



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Indicadores Biológicos Asociados a la Calidad del Suelo:
Revisión Sistemática, 2021.**

TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Anicama Navarrete Alejandro David (ORCID: 0000-0001-5019-8500)

Moron Oscategui Sheily Estefani (ORCID: 0000-0003-4632-488X)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ
2021

Dedicatoria

En primer lugar, a mis padres, que me apoyaron incondicionalmente a confiar en mí, a no rendirme y motivarme siempre dándome todo su amor y comprensión en momentos difíciles de mi carrera.

Agradecimiento

Agradecimiento a Dios por darme su bendición, ayudarme a tener fe conmigo mismo para continuar con mis metas y de una manera especial a mi familia y amigos que siempre estuvieron a mi lado incondicionalmente.

Índice de contenido

Caratula	
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de figuras	vi
Índice de gráficos	vii
Índice de abreviaturas	viii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	15
3.1 Tipo y diseño de investigación	15
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	15
3.3 Escenario de estudio.....	16
3.4 Participantes	17
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.6 Procedimientos	18
3.7 Rigor científico	20
3.8 Método de análisis de información.....	21
3.9 Aspectos éticos	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
V. CONCLUSIONES	28
VI. RECOMENDACIONES	29
REFERENCIA	30
ANEXOS.....	39

Índice de tablas

Tabla N°1: Cuadro de antecedentes de los tipos de indicadores de suelos

Tabla N°2: Cuadro de categorización

Tabla N°3: Participantes

Índice de figuras

Figura N°1: Principales componentes de la calidad del suelo

Figura N°2: Indicadores físicos, químicos biológicos y su relación con las funciones del suelo

Índice de gráficos

Gráfico N°1: Indicadores biológicos más eficientes

Gráfico N°2: Indicadores para determinar la calidad del suelo

Gráfico N°3: Actividades que generan mayor contaminación en la calidad del suelo

Índice de abreviaturas

ICS: indicadores de calidad del suelo

MBC: biomasa microbiana C

AC: C activo

BG: beta-glucosidasa

Ma: Macroporosidad

Mi: Microporosidad

TP: Porosidad total

Resumen

En la presente investigación se pretende determinar la importancia de los indicadores biológicos asociados a la calidad del suelo; siendo esta una investigación aplicada; revisando 15 estudios a nivel nacional e internacional que sustentan la importancia de los indicadores biológicos asociados a la calidad del suelo; siendo realizado para ello toma de investigaciones indexadas de fuentes como: Science Direct, ProQuest, Scielo y Google Scholar; los cuales pasaron por un proceso de inclusión y exclusión.

Los resultados en referencia al primer objetivo nos muestran que los indicadores biológicos más eficientes para determinar las condiciones del suelo son el carbón orgánico del suelo con un 31% y la biomasa microbiana también con un 31%; pudiendo decir que el interés se centra en la búsqueda del potencial catalizador microbiano y determinar la incorporación de materia orgánica y nutrientes. Respecto a los indicadores más empleados para determinar la calidad del suelo se tuvo el indicador físico con un 46% el que más sobresale seguido del indicador químico con un porcentaje del 31%; pero también hubo investigadores afirmando que la aplicación de indicadores combinados (físicos - químicos y biológicos) podrían ayudar en la detección temprana de la pérdida de calidad del suelo.

Y finalmente las actividades que generan mayor contaminación en la calidad del suelo entre las actividades antropogénicas y naturales se dan con un 73 % y 27% respectivamente; pudiendo decir que las practicas del hombre como la ganadería, causan pérdidas en la calidad de los suelos, reduciendo los indicadores productivos.

Palabras clave: Indicadores biológicos, físicos, químicos, calidad del suelo.

Abstract

The present research aims to determine the importance of biological indicators associated with soil quality; being this an applied research; reviewing 15 studies at national and international level that support the importance of biological indicators associated with soil quality; being carried out for this purpose taking indexed research from sources such as: Science Direct, ProQuest, Scielo and Google Scholar; which went through a process of inclusion and exclusion.

The results in reference to the first objective show that the most efficient biological indicators to determine soil conditions are soil organic carbon with 31% and microbial biomass also with 31%; being able to say that the interest is focused on the search for the microbial catalytic potential and to determine the incorporation of organic matter and nutrients. Regarding the most used indicators to determine soil quality, the physical indicator was the most outstanding with 46%, followed by the chemical indicator with a percentage of 31%; but there were also researchers affirming that the application of combined indicators (physical - chemical and biological) could help in the early detection of the loss of soil quality.

And finally, the activities that generate greater contamination in soil quality between anthropogenic and natural activities are given with 73% and 27% respectively; being able to say that human practices such as livestock, cause losses in soil quality, reducing the productive indicators.

Keywords: Biological, physical, chemical indicators, soil quality

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es interfase de la litósfera que se encuentra ubicado al término de la litosfera a 100 km a la corteza terrestre, presenta transformaciones constantes con la atmósfera, hidrósfera y litósfera; y su transformación dependen de la acción del aire, agua y organismos vivos (Lozano R., 2018, p.7).

De acuerdo con Hernández et al., (2008, p.19) en su investigación señala que las diferencias de las propiedades del suelo de deben principalmente por la edad y las formas del relieve en que se forman, así como, la influencia antropogénica que genera cambios en el suelo. Una de las causas antropogénicas viene a ser la remoción de la capa superficial del suelo, como ocurre en muchas partes del mundo, donde las áreas mineras a cielo abierto y durante la preparación o uso de las pistas de esquí de alta montaña, empobrece en gran medida a los protozoos y la vida del suelo en general (Maiti D. y Kumar A., 2016, p.3).

Las capas superficiales del suelo son más sensibles a las condiciones y cambios ambientales que otras partes de los perfiles del suelo; esto se refleja en secciones delgadas por la presencia de microestructuras particulares, tipos de materia orgánica y características relacionadas con la actividad de la fauna o con condiciones ambientales específicas (Gerasimova M. y Lebedeva M., 2010, p.4).

Las acciones de gestión también pueden generar consecuencias no deseadas mediante alteración de las propiedades físicas del suelo (por ejemplo, compactación y erosión) o de las condiciones químicas (por ejemplo, acidificación, pérdida de nutrientes). Estos impactos también pueden ser duraderos y pueden requerir una mitigación directa para restaurar el sistema a una condición deseada.

En efecto, cada año, la erosión del suelo provoca el abandono y la pérdida de producción de unos 10 millones de hectáreas de tierras de cultivo en el mundo; en las regiones áridas, otros 10 millones de ha por año se ven gravemente dañados debido a la salinización, en gran parte como resultado de un riego deficiente y

prácticas de drenaje inadecuadas, además, la gente, especialmente en los países en desarrollo, ha recurrido a la quema de residuos de cultivos para cocinar y calentar, lo que expone el suelo a la energía del viento y la lluvia que intensifica la erosión del suelo hasta diez veces (Pimentel, D., & Burgess, M., 2018, p.2).

En Latinoamérica y el mundo las actividades humanas, más que las fuerzas naturales, son responsables de la modificación de la calidad del suelo; como las prácticas de manejo de la tierra y los servicios de los ecosistemas, donde el uso intensivo continuo tiene efectos directos sobre la calidad del suelo (Józefowska et al., 2020, p.1)

Para ello los indicadores biológicos pueden proporcionar un diagnóstico temprano de los cambios en la calidad y los procesos del suelo en respuesta al cambio ambiental y las acciones de manejo forestal (Ratcliffe et al., 2018, p.1). Las variables que se usan con mayor frecuencia para determinar la fertilidad del suelo son los indicadores químicos y biológicos (Estrada et al., 2017, p.2).

La importancia de identificar indicadores rápidos y fiables que respondan a las interferencias antropogénicas y a los esfuerzos de mejora del suelo es para detectar la gravedad de la degradación o el nivel de recuperación de los suelos para la evaluación de la calidad del suelo (Bertini et al., 2021, p.5). De acuerdo con, García R. y Sánchez W., (2012, p.3) Señalan que no existen criterios universales para detectar la calidad del suelo es por ello que se emplean indicadores; para valorar el estado del suelo.

Así mismo surge el **problema General**: ¿Cuál es la importancia de los indicadores biológicos asociados a la calidad del suelo? y como **problemas específicos son**: ¿Cuáles son los indicadores biológicos más eficientes para determinar las condiciones del suelo? ¿cuáles son los indicadores más empleados para determinar la calidad del suelo? y ¿Cuáles son las actividades que generan mayor contaminación en la calidad del suelo?

En base a lo descrito anteriormente se formula el **objetivo General**: Determinar la

importancia de los indicadores biológicos asociados a la calidad del suelo, así mismo los **objetivos específicos son:** Identificar los indicadores biológicos más eficientes para determinar las condiciones del suelo, Analizar los indicadores más empleados para determinar la calidad del suelo y Analizar las actividades que generan mayor contaminación en la calidad del suelo.

Este estudio se justifica teóricamente por que busca recopilar datos con fines de proveer información para posteriores investigadores respecto a la valoración económica ambiental de sustento con la finalidad de tomas de decisiones el aprovechamiento y la reducción de pérdidas de las áreas naturales protegidas (Pan et al., 2020, p.2).

II. MARCO TEÓRICO

La calidad que presente el recurso suelo nos permite determinar qué tan factible puede ser y o no el suelo, respecto a 6 funciones ecológicas: El suelo como productor de biomasa, reactor con filtros, buffer, como transformador de materia para proteger el ambiente, el agua subterránea y la cadena de alimentos de la contaminación, como el hábitat biológico y reserva genética (Estrada et al., 2017, p.3). Esta calidad se puede ver afectado por causas como los procesos naturales (Erosión hídrica, eólica, reducción de la materia orgánica, entre otros), pero también como causa de las acciones antropogénicas; como los usos desmedidos de compuestos químicos por la agricultura, por metales pesados o hidrocarburos (Cruz et al., 2004, p.4).

Este es un recurso natural limitado y no reemplazable que tiene diversos servicios ecosistémicos o ambientales, como la relación que se tiene entre los compuestos geoquímicos y el ser vivo, donde se elaboran elementos clave para el ser vivo como el carbono, nitrógeno, fósforo, etc., que continuamente y por acción de la energía disponible, migran de los sistemas vivos a los componentes no vivos del planeta (Burbano H., 2016, p.3).

La capa fértil del suelo es un recurso agrícola precioso y algunos agrónomos consideran que la capa superficial es un recurso no reemplazable; una vez perdida, la renovación de la capa superficial del suelo es extremadamente lenta; de hecho, se necesitan más de 100 años para reemplazar 2,5 cm (1 pulgada) de tierra vegetal una vez que se pierde (Pimentel D. y Burgess M., 2018, p.5). Por tal motivo es parte importante de los seres humanos, ya que, influye en la parte social y económica dependiendo la manera de trato que le den a este recurso (Gardi et al., 2014, p.176).

Asimismo, en los trópicos, el cambio de uso de la tierra (LUC), explícitamente de los bosques a la agricultura convencional, está afectando negativamente la salud y la productividad del suelo, sin embargo, las consecuencias de este cambio sobre las propiedades biológicas del suelo son poco conocido en el ambiente tropical seco (Singh et al., 2020, p.1).

De igual manera en Latinoamérica, la actividad que genera alteración a la calidad de este recurso, son las actividades económicas, específicamente la agricultura; donde se emplean cada vez más compuestos químicos (fertilizantes, plaguicidas) con la finalidad de conseguir alimentos y materias primas para la elaboración de sustancias químicas, entre otros; trayendo consigo la degradación y alteración creciente del suelo (Arroyave S. y Restrepo F., 2009, p.3).

Mientras que, en los andes del Perú, la salinización, sequía o anegamiento juegan un papel considerable en la alteración del suelo, trayendo consigo también problemas para los agricultores, ya que, la erosión del suelo influye directamente con los problemas de productividad y el suelo (Ruiz O., 2016, p.31). Por tal motivo las propiedades biológicas del suelo se han medido como los indicadores más sutiles de las fluctuaciones en la calidad del suelo (choudary et al., 2021, p.1); donde sus propiedades biológicas responden rápidamente y se ven afectadas por la gestión de los nutrientes y se ha informado de una fuerte relación entre la biomasa microbiana, la respiración del suelo y las actividades enzimáticas.

En la Figura N°1 se observa la relación de los componentes de la calidad del suelo donde se encuentran la calidad ambiental, salud de los seres vivos y la productividad biológica.

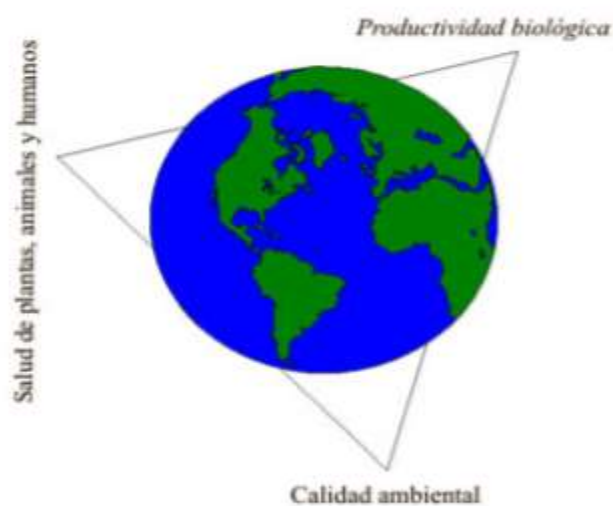


Figura N°1: Principales componentes de la calidad del suelo
Fuente: Doran y Parkin, 1994

El suelo como medio biofísico que interactúa con el ambiente es afectado por acciones antrópicas señalados anteriormente, que se reflejan a través de cambios en el paisaje, pérdida de fertilidad, compactación del suelo entre otros factores que limitan su capacidad para el desarrollo de la agricultura. Para lo cual es necesario identificar variables mínimas que ayuden a identificar estos cambios, como los ICS (Barrezueta et al., 2017, p.1).

Los indicadores de calidad del suelo son atributos medibles de este recurso que revelan la respuesta de la productividad del suelo o la funcionalidad suelo-ambiente que se utilizan para saber si la calidad del suelo está mejorando, permanece constante o declinando (Ghaemi et al., 2014, p.4).

Por ello, para determinar problemas con la calidad del suelo se utilizan indicadores; estos contienen información importante de un fenómeno y muestran los datos importantes de este para que se hagan perceptibles; cuantificando, midiendo y comunicando; este indicador es una variable cuantitativa o cualitativa; pero por lo general se recomiendan variables cuantitativas para evaluar condiciones o tendencias y brindar información para prevenir algún acontecimiento negativo (Cantú et al., 2007, p.2).

De acuerdo con Hünemeyer et al. (1997, p.2) la labor de los indicadores, debe ser:

1. Ver el estado en el que se encuentra el suelo y mostrar los puntos graves en los que se debe realizar un tratamiento.
2. Encontrarse alerta a los posibles impactos que puedan ocurrir
3. Realizar seguimiento al impacto
4. Identificar si el suelo es sostenible

De acuerdo con Masera et al., 1999, p.1) las propiedades que presenta el suelo vienen a ser: físicas químicas y biológicas, y para que estas propiedades sean consideradas como indicadores de la calidad del suelo deben cumplir ciertas condiciones, como:

- ✓ Que sean fáciles de incorporarse

- ✓ Ser mediblemente práctico.
- ✓ Ser adecuados a las disciplinas y al método empleado.
- ✓ Manifestar la cualidad de perdurabilidad que se va valorar.
- ✓ Ser entendible.
- ✓ Ser accesible ante los cambios y ante los diferentes sistemas.
- ✓ Enfocarse en asuntos sencillos y concisos.
- ✓ Deben ser sensibles a los cambios que sufre el suelo, tanto en los procesos de degradación como en los de recuperación.
- ✓ Debe haber una alta correlación con los procesos del ecosistema.
- ✓ Deben integrar los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo.
- ✓ Deben ser relativamente fáciles de medir en condiciones de campo, tanto por los productores como por los especialistas.

Los indicadores pueden ser físicos, químicos o biológicos; como se muestran en la Figura N° 2.

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes
Físicas		
Textura del suelo	Permite saber la retención del agua en el suelo y el traslado de los compuestos químicos.	Pérdida en % de tierra, limo y arcilla.
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces.	Que tan productivo puede ser un suelo y que tan erosivo puede ser.	Cm o m

-Infiltración y densidad aparente	Que tan propenso puede ser un suelo a erosionar y que tan fácil es de ser lavado y que tan eficiente puede ser.	minutos/2.5 cm de agua y g/cm ³
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica	% (cm ³ /cm ³), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación
Químicas		
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	Kg de C o N ha ⁻¹
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 ⁻¹ ; 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 ⁻¹ ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos
Biológicas		
C y N de la biomasa	Potencial microbiano	Kg de Nitrógeno o

microbiana	catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica	Carbono por hectárea relativo al Carbono y Nitrógeno total o CO ₂ emitidos.
Respiración, contenido de humedad y temperatura	Se encarga de determinar la cantidad de organismos vivos del suelo y muestra si se encuentra trabajando de manera adecuada la biomasa.	Kg de Carbono por hectárea respecto a la actividad de los microorganismo o componentes vivos del suelo; perjuicio del Carbono respecto a la entrada al depósito total de Carbono.
Número de lombrices	Relacionado con la actividad microbiana.	
N° capacidad mineralizable	Que tan eficaz se encuentra el suelo, las condiciones y el posible abastecimiento de N.	Kg de Nitrógeno ha ⁻¹ d ⁻¹ respecto al contenido de Carbono y Nitrógeno total.

Figura N°2: Indicadores físicos, químicos biológicos y su relación con las funciones del suelo

Fuente: Adaptado por Bautista et al., 2004

En los indicadores físicos; las características físicas del suelo más específicas son las relacionadas a la densidad, los poros, la solidez de los compuestos, la infiltración, la capacidad de almacenamiento hídrica y que se encuentren estables los insumos o compuestos, ya que, estos transmiten la eficiencia del suelo en el proceso de captar y recibir el agua, transportar y enviarlo hacia las plantas, de igual

manera, transmite las restricciones o deficiencias que puede presentar para el crecimiento de las plantas, raíces (Sánchez et al., 2002, p.4).

Los indicadores químicos sirven para determinar qué tan propensos son los suelos a sufrir alguna alteración o daño y los actos de acuerdo a que tan fértil, infértil, provechoso, etc., también ayuda a detectar de manera rápida y anticipada problemas de degradación, utilizando instrumentos (Orozco et al., 2015, p.2).

Los indicadores biológicos se refieren a los subproductos de los organismos y las propiedades del suelo; integran una gran cantidad de factores como la riqueza de micro y macroorganismos (bacterias, hongos, lombrices, entre otros.); donde como la biomasa microbiana es más sensible al cambio a diferencia del C total, se ha propuesto la relación C microbiano: C orgánico del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica; donde las propiedades del suelo sirven de señales tempranas de degradación o de mejoría de los suelos (Sparling, 1997, p.1).

La presente investigación presenta una recolección de 15 antecedentes los cuales nos mencionan los tipos de indicadores, mostrados en la Tabla N°1.

Tabla N°1: Cuadro de antecedentes de los tipos de indicadores de suelos

N°	Autor	País	Tipos de Indicadores del suelo	Indicadores
1	Nunes et al., 2020	EE. UU	Indicadores biológicos	SOC, biomasa microbiana C (MBC), biomasa microbiana N (MBN), respiración del suelo (Resp), C activo (AC), actividad beta-glucosidasa (BG) y proteína del suelo (Prot)

2	Askari et al., 2014	EE. UU	Indicadores físicos	21 propiedades del suelo, entre ello: Indicador potencial de la calidad del suelo.
3	Rodríguez et al., 2009	Bolivia	Indicadores físicos	Indicadores de la calidad del suelo
4	Soto et al., 2020	España	Indicadores físicos	Regulación del agua Control de la erosión Fertilidad del suelo Rendimiento de los cultivos
5	Hemati et al., 2020	China	Indicadores biológicos	Carbono orgánico total, nitrógeno total, abundancia de artrópodos, la masa de raíz seca, la abundancia de nematodos y el azufre total
6	Da Silva Aragao et al., 2020	Brasil	Indicadores químicos	pH, Al ³⁺ , H ⁺ , Al, Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , P,
			Indicadores físicos	Estabilidad agregada en agua Cálculo del diámetro medio geométrico Densidad aparente Densidad de partículas Macroporosidad (Ma), Microporosidad (Mi), Porosidad total (TP), Capacidad de campo
7	Wang et al., 2021	Japón	Indicadores físicos	Calidad física del suelo Rendimiento de los cultivos

8	Karaca et al., 2021	Turquía	Indicadores físicos	(densidad aparente-BD, capacidad de agua disponible-AWC, porcentaje de arena, limo y arcilla, relación de dispersión-DR, estabilidad agregada-AS, formación de costra-CF)
			Indicadores químicos	(reacción del suelo-pH, conductividad-EC, materia orgánica-OM y CaCO ₃ contenido), iii- elementos nutritivos (nitrógeno total-TN, fósforo disponible-AvP, potasio intercambiable ExK, calcio intercambiable-ExCa, magnesio intercambiable-ExMg, sodio intercambiable-ExNa, hierro-AvFe disponible, cupper-AvCu disponible, manganeso disponible-AvMn y contenido de zinc-AvZn disponible)
			Indicadores biológicos	(biomasa microbiana carbono-Cmin, respiración basal-BR, relación carbono de biomasa microbiana a carbono orgánico total-Cmin / CO ₂ y cociente

				metabólico- q CO2)
9	Yuan et al., 2020	China	Indicadores químicos	Carbono orgánico del suelo (COS), el carbono de la biomasa microbiana (CBM), el potasio total (TK), el potencial de oxidación-reducción (Eh) y Mn (II)
10	Valle et al., 2018	Chile	Indicadores físicos	Densidad aparente, poros de agua, poros gruesos anchos, conductividad del aire.
			Indicadores químicos	Carbono orgánico del suelo, pH en agua.
11	Da silva et al., 2020	Brasil	Indicadores físicos	Textura del suelo
			Indicadores químicos	pH, contenido de materia orgánica y fertilidad.
12	Domínguez et al., 2020	Colombia	Indicadores físicos	La densidad aparente y la proporción de agregados físicos
			Indicadores químicos	PH del suelo, materia orgánica
			Indicadores biológicos	comunidades de invertebrados, riqueza taxonómica
13	Romano et al., 2019	Argentina	Indicadores físicos	Textura como el porcentaje de las diferentes separaciones del suelo (arena, limo y arcilla)
			Indicadores químicos	Conductividad eléctrica del

				suelo, pH del suelo, nitrógeno del suelo, disponibilidad de fósforo del suelo, carbonatos de calcio y magnesio por reacción con ácido clorhídrico.
			Indicadores biológicos	Carbono orgánico total, materia orgánica, materia orgánica particulada, recuento total de microorganismos mesófilos aerobios, carbono de biomasa microbiana.
14	Kuria et al., 2019	Ruanda	Indicadores físicos	estado de degradación de la tierra, textura del suelo
15	Juhos et al., 2019	Hungria	Indicadores físicos	Textura del suelo, la profundidad al nivel freático
			Indicadores químicos	Materia orgánica del suelo (MOS), el pH

Fuente: Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es aplicada ya que ayuda a tomar decisiones sobre los temas prácticos; donde los investigadores construyen su teoría, basados en resultados específicos (Ulin et al., 2005, p.5), es decir; la presente investigación busca resolver problemas prácticos; en este sentido nos enfocamos en determinar cómo los indicadores biológicos se encuentran asociados a la calidad del suelo.

Asimismo, el diseño es narrativo de tópicos, debido a que es un esquema de investigación e intervención que cuenta una historia que ayuda a procesar asuntos que no están claros, se utiliza con el objetivo de evaluar una serie de acontecimientos (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p.504).

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización

Tabla N°2: Cuadro de categorización

Objetivo Específico	Problemas Específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis
Identificar los indicadores biológicos más eficientes para determinar las condiciones del suelo	¿Cuáles son los indicadores biológicos más eficientes para determinar las condiciones del suelo?	Indicadores biológicos	-Biomasa microbiana -N potencial mineralizable -Respiración edáfica -Contenido de agua -T° del suelo -Número de lombrices -Rendimiento de cultivo	(Arroyave S. y Restrepo F., 2009, p.3). (Ruiz O., 2016, p.31). (choudary et al., 2021, p.1); (Pimentel, D., & Burgess, M., 2018, p.2).

Analizar los indicadores más empleados para determinar la calidad del suelo	¿Cuáles son los indicadores más empleados para determinar la calidad del suelo?	Indicadores	-Biológicos -Físicos -Químicos	(Barrezueta et al., 2017, p.1). (Ghaemi et al., 2014, p.4). (Cantú et al., 2007, p.2). Hünemeyer et al. (1997, p.2)
Analizar las actividades que generan mayor contaminación en la calidad del suelo	¿Cuáles son las actividades que generan mayor contaminación en la calidad del suelo?	Actividades contaminantes	-Fuentes naturales -Fuentes antropogénicas	(Sánchez et al., 2002, p.4). (Orozco et al., 2015, p.2). (Sparling, 1997, p.1)

Fuente: Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

Nuestra investigación al tratarse de una revisión sistemática no cuenta con un escenario de estudio físico, por lo cual, se toma como el escenario a todas las investigaciones obtenidas de revisiones indexadas como libros, artículos, entre otros; todos ellos obtenidos de fuentes a nivel mundial. Con ello para elaborar el informe de investigación que traten acerca de los indicadores biológicos asociados a la calidad del suelo.

Por ellos es preciso mencionar que el escenario de estudio es donde se realizan las investigaciones revisadas corresponden a las fuentes de indicadores biológicos asociados a la calidad de suelos

3.4 Participantes

En la presente investigación se recogieron informaciones sobre los indicadores biológicos asociados a la calidad del suelo; donde se utilizaron investigaciones de diversos idiomas como inglés, chino, español, italiano, y portugués; dichas fuentes fueron obtenidas de portales web, páginas institucionales donde se obtuvieron artículos, capítulos de libros, normas legales, tesis, libros, indexadas de fuentes como: Scielo, Scopus, Web of Science y Scince Direct.

TablaN°3: Participantes

Bibliografía	
Página web institucional	Greenpeace
	Parlamento Europeo
Libros	McGraw-Hill Education
Buscadores	Science Direct
	Scielo
	Proquest
	Scopus

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

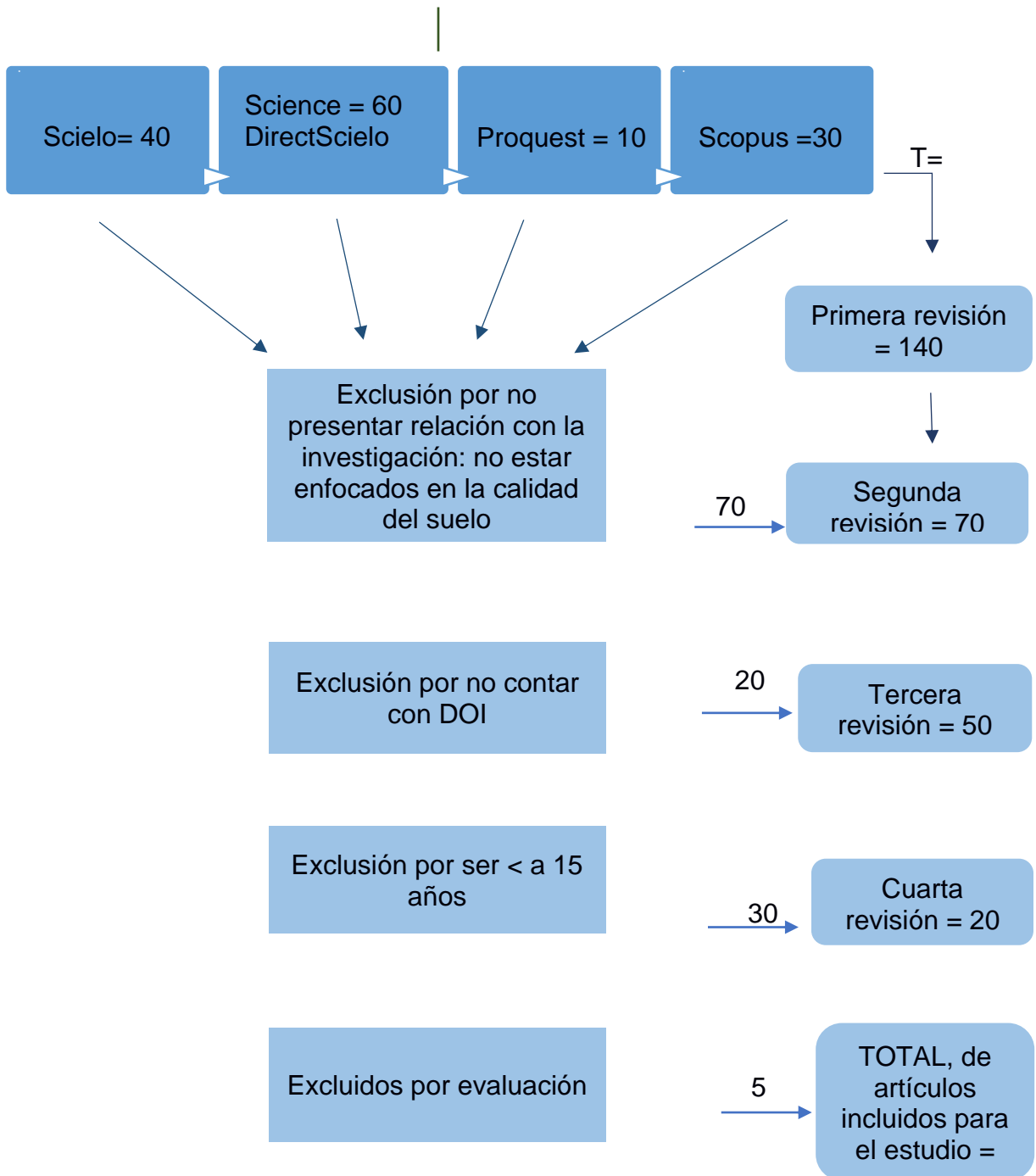
El análisis documental consiste en examinar, desglosar y reconocer una investigación; de la cual se detallan los objetivos; tales como el tipo, autor, título, número de páginas, editorial, entre otros; y su significado general o la esencia del mensaje que contiene, el cual se constituye en elemento esencial para su recuperación intelectual (Peña T. y Pirela J., 2007, p.6).

La técnica empleada ha sido la técnica de análisis documental; la cual detalla una recopilación de datos de fuentes confiables como son las revistas indexadas, asimismo el instrumento de recolección se muestra en la ficha que se encuentra en el anexo N° 1, la cual nos permitió extraer información como los nombres de los autores, los objetivos, tipos de indicadores (físicos, químicos y biológicos) y resultados.

3.6 Procedimientos

Se representa el diagrama metodológico de elaboración del trabajo de investigación; el cual nos describe el procedimiento seguido para la obtención de los artículos incluidos los estudios de investigación que traten acerca de los indicadores biológicos asociados a la calidad del suelo; en él se describen los pasos empleados.

PALABRAS CLAVE: biological indicators, soil quality, physical, chemical, biological, natural, anthropogenic sources.



3.7 Rigor científico

Nuestro trabajo tiene coherencia lógica ya que se ha extraído información de diversas fuentes indexadas debido al respaldo que presenta.

- En esta investigación se estableció bajo el criterio de dependencia o consistencia lógica; le cual es el grado en que diferentes investigadores que recolectan datos similares en el campo y efectúan los mismos análisis, generan resultados equivalentes (Franklin & Ballau, 2005, p.1). Debido a ello se estableció el criterio de dependencia, donde la consistencia de la información se realizó utilizando la estrategia de comparación de métodos y resultados.
- Se establece el criterio de credibilidad debido a que busca establecer la confianza en la investigación mediante métodos asignados. la credibilidad se logra cuando el investigador, a través de observaciones y conversaciones prolongadas con los participantes en el estudio, recolecta información que produce hallazgos que son reconocidos por los informantes como una verdadera aproximación sobre lo que ellos piensan y sienten (Castillo & Vásquez, 2003, p.2).
- Nuestra investigación cumple con el criterio de transferencia debido a que el investigador presenta un compromiso por proporcionar la suficiente información en el contexto estudiado para así compararlos con otros estudios. es la descripción detallada y completa lo más apegada a la realidad de las características del fenómeno, participantes y contexto de la investigación (Espinoza E., 2020, p.5).
- Por último, se aplica el criterio de conformabilidad o auditabilidad; este criterio señala es la habilidad de un investigador de interpretar la información de un estudio y llegar a resultados similares; por ello es importante los pasos o ideas que el autor original haya empleado (Valencia M. y Mora C., 2011, p.4) Y en el presente trabajo de investigación se ve reflejado en las técnicas y metodologías aplicadas que quedaron preestablecidas en la investigación, acerca de la aplicación de indicadores para que otros investigadores puedan continuar con el estudio.

3.8 Método de análisis de información

El procedimiento para el análisis de la información es de acuerdo a las siguientes categorías:

- Indicadores biológicos
- Indicadores
- Actividades contaminantes

También por las subcategorías que se mencionan a continuación: Biomasa microbiana, N potencial mineralizable, Respiración edáfica, Contenido de agua, T° del suelo, Número de lombrices, Rendimiento de cultivo; biológicos, físicos y químicos; fuentes naturales y fuentes antropogénicas.

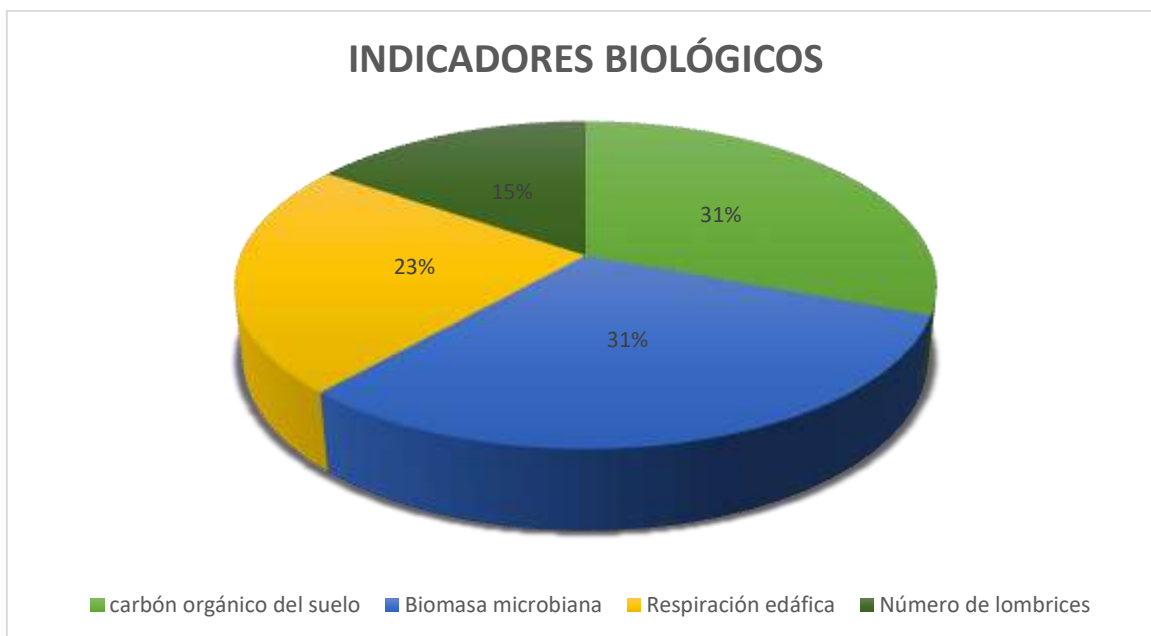
Se buscó información a nivel nacional e internacional para determinar los estudios más actualizados aplicados a los indicadores y sub categorías mencionadas anteriormente; y por último se estudió y analizó los diferentes indicadores físicos químicos y biológicos para la eficiencia de la calidad de suelo.

3.9 Aspectos éticos

El presente informe de investigación se realizó con fines académicos, donde se usaron fuentes de revistas indexadas como Science direct, Scopus, Scielo y Dialnet. Asimismo, la información proporcionada en el contenido de la presente investigación es auténtica, así como el aporte de la información de los autores utilizados ya que fueron respectivamente citados con forme lo señala la norma ISO 690-2 con el código de ética de la Universidad Cesar Vallejo, respetando los derechos de autoría y la normativa de la cesar vallejo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gráfico N°1: Indicadores biológicos más eficientes



De acuerdo al primer objetivo respecto a identificar los indicadores biológicos más eficientes para determinar las condiciones del suelo, se presentó como subcategorías a la Biomasa microbiana, N potencial mineralizable, Respiración edáfica, Contenido de agua, T° del suelo, Número de lombrices y Rendimiento de cultivo; donde se obtuvo el Gráfico N°1 teniendo como referencia al Anexo N°2.

De acuerdo a lo obtenido en el Gráfico N°1, se tiene que, los indicadores biológicos más aplicados por 15 investigadores son el carbón orgánico del suelo con un 31% siendo aplicados por: Nunes et al., 2020, Hemati et al., 2020, Romano et al., 2019, Karaca et al., 2021, y la biomasa microbiana también con un 31%, siendo aplicado por: Nunes et al., 2020, Da silva aragao et al., 2020, Karaca et al., 2021, Romano et al., 2019; buscando con ello saber el potencial catalizador microbiano. De acuerdo con (Orjuela H., 2018, p.8) el carbón orgánico del suelo o materia orgánica del suelo es derivado en pérdida de carbono; esto a causa del cambio de uso del suelo por la deforestación de los terrenos para hacer agricultura, trayendo consigo pérdida de la

calidad del suelo agrícola; es por ello, la importancia de aplicar este indicador biológico en el uso del suelo.

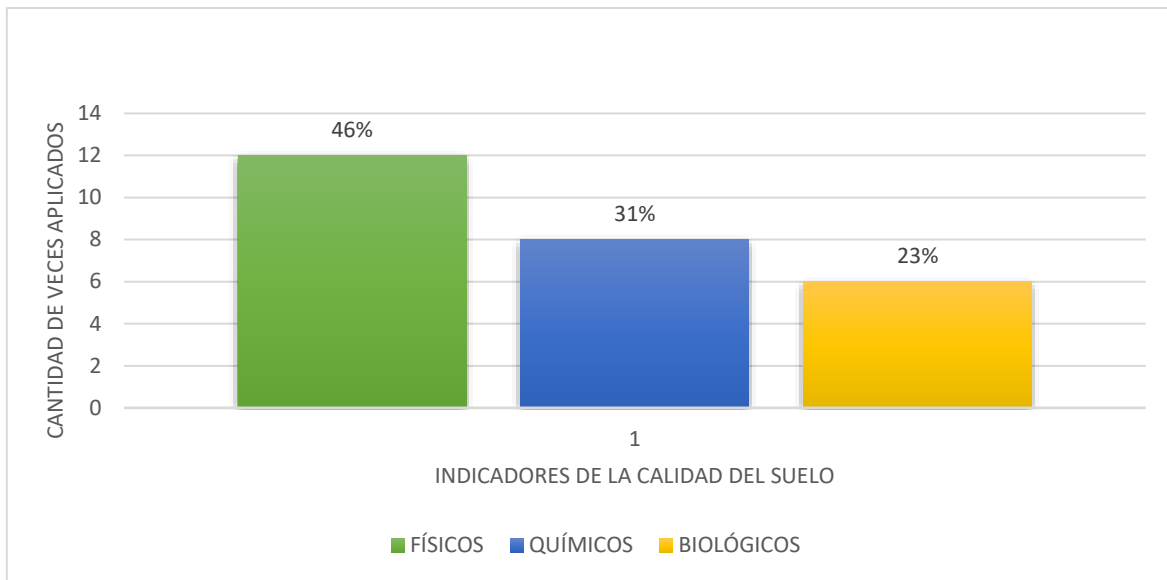
Igualmente, es también apoyada por Palomino G., (2017, p.5) quien señala en su investigación que la determinación de un mayor contenido de biomasa microbiana en el suelo bajo manejo orgánico y tradicional está asociado a una mayor incorporación de materia orgánica y nutrientes.

El estudio de Nunes et al., 2020 es apoyado por Jenkinson y Ladd, (1981, p.2) quien indica que la biomasa microbiana; cuantifica la cantidad global de microorganismos presentes en un suelo, en otras palabras, el tamaño de la comunidad microbiana presente en el suelo, se considera el componente vivo de la MOS y representa en promedio del 1 al 4% del carbono orgánico total (COT) del suelo; es por ello el principal indicador biológico a analizar.

Así también se determinó que los investigadores desean determinar la actividad microbiana; esto se ve reflejado en la importancia de saber la respiración edáfica y el número de lombrices; ya que un 23% se busca determinar la respiración edáfica y un 15% el número de lombrices; siendo estos aplicados por los investigadores: Nunes et al., 2020, Da silva aragao et al., 2020, Karaca et al., 2021 y Hemati et al., 2020, Domínguez et al., 2020, respectivamente.

Respecto al segundo objetivo de determinar cuáles son los indicadores más empleados para analizar la calidad del suelo; se tiene como sub categoría a los indicadores biológicos, físicos y químicos. ya que, no hay un criterio en específico que determine la calidad del suelo o los cambios que esté presente, por lo cual se utilizan características propias del suelo y que sean sensibles al manejo y a las condiciones climatológicas; para ello se aplican los indicadores biológicos, físicos y químicos y la relación entre ellos (García Y. y Sánchez S., 2012, p.4).

Gráfico N°2: Indicadores para determinar la calidad del suelo



En el Gráfico N°2 se realizó una comparación de 15 artículos, los cuales nos muestran los indicadores más aplicados para determinar la calidad del suelo; siendo el indicador físico con un 46% el que más sobresale; donde los investigadores que lo aplican son: Askari et al., 2014, Rodríguez et al., 2009, Soto et al., 2020, Wang et al., 2021, Kuria et al., 2019, Da silva aragao et al., 2020, Karaca et al., 2021, Valle et al., 2018, Da silva Aragao et al., 2020, Dominguez et al., 2020, Romano et al., 2019, Juhos et al., 2019.

El segundo indicador más empleado es el químico con un porcentaje del 31%; donde los investigadores que lo utilizan son: Yuan et al., 2020, Da silva aragao et al., 2020, Karaca et al., 2021, Valle et al., 2018, Da silva Aragao et al., 2020, Juhos et al., 2019.

Estos resultados obtenidos son ratificados por Vargas R., (2010, p.2) quien afirma que los indicadores potenciales que se han propuesto para determinar la calidad del suelo están enfocados en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas; siendo los enfocados en las propiedades fisicoquímicas del suelo, los que más son utilizados para evaluar la calidad del suelo.

De igual manera se pudo observar que existen investigaciones que utilizan más de

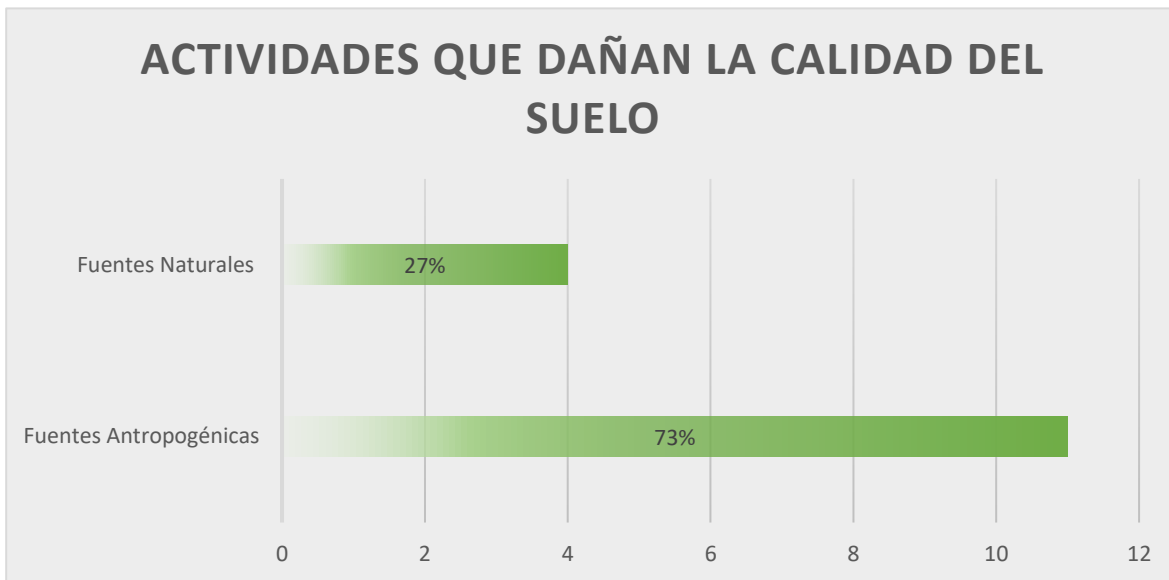
un indicador; como, por ejemplo: Indicador físico – químico - biológico (Karaca et al., 2021, Da silva aragao et al., 2020, Dominguez et al., 2020, Romano et al., 2019) y aplicando los indicadores físico - químico (Valle et al., 2018, Da silva Aragao et al., 2020, Juhos et al., 2019).

En la investigación de Soto et al., 2020 aplicando solo el indicador físico en el suelo se logró mejorar la viabilidad de la evaluación de impacto de la biomasa, actividad microbiana del suelo y los nutrientes de las hojas.

Mientras tanto, Valle et al., 2018, aplicando dos tipos de indicadores físicos y químicos, obtuvo como resultados que los indicadores consideraron propiedades del suelo tanto intrínsecas como dinámicas y pueden ser utilizados para evaluar la calidad de cualquier tipo de suelo como suelos volcánicos. Esto es rechazado por Aragao et al., 2020, quien también aplica los mismos indicadores (físicos - químicos) y presenta como resultados de su investigación que: Los atributos de biomasa microbiana presentaron mayores que los atributos químicos y físicos.

Existen investigadores como: Romano et al., 2019, Dominguez et al., 2020, Karaca et al., 2021 y Da silva aragao et al., 2020 quienes aplican indicadores combinados; es decir: utilizan los 3 tipos de indicadores; señalando que; podrían jugar un papel importante para prevenir la degradación en suelos sometidos a la aplicación de glifosato, ya que podría ayudar en la detección temprana de la pérdida de calidad del suelo así como demostraron ser eficaces para evaluar la mejoría de la calidad del suelo y su recuperación.

Gráfico N°3: Actividades que generan mayor contaminación en la calidad del suelo.



De acuerdo con el último objetivo se busca determinar las actividades que generan mayor contaminación en el suelo; para ello se obtuvo los datos obtenidos en el Gráfico N°3 respecto al Anexo N°2; donde nos indica que las fuentes de contaminación del suelo son en un 73% generados por actividades antropogénicas; siendo entre ellas las actividades más comunes las prácticas ganaderas y de agricultura.

Los investigadores que utilizan los indicadores para determinar la calidad del suelo por actividades antropogénicas son: Nunes et al., 2020, Askari et al., 2014, Rodríguez et al., 2009, Soto et al., 2020, Da silva aragao et al., 2020, Wang et al., 2021, Yuan et al., 2020, Da silva Aragao et al., 2020, Dominguez et al., 2020, Romano et al., 2019, Kuria et al., 2019.

Las fuentes naturales afectan a la calidad del suelo en un 27%; esto de acuerdo a: Hemati et al., 2020, Karaca et al., 2021, Valle et al., 2018, Juhos et al., 2019.

Kuria et al., (2019, p.1) Señala que la intensificación de la agricultura ha provocado suelos degradados y altamente vulnerables, agotados e improductivos donde los microorganismos varían y/o cambian de acuerdo a la degradación de la tierra. Este

estudio es confirmado por Vallejo V., (2013, p.2) quien afirma que las practicas ganaderas, de manejo como el sobrepastoreo causan pérdidas en la calidad de los suelos, reduciendo los indicadores productivos.

Así como existen contaminantes externos que ingresan al suelo y alteran su calidad, también se encuentran contaminantes por fuentes naturales; y es considerado contaminante de origen natural cuando excede los niveles normales aceptados y provocan un desequilibrio en el recurso (Williams C. y De la caridad A., 2013, p. 3).

Valle et al., (2018, p.2) en su investigación utiliza un conjunto de indicadores físicos y químicos para evaluar los cambios en los suelos volcánicos ya que estos son extremadamente productivos para la agricultura global gracias a sus características particulares.

V. CONCLUSIONES

Se concluye que se tiene pocas investigaciones aplicadas a la calidad del suelo utilizando indicadores biológicos; pudiendo comprobarlo en las escasas investigaciones existidas a nivel nacional e internacional.

Por ello en relación al primer objetivo para determinar los indicadores biológicos más eficientes para las condiciones del suelo, se tuvo: El carbón orgánico del suelo con un 31% fue uno de los indicadores biológicos más utilizados, así como la biomasa microbiana, también con un 31% y en relación al segundo objetivo se tuvo que; los indicadores más empleados para determinar la calidad del suelo son: el indicador físico, el que más sobresale con un 46% de aplicación y el indicador químico en segundo lugar con un 31%. De acuerdo con Wilson G., et al., (2020, p.1) los mejores indicadores de calidad del suelo son las propiedades físicas y químicas; indicadores recomendados y más utilizados a diferencia de los indicadores biológicos que no son comúnmente muy empleados.

Finalmente, las actividades que generan mayor contaminación en la calidad del suelo son las fuentes antropogénicas en un 73% mientras que las naturales solo en un 27%; lo que significa que las principales fuentes antropogénicas como las actividades agrícolas provocan como resultado la baja calidad del suelo; reduciendo la fertilidad, disminuyendo el crecimiento y el rendimiento de plantas (Gajic G et al., 2020, p.4).

VI. RECOMENDACIONES

En relación a lo investigado y a los objetivos planteados en la presente investigación se brinda las siguientes recomendaciones para las futuras investigaciones:

1. Determinar la calidad del suelo, realizar mayores investigaciones enfocadas a la aplicación de indicadores biológicos, ya que, realizar una valoración de la evaluación de las propiedades biológicas influye de forma directa en las propiedades físicas y químicas de los suelos y ayuda a que se pueda prevenir tener un suelo degradado, así como, presentar el mejoramiento de un suelo.
2. Se recomienda realizar mayores evaluaciones de la calidad del suelo utilizando diferentes de tipos de indicadores como los bioindicadores, indicadores de relieve.
3. Emplear tecnologías limpias para aumentar la calidad de los suelos en zonas agrícolas, ganaderas y mineras; que son las zonas que presentan mayor daño en la calidad del suelo por acciones antropogénicas.

REFERENCIA

1. ARROYAVE, Sandra Milena Silva; RESTREPO, Francisco Javier Correa. Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. [en línea]. Semestre económico, 2009, vol. 12, no 23, p. 13-34. [Fecha de consulta: 04 de marzo del 2021]. Disponible - ISSN 0120-6346
2. ASKARI, Mohammad Sadegh; HOLDEN, Nicholas M. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. [en línea]. Geoderma, 2014, vol. 230, p. 131-142. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.019>
3. BARREZUETA UNDA, Salomón; PAZ GONZÁLEZ, A.; CHABLA CARRILLO, Julio. Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en provincia de El Oro-Ecuador Determination of indicators for quality of soils cultivated with cocoa in the province El Oro-Ecuador. [en línea]. Revista CUMBRES, 2017, vol. 3, no 1, p. 17-24. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. ISSN 1390-9541
4. BERTINI, Simone Cristina Braga, et al. Soil physicochemical and biological profiles as indicators for Araucaria forest disturbance levels. [en línea]. Applied Soil Ecology, 2021, vol. 158, p. 103794. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103794>
5. BURBANO-ORJUELA, Hernán. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. [en línea]. Revista de Ciencias Agrícolas, 2016, vol. 33, no 2, p. 117-124. [Fecha de consulta: 04 de marzo del 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
6. CANTÚ, Mario Pablo, et al. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. [en línea]. Ciencia del suelo, 2007, vol. 25, no 2. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en:

7. Castillo, E. & Vásquez, M. (2003). El rigor metodológico en la investigación cualitativa. [en línea]. Revista Colombia Médica, Vol. 34, No. 3, pp. 164-167. [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2021].
8. CHOUDHARY, Mahipal, et al. Long-term effects of organic manure and inorganic fertilization on biological soil quality indicators of soybean-wheat rotation in the Indian mid-Himalaya. [en línea]. Applied Soil Ecology, 2021, vol. 157, p. 103754. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103754>
9. CRUZ, A. Bautista, et al. La calidad del suelo y sus indicadores. [en línea]. Revista ecosistemas, 2004, vol. 13, no 2. [Fecha de consulta: 04 de marzo del 2021]. Disponible en: ISBN 1697-2473.
10. DA ROCHA JUNIOR, Paulo Roberto, et al. Soil quality indicators to evaluate environmental services at different landscape positions and land uses in the Atlantic Forest biome. [en línea]. Environmental and Sustainability Indicators, 2020, vol. 7, p. 100047. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100047>
11. DA SILVA ARAGÃO, Osnar Obede, et al. Microbiological indicators of soil quality are related to greater coffee yield in the Brazilian Cerrado region. [en línea]. Ecological Indicators, 2020, vol. 113, p. 106205. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106205>
12. DOMINGUEZ-HAYDAR, Yamileth, et al. Evaluation of reclamation success in an open-pit coal mine using integrated soil physical, chemical and biological quality indicators. [en línea]. Ecological Indicators, 2019, vol. 103, p. 182-193. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.015>

13. Doran, J.W. y Parkin, B.T. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. [en línea]. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA. [Fecha de consulta: 07 de marzo del 2021]
14. ESPINOZA FREIRE, Eudaldo Enrique. La investigación cualitativa, una herramienta ética en el ámbito pedagógico. [en línea]. Conrado, 2020, vol. 16, no 75, p. 103-110. [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2021].
15. ESTRADA-HERRERA, I. Rayo, et al. Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. [en línea]. Agrociencia, 2017, vol. 51, no 8, p. 813-831. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. ISSN 1405-3195
16. Franklin, C. & Ballau, M. (2005). Reliability and validity in qualitative research. En: Grinnell, R. & Unrau, Y. (Eds.). Social work: Research and evaluation. [en línea]. Quantitative and qualitative approaches. (pp.438-449). Nueva York: Oxford University Press. [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2021].
17. GAJIĆ, Gordana; MITROVIĆ, Miroslava; PAVLOVIĆ, Pavle. Feasibility of Festuca rubra L. native grass in phytoremediation. [en línea]. Phytoremediation Potential of Perennial Grasses, 2020, p. 115-164. [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817732-7.00006-7>
18. GARCÍA, Y.; RAMÍREZ, Wendy; SÁNCHEZ, Saray. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso Soil quality indicators: A new way to evaluate this resource. [en línea]. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. ISSN 0864-0394
19. GARCÍA, Y.; RAMÍREZ, Wendy; SÁNCHEZ, Saray. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. [en línea]. Pastos y forrajes, 2012, vol. 35, no 2, p. 125-138. [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2021]. ISSN:

20. GARDI, Ciro, et al. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. [en línea]. Luxembourg: Comisión Europea, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2014., 2014. [Fecha de consulta: 04 de marzo del 2021].
21. GERASIMOVA, Maria; LEBEDEVA-VERBA, Marina. Topsoils–mollic, takyric and yermic horizons. [en línea]. En Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Elsevier, 2010. p. 351-368. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-53156-8.00016-7>
22. GHAEMI, Marjan, et al. Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds-east of Mashhad-Iran. [en línea]. Journal of soil science and plant nutrition, 2014, vol. 14, no 4, p. 1005-1020. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000077>
23. HEMATI, Zhila, et al. Identification of indicators: Monitoring the impacts of rubber plantations on soil quality in Xishuangbanna, Southwest China. [en línea]. Ecological Indicators, 2020, vol. 116, p. 106491. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106491>
24. HERNÁNDEZ, Alberto, et al. El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo. [en línea]. Univ. Autónoma de Nayarit, 2008. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=LdIARhjVZN4C&printsec=frontcover&dq=que+es+el+suelo&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwj73OahjZXvAhUDwVkkKHcnyBvEQ6AEwAXoECAIQAg#v=onepage&q&f=false>
25. JÓZEFOWSKA, Agnieszka; LOAIZA-USUGA, Juan Carlos; SCHMIDT, Olaf. Consequences of land-use changes for soil quality and function, with a focus on the

EU and Latin America. [en línea]. En *Climate Change and Soil Interactions*. Elsevier, 2020. p. 207-228. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00008-4>

26. JUHOS, Katalin, et al. Interpretation of soil quality indicators for land suitability assessment—A multivariate approach for Central European arable soils. [en línea]. *Ecological Indicators*, 2019, vol. 99, p. 261-272. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.063>
27. KARACA, Siyami, et al. An assessment of pasture soils quality based on multi-indicator weighting approaches in semi-arid ecosystem. [en línea]. *Ecological Indicators*, 2021, vol. 121, p. 107001. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107001>
28. KURIA, Anne W., et al. Farmers' knowledge of soil quality indicators along a land degradation gradient in Rwanda. [en línea]. *Geoderma regional*, 2019, vol. 16, p. e00199. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00199>
29. LOZANO-RIVAS, William Antonio. Suelos: Guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio. [en línea]. Universidad Piloto de Colombia, 2018. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=IrJZDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=que+es+el+suelo&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwj73OahjZXvAhUDwVkkKHcnyBvEQ6AEwAHoECAAQAg#v=onepage&q&f=false>
30. MAITI, S. K.; KUMAR, A. Energy plantations, medicinal and aromatic plants on contaminated soil. [en línea]. En *Bioremediation and Bioeconomy*. Elsevier, 2016. p. 29-47. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802830-8.00002-2>

31. NUNES, Márcio R., et al. Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. [en línea]. Geoderma, 2020, vol. 369, p. 114335. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114335>
32. ORJUELA, Hernán Burbano. El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. [en línea]. Revista de Ciencias Agrícolas, 2018, vol. 35, no 1, p. 82-96. [Fecha de consulta: 25 de marzo del 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>.
33. OROZCO, Diego David Jamioy; FLORES, Juan Carlos Menjivar; SANABRIA, Yolanda Rubiano. Indicadores químicos de calidad de suelos en sistemas productivos del Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. [en línea]. Acta agronómica, 2015, vol. 64, no 4, p. 302-307. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n4.38731>
34. Pan, Hong, et al. Organic and inorganic fertilizers respectively drive bacterial and fungal community compositions in a fluvo-aquic soil in northern China. [en línea]. Soil and Tillage Research, 2020, vol. 198, p. 104540. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104540>
35. PAOLINI GÓMEZ, Jorge E. Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. [en línea]. Terra Latinoamericana, 2018, vol. 36, no 1, p. 13-22. [Fecha de consulta: 25 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>
36. PEÑA VERA, Tania; PIRELA MORILLO, Johann. La complejidad del análisis documental. [en línea]. Información, cultura y sociedad, 2007, no 16, p. 55-81. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. ISSN: 1514-8327.
37. Pimentel, D., & Burgess, M. (2018). World Human Population Problems. [en línea]. Encyclopedia of the Anthropocene, 313–317. [Fecha de consulta: 03 de marzo del

2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809665-9.09303-4>

38. RATCLIFFE, Sophia; BOSMAN, Bernard; CARNOL, Monique. Spatial and temporal variability of biological indicators of soil quality in two forest catchments in Belgium. [en línea]. Applied Soil Ecology, 2018, vol. 126, p. 148-159. [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.020>
39. RODRÍGUEZ, N., et al. Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón. [en línea]. Revista de la Facultad de Agronomía, 2009, vol. 26, no 3, p. 340-361. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: ISSN 0378-7818
40. ROMANO-ARMADA, Neli; AMOROSO, María J.; RAJAL, Verónica B. Construction of a combined soil quality indicator to assess the effect of glyphosate application. [en línea]. Science of The Total Environment, 2019, vol. 682, p. 639-649. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.079>
41. RUIZ OLORTINO, Gean Pieer. Estudio fisicoquímico del suelo del sistema de andenería del centro poblado Cakra, provincia de Yauyos, Lima. [en línea]. 2016. [Fecha de consulta: 04 de marzo del 2021].
42. SANCHEZ-MARANON, M., et al. Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use change. [en línea]. Soil Science Society of America Journal, 2002, vol. 66, no 3, p. 948-958. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.0948>
43. SOTO, Raquel Luján; PADILLA, Mamen Cuéllar; DE VENTE, Joris. Participatory selection of soil quality indicators for monitoring the impacts of regenerative agriculture on ecosystem services. [en línea]. Ecosystem Services, 2020, vol. 45, p. 101157. [Fecha de consulta: 24 de marzo del 2021]. Disponible en:


<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101157>

44. SPARLING, G. P., et al. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. [en línea]. *Biological indicators of soil health.*, 1997, p. 97-119. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021].
45. ULIN, Priscila R.; ROBINSON, Elizabeth T.; TOLLEY, Elizabeth E. Investigación aplicada en salud pública: métodos cualitativos. [en línea]. Organización Panamericana de la Salud, 2005. [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2021]. Disponible: ISBN 92 75 31614 7
46. VALENCIA, María Mercedes Arias; MORA, Clara Victoria Giraldo. El rigor científico en la investigación cualitativa. [en línea]. *Investigación y educación en enfermería*, 2011, vol. 29, no 3, p. 500-514. [Fecha de consulta: 30 de marzo del 2021].
47. VALLE, Susana R.; CARRASCO, Jerman. Soil quality indicator selection in Chilean volcanic soils formed under temperate and humid conditions. [en línea]. *Catena*, 2018, vol. 162, p. 386-395. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.024>
48. VALLEJO-QUINTERO, Victoria Eugenia. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. [en línea]. *Colombia forestal*, 2013, vol. 16, no 1, p. 83-99. [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2021].
49. VARGAS-MACHUCA, Rogelio Nogales. Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de los suelos. En XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. [en línea]. Granada: Estación Experimental del Zaidín, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEZ-CSIC). 2010. [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2021].

50. WANG, Y. K., et al. Evaluating soil physical quality indicators of a Vertisol as affected by different tillage practices under wheat-maize system in the North China Plain. [en línea]. Soil and Tillage Research, 2021, vol. 209, p. 104970. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104970>
51. WILLIAMS, Conde; DE LA CARIDAD, Aurelia. Efectos nocivos de la contaminación ambiental sobre la embarazada. [en línea]. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 2013, vol. 51, no 2, p. 226-238. [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2021]. ISSN: 1561-3003
52. WILSON, G. V., et al. Consolidation effects on relationships among soil erosion properties and soil physical quality indicators. [en línea]. Soil and Tillage Research, 2020, vol. 198, p. 104550. [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104550>
53. YUAN, Pengli, et al. Soil quality indicators of integrated rice-crayfish farming in the Jiangnan Plain, China using a minimum data set. [en línea]. Soil and Tillage Research, 2020, vol. 204, p. 104732. [Fecha de consulta: 11 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104732>

ANEXOS

Anexo 1: Ficha de recolección de datos

	FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO	
Título:		
Páginas utilizadas:	Año de publicación: 2021	Lugar de publicación:
Tipo de investigación:		
Palabras claves:	.	
Autores:		
Objetivos:		
Tipos de indicadores	Físicos	
	Químicos	
	Biológicos	
Resultados:		

Anexo 2: Indicadores biológicos más eficientes

#	Autor	Tipo de indicador biológico	Indicador	Fuentes de contaminantes del suelo	Resultados al aplicar los Indicadores
		<ul style="list-style-type: none"> -Biomasa microbiana -N potencial mineralizable -Respiración edáfica -Contenido de agua -T° del suelo -Número de lombrices -Rendimiento de cultivo 	<ul style="list-style-type: none"> Físico Biológico Químico 	<ul style="list-style-type: none"> -Fuentes naturales -Fuentes antropogénicas 	
1	Nunes et al., 2020	<ul style="list-style-type: none"> *Carbón orgánico del suelo (COS) *Biomasa microbiana C (MBC) *Biomasa microbiana N (MBN) *Respiración del suelo (Resp) *C activo (AC) *Actividad beta-glucosidasa (BG) *Proteína del suelo (Prot) 	Indicadores biológicos	Fuentes antropogénicas / Practicas de labranza del suelo	-
2	Askari et al., 2014	-	Indicadores físicos	Fuentes antropogénicas	

				/ Manejo de pastoreo de ganado	
3	Rodríguez et al., 2009	-	Indicadores físicos	Fuentes antropogénicas / Usos de la tierra para cosecha	
4	Soto et al., 2020	Regulación del agua Control de la erosión Fertilidad del suelo Rendimiento de los cultivos	Indicadores físicos	Fuentes Antropogénicas / Agricultura	Mejoro la viabilidad de la evaluación de impacto de la evaluación rápida; biomasa y actividad microbiana, y nutrientes de las hojas.

5	Hemati et al., 2020	<p>Carbono orgánico total</p> <p>Nitrógeno total</p> <p>Abundancia de artrópodos</p> <p>Masa de raíz seca</p> <p>Abundancia de nematodos</p> <p>Azufre total</p>	Indicadores biológicos	Fuentes naturales / Diversidad de vegetal y estaciones	<p>La inclusión de indicadores biológicos es importante para evaluar la calidad del suelo.</p> <p>El N total y el carbono orgánico total se identificaron como indicadores clave de la calidad del suelo.</p>		
6	Da silva aragao et al., 2020	<p>Textura del suelo</p> <hr/> <p>pH, materia orgánica</p> <hr/> <p>carbono de biomasa microbiana</p> <p>respiración microbiana basal</p> <p>cociente metabólico</p> <p>ureasa, β-glucosidasa</p>	Indicadores físicos	Indicadores químicos	Indicadores biológicos	Fuentes antropogénicas / Tierras de cultivo de café	<p>Los atributos biológicos exhibieron una mayor capacidad para discriminar el potencial de producción del suelo que los atributos químicos y físicos.</p>

7	Wang et al., 2021	Calidad física del suelo Rendimiento de los cultivos	Indicadores físicos	Fuentes antropogénicas / prácticas de labranza	La labranza profunda mejoró la calidad física del suelo y el rendimiento del cultivo en relación con la labranza rotatoria.
8	Karaca et al., 2021	Densidad aparente-BD, capacidad de agua disponible-AWC, porcentaje de arena, limo y arcilla, relación de dispersión-DR, estabilidad agregada-AS, formación de costra-CF	Indicadores físicos	Fuentes naturales / Suelos semiáridos	Dio como resultado un índice de calidad del suelo para la evaluación de los pastos en el altiplano de la parte oriental del lago Van.
		reacción del suelo-pH, conductividad-EC, materia orgánica-OM y CaCO ₃ contenido), iii- elementos nutritivos (nitrógeno total-TN, fósforo disponible-AvP, potasio intercambiable ExK, calcio intercambiable-ExCa, magnesio intercambiable-ExMg, sodio	Indicadores químicos		

		intercambiable-ExNa, hierro-AvFe disponible, cupper-AvCu disponible, manganeso disponible- AvMn y contenido de zinc-AvZn disponible)			
		(biomasa microbiana carbono-Cmin, respiración basal-BR, relación C de biomasa microbiana a C orgánico total-Cmin / CO 2 y cociente metabólico- q CO 2)	Indicadores biológicos		
9	Yuan et al., 2020	Carbono orgánico del suelo (COS), el carbono de la biomasa microbiana (CBM), el potasio total (TK), el potencial de oxidación-reducción (Eh) y Mn (II)	Indicadores químicos	Fuentes antropogénicas / tierras de cultivos integrados de arroz y cangrejo de río	El índice de calidad del suelo se desarrolló utilizando SOC, MBC, TK, Eh y Mn (II); donde el Mn (II) fue el factor de calidad del suelo dominante, contribuyendo con un 34,24% al valor del índice integrado de calidad del suelo.

10	Valle et al., 2018	Densidad aparente, poros de agua, poros gruesos anchos, conductividad del aire.	Indicadores físicos	Fuentes naturales / suelos volcánicos	Los indicadores finales seleccionados consideraron propiedades del suelo tanto intrínsecas como dinámicas y pueden ser utilizado para evaluar la calidad del suelo en los suelos volcánicos bajo condiciones templadas y húmedas similares de formación del suelo.
		Carbono orgánico del suelo, pH en agua.	Indicadores químicos		
11	Da silva Aragao et al., 2020	Textura del suelo	Indicadores físicos	Fuentes antropogénicas / cultivos de café	Los atributos de biomasa microbiana presentaron una mayor capacidad para discriminar el potencial de producción del suelo que los atributos químicos y físicos
		pH, contenido de materia orgánica y fertilidad.	Indicadores químicos		
12	Domínguez et al., 2020	La densidad aparente y la proporción de agregados físicos.	Indicadores físicos	Fuentes antropogénicas / recuperación de	Indicador General de Calidad del Suelo (Físico, químico y biológico)

		PH del suelo, materia orgánica.	Indicadores químicos	suelo por actividades mineras.	demostraron ser eficaces para evaluar el progreso en el proceso de recuperación..
		comunidades de invertebrados, riqueza taxonómica.	Indicadores biológicos		
13	Romano et al., 2019	Textura como el porcentaje de las diferentes separaciones del suelo (arena, limo y arcilla)	Indicadores físicos	Fuentes antropogénicas / Suelos con uso de agroquímicos (glifosato)	El indicador combinado de calidad del suelo (físico, químico y biológico), podrían jugar un papel importante para prevenir la degradación en suelos sometidos a la aplicación de glifosato, ya que podría ayudar en la detección temprana de la pérdida de calidad del suelo.
		Conductividad eléctrica del suelo, pH del suelo, nitrógeno del suelo, disponibilidad de fósforo del suelo, carbonatos de calcio y magnesio por reacción con ácido clorhídrico.	Indicadores químicos		
		Carbono orgánico total, materia orgánica, materia orgánica particulada, recuento total de microorganismos mesófilos aerobios, carbono de biomasa	Indicadores biológicos		

		microbiana.			
14	Kuria et al., 2019	Estado de degradación de la tierra, textura del suelo	Indicadores físicos	Fuentes antropogénicas / Practicas de labranza del suelo	Había relaciones entre el conocimiento de los agricultores sobre los indicadores de la calidad del suelo y sus prácticas de manejo del suelo.
15	Juhos et al., 2019	Textura del suelo, la profundidad al nivel freático	Indicadores físicos	Fuentes naturales / determinar la calidad del suelo.	Los indicadores se interpretan de forma no lineal en función de la aptitud agrícola y se selecciona un conjunto mínimo de datos para la evaluación de la calidad del suelo.
		Materia orgánica del suelo (MOS), el pH.	Indicadores químicos		