. 2017;54:655–670. *European Journal of Soil Science* [Internet]. 2017 [citado 26 de enero de 2023];68(1):6-11. Disponible en: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ejss.3\\_12398](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ejss.3_12398)
- [21] Cantú MP, Becker A, Bedano JC, Schiavo HF. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del suelo* [Internet]. diciembre de 2007 [citado 27 de enero de 2023];25(2):173-178. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1850-20672007000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1850-20672007000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [22] García Y, Ramírez W, Sánchez S. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes* [Internet]. junio de 2012 [citado 27 de enero de 2023];35(2):125-138. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [23] Calderón-Medina CL, Bautista-Mantilla GP, Rojas-González S, Calderón-Medina CL, Bautista-Mantilla GP, Rojas-González S. Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *ORINOQUIA* [Internet]. diciembre de 2018 [citado 27 de enero de 2023];22(2):141-157. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0121-37092018000200141&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-37092018000200141&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- [24] Putten WH van der, Mudgal S, Turbé A, Toni A de, Lavelle P, Benito P, et al. Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. 2010 [citado 26 de enero de 2023]; Disponible en: <https://research.wur.nl/en/publications/soil-biodiversity-functions-threats-and-tools-for-policy-makers>
- [25] Budhu M. *Soil mechanics and foundations*, 2nd Ed(With CD). Wiley India Pvt. Limited; 2008. 670 p.
- [26] Calderón MA, Moreno MM, Barra JE. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*





- [Internet]. 2002 [citado 26 de enero de 2023];36(5):605-620. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236511>
- [27] Brady NC. The nature and properties of soils. Macmillan; 1990. 622 p.
- [28] Arnold R. Global soil change?: Report of an International Institute for Applied System Analysis, International Society of Soil Science, United Nations. Environmental Programme: task force on the role of soil in global change. International Society of Soil Science, UNEP. Austria: UNEP; 1990 p. 110.
- [29] Estrada-Herrera IR, Hidalgo-Moreno C, Guzmán-Plazola R, Almaraz Suárez JJ, Navarro-Garza H, Etchevers-Barra JD, et al. Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia* [Internet]. diciembre de 2017 [citado 27 de enero de 2023];51(8):813-831. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1405-31952017000800813&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-31952017000800813&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [30] Segueda AN, Correa GV, Blanco JL. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. 2011.
- [31] Vallejo-Quintero VE. Importancia Y Utilidad De La Evaluación De La Calidad De Suelos Mediante El Componente Microbiano: Experiencias En Sistemas Silvopastoriles. *Colombia Forestal* [Internet]. junio de 2013 [citado 27 de enero de 2023];16(1):83-99. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0120-07392013000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-07392013000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- [32] Brunett L, González-Esquivel C, Hernández G. Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores. *Livestock Res Rural Developm.* 1 de enero de 2005;17.