



**Universidad César Vallejo**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Indicadores de la salud del suelo en la actividad agrícola: Una  
revisión sistemática**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**Ingeniera Ambiental**

**AUTORA:**

Ruiz Manuel, Anny Jasmin (orcid.org/0000-0003-2446-5905)

**ASESOR:**

Dr. Ponce Ayala, Jose Elias (orcid.org/0000-0002-0190-3143)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE ACCIÓN DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**LIMA — PERÚ**

**2022**

## **Dedicatoria**

A mi madre, por haber sido mi apoyo constante durante toda mi vida, por motivarme a ser mejor a pesar de las dificultades, por siempre creer en mi aun cuando yo no lo haga, a ella y quienes me ayudaron durante este proceso.

***Anny Jasmin***

## **Agradecimientos**

Al Dr. José Elías Ponce Ayala con el debido respeto le expreso mi sincera gratitud, por su orientación, preocupación y paciencia brindada durante el desarrollo de la presente tesis

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, PONCE AYALA JOSE ELIAS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "INDICADORES DE LA SALUD DEL SUELO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA", cuyo autor es RUIZ MANUEL ANNY JASMIN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 12 de Julio del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
PONCE AYALA JOSE ELIAS <b>DNI:</b> 16491942 <b>ORCID:</b> 0000-0002-0190-3143	Firmado electrónicamente por: PAYALAJE el 21-07- 2022 15:22:06

Código documento Trilce: TRI - 0337889

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA  
PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, RUIZ MANUEL ANNY JASMIN estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "INDICADORES DE LA SALUD DEL SUELO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda citatextual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, nicopiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
RUIZ MANUEL ANNY JASMIN <b>DNI:</b> 79306005 <b>ORCID:</b> 0000-0003-2446-5905	Firmado electrónicamente por: ARUIZMA30 el 12-07- 2022 18:42:56

Código documento Trilce: INV - 1366845

## Índice de Contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos .....	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor .....	iv
Declaratoria de Originalidad del Autor .....	v
Índice de Contenidos.....	vi
Índice de tablas .....	viii
Índice de figuras.....	ix
Resumen.....	x
Abstract .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>8</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	8
3.3. Escenario de estudio .....	10
3.4. Participantes .....	10
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	10
3.6. Procedimiento.....	11
3.7. Rigor científico .....	11
3.8. Método de análisis de datos.....	13
3.9 Aspectos éticos.....	14
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>15</b>
4.1.1. Salud del suelo en la actividad agrícola .....	19
4.1.2. Indicadores físicos de la salud del suelo en la actividad agrícola.....	28
4.1.3. Indicadores biológicos de la salud del suelo en la actividad agrícola .....	35
4.1.4. Indicadores químicos de la salud del suelo en la actividad agrícola.....	43
<b>IV. CONCLUSIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>V. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>48</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Indicadores de la salud del suelo en zonas altas.....	5
Tabla 2. Indicadores de la salud del suelo en montañas. ....	6
Tabla 3. Matriz de categorización .....	9
Tabla 4. Artículos originales seleccionados sobre indicadores de la actividad agrícola .....	15
Tabla 5. Salud del suelo en la actividad agrícola.....	21
Tabla 6. Indicadores físicos de la salud del suelo en la actividad agrícola.....	32
Tabla 7. Indicadores biológicos de la salud del suelo en la actividad agrícola ...	38
Tabla 8 Indicadores químicos de la salud del suelo en la actividad agrícola....	44

## Índice de figuras

Figura 1. Países de origen de artículos de investigación sobre indicadores de la salud del suelo en la actividad agrícola .....	19
---	----

## Resumen

El objetivo de la investigación fue identificar indicadores de la salud del suelo en la actividad agrícola. Se desarrollo una revisión sistemática por medio de la metodología PRISMA, con un intervalo de tiempo del 2017 al 2022, de los cuales se seleccionaron 20 artículos originales cumpliendo los criterios de inclusión y exclusión. Se obtuvo como resultado de la investigación la identificación de factores que alteran la salud del suelo, es decir, malas prácticas agrícolas y a su vez posibles opciones de como disminuir dichos impactos. Además, se identificadores indicadores físicos, biológicos y químicos de la salud del suelo que deben ser considerados para un correcto desarrollo agrícola. Por otro lado, se recomienda considerar más de un indicador al proceder con el estudio de la salud del suelo, considerar el clima, tipo de suelo e historial de cultivo, debido sensibilidad que pueden presentar los indicadores a estos aspectos. Finalmente, la creciente atención que ha ganado las propiedades del recurso como base fundamental de los indicadores de la salud del suelo, se presenta la necesidad de más investigaciones, rápidos, precisos, con la capacidad de poder repetirse, económicos, teniendo en cuenta el rendimiento de los cultivos.

**Palabras clave:** Indicadores, salud del suelo, agricultura

## **Abstract**

The objective of the research was to identify soil health indicators in agricultural activity. A systematic review was developed using the PRISMA methodology, with a time interval from 2017 to 2022, of which 20 original articles were selected, meeting the inclusion and exclusion criteria. As a result of the investigation, the identification of factors that alter the health of the soil was obtained, that is, bad agricultural practices and, in turn, possible options to reduce said impacts. In addition, physical, biological and chemical indicators of soil health that must be considered for proper agricultural development are identified. On the other hand, it is recommended to consider more than one indicator when proceeding with the study of soil health, considering the climate, soil type and crop history, due to the sensitivity that the indicators may present to these aspects. Finally, the increasing attention that the properties of the resource have gained as a fundamental basis for soil health indicators, presents the need for more investigations, rapid, precise, with the capacity to be repeated, economical, taking into account the performance Of crops.

**Keywords:** Indicators, soil health, agriculture

## I. INTRODUCCIÓN

El suelo es el recurso natural no renovable con mayor importancia a nivel mundial, este proporciona hábitats para el desarrollo de la biodiversidad y funciones importantes de los ecosistemas como, la producción de materia orgánica, el ciclo de los nutrientes y la infiltración del agua por medio del suelo; es por ello que la conservación de la salud de este recurso es indispensable para la vida, sin embargo, la rapidez en la que se degradan los suelos es alarmante, siendo provocado por actividades antrópicas invasivas durante la ejecución de la agricultura y posteriormente trae efectos negativos que se asocian a la salud del ser humano y medio ambiente en general (Trivedi et al., 2018 y Karaca et al., 2021).

Además, la salud del suelo es aquella integridad biológica de comunidades del suelo, que se enfoca en el balance entre organismos presentes en el recurso, y entre dichos organismos y el medio ambiente (Maharjan et al., 2020).

En tal sentido, se puede relacionar la salud del suelo a la productividad o rendimiento agrícola, debido a su potencial a pesar de las alteraciones que haya sufrido el recurso, ya sea de forma natural o antrópica, enfocándose en la auto regulación, estabilidad y capacidad de recuperarse como un ecosistema (Souza y Trippia, 2016; Drinkwater et al., 2017 y Willians et al., 2020).

No obstante, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2015), se estima que el incremento de la población actual y el proyectado, el cual excederá los nueve mil millones en el año 2050, tendrá como resultado un acrecentamiento del 60% aproximadamente, de acuerdo a la demanda de alimento, atribuyéndose las actividades antrópicas y el manejo inadecuado del recurso que influyen en la pérdida de este.

Es por ello, que entender la situación en la que se encuentra la salud del suelo es importante para una buena estabilidad y sostenibilidad que comprende el ecosistema de suelos agrícolas.

Debido a que se consideran como indicadores de la salud del suelo algunas de las propiedades fisicoquímicas del recurso, tales como: la textura, el pH, densidad aparente, contenido de humedad y drenaje, materia orgánica del suelo, relación y diversidad funcional de los organismos presente en este, los cuales influyen en sus patrones de función y resuelven el estado en que se encuentra la tierra (Kibblewhite et al., 2008). Además de otras propiedades como, infiltración, el tamaño y la estabilidad de agregados, los macroporos, la aireación, estado del agua, es decir su calidad tanto la superficial como subterránea, además de las comunidades de vida vegetal y animal presentes, entre invertebrados y microorganismos (Doran y Parkin, 1994; Parr et al., 1992).

De acuerdo a ello, se aborda la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son los indicadores de la salud del suelo en la actividad agrícola?

Esta revisión sistemática es de importancia social, pues comunidades o empresas dedicadas a la agricultura, interesadas en tener un suelo sano, el cual influye directamente en la productividad de sus cultivos, tendrán un mejor entendimiento de acuerdo a los indicadores que presenta la tierra, de este modo podrán tomar medidas necesarias de acuerdo a las condiciones en que se encuentra, evitando de este modo sobreexplotar el recurso y cambiar las malas prácticas agrícolas, los cuales provocan su pérdida.

La justificación trata la variedad de indicadores de la salud del suelo y falta de información de estos en puntos específicos del área de estudio que han limitado a las investigaciones ya realizadas para medir la influencia de las prácticas agrícolas en los indicadores del recurso o viceversa, aportando con la descripción de dichos indicadores, que se encuentran en la tierra con fin agrícola. Debido a ello se plantea como objetivo lo siguiente: Identificar los indicadores de la salud del suelo en la actividad agrícola.

## II. MARCO TEÓRICO

Los indicadores de la salud del suelo en la actividad agrícola son diversos, han sido estudiados por varios autores que presentan sus propias consideraciones para delimitarlos como tales como cuántos, cuáles y los niveles normales o saludables. A continuación, se mencionan algunos investigadores y sus consideraciones sobre la temática de estudio.

Nunes et al. (2019), estudiaron las mejoras de la salud del suelo en Nueva York, con sistemas de cultivo sin labranza, labranza reducida y perenne, además de las conversiones de arado de vertedera a labranza cero o sin intervención en zonas templadas, realizado en monocultivos, y suelos que tengan o no cultivos de cobertura cruzados en diferentes tipo de suelos como arcilloso, limosos y arenoso, por medio de 4 indicadores biológicos como el carbón activado, proteína, materia orgánica y respiración, midiéndose también indicadores físicos como, resistencia a la penetración, infiltración de agua-taza, agregación estable en agua y capacidad de está disponible, y por último indicadores químicos como la disponibilidad de nutrientes para la vegetación, nitrógeno total y pH, demostrando así que la labranza cero a largo plazo presenta mejores condiciones en los tres tipos de suelo, a medida que los indicadores muestran valores favorables, ya sea para la productividad de las plantas o mejora de la salud del recurso.

Crookston et al. (2021), analizaron a escala de campo a 16 indicadores de la salud de la tierra, comúnmente usados en evaluaciones del mismo, en el medio oeste de Estados Unidos, en donde se examinó las interacciones entre el medio ambiente, manejo y propiedades de este, encontrándose en los cultivos de maíz y soja un coeficiente de variación espacial y temporal mayor, a diferencia de la materia orgánica, proteína y pH que tuvieron valores bajos. Dicha investigación identificó a la textura del suelo, clima, disponibilidad del agua en el suelo y reservas de carbono y nitrógeno orgánico como factores que expresan la

variabilidad en los valores de los indicadores de la salud del recurso, señalando que las condiciones de campo y variaciones climáticas influyen fuertemente en el rendimiento del recurso, además, el contenido de agua y la materia orgánica aumentan la productividad del suelo.

Jian et al. (2020) y Stewart et al. (2018), sostienen que la importancia de este recurso y su inminente pérdida ha impulsado a la conversión de suelos con vegetación natural a suelos para cultivo, siendo uno de los resultados de este tipo de prácticas la pérdida de carbono orgánico del suelo, el cual es un indicador de la salud del mismo, siendo que, un (COS) alto está asociado a una buena salud del suelo y fertilidad, además del poco entendimiento a la influencia de factores externos, tales como el clima, tipo de suelo e incluso prácticas agrícolas, que influyen en la respuesta del recurso y cultivos de este.

Adhikari et al. (2021), investigaron a nivel de campo en Texas con 218 muestras las cuales se analizaron para la determinación del carbono orgánico extraíble en el agua, nitrógeno-nitrato, nitrógeno total y amoniacal, además del carbono orgánico de 24 horas que evolucionó del CO<sub>2</sub>. Obteniendo resultados, que posteriormente se emplearon para calcular la salud de suelo, de 8.5 y en el rendimiento del cultivo un 2.9 por hectárea, no obstante, los CO<sub>2</sub> de un día, el carbono orgánico extraíble en agua y el nitrógeno orgánico demostraron valores bajos, que está ligado a un menor rendimiento de los cultivos y por ende una baja salud del suelo, no obstante, el rendimiento del cultivo difirió en un suelo de arcilla negra, debido a que fue mayor, pues este tipo de suelo contiene gran cantidad de nutrientes y materia orgánica, en comparación que la arcilla de limo en época de sequía, atrayendo la buena salud e indicadores del suelo presente.

De acuerdo a ello Williams et al. (2020) y Moebius-Clune et al. (2016), sostienen que el monitoreo y el estudio de la salud del suelo es un proceso complejo, debido a que se requiere un gran entendimiento de las propiedades y procesos de la tierra que suceden en diversas escalas, es decir, desde el pedón hasta la

escala regional, además de la variedad de interrelaciones y la influencia que tiene la gestión de los suelos, siendo crucial para abordar dicha actividad.

Los indicadores de la salud del suelo son diversos y de acuerdo a la investigación realizada se pueden mencionar algunos ellos, los cuales están sujetos a la altura sobre el nivel del mar o características montañosas en donde se ubica este recurso, en estas condiciones también se encuentra el nivel de importancia de los indicadores para el desarrollo agrícola, como se muestra en las tablas 1 y 2. Por lo tanto se justifica conocer y ordenar a profundidad estos parámetros.

**Tabla 1. Indicadores de la salud del suelo en zonas altas**

Indicador de salud del suelo	Nivel de importancia del indicador de la salud del suelo
Productividad agrícola	Alto
Color	
Textura	
Bio-indicadores	
Retención del agua	
Trabajabilidad	Medio
Profundidad	
Materia orgánica (MO)	
Drenaje	
Macrofauna	
Estructura	
Erosión	Bajo
Pendiente	
Compactación	
Consistencia del suelo	

Fuente: Elaborado a partir de Crookston et al., 2021 y Eze et al., 2021.

Como se presenta en la Tabla 1. El nivel de importancia de la productividad agrícola es alto, por estar ligado al aspecto socioeconómico, debido a que, es una de las actividades más importantes, pues se ha aceptado que la salud humana es influenciada por los suelos de diversas formas, principalmente por ser suministro de alimentos o materia para producir otros alimentos para el consumo humano, de servir de purificador del agua, por sus características de retención y filtración, además de ser una fuente que permite la elaboración de medicamentos (Brevik et al., 2018). Agregando que dicha propiedad está referida a las zonas de gran altura.

Por otro lado, la trabajabilidad que presente el terreno será variable de acuerdo al área de estudio, debido que no todos los suelos presentan las mismas características, además de poder ser influenciado por factores externos como el clima.

Conforme a la erosión, se mantiene en un nivel de relevancia bajo, si se toma en cuenta sólo la causa natural, no obstante, si atribuimos a las actividades antrópicas esto podría cambiar drásticamente y cualquier resultado que se obtenga en sí variará en relación al ambiente y la gestión de suelo que se aplique (Jian et al., 2020).

**Tabla 2. Indicadores de la salud del suelo en montañas.**

Indicador de salud del suelo	Nivel de importancia del indicador de la salud del suelo
Color	Alto
Productividad agrícola	Medio
Textura	Medio

Pendiente	Bajo
Drenaje	Bajo
Viabilidad	Bajo
Bio-indicadores	Bajo

Fuente: Elaborado a partir de Crookston, 2021 y Eze 2021

Así mismo, estudiar el color del suelo es crucial para poder clasificarlo, además de indicarnos el estado en que se encuentra por la variedad de los procesos y las propiedades del mismo, agregando que la problemática que presenta analizar el color del suelo en campo son las condiciones del medio ambiente (Kirillova et al., 2021). Lo que conlleva a tener una idea del estado de la productividad del recurso y textura. Además, de ser considerado como un indicador más alcanzable que evidencia las propiedades de su estructura y funciones de la tierra. (Schmidt y Ahn, 2021).

No obstante, la pendiente, viabilidad, drenaje y bio-indicadores, son necesarios a pesar de considerarse con un nivel de relevancia bajo, cabe agregar que estas propiedades están tomadas conforme a zonas de gran altura y montañosas, siendo que no en toda área de estudio se presentaran las mismas propiedades a evaluar.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo básica o también llamada fundamental, la cual tiene como objetivo la búsqueda de conocimientos centrados en la realidad, y con ello aportar a la sociedad. Además, este tipo de investigación no apunta a la adaptación práctica de los hallazgos realizados, pues está enfocada en el incremento del conocimiento y capacidad de responder las interrogantes o en su defecto ser aplicados en otras investigaciones (Gonzales, 2004).

También es una revisión sistemática, en este sentido, la revisión está constituida por resúmenes claros y bien estructurados, conforme a la información obtenida, y enfocada a responder la interrogante, siendo estas que, al estar conformadas por diversos artículos y fuentes de datos útiles, manifiestan un alto nivel de certeza. Además de caracterizarse por explicar el proceso de elaboración, la cual será clara e inteligible para la recolección y selección de las evidencias (Moreno et al., 2018).

##### Diseño de investigación

El diseño de investigación es bibliográfico documental, enfocado a la compilación de información, los cuales generalmente son libros, reportes, artículos de revistas, etc. (Rojas, 2011). Además, será no experimental pues no se manejaron variables, pues se analizará el contexto de la información pertinente para la obtención de información ligada a los indicadores de la salud del suelo en la agricultura.

### 3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.

**Tabla 3. Matriz de categorización**

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Criterio 1	Criterio 2
Identificar los indicadores de la salud del suelo en la actividad agrícola	¿Cuáles son los indicadores de la salud del suelo en la actividad agrícola?	Indicadores de la salud del suelo	Propiedades : Químicas, físicas y biológicas	De acuerdo al tipo de suelo
Indicar la influencia de la actividad agrícola en los indicadores de la salud del suelo	¿Cuál es la influencia de los indicadores de la salud del suelo en la actividad agrícola?	Capacidad de uso del suelo	Clases de uso	po de culti
Señalar que prácticas alteran la salud del suelo en la actividad agrícola	¿Cuáles prácticas alteran la salud del suelo en la actividad agrícola?	Agricultura	Actividades agrícolas	Manejo del suelo

### **3.3. Escenario de estudio**

En esta revisión sistemática, el escenario de estudio son investigaciones ligadas a suelos para la actividad agrícola en donde se determinaron los indicadores físicos, químicos y biológicos que informan a su vez la situación en la que se encuentra la salud del recurso, conforme a las características de cada tipo de suelo. Asimismo, estos indicadores fueron estudiados para determinar la influencia en la productividad agrícola.

### **3.4. Participantes**

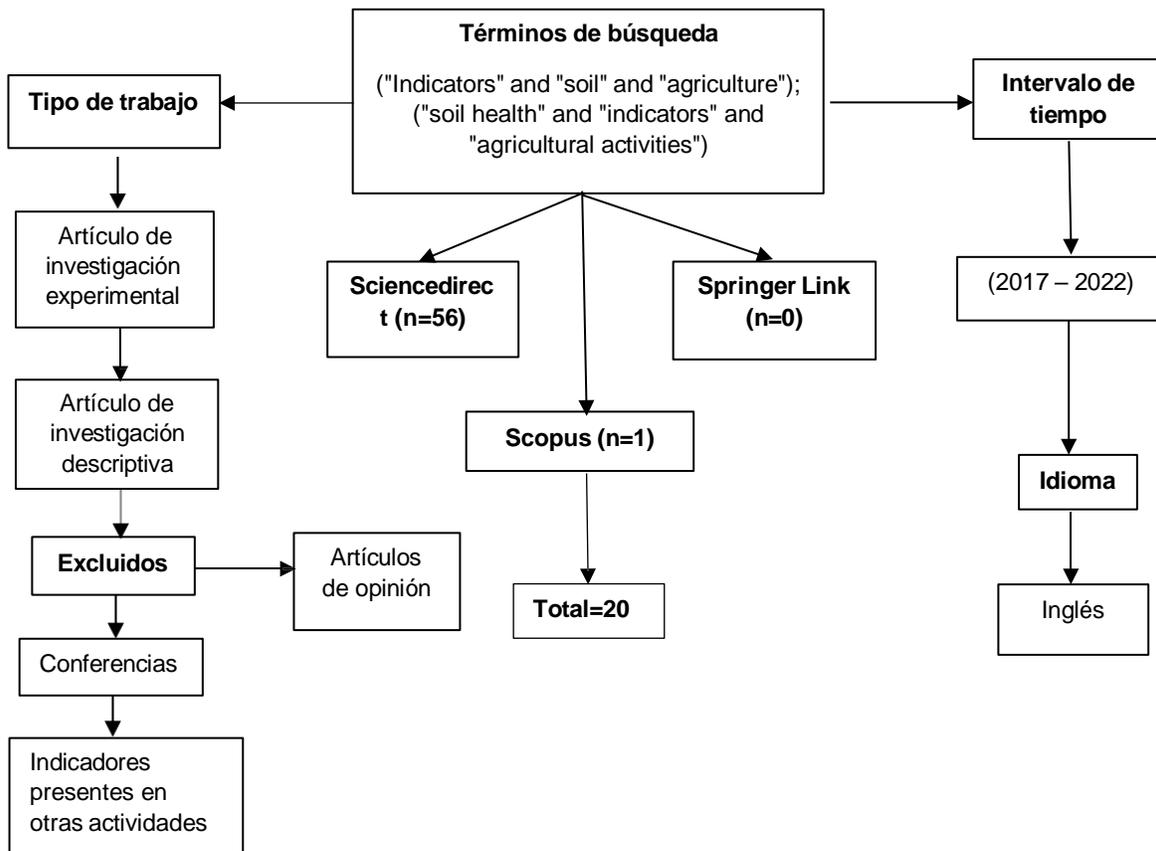
La base de datos usada para la recopilación de información de la presente revisión sistemática fue basada en la compilación de artículos de revistas indexadas procedentes de las siguientes fuentes: ScienceDirect, Scopus, Scielo y Springer.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica sujeta a la presente revisión es el análisis documental la cual está basada en la examinación de documentos o textos obtenidos de las bases de datos anteriormente mencionadas, con el fin de recolectar información útil de acuerdo al tema de investigación, siendo el instrumento desarrollado por medio de artículos científicos, ya sean descriptivos o experimentales, además de implementar como filtros palabras claves con el fin de centrar la búsqueda conforme a la temática de estudio.

Para ello, conforme la estructuración del marco teórico, se busca clasificar y examinar la información obtenida para el desarrollo de la problemática, de este modo, se desarrollaron fichas de análisis de información de los artículos científicos seleccionados.

### 3.6. Procedimiento



La búsqueda se hará por medio de palabras claves como; ("Indicators" and "soil" and "agriculture"); ("soil health" and "indicators" and "agricultural activities"), considerándose artículos de investigación experimentales y descriptivas en idioma inglés relacionados con la temática del presente estudio, siendo excluidos todo artículo de opinión, conferencias, e indicadores de la salud del suelo presente en otras actividades que no sean la agricultura en un intervalo de 2017 - 2022.

### 3.7. Rigor científico

La presente revisión sistemática al ser cualitativa está fuertemente ligada con el rigor científico, este se basa en doctrinas de reducción y ser universal, recalando el método analítico del pensamiento, caracterizándose por ser

impecable o perfecto al ser aplicado y no a la competición de métodos (Arias y Giraldo, 2011; Erazo, 2011).

### Dependencia

También denominada consistencia lógica, radica en ser el grado en que diversos investigadores que obtengan datos semejantes en campo y desarrollen análisis iguales al presentado, producen resultados equivalentes (Salgado, 2007). Además, el investigador debe disponer de la mayor claridad, de acuerdo a la metodología aplicada, siguiendo los principios de lógica formal (Mieles 2012). No obstante, la amenaza que puede presentar este tipo de consistencia es la oblicuidad que alcance a incluir el investigador en la sistematización a lo largo del análisis o trabajo en campo, si solo se dispone de una fuente única de datos y la capacidad de examinador para la codificación no es la adecuada (Salgado, 2007).

En este contexto, la importancia de comprender el tema de investigación es crucial, no basarse en una sola data y el ser meticuloso en la selección de información, teniendo en cuenta la similitud de la temática, de este modo, recabar referencias sobre indicadores de la salud del suelo presentes precisamente en la actividad agrícola.

### Credibilidad

Dicho criterio se alcanza cuando el indagador, por medio de la observación y diálogos extensos con otros integrantes en el estudio, reúne información que provoca descubrimientos, ya examinados por los informantes acercándose realmente a lo que ellos proyectan y perciben. De ese modo, la credibilidad consiste en que los resultados de la investigación son verídicos para quienes los han estudiado, realizado trabajos experimentales o teniendo contacto con lo que se está analizando (Castillo y Vásquez, 2003). Para cumplir con dicho juicio, se empleó base de datos como ScienceDirect, Scopus, y Springer, extrayendo artículos de investigación auténticos, que permiten desarrollar el estudio con gran credibilidad.

### Transferencia

Se refiere a que los resultados propios de la investigación cualitativa, puedan llevarse a otro ambiente o una situación parecida y aun así siguen conservando su significado, inferencias e interpretaciones del estudio, además, teniendo en cuenta que el fin de una investigación cualitativa no es crear generalidades, pues su objetivo es el conocimiento y la comprensión profunda de la temática, centrándose en las semejanzas generales de los descubrimientos que presentan contextos determinados (Mieles *et al.*, 2012). Concluyendo que el lector de la investigación determinará la posibilidad de transferencia a un contexto diferente (Castillo y Vásquez, 2003).

Bajo este contexto la búsqueda de información se centró en el análisis de diversos trabajos relacionados a la temática de estudio, es decir, indicadores de la salud del suelo en la agricultura, evaluando las propiedades que se consideran como tal en cada artículo seleccionado.

### Auditabilidad

También denominada confirmación, consiste en la destreza de otro indagador de seguir el camino que empleó el investigador original, revisando la documentación, ideas o decisiones utilizada por el mismo, conforme a la temática, permitiendo que otros puedan examinar los datos y lleguen a síntesis parecidas o iguales a quien desarrollo la investigación en primer lugar, siendo sólo posible si se tienen objetivos similares (Salgado, 2007).

## **3.8. Método de análisis de datos**

Para el estudio de investigación se empleó una matriz apriorística, la cual está compuesta por tres categorías: Indicadores de la calidad del suelo, capacidad de uso del suelo y agricultura, siendo la primera categoría la que

presenta dos criterios, como las propiedades: químicas, físicas y biológicas, y de acuerdo al tipo de suelo. De este modo, permitirá obtener la información pertinente de los artículos científicos seleccionados para argumentar los resultados en relación a la categoría con fin de contestar al objetivo.

Conforme a la categoría capacidad de uso del suelo, este tiene criterios como: clases de uso y tipo de cultivo, que ayudó en la busca de data relacionada a la categoría permitiendo cimentar una respuesta clara al objetivo planteado para este.

Por último, la categoría agricultura presenta criterios como: actividades agrícolas y manejo del suelo, que ayudaron para encontrar información adecuada para el estudio, por medio de artículos científicos verídicos, que posibilitan la redacción de los resultados según el objetivo.

### **3.9. Aspectos éticos**

Esta investigación ampara primordialmente la propiedad del investigador, ya sea en las teorías planteadas o conocimientos que presentaron, por medio de citas adecuadas e incluyendo las referencias bibliográficas de acuerdo a la norma APA séptima edición, durante el proceso de desarrollo.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por medio de la revisión sistemática realizada en las bases de datos, ScienceDirect, Scopus, y Springer, basada en la metodología PRISMA, en el periodo de búsqueda de 2017 al 2022 se seleccionaron 20 artículos originales en los que se identificaron indicadores de la salud del suelo en la actividad agrícola, conforme a ello los artículos originales seleccionados producto de la búsqueda se presentan a continuación (Tabla 4).

**Tabla 4. Artículos originales seleccionados sobre indicadores de la actividad agrícola**

N°	Título	País	Referencia
1	Una evaluación de los indicadores de carbono de la salud del suelo en experimentos agrícolas a largo plazo	EE. UU	Liptzin et al. 2022
2	Productividad, salud del suelo e índice de gestión del carbono de los sistemas de cultivo intensivo de maíz del Himalaya indio bajo prácticas de labranza de conservación basadas en mantillo vivo	India	Yadav et al. 2021
3	Respuesta de la salud del suelo a la remoción de paja de caña de azúcar en Brasil	Brasil	Cherubin et al. 2021
4	Cambios en la salud del suelo de pastizales a conversión de cultivos en hileras en Natric Aridisols en Dakota del Sur, EE. UU.	EE. UU	Graham et al. 2021

5	El sistema de cultivo y la textura del suelo determinan los resultados de salud del suelo y las funciones de puntuación	EE. UU	Amsili et al. 2021
6	Impulsores ambientales y de gestión de los indicadores de salud del suelo en las granjas de cultivos extensivos de Michigan	EE. UU	Tu et al. 2021
7	Efectos de los sistemas de cultivo basados en el maíz de la agricultura de conservación en la salud del suelo y el rendimiento de los cultivos en Nueva Caledonia	Francia	Kulagowski et al. 2021
8	Respuesta del maíz a indicadores de salud del suelo seleccionados en una sequía en Texas	EE. UU	Adhikari et al. 2021
9	La masa del suelo y el tamaño de la molienda utilizados para la homogeneización de la muestra afectan fuertemente los valores del carbono oxidable del permanganato (POXC), con implicaciones para su uso como indicador nacional de la salud del suelo	EE. UU	Pulleman et al. 2021
10	Indicadores de salud del suelo y rendimiento de los cultivos en respuesta a la secuencia de cultivos a largo plazo y la fertilización con nitrógeno	EE. UU	Sainju et al. 2021

11	La influencia del manejo del suelo en la salud del suelo: un estudio en finca en el sur de Suecia	Suecia	Williams et al. 2020
12	Evaluación de la sostenibilidad de la gestión del uso de la tierra en las tierras secas del norte de Etiopía mediante varios indicadores de la salud del suelo	Etiopía	Okolo et al. 2020
13	Efectos heredados de los sistemas de cultivo de granos orgánicos contrastantes en los indicadores de salud del suelo, los invertebrados del suelo, las malezas y el rendimiento de los cultivos	EE. UU	B. Jernigan et al. 2020
14	Carbono extraíble en agua caliente como indicador de la salud del mollisol en el sureste de la provincia de buenos aires	Argentina	Silvia et al. 2020
15	Un kit de herramientas de suelo para evaluar las propiedades del suelo y monitorear los cambios en la salud del suelo en contextos de agricultura en pequeña escala	Kenia - Perú	Nyamasoka et al. 2020
16	Evaluación de los parámetros de salud del suelo y aplicación del índice de sostenibilidad a campos bajo agricultura de conservación durante 3, 6 y 9 años en India	India	Bhattacharya et al. 2020

17	Cambios en los indicadores bioquímicos del suelo en diferentes etapas de crecimiento del trigo bajo la intensificación sostenible basada en la conservación del sistema arroz-trigo	India	Bera et al. 2018
18	Indicadores de salud del suelo afectados por diversas especies y mezclas forrajeras en pasturas semiáridas	EE. UU	B. Bhandari et al. 2018
19	La diversificación del sistema de cultivo y la labranza cero mejoran la salud del suelo y el rendimiento de los cultivos	EE. UU	Nunes et al. 2018
20	Evaluación de la salud del suelo para fincas cafetaleras en andosoles en Colombia	Colombia	Rekik et al. 2018

Es indispensable mencionar, conforme a los artículos seleccionados (Tabla 4), los países con la mayor cantidad de investigaciones, resaltando Estados Unidos e India, relacionando las dificultades que presentan para el desarrollo de la agricultura, ya sea debido a factores climáticos, pérdida del suelo y/o demanda de alimento (Figura 1).

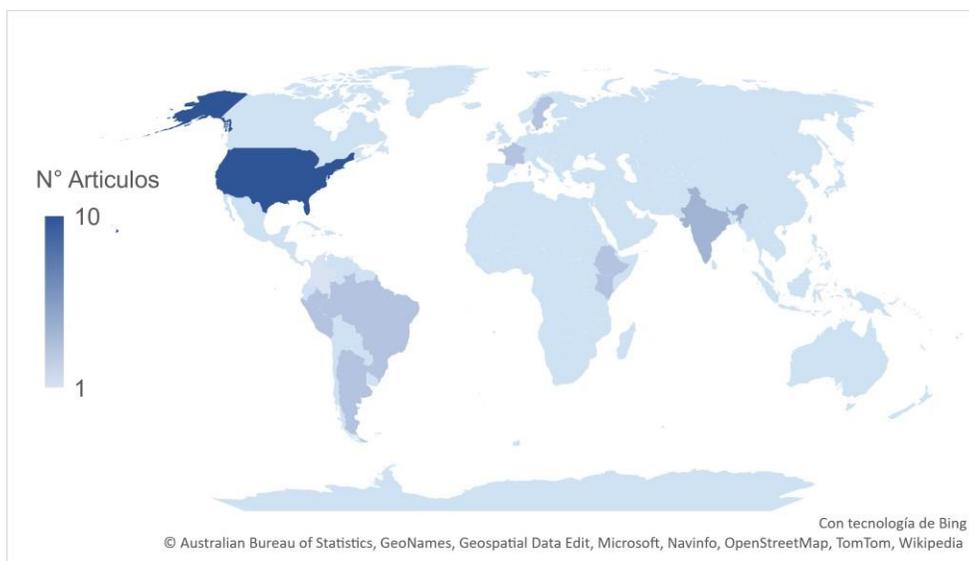


Figura 1. Países de origen de artículos de investigación sobre indicadores de la salud del suelo en la actividad agrícola.

#### 4.1.1. Salud del suelo en la actividad agrícola

Se identificó factores que influyen en gran medida a la salud del suelo, como los sistemas de cultivo e intensidad de labranza durante la actividad agrícola, puesto que, el desarrollo de malas prácticas en la agricultura produce la disminución de la productividad y pérdida del recurso a largo plazo, no obstante, valores de indicadores de carbono, materia orgánica, actividad enzimática y biomasa microbiana, respondieron de forma positiva a la reducción de la labranza y/o labranza cero, demostrando la mejora de propiedades biológicas del suelo, obteniendo mayores valores en lugares con más precipitación (Tu et al., 2021; Nunes et al., 2018). Lo cual nos confirma Lafond et al. (1994), que resalta la importancia de desarrollar correctamente las prácticas de manejo, con el fin de aumentar el almacenamiento de humedad y a su vez incrementar la disposición de las precipitaciones en la etapa de crecimiento.

Sin embargo, Liptzin et al. (2022) sostiene que, para tener una visión más clara de la magnitud y respuesta del recurso a prácticas positivas, se debe medir más de un indicador. Por lo cual, la inclusión de propiedades biológicas, como los

invertebrados y protozoos, pueden ser necesarios para una investigación más completa, debido a que están fuertemente relacionados a los indicadores de la salud del suelo y productividad de los cultivos (M. Sainju et al., 2021 y B. Jernigan et al., 2020).

Por otro lado, Nunes et al. (2018) menciona que, la implementación de prácticas de conservación como las anteriormente descritas pueden incitar la composición y preservación de los agregados estables en agua, mejorando la retención y movimiento del agua en el sistema del recurso. Además, el uso de la labranza cero, a largo plazo, puede incrementar la conectividad y continuidad de los poros del recurso, influyendo en la permeabilidad del aire y difusividad en el suelo (Martínez et al., 2016). A diferencia de la agricultura intensiva, que tiene como resultado el agotamiento de la materia orgánica, pérdidas de carbono y fertilidad, además de disminución del carbono de la biomasa microbiana con la profundidad del suelo que se emplea y por consecuente pérdida de su actividad (Okolo et al. 2020).

De acuerdo a ello, Williams et al. (2020) y P. Asmili et al. (2022) sostienen que, la diversidad de cultivos, la disminución o cese total de perturbaciones mecánicas y aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo, incrementa la salud del mismo, en la proteína extraíble del suelo y estabilidad de agregados específicamente, a diferencia del contenido de materia orgánica, carbón activo, capacidad de agua disponible y respiración de los microorganismos (heterótrofa), los cuales son influenciados por la textura del suelo y no las prácticas de manejo del recurso. Cabe mencionar que, los suelos de campos agrícolas en su mayoría presentan una salud menor que los suelos no perturbados por dicha actividad, no obstante, esta diferencia en la salud del recurso disminuyó con la mejora de las prácticas agrícolas, resaltando una vez más la importancia de prácticas adecuadas para el manejo del suelo.

Por otro lado, si bien las propiedades del suelo y por ende la salud del mismo, son influenciados por los sistemas de cultivo, se debe considerar también la fertilización. Por lo cual, M. Sainju et al. (2021) afirma que, la fertilización con nitrógeno disminuyó los agregados estables en agua, el contenido volumétrico del agua, la macroporosidad y concentración de magnesio, no obstante, se incrementó el nitrógeno total extraíble con agua, nitratos y concentraciones de nitrógeno, a diferencia de ninguna fertilización nitrogenada. Asimismo, la implementación de fertilizantes fosfatados en cultivos continuos resultó en un incremento progresivo de concentraciones de fosforo inorgánicos a diferencia de cultivos con técnica de barbecho. Cabe mencionar que, aunque estas alteraciones sean mínimas en comparación a otros factores ya mencionados, deben ser considerados debido a la sensibilidad de los indicadores.

**Tabla 5. Salud del suelo en la actividad agrícola**

REFERENCIA	FACTORES	CONCLUSIONES
Liptzin et al. 2022	Intensidad de labranza, rotación de cultivos, cobertura, enmiendas de nutrientes, riego o intensidad de pastoreo.	El efecto de la labranza reducida en el índice de carbono fue mayor en áreas de alta precipitación. La magnitud y dirección de la respuesta a las prácticas de salud del suelo fue consistente en todos los indicadores dentro del sitio, pero medir al menos dos indicadores puede aumentar la confiabilidad del efecto de manejo, especialmente para el cultivo, además, todos los indicadores carbono correspondieron al manejo, que es el criterio básico para evaluar la salud del suelo.

Yadav et al. 2021

Sistemas intensivos de mantillo vivo y labranza de conservación

Se sugiere la adopción de sistema rotativo del maíz de temporada de verano, maíz de temporada de lluvia y la mostaza implementando la labranza reducida con el mantillo vivo y labranza cero con mantillo vivo, lo cual mejora la productividad de cultivos, incrementa el carbono orgánico del suelo, el índice de gestión de carbono y por ende la salud del suelo.

Cherubin et al. 2021

Cosecha mecaniza y tratamiento de remoción de paja en tres niveles

La respuesta de la salud del suelo a la remoción de paja se ve influenciada por el clima y suelo del lugar de estudio, siendo los más susceptibles los suelos arenosos, los cuales frente una gran remoción de la paja pierde carbono orgánico del suelo una de las principales causas de la pérdida del recurso.

Graham et al. 2021

Labranza convencional / labranza cero y conversión de pastizales para cultivo

El estudio muestra que la conversión de suelo afecta negativamente y en mayor escala con la labranza convencional, a diferencia de la labranza reducida, además indicadores importantes como la densidad del suelo, proteínas y respiración mostraron sensibilidad a corto plazo de la conversión, no obstante, el carbono activo, también indicador, presento efectos anuales teniendo una

dependencia por el clima y formas de muestreo.

P. Amsili et al. 2022	Sistemas de cultivo de hortalizas mixtas, cereales anuales y hortalizas de procesamiento	Se demostró que los sistemas de cultivos, probablemente por medio de diferencias en el balance del carbono y nutrientes, los cuales dependen de la rotación de cultivos y su duración, la labranza y enmiendas empleadas, influye la salud del recurso, siendo los pastos y las hortalizas mixtas que presentaron mayor salud del suelo a diferencia de los otros cultivos.
Tu et al. 2021	Sistema de cultivo rotativo, labranza intensiva y labranza reducida	La salud del suelo se ve fuertemente influenciada por las condiciones ambientales, rotación de cultivos e intensidad de labranza. Se concluye que la diversidad de los cultivos es el único que influyen en la mejora de la estabilidad de agregados de agua, además se puede agregar que la labranza reducida influye en el aumento del carbono activo a comparación de la intensiva.
Kulagowski et al. 2021	Agricultura de conservación mantillo agricultura	Se concluyó que los dos sistemas con agricultura de conservación registran funciones más altas de mantenimiento del suelo, a diferencia de la labranza

	conservación con convencional, aunque la diferencia no fue mantillo muerto y muy notoria, agregando a ello que la labranza convencional agricultura de conservación influye ya se directa o indirectamente la salud del recurso y productividad de forma positiva.
Adhikari et al. 2021	<p>Agricultura inteligente, cultivos de maíz y clima muy seco</p> <p>El estudio concluyó que bajo climas y el tipo de suelo influyen en la salud del suelo y por ende en el rendimiento del cultivo, puesto que el suelo con mayor salud del suelo tuvo un mayor rendimiento.</p>
Pulleman et al. 2021	<p>Monitoreo nacional del suelo en EE. UU con 9 de 12 órdenes presentes</p> <p>Realizar un análisis de carbón activo basado en una masa fija de carbono orgánico del suelo puede mejorar la comparabilidad de los valores del carbón activo entre suelos con diferentes niveles de la materia orgánica del suelo, pero los puntos principales del método de carbón activo en términos de simplicidad, velocidad y bajo costo se ven disminuidos.</p>
M. Sainju et al. 2021	<p>Labranza convencional y rotación de cultivo del trigo de primavera y el barbecho</p> <p>Se demostró que de todos los indicadores objeto de estudio solo algunos presentaron influencia debido a la secuencia de cultivo de larga duración y fertilización con nitrógeno. Agregando a ello que el cultivo continuo ayudo en la mejora de la estabilidad de agregados,</p>

índices de agregados en húmedo, promedio de agregados apagados y más.

Williams et al. 2020	Sistema de cultivo rotativo y labranza convencional	La salud del suelo en las tierras cultivables era generalmente pobre en comparación con el suelo no cultivado. Además, la relación entre la integridad del suelo de las tierras agrícolas y el suelo no cultivado aumentó significativamente con el aumento de los indicadores de manejo del suelo. El estudio mostró que el buen manejo del recurso es la clave para la salud del suelo y la diversidad de plantas, la no cultivación y el uso de aditivos orgánicos, promueve la salud del suelo.
Okolo et al. 2020	Agricultura intensiva	El aumento de la intensidad en el uso del recurso provocó pérdidas de carbono y fertilidad, agregando a ello la pérdida del carbono de la biomasa microbiana con la profundidad del suelo y con ello la disminución de la actividad microbiana, aunque ello no se puede aplicar en todos los tipos de suelo, cabe mencionar que una agricultura intensiva agota más rápido la materia orgánica del suelo.

B. Jernigan et al. 2020	Sistemas de cultivo: fertilidad baja, fertilidad alta, mejor manejo de malezas y labranza reducida.	El estudio demostró que la presencia de invertebrados en el suelo interviene en la relación de los indicadores de la salud del suelo y productividad, además de brindar apoyo directo de dichos invertebrados presentes en el recurso en los estudios de la salud del suelo.
Silvia et al. 2020	Agricultura sostenible	El carbono que se puede extraer del agua hirviendo es sensible a los cambios causados por el cultivo y está asociado con varias otras propiedades del suelo que indican la salud del suelo, por lo que puede usarse como un indicador importante de la salud del suelo. La decisión es simple, rápida, económica y ventajosa para su adopción por laboratorios comerciales de análisis de suelos.
Nyamasoka et al. 2020	Agricultura convencional – en pequeña escala	El estudio sugiere que el método propuesto puede aplicarse en zonas agrícolas de pequeña escala para entender a mejor detalle el rendimiento de los cultivos, evolución del estado del suelo y cuantificación de los cambios producidos por el manejo en la salud del suelo, puesto que están relacionados en conjunto.

Bhattacharya et al. 2020	Agricultura de conservación labranza convencional	Los indicadores de la salud del suelo objetos de estudios presentaron índices favorables con la agricultura de conservación en mayor y menor de profundidad del suelo, además esta y práctica aumenta el carbono orgánico del suelo y convierte los sistemas en sostenibles disminuyendo la necesidad de usar insumos a diferencia de la labranza convencional.
Bera et al. 2018	Intensidad de labranza y manejo de residuos de cultivo	El presente estudio presento tres indicadores bioquímicos confiables y con gran sensibilidad a cambios presentes en el suelo como las prácticas de manejo de residuos y labranza, siendo la biomasa microbiana, respiración del suelo y cociente microbiana, agregando a ello que zonas con mayor intensidad de labranza presento un menor índice de la salud del recurso.
B. Bhandari et al. 2018	Agricultura convencional	Los efectos que promueven el crecimiento del pasto azul del Viejo Mundo que contiene alfalfa en las comunidades microbianas del suelo sugieren que esta combinación dietética es beneficiosa para la salud del suelo en comparación con el tallo azul de viejo mundo ( <i>Bothriochloa bladhii</i> ), alfalfa sola

y pastos nativos mixtos. La supresión previamente informada de *Bothriochloa bladhii* en hormigas que habitan en el suelo no resultó en la supresión de componentes microbiológicos en el suelo.

Nunes et al.  
2018  
Cultivos de cobertura,  
rotación de cultivos,  
labranza cero y  
labranza con arado

Este estudio muestra que la labranza cero es factible en regiones templadas, promueve mejoras significativas en la salud del suelo y el rendimiento de los cultivos, y cuando la labranza cero se combina con la rotación de cultivos (perennes) y cultivos cubiertos, se obtienen estos beneficios.

Rekik et al.  
2018  
Agricultura sostenible

El estudio concluye que el carbón activado es el mejor predictor de la salud del suelo, y cuando se combina con proteína, P y pH, el carbón activado proporciona previsibilidad adicional y sugiere una prueba de salud del suelo simplificada.

#### **4.1.2. Indicadores físicos de la salud del suelo en la actividad agrícola**

Se identificaron indicadores físicos más empleados para la determinación de la salud del suelo: Densidad aparente, capacidad de retención de agua en el suelo, tasa de infiltración, estabilidad de agregados, estabilidad del agregado húmedo, contenido de agua del suelo (Yadav et al., 2021; Cherubin et al., 2021; Graham et al., 2021; P. Amsili et al., 2021; Williams et al., 2020; B. Jernigan et al., 2020; Bhattacharya et al., 2020; B. Bhandari et al., 2018; Nunes et al., 2018;

Rekik et al., 2018). De los cuales se destacan por lo indispensable: la densidad aparente, capacidad de retención de agua y estabilidad de agregados.

Primeramente, el método del núcleo o cilindro, considerado el más sencillo de efectuar, determina la masa del suelo seco que se encuentra en el cilindro, siendo el más empleado para determinar la densidad aparente de un suelo agrícola, ya sea por su accesibilidad o facilidad de ejecución, además de otorgar una vista más detallada del estado del recurso (Cherubin et al., 2021, Upendra et al., 2021 y Bhattacharya et al., 2020). Debido a que el suelo pudo pasar por diversos procesos que lo comprimen a causa de cargas o presiones, de los que se halla visto expuesto, ello provoca una disminución del volumen de poros, modificación de la estructura de los mismos y por ende un aumento de la densidad aparente (Baver et al., 1973). Asimismo, Bengough (1991) y Atwell (1993) afirman que, los cambios en la estructura del suelo por compactación provocan alteraciones en las propiedades volumétricas del recurso, lo que impacta negativamente al desarrollo de las plantas, resultado de una disminución en la conductividad hidráulica y capacidad de la retención de agua, alterando la difusión de gases del suelo. Asimismo, estas alteraciones ocasionan déficit de aireación y suministro inadecuado de oxígeno que influye en el desarrollo de los cultivos.

De acuerdo a ello, Krull et al. (2004) sostiene que, la porosidad del suelo y su retención de agua están estrechamente relacionados, debido a que la capacidad de retención de agua esta influenciada por el número de poros, el tamaño de los mismos y la superficie de cada tipo de suelo.

En segundo lugar, el método de caja de Kneer-Raczkowski o caja de arena (Yadav et al., 2021 y Nunes et al., 2018). Es un instrumento empleado para la medición de distintos puntos de retención de agua del suelo, dicha información ayuda a la construcción inicial de la curva de retención de agua la cuál posee el recurso. Este método de laboratorio requiere de muestras no alteradas, que comúnmente son tomadas en anillos Kopechy aplicándose el equilibrio

hidrostático sobre las muestras inalteradas (Orellana, 2010). Cabe mencionar, que este método es el más simple de ejecutar y de bajo costo. No obstante, Orellana (2010) afirma, que el método de la placa y membrana de presión presenta mayor eficacia, en comparación con cualquier otro método para determinaciones de potenciales mátricos de suelo en laboratorio, caracterizándose por determinar puntos de retención del agua presentes en el suelo por medio de un rango de presiones altas que oscilan de 1 a 15 bares, con la finalidad de que el agua que la muestra de suelo ha retenido, al verse expuesta a una diferencia de presión, se equilibre con la tensión matricial.

En tercer lugar, el método Yoder, el cual consiste en tamizar una muestra de suelo, ya sea en húmedo o seco, es el más común para la determinación de este indicador y a su vez ha sufrido modificaciones con el fin de mejorarlo (Graham et al., 2021; Williams et al., 2020; Bhattacharya et al. 2020; P. Amsili et al., 2021 y B. Jernigan et al., 2020) No obstante, se debe destacar el tamizado en húmedo, el cual simula los procesos naturales de la lluvia que suceden en campo, que consiste en humedecer y transportar los agregados.

Asimismo, Six et al., (2004) y Bronick y Lal (2005) sostienen que, la importancia de estudiar este indicador se debe a que, los agregados del suelo se encargan de proteger físicamente la parte orgánica, lo cual influye en la estructura de la biota, el ciclo de nutrientes y el ciclo del carbono. Además, regula la retención de agua, la aireación y flujo, repercutiendo sobre la sensibilidad a la erosión del suelo y dispersión de químicos originado por actividades antrópicas. Se debe destacar, que el estado de agregación, por medio de cambios en la división de tamaños de los agregados y estabilidad, presenta una alta sensibilidad a las alteraciones conforme al manejo del suelo y el decisivo para la salud del recurso.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, podemos considerar la importancia de saber los indicadores físicos del recurso en cuestión y sus formas de cálculo,

con el fin de tener una idea más precisa y acertada del manejo del suelo en la agricultura, las cuales se presentan a continuación:

**Tabla 6. Indicadores físicos de la salud del suelo en la actividad agrícola**

INDICADOR	METODO DE MEDICIÓN	DETERMINACIÓN	TIPO	UNIDADES	CREADOR	AÑO DE CREACIÓN	REFERENCIA	FORMULA
Densidad aparente	Método del núcleo	Determina la masa del suelo seco que se encuentra en el cilindro	Cuantitativo	Mg/m <sup>3</sup>	Blake y Hartge	1986	Cherubin et al., 2021, Upendra et al., 2021 y Bhattacharya et al., 2020	$D_a = \frac{\text{peso del núcleo con suelo seco en horno} - \text{peso del núcleo}}{\text{volumen del núcleo}}$
Capacidad de retención de agua en el suelo	Método de caja de Kneer-Raczkowski	Señala el agua disponible para la planta	Cuantitativo	%	Lal, R.	1978	Yadav et al., 2021 y Nunes et al., 2018	$WHC (\%) = \frac{\text{Agua total en el suelo saturado}}{\text{Horno} - \text{peso seco del suelo}} \times 100$
Capacidad de retención de agua en el suelo	Método de la placa y membrana de presión	Señala el agua disponible para la planta	Cuantitativo	%	SEMARNAT	2002	Upendra et al., 2021	$\theta_g = \frac{\text{peso del bote} + \text{peso del suelo húmedo} - \text{peso del bote} + \text{peso del suelo seco}}{\text{peso del bote} + \text{peso del suelo seco} - \text{peso del bote con tapa}} \times 100$

Tasa de infiltración	Infiltrómetro	Determina la velocidad en que el agua penetra en el suelo a través de su superficie	Cuantitativo	mm/h	Münz		Yadav et al., 2022	$d = K \times t \wedge m$
Estabilidad del agregado húmedo	Método de tamizado en húmedo	Determina la estabilidad de agregados del suelo	Cuantitativo	g	Moebius	2006 - 2007	Graham et al., 2021 y Williams et al., 2020	$WSA \frac{1}{4}$ $w_{stable} = w_{total}$ ; donde $w_{stable} = w_{total} - (w_{apagada} + w_{piedras})$
Estabilidad estructural	Método de Yoder	Porcentaje de agregados estables	Cuantitativo	%	Yoder	1936	Bhattacharya et al., 2020, P. Amsili et al., 2021 y B. Jernigan et al., 2020	$\% EE = \frac{\text{Peso (agregado + arena)} \times 100}{\text{Peso inicial} - \text{Peso arena}}$  $\% EA = \frac{[(\text{peso del recipiente más el peso de los agregados estables y la arena} - \text{peso del recipiente más la masa de arena}) / (\text{peso de la muestra} - \text{peso del recipiente más la masa de arena} + \text{peso del recipiente})] \times 100}{100}$
Estabilidad del agregado húmedo	Método de simulador de lluvia	Porcentaje de agregados estables	Cuantitativo	%	Ogden et al.	1997	Nunes et al., 2018 y Rekik et al., 2018	

Contenido  
de agua del  
suelo

Método  
gravimétrico

Porcentaje del  
contenido de agua  
en el suelo

Cuantitativo

%

Hillel

1998

Nunes et al.,  
2019

$W\% = (\text{Masa de agua} / \text{Masa del suelo}) \times 100$

#### **4.1.3. Indicadores biológicos de la salud del suelo en la actividad agrícola**

Se identificaron los siguientes indicadores biológicos para la determinación de la salud del suelo: Contenido total de carbono, carbono orgánico total, materia orgánica del suelo, proteína extraíble con citrato esterilizada en autoclave, proteína del suelo, respiración del suelo, actividad biológica del suelo, carbono de la biomasa microbiana, carbón activo (POXC), carbono extraíble en agua caliente, nitrógeno total (Liptzin et al., 2022; Pulleman et al., 2021; Tu et al. 2021; Yadav et al., 2021; Kulagowski et al., 2021; P. Amsili et al., 2021; Cherubin et al., 2021; Graham et al., 2021; Bera et al., 2020; Bhattacharya et al., 2020; B. Jernigan et al., 2020 y Nunes et al., 2018; Williams et al. 2020; Nyamasoka et al., 2020; Nunes et al., 2018; B. Bhandari et al., 2018; Rodríguez et al., 2020)

En primer lugar, el método de oxidación húmeda, empleada para la determinación de carbono orgánico oxidable en el suelo (Yadav et al., 2021 y Bera et al., 2020) adoptado mayormente por su simplicidad, a sufrido diversos cambios con la finalidad de reducir insumos y mejorar la titulación. De acuerdo a ello Borges et al. (2001) sostiene que, el método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo con el uso de una solución de dicromato de potasio y el calor generado resultado de la reacción al ser mezclada con ácido sulfúrico concentrado, al transcurrir 30 minutos la mezcla se diluye, seguidamente se incorpora ácido fosfórico buscando evitar interferencias del sulfato ferroso y posteriormente el dicromato de potasio restante es calculado con sulfato ferroso. Cabe destacar que, el procedimiento ayuda a detectar un 70% a 84% del indicador, debido a ello, se presenta la necesidad de emplear un factor de corrección el cual puede diferir conforme al tipo de suelo. Por otro lado, FAO (2021) afirma que, si bien los métodos como oxidación húmeda son empleados para la cuantificación de las diversas formas de carbono, el método de combustión seca (Dumas) determina el carbono total presente en el suelo, que a su vez representa toda forma química de carbono en el recurso.

Asimismo, Martínez et al. (2008) sostiene que, la importancia de analizar indicadores de carbono en un suelo agrícola radica en que está relacionado con la sustentabilidad de los sistemas de cultivos alterando las propiedades del recurso relacionadas con el rendimiento de cultivos. El carbono orgánico del suelo está vinculado a la disponibilidad y cantidad de nutrientes, debido a su aportación de nitrógeno, a pesar de ser mínimamente. Además, al verse modificado la acidez y la alcalinidad hasta un punto cercano a la neutralidad, el carbono orgánico del suelo incrementa la solubilidad de varios nutrientes. Del mismo modo, la cantidad del carbono orgánico del suelo no depende únicamente de condiciones ambientales puntuales, puesto que es afectada en gran medida por el manejo del suelo.

Por otro lado, el método de pérdida del peso por ignición es empleado para la determinación de la materia orgánica del suelo, este consiste en secar las muestras de suelo al horno a una temperatura de 105°C por 3 horas, para posteriormente secarse en una desecadora y pesarlas previo a ser calcinadas a 350°C, 430 °C y 600°C por 2 horas en un horno de mufla, para después ser enfriadas en un desecador y ser pesadas una vez más, finalmente con los valores obtenidos se procede al cálculo del porcentaje de dicho indicador (Graham et al. 2021 , P. Amsili et al. 2021, Williams et al. 2020, B. Jernigan et al. 2020 y Nunes et al., 2018). No obstante, Barrezueta et al. (2020) sostiene que, en comparación a otros métodos como, Walkley y Black y combustión seca, el método propuesto por Davies, Schulte y Hopkins, no depende del cálculo previo del carbono orgánico, lo cual significa una gran ventaja.

Con respecto a la determinación de carbón activo (POXC), es un indicador altamente sensible a alteraciones en el suelo, siendo idóneo como indicador, este a su vez es una medida de la materia orgánica altamente oxidable. Por ello se calculó como carbono oxidable de permanganato (Liptzin et al., 2022, Pulleman et al., 2021; Nyamasoka et al., 2020; Williams et al., 2020; Graham et al. 2021; Tu et al. 2021; Nyamasoka et al., 2020). Cabe mencionar que, los

diversos casos que presentaron los investigadores de este indicador fueron basados en Weil et al. (2003).

De acuerdo a lo anteriormente mencionado se presenta la siguiente tabla con indicadores biológicos de la salud del suelo en la actividad agrícola y sus formas de cálculo.

**Tabla 7. Indicadores biológicos de la salud del suelo en la actividad agrícola**

INDICADOR	METODO DE MEDICIÓN	DETERMINACIÓN	REACTIVOS Y/O COMPUESTOS	TIPO	UNIDADES	CREADOR	AÑO DE CREACIÓN	REFERENCIA	FÓRMULA
Contenido de carbono orgánico oxidable del suelo	Método de oxidación húmeda	Se estima el dicromato remanente no reducido por retro-titulación con sulfato ferroso	Dicromato de potasio - sulfato ferroso (complejo fenantrolina-ferroso)	Cuantitativo	%	Walkley y Black	1934	Yadav et al., 2021 y Bera et al., 2020	$\% CO = B - Tg$ 0.39 mcf
Contenido total de carbono	Método de combustión seca con Autoanizador	Cuantifica el contenido de MO a partir de diferencias gravimétricas, al ser sometida a temperaturas elevadas durante un determinado tiempo	No aplica	Cuantitativo	g/kg	Dumas	1988	Liptzin et al., 2022 y Cherubin et al. 2021	No aplica
Carbono orgánico total	Analizador de TOC (Vario TOC Select)	Cuantifica mediante un detector infrarrojo no dispersivo	No aplica	Cuantitativo	% - mg/l C.	Elementar	2011	Cherubin et al. 2021 y Bhattacharya et al. 2020	No aplica

Materia orgánica del suelo	Método de pérdida del peso por ignición	Calcula el porcentaje de la materia orgánica del suelo	No aplica	Cuantitativo	%	Davies, Schulte y Hopkins	1974 - 1996	Graham et al. 2021, P. Amsili et al. 2021, Williams et al. 2020, B. Jernigan et al. 2020 y Nunes et al., 2018
Carbono oxidable permanganato (POX-C)	Espectrofotómetro de mano (curva de calibración)	Medición de la absorbancia a 550 nm (concentración de una sustancia en una muestra desconocida)	Permanganato de potasio (KMnO <sub>4</sub> )	Cualitativo - Cuantitativo	abs / %	Lambert-Beer	1729	Graham et al. 2021 y Tu et al. 2021 $y = mx + b$ . R <sup>2</sup> como control estadístico ; $A = \epsilon \times c \times l$
Proteína extraíble con citrato esterilizada en autoclave	Medición de glomalina - Método de BCA	Empleado como medida del nitrógeno unido orgánicamente en la materia orgánica del suelo	Tampón de citrato de sodio - ácido bicinónico	Cuantitativo	mg . g-1	Wright y Upadhyaya	1996	Graham et al. 2021, P. Amsili et al. 2021 y Williams et al. 2020 No aplica
Respiración del suelo	Respirómetro	Determina la cantidad de oxígeno consumida	Hidróxido de potasio (KOH)	Cuantitativo	kg/ha/d	Warburg	1926	Graham et al. 2021 y B. Jernigan et al. 2020 No aplica

POX-C	Oxidación del carbono lábil	Determina el carbono oxidable con permanganato de potasio (KMnO <sub>4</sub> -C) o carbono lábil (LBC) de forma cuantitativa	Permanganato de potasio (KMnO <sub>4</sub> )	Cuantitativo	mg . g-1	Weil et al. 2003	Nyamasoka et al., 2020	$\text{POXC (mg kg}^{-1}) = \frac{((0.020 \text{ mol L}^{-1} - (a + (b \times \text{Abs} - \text{adj}))) \times (9000 \text{ mg C mol}^{-1}) \times (0.02 \text{ L}))}{\text{Masa del suelo (kg)}}$
Proteína del suelo	Extracción de muestra de suelo con citrato de sodio, posteriormente se cuantifica por medio de un ensayo ácido bicinonínico contra una curva estándar albúmina de suero bovino	Determinación de la proporción de proteína sobre MOS	Citrato de sodio - ácido bicinonínico	Cuantitativo	%	Weil et al. 2003	P. Amsili et al. 2021 y Nunes et al., 2018	$\% \text{Protein/SOM} = \frac{\text{Proteína}}{\text{MOS}} \times 100$

Respiración del suelo	Trampa de álcali	Mide la producción de CO <sub>2</sub>	Hidróxido de sodio (NaOH) - ácido clorhídrico (HCl) - cloruro de bario (BaCl <sub>2</sub> )	Cuantitativo	mg C-CO <sub>2</sub> kg-1 suelo seco día-1	Isermeyer y Alef	1972 / 1995	P. Amsili et al. 2021	mg C-CO <sub>2</sub> = (VB-VM) × 6 × NHCl
Actividad biológica del suelo	Prueba de la lámina de cebo	Estima actividad alimenticia de fauna edáfica	la estándar (Elaborado con celulosa en polvo, hojuelas de salvado y carbón activo)	Cuantitativo		Von Torne	1990	Kulagowski et al., 2021	Metodos estadísticos: Análisis de varianza y comparación de medias por test de Tukey
Carbono de la biomasa microbiana	Método de fumigación n-extracción con cloroformo	Determina carbono de biomasa microbiana	el Cloroformo (CHCl <sub>3</sub> ) sin etanol y sulfato de potasio	Cuantitativo	mg C / kgss	Vance et al.	1987	Kulagowski et al., 2021, Bera et al., 2020 y B. Bhandari et al., 2018	C en la biomasa = Ec / Kec y C de Biomasa Microbiana = ((C-CO <sub>2</sub> fumigado)-(C-CO <sub>2</sub> No fumigado))/k c
Carbón activo (POXC)	Método simplificado con dilución del KMnO <sub>4</sub> ligeramente alcalino en	Cuantificación de la oxidación del permanganato de potasio	KMnO <sub>4</sub> ligeramente alcalino	Cuantitativo	ppm	Weil et al.	2003	Liptzin et al., 2022, Pullema et al., 2021, Nyamasoka et al., 2020 y	POXC (mg kg-1) = ((0.020 mol L <sup>-1</sup> - (a+(b x Abs - adj))) x (9000mg C mol <sup>-1</sup> ) x (0.02L)) / y

								Williams et al., 2020	Masa del suelo (kg)
Carbono extraíble en agua caliente	reacción con las formas más oxidables (activas) del C del suelo. Adaptación de la mecánica de agitado - combustión húmeda	Cuantificación del carbono	Ácido sulfúrico - peróxido,	Cuantitativo	%	Ghani et al.; Walkley Black	2003 y 1934	Rodríguez et al., 2020	% CO= B-Tg 0.39 mcf
Nitrógeno total	Combustión seca automatizada	Determinación el contenido total de nitrógeno	No aplica	Cuantitativo	% - mg de N	Dumas	1988	B. Bhandar et al., 2018	No aplica

#### **4.1.4. Indicadores químicos de la salud del suelo en la actividad agrícola**

Son los indicadores físicos y biológicos los más empleados en el estudio de la salud del suelo ya sea por su factibilidad o bajo costo, no obstante, no se puede dejar de lado el papel crucial que comprenden los indicadores químicos.

De acuerdo a Prasad y Power (1997) sostiene que, la importancia de la determinación de pH, que es el grado de acidez o alcalinidad de una solución del suelo, se debe a que, el pH idóneo de un suelo agrícola puede variar entre 6.5 y 7.0 para un mejor rendimiento y productividad de los cultivos, sin embargo, valores demasiado altos de pH pueden alterar la estructura de suelo. Además, el pH del recurso en cuestión influye en la disponibilidad de los nutrientes para los cultivos, es decir, dicho factor puede influenciar en que se presente deficiencia en la productividad, toxicidad o presencia de elementos en niveles inadecuados (Benton, 2003).

Por otro lado, la escasez de nutrientes en el suelo provoca la disminución de la productividad vegetal y por ende afectara al desarrollo de las actividades agrícolas que dependen de la fertilidad del recurso para subsistir (Morgan y Connolly, 2013). Por ello, un indicador como la extracción de nutrientes es indispensable, el cual se determina por espectrometría mediante solución de Morgan modificada, este método consiste en la aplicación de una solución extractora formada a base de cloruro de sodio, benzoato de sodio en pasta saturada y ácido cítrico, posteriormente se agita por 1 hora, para finalmente filtrar. Además, el cloruro de sirve para la extracción de potasio, calcio y magnesio, y el ácido cítrico sirve para la extracción del fósforo (Zambrano et al., 2020).

Por otro lado, Gonzales (2007) sostiene que, el método Mehlich III sobre estima los valores del potasio si sobrepasa los  $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  a diferencia de métodos como Bray y Kurtz I es cual se adapta mejor a las prácticas para diagnóstico y fertilizantes. Asimismo, Bertsch et al. (2005) afirma que, el método Olsen para la extracción de fósforo es la mejor alternativa debido a que es más estable.

**Tabla 8 Indicadores químicos de la salud del suelo en la actividad agrícola**

INDICADOR	METODO DE MEDICIÓN	DETERMINACIÓN	REACTIVOS Y/O COMPUESTOS	TIPO	UNIDADES	CREADOR	AÑO DE CREACIÓN	REFERENCIA	FÓRMULA
pH del suelo	Medidor de pH robótico (phmetro)	Determina el grado de acidez o alcalinidad de una solución	No aplica	Cualitativo	-	Arnold Orville Beckman	1934	Graham et al., 2021, Upendra et al., 2021, P. Amsili et al., 2021 y Rekik et al., 2018	$pH = -\log[H_3O^+]$
Extracción de nutrientes	Solución Morgan modificada - espectrometría	Determina el contenido de nutrientes del suelo	Acetato de amonio más ácido acético	Cuantitativo	mg kg <sup>-1</sup> de suelo (ppm).	Morgan	1941	P. Amsili et al., 2021, Williams et al., 2020 y Rekik et al., 2018	
Fósforo	Extracción de nutrientes del suelo Mehlich 3 estándar	Análisis de nutrientes por medio de espectrometría de plasma y espectrómetro de masas	Ácido acético y componentes con flúor Nitratos de amonio y el ácido nítrico.	Cuantitativo	ppm	Mehlich	1984	Tu et al., 2021 y B. Jernigan et al., 2020	
Potasio	Método de Olsen modificado - colorímetro	Determina el fosforo disponible del suelo	Bicarbonado de sodio y Hidróxido de sodio	Cuantitativo	mg kg <sup>-1</sup>	Olsen	1954	Tu et al., 2021 y B. Jernigan et al., 2020	Pinorganico = ((Factor de dilución x (0.1459 x lectura del colorímetro)) / (2.23 x volumen de solución)) / (masa del

suelo  
analizada)

#### **IV. CONCLUSIONES**

Se concluyó que el desarrollo de prácticas agrícolas de conservación estimula la salud del suelo, mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que a su vez impulsan el rendimiento de las plantas e incluso en el tamaño del cultivo. Es necesario cambiar las practicas convencionales como la agricultura convencional, labranza intensiva, manejo inadecuado de residuos de cultivos, conversión de suelos naturales, entre otras actividades, que alteran las propiedades del suelo negativamente, provocando la reducción de la productividad de cultivos, y pérdida del mismo a largo plazo, optando por un equilibrio ambiental y económico.

Se concluyó que la salud del suelo se evalúa por medio de indicadores que comprenden propiedades físicas, químicas y biológicas, por ende, un indicador idóneo debe de poseer una estrecha relación con las funciones objeto de estudio, presentar sensibilidad a alteraciones provocadas por el manejo del recurso, tener la capacidad de repetirse y ser económico de determinar; teniendo presente que la agricultura es de los que mayor impactos ambientales negativos provoca, a pesar de ser una de las actividades más realizadas.

## **V. RECOMENDACIONES**

Se recomienda emplear lombrices de tierra, protozoos, enquitreidos, artrópodos y nematodos para un estudio más completo de los indicadores biológicos de la salud del suelo para otras investigaciones futuras, debido a los pocos estudios que se han realizado en donde se los relacionen.

Se recomienda investigar con mayor profundidad los indicadores químicos de la salud del suelo.

Se recomienda promover adecuadas prácticas agrícolas, para disminuir las pérdidas de los mismos y aumentar su productividad.

## REFERENCIAS

1. ADHIKARI, Kabindra et al. Corn response to selected soil health indicators in a Texas drought. *Ecological Indicators* [en línea]. 2021, 125, 107482. ISSN 1470-160X [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107482
2. AMSILI, Joseph P., Harold M. VAN ES y Robert R. SCHINDELBECK. Cropping system and soil texture shape soil health outcomes and scoring functions. *Soil Security* [en línea]. 2021, 4, 100012. ISSN 2667-0062 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.soisec.2021.100012
3. ATWELL, B. J. Response of roots to mechanical impedance. *Environmental and Experimental Botany*, 1993, vol. 33, no 1, p. 27-40.
4. Arias Valencia, María Mercedes, Giraldo Mora, Clara Victoria El rigor científico en la investigación cualitativa. *Investigación y Educación en Enfermería* [en línea]. 2011, 29(3), 500-514 [fecha de Consulta 4 de Julio de 2022]. ISSN: 0120-5307. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105222406020>
5. BAVER, Leonard David, et al. Física de suelos. 1973.
6. BARREZUETA-UNDA, S. et al. EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE IGNICIÓN PARA DETERMINAR MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE LA PROVINCIA EL ORO-ECUADOR. *FAVE Sección Ciencias Agrarias* [en línea]. 2020, 19(2), 25–36. ISSN 2346-9129 [consultado el 7 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.14409/fa.v19i2.9747

7. BHANDARI, Krishna B. et al. Soil health indicators as affected by diverse forage species and mixtures in semi-arid pastures. *Applied Soil Ecology* [en línea]. 2018, **132**, 179–186. ISSN 0929-1393 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.apsoil.2018.09.002
8. BEJAR PULIDO, Silvia Janeth; CANTU SILVA, Israel; YANEZ DIAZ, María Inés y LUNA ROBLES, Erik Orlando. Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Rev. mex. de cienc. forestales* [online]. 2020, vol.11, n.59 [citado 2022-07-04], pp.31-50. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322020000300031&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322020000300031&lng=es&nrm=iso) Epub 15-Jul-2020. ISSN 2007-1132. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666>.
9. BERA, Tanushree et al. Changes in soil biochemical indicators at different wheat growth stages under conservation-based sustainable intensification of rice-wheat system. *Journal of Integrative Agriculture* [en línea]. 2018, 17(8), 1871–1880. ISSN 2095-3119 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/s2095-3119(17)61835-5
10. BHATTACHARYA, Priya et al. Assessment of soil health parameters and application of the sustainability index to fields under conservation agriculture for 3, 6, and 9 years in India. *Heliyon* [en línea]. 2020, 6(12), e05640. ISSN 2405-8440 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.heliyon.2020.e05640

11. BENGOUGH, A. GLYN. The penetrometer in relation to mechanical resistance to root growth. *Soil analysis: Physical methods*, 1991, p. 431-445.
12. BREVIK, Eric C. et al. Soil ecosystem services and human health. *Current Opinion in Environmental Science & Health* [en línea]. 2018, 5, 87–92. ISSN 2468-5844 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi: 10.1016/j.coesh.2018.07.003
13. BRONICK, Carol Jean; LAL, Rattan. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 2005, vol. 124, no 1-2, p. 3-22.
14. BORGES GÓMEZ, Lizette; JIMÉNEZ GARCÍA, Gerardo; MONTERO PINEDA, Ángel. *Manual de prácticas de análisis de suelos*, 2001.
15. CHERUBIN, Maurício R. et al. Soil health response to sugarcane straw removal in Brazil. *Industrial Crops and Products* [en línea]. 2021, **163**, 113315. ISSN 0926-6690 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.indcrop.2021.113315
16. CROOKSTON, Bradley S. et al. Soil health spatial-temporal variation influence soil security on Midwestern, U.S. farms. *Soil Security* [en línea]. 2021, **3**, 100005. ISSN 2667-0062 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi: 10.1016/j.soisec.2021.100005
17. Doran, J. W., & Parkin, T. B. (2015). Defining and Assessing Soil Quality. SSSA Special Publications, 1–21. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>

18. E. DRINKWATER, Laurie et al. Chapter 7 - Ecologically Based Nutrient Management. *Agricultural Systems (Second Edition)* [en línea]. 2017, 203–257. ISSN 9780128020708 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi: 10.1016/B978-0-12-802070-8.00007-4
19. Erazo Jiménez, María Soledad Rigor científico en las prácticas de investigación cualitativa. *Ciencia, Docencia y Tecnología* [en línea]. 2011, XXII(42), 107-136 [fecha de Consulta 4 de Julio de 2022]. ISSN: 0327-5566. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14518444004>
20. EZE, Samuel et al. Farmers' indicators of soil health in the African highlands. *CATENA* [en línea]. 2021, 203, 105336. ISSN 0341-8162 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi: 10.1016/j.catena.2021.105336
21. FAO. *Procedimiento operativo estándar para la determinación de carbono total del suelo - Método de combustión seca Dumas*. Food & Agriculture Org., 2021.
22. Five reasons why soil is key to the planet's sustainable future | sustainable development goals | food and agriculture organization of the united nations. *Home | Food and Agriculture Organization of the United Nations* [en línea]. 2 de septiembre de 2015 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/news/detail-news/en/c/277113/>

23. GONZÁLEZ DAMIÁN, Alfonso. INVESTIGACIÓN BÁSICA Y APLICADA EN EL CAMPO DE LAS CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS. *Ciencia Administrativa* [en línea]. 2004, 39–50. ISSN 18709427 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/267377421\\_INVESTIGACION\\_BASICA\\_Y\\_APLICADA\\_EN\\_EL\\_CAMPO\\_DE\\_LAS\\_CIENCIAS\\_ECONOMICO\\_ADMINISTRATIVAS#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/267377421_INVESTIGACION_BASICA_Y_APLICADA_EN_EL_CAMPO_DE_LAS_CIENCIAS_ECONOMICO_ADMINISTRATIVAS#fullTextFileContent)
24. GONZÁLEZ, Mirta, et al. Comparación de los métodos de Bray & Kurtz N° iy Mehlich III en la determinación de la disponibilidad de fósforo en suelos con fertilizaciones continuas. *Ciencia del suelo*, 2007, vol. 25, no 1, p. 23-29.
25. GRAHAM, Chris, Harold VAN ES y Debankur SANYAL. Soil health changes from grassland to row crops conversion on Natric Aridisols in South Dakota, USA. *Geoderma Regional* [en línea]. 2021, **26**, e00425. ISSN 2352-0094 [consultado el 8 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.geodrs.2021.e00425
26. JERNIGAN, Ashley B. et al. Legacy effects of contrasting organic grain cropping systems on soil health indicators, soil invertebrates, weeds, and crop yield. *Agricultural Systems* [en línea]. 2020, 177, 102719. ISSN 0308-521X [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.agsy.2019.102719
27. JIAN, Jinshi, Xuan DU y Ryan D. STEWART. Quantifying cover crop effects on soil health and productivity. *Data in Brief* [en línea]. 2020, 29,

105376. ISSN 2352-3409 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.dib.2020.105376
28. JONES, J. Benton, et al. *Agronomic handbook*. CRC press, 2002.
29. KULAGOWSKI, Rémy et al. Effects of conservation agriculture maize-based cropping systems on soil health and crop performance in New Caledonia. *Soil and Tillage Research* [en línea]. 2021, 212, 105079. ISSN 0167-1987 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.still.2021.105079
30. KARACA, Siyami et al. An assessment of pasture soils quality based on multi-indicator weighting approaches in semi-arid ecosystem. *Ecological Indicators* [en línea]. 2021, 121, 107001. ISSN 1470-160X [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.ecolind.2020.107001
31. KIBBLEWHITE, M. G., K. RITZ y M. J. SWIFT. Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* [en línea]. 2007, 363(1492), 685–701. ISSN 1471-2970 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1098/rstb.2007.2178
32. KIRILLOVA, N. P. et al. Calibration methods for measuring the color of moist soils with digital cameras. *CATENA* [en línea]. 2021, **202**, 105274. ISSN 0341-8162 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.catena.2021.105274
33. KULAGOWSKI, Rémy et al. Effects of conservation agriculture maize-based cropping systems on soil health and crop performance in New

- Caledonia. *Soil and Tillage Research* [en línea]. 2021, 212, 105079. ISSN 0167-1987 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.still.2021.105079
34. KRULL, Evelyn Susanne; SKJEMSTAD, Jan Otto; BALDOCK, Jeffrey A. *Functions of soil organic matter and the effect on soil properties*. Canberra: Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting, 2004.
35. G.P, Lafond et al. An agronomic evaluation of conservation-tillage systems and continuous cropping in East Central Saskatchewan. *Journal of Soil and Water Conservation* [en línea]. 1994, 49(4), 387–393 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: <http://www.jswconline.org/content/49/4/387.abstract>
36. LAL, R. Physical properties and moisture retention characteristics of some nigerian soils. *Geoderma* [en línea]. 1978, 21(3), 209–223. ISSN 0016-7061 [consultado el 7 de julio de 2022]. Disponible en: doi: 10.1016/0016-7061(78)90028-9
37. LIPTZIN, Daniel et al. An evaluation of carbon indicators of soil health in long-term agricultural experiments. *Soil Biology and Biochemistry* [en línea]. 2022, 108708. ISSN 0038-0717 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.soilbio.2022.108708
38. MARTÍNEZ, Ingrid et al. Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part II. Soil porosity and gas transport parameters. *Soil and Tillage Research* [en línea]. 2016, 163, 130–140.

ISSN 0167-1987 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en:  
doi:10.1016/j.still.2016.05.020

39. MAHARJAN, Bijesh, Saurav DAS y Bharat Sharma ACHARYA. Soil Health Gap: A concept to establish a benchmark for soil health management. *Global Ecology and Conservation* [en línea]. 2020, 23, e01116. ISSN 2351-9894 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.gecco.2020.e01116

40. MCCOURTY, M. A., A. J. GYAWALI y R. D. STEWART. Of macropores and tillage: influence of biomass incorporation on cover crop decomposition and soil respiration. *Soil Use and Management* [en línea]. 2018, 34(1), 101–110. ISSN 0266-0032 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1111/sum.12403

41. MARTINEZ H, Eduardo; FUENTES E, Juan Pablo y ACEVEDO H, Edmundo. CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* [online]. 2008, vol.8, n.1 [citado 2022-07-04], pp.68-96. Disponible en:  
[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912008000100006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006&lng=es&nrm=iso) ISSN 0718-2791. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>.

42. MOEBIUS-CLUNE, B. et al. *Comprehensive Assessment of Soil Health The Cornell Framework* [en línea]. 2ª ed. Geneva, N.Y.: Cornell University, 2016. ISBN 0-967-6507-6-3 [consultado el 4 de julio de 2022].

Disponible en: <http://www.css.cornell.edu/extension/soil-health/manual.pdf>

43. MORGAN, J. áB; CONNOLLY, E. áL. Plant-soil interactions: nutrient uptake. *Nature Education Knowledge*, 2013, vol. 4, no 8, p. 2.
44. NUNES, Márcio R. et al. Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. *Geoderma* [en línea]. 2020, 369, 114335. ISSN 0016-7061 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.geoderma.2020.114335
45. NUNES, Márcio Renato et al. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma* [en línea]. 2018, 328, 30–43. ISSN 0016-7061 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.geoderma.2018.04.031
46. NYAMASOKA-MAGONZIWA, Blessing et al. A soil tool kit to evaluate soil properties and monitor soil health changes in smallholder farming contexts. *Geoderma* [en línea]. 2020, 376, 114539. ISSN 0016-7061 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.geoderma.2020.114539
47. OKOLO, Chukwuebuka C. et al. Assessing the sustainability of land use management of northern Ethiopian drylands by various indicators for soil health. *Ecological Indicators* [en línea]. 2020, 112, 106092. ISSN 1470-160X [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.ecolind.2020.106092

48. ORELLANA GUANUCHI, Tania Fernanda. *Validación de los métodos de laboratorio para la determinación de la capacidad de retención de agua en suelos*. Tesis previa a la obtención del título de ingeniera civil, Universidad de Cuenca, 2010 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/16722/1/1080290338.pdf>
49. PARR, J. F. et al. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture* [en línea]. 1992, **7**(1-2), 5–11. ISSN 1478-5498 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1017/s0889189300004367
50. POWER, James F.; PRASAD, Rajendra. *Soil fertility management for sustainable agriculture*. CRC press, 1997.
51. PULLEMAN, Mirjam et al. Soil mass and grind size used for sample homogenization strongly affect permanganate-oxidizable carbon (POXC) values, with implications for its use as a national soil health indicator. *Geoderma* [en línea]. 2021, **383**, 114742. ISSN 0016-7061 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.geoderma.2020.114742
52. PRETORIUS, M. L., C. W. VAN HUYSSTEEN y L. R. BROWN. Soil color indicates carbon and wetlands: developing a color-proxy for soil organic carbon and wetland boundaries on sandy coastal plains in South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment* [en línea]. 2017, **189**(11). ISSN 1573-2959 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi: 10.1007/s10661-017-6249-z

53. REKIK, Fatma et al. Soil health assessment for coffee farms on andosols in Colombia. *Geoderma Regional* [en línea]. 2018, 14, e00176. ISSN 2352-0094 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.geodrs.2018.e00176
54. Rojas Crotte, Ignacio Roberto. ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN: UNA PROPUESTA DE DEFINICIONES Y PROCEDIMIENTOS EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. *Tiempo de Educar* [en línea]. 2011, 12(24), 277-297 [fecha de Consulta 4 de Julio de 2022]. ISSN: 1665-0824. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31121089006>
55. SAINJU, Upendra M. et al. Soil health indicators and crop yield in response to long-term cropping sequence and nitrogen fertilization. *Applied Soil Ecology* [en línea]. 2021, 168, 104182. ISSN 0929-1393 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.apsoil.2021.104182
56. SALGADO LEVANO, Ana Cecilia. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. *liber*. [online]. 2007, vol.13, n.13 [citado 2022-07-04], pp.71-78. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1729-48272007000100009&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-48272007000100009&lng=es&nrm=iso) . ISSN 1729-4827.
57. SANTOS, Rafael S. et al. Consequences of land-use change in Brazil's new agricultural frontier: A soil physical health assessment. *Geoderma* [en línea]. 2021, 400, 115149. ISSN 0016-7061

[consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:  
10.1016/j.geoderma.2021.115149

58. SILVEIRA, Maria Lucia y Marta Moura KOHMANN. Chapter 3 - Maintaining soil fertility and health for sustainable pastures. *Academic Press* [en línea]. 2020, 35–58. ISSN 9780128144749 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi: 10.1016/B978-0-12-814474-9.00003-7
59. RODRIGUEZ, Silvia et al. Carbono extraíble en agua caliente como indicador de salud de molisoles del sudeste bonaerense. *Cienc. suelo* [online]. 2020, vol.38, n.1 [citado 2022-07-04], pp.149-161. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672020000100013&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672020000100013&lng=es&nrm=iso) ISSN 1850-2067.
60. SIX, J. et al. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research* [en línea]. 2004, **79**(1), 7–31. ISSN 0167-1987 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi: 10.1016/j.still.2004.03.008
61. SCHMIDT, Stephanie A. y Changwoo AHN. Analysis of soil color variables and their relationships between two field-based methods and its potential application for wetland soils. *Science of The Total Environment* [en línea]. 2021, 783, 147005. ISSN 0048-9697 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147005

62. Tonon, Graciela, Alvarado Salgado, Sara Victoria, Mieles Barrera, María Dilia Investigación cualitativa: el análisis temático para el tratamiento de la información desde el enfoque de la fenomenología social. *Universitas Humanística* [en línea]. 2012, (74), 195-225[fecha de Consulta 4 de Julio de 2022]. ISSN: 0120-4807. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=79125420009>
63. TU, Xinyi et al. Environmental and management drivers of soil health indicators on Michigan field crop farms. *Soil and Tillage Research* [en línea]. 2021, 213, 105146. ISSN 0167-1987 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.still.2021.105146
64. TRIVEDI, Pankaj, Bhupinder P. SINGH y Brajesh K. SINGH. Chapter 1 - Soil Carbon: Introduction, Importance, Status, Threat, and Mitigation. *Academic Press* [en línea]. 2018, 1–28. ISSN 9780128127667 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/B978-0-12-812766-7.00001-9
65. Vásquez, Martha Lucía, Castillo, Edelmira El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *Colombia Médica* [en línea]. 2003, 34(3), 164-167[fecha de Consulta 4 de Julio de 2022]. ISSN: 0120-8322. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28334309>
66. WEIL, Ray R., et al. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, 2003, vol. 18, no 1, p. 3-17.
67. WILLIAMS, Hanna, Tino COLOMBI y Thomas KELLER. The influence of soil management on soil health: An on-farm study in southern

- Sweden. *Geoderma* [en línea]. 2020, 360, 114010. ISSN 0016-7061 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.geoderma.2019.114010
68. XUE, Rui et al. A new method for soil health assessment based on Analytic Hierarchy Process and meta-analysis. *Science of The Total Environment* [en línea]. 2019, 650, 2771–2777. ISSN 0048-9697 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.049
69. YADAV, Gulab Singh et al. Productivity, soil health, and carbon management index of Indian Himalayan intensified maize-based cropping systems under live mulch based conservation tillage practices. *Field Crops Research* [en línea]. 2021, 264, 108080. ISSN 0378-4290 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1016/j.fcr.2021.108080
70. ZAMBRANO YEPES, Jennifer, Wilmer HERRERA VALENCIA y Pablo Andrés MOTTA DELGADO. Concentración de los macronutrientes del suelo en áreas de pastoreo del departamento de Caquetá, Amazonia colombiana. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* [en línea]. 2020, **21**(3), 12 [consultado el 4 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.21930/rcta.vol21\_num3\_art:1673

## ANEXOS

### Anexo 1. Ficha de análisis de datos

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>FICHA DE ANÁLISIS DE DATOS</b>
<b>TÍTULO:</b>	
<b>AUTOR (ES):</b>	<b>AÑO DE PUBLICACIÓN:</b>
<b>DOI:</b>	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b>
<b>PARTICIPANTE:</b>	<b>LUGAR DE PUBLICACIÓN:</b>

<b>INDICADORES:</b>	
<b>INFLUENCIA:</b>	
<b>ACTIVIDAD:</b>	
<b>MANEJO DEL SUELO:</b>	