



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

ATIT_2025_FIAS-004

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS A TRAVES DE LA IDENTIFICACIÓN Y USO DE INDICADORES EN LAS AGROINDUSTRIAS DE LA PROVINCIA DE ICA, 2023.

Presentado por:

ESCAJADILLO FLORES, RENATO SANTIAGO

Autor(a) del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es **PORCENTAJE DE SIMILITUD del 10%** por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Con CÓDIGO DE MATRÍCULA N° **20151658**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

03 de Febrero del 2025.

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso
DIRECTOR



UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



TESIS:

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS A TRAVES DE
LA IDENTIFICACIÓN Y USO DE INDICADORES EN LAS
AGROINDUSTRIAS DE LA PROVINCIA DE ICA, 2023**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CIENCIAS NATURALES, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES

PRESENTADO POR:

ESCAJADILLO FLORES, RENATO SANTIAGO

ICA, PERÚ

2024

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO.....	ii
RESUMEN.....	iii
SUMMARY	iv
I. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Situación problemática.....	6
1.2. Antecedentes de la Investigación	7
1.2.1. Antecedentes internacionales	7
1.2.2. Antecedentes Nacionales	8
1.3. Bases teóricas	9
1.4. Formulación de Problema.....	13
1.5. Objetivos	13
1.6. Hipótesis y variables de la investigación.....	14
1.6.1. Hipótesis principal	14
1.6.2. Hipótesis Específicas.....	14
1.7. Variables	14
1.7.1. Variable independiente.....	14
1.7.2. Variable dependiente	14
1.7.3. Operacionalización de variables	15
1.8. Justificación e Importancia	16
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA	17
2.1. Área de estudio	17
2.2. Metodología de investigación	19
2.2.1. Tipo, nivel y diseño de investigación.....	19
2.2.2. Población y muestra	19
2.3. Procedimiento de la metodología general.....	20
2.3.2. Instrumento de recolección de datos	20
2.3.3. Análisis e interpretación de datos.....	20
III. RESULTADOS	21
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
V. CONCLUSIONES	54
VI. RECOMENDACIONES.....	56
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

RESUMEN

La presente investigación titulada “Evaluación de la calidad de los suelos a través de la identificación y uso de indicadores en las agroindustrias de la provincia de Ica, 2023”, partió del siguiente problema, ¿Cómo evaluar la calidad de los suelos a través de la identificación y uso de indicadores en las agroindustrias de la provincia de Ica, 2023?, tuvo como objetivo general, Evaluación de la calidad de los suelos a través de la identificación y uso de indicadores en las agroindustrias de la provincia de Ica, 2023.

La población está compuesta por las muestras de suelos de las agroindustrias de la provincia de Ica.

La investigación es aplicada, tipo cuantitativo, nivel correlacional y diseño no experimental, que recogió la información en un periodo específico que se desarrolló al aplicar los instrumentos: como forma de registro se empleó la cadena de custodia correspondientes a las muestras de suelos utilizando el formato por el laboratorio de ensayos AGQ LABS. Se evaluarán los indicadores físicos y químicos como: carbono orgánico, pH, saturación de gases, densidad aparente, metales pesados, hidrocarburos entre otros.

“La calidad del suelo es la función de un suelo específico para desempeñar una o varias actividades vinculadas a la sostenibilidad, la productividad, la diversidad biológica y el cuidado o la calidad del medio ambiente”[1].

“A partir de los indicadores de calidad del suelo, permite establecer el nivel de deterioro del suelo y la evaluación de su condición cualitativa, permitiendo identificar el inicio de los mecanismos de degradación y, a través de ello, trazar directrices de gestión que atenúen o reviertan los procesos de degradación”[2].

Palabras claves: *Calidad de suelos, suelos, tipos de suelos, indicadores, agroindustrias.*

SUMMARY

The present research titled "Evaluation of soil quality through the identification and use of indicators in the agroindustries of the province of Ica, 2023", started from the following problem, How to evaluate the quality of the soil through the identification and use of indicators in the agroindustries of the province of Ica, 2023?, had as a general objective, Evaluation of soil quality through the identification and use of indicators in the agroindustries of the province of Ica, 2023.

The population is made up of soil samples from agroindustries in the province of Ica.

The research is applied, quantitative type, correlational level and non-experimental design, which collected the information in a specific period that was developed when applying the instruments: as a form of registration, the chain of custody corresponding to the soil samples was used using the format. by the AGQ LABS testing laboratory. Physical and chemical indicators will be evaluated such as: organic carbon, pH, gas saturation, apparent density, heavy metals, hydrocarbons, among others.

“Soil quality is the function of a specific soil to perform one or several activities linked to sustainability, productivity, biological diversity and the care or quality of the environment”[1].

“Based on soil quality indicators, it allows us to establish the level of soil deterioration and evaluate its qualitative condition, allowing us to identify the beginning of the degradation mechanisms and, through this, draw up management guidelines that mitigate or reverse the degradation processes”[2].

Keywords: *Solid quality, soils, soil types, indicators, agroindustries.*

I. INTRODUCCIÓN

“La calidad del suelo se debe a la interacción de diversas características físicas, químicas y biológicas. Algunos de ellos son relativamente inalterables y constituyen cualidades específicas que contribuyen a determinar un cierto tipo de suelo”[3].

“La calidad del suelo se asocia a dos aspectos esenciales: las características intrínsecas y genéticas de suelo”[4].

“Los suelos son la base del progreso agrícola sostenible, de las actividades básicas de los ecosistemas y de la garantía alimentaria, las causas de la alteración y el deterioro de los suelos son una preocupación real y en aumento, debida a usos y métodos de manejo de la tierra insostenibles y a las condiciones climáticas extremas derivadas de una serie de aspectos sociales, financieros y de gobernanza”[5].

“Sin embargo, a lo largo del reciente siglo, la agricultura actual, como efecto de los elevados niveles de pesticidas y abonos artificiales y de la generalización de los monocultivos, ha afectado negativamente a la variedad de los medios genéticos de los cultivos y las razas animales”[6].

“En este contexto, dado que el suelo es un bien finito, su deterioro y pérdida no son recuperables a lo largo de la existencia del ser humano”[7] y es conveniente el conocimiento de su calidad como criterio para su protección”[8].

“Un indicativo de la calidad del suelo es una medida que sintetiza o abrevia la formación pertinente y cuantifica, contabiliza y transmite, de manera inteligible, una información que hace visible un comportamiento o un estado de interés”[9].

“La reducción de la calidad del suelo en todo el planeta es cada vez mayor, con causas diversas, como modificaciones de la estructura, compactamiento, disminución del grado de sustancia orgánica, erosión del suelo, sustitución progresiva de zonas de pastos y bosques por zonas puramente agrícolas o pérdida de la fertilidad del suelo”[10].

“Es necesario seleccionar los elementos básicos y sus niveles máximos, que deberán mantenerse para que el suelo funcione con normalidad, así como controlar los efectos (orientación, ritmo, intensidad, alcance, etc.) y establecer las orientaciones de la mejora o el descenso de la productividad de los suelos de los distintos ecosistemas”[1].

La presente investigación pretende evaluar la calidad de los suelos agrícolas de la provincia de Ica y con el uso de un indicador que aporta información sobre las alteraciones producidas en las características edáficas como consecuencia del uso y manejo.

1.1. Situación problemática

“La calidad del suelo no se mide de forma directa, sino que adquiere sentido a partir de un enfoque que abarca el análisis y la incorporación de las asociaciones y funciones entre los distintos elementos biológicos, químicos y físicos que se miden e integran en un entorno agrario y ambiental sostenibles”[11].

“Los indicativos de la calidad del suelo se consideran instrumentos de medida que ofrecen datos sobre las cualidades del suelo, los procedimientos edáficos y las propiedades globales del suelo. Se miden para hacer un seguimiento de los cambios producidos por el manejo en el comportamiento del suelo a lo largo de un cierto tiempo”[12].

La degradación se considera una interrupción del balance de las cualidades del recurso suelo, que disminuye su producción y su eficacia para conservar sus características medioambientales, y se debe sobre todo a una utilización y una manipulación incorrectas, que reducen su calidad.

La protección y el cuidado de la calidad del suelo son esenciales para la garantía alimentaria, la producción agrícola y la sostenibilidad ecológica.

Si bien es preciso que los grandes desafíos de la agricultura se centren en la conservación de los recursos edáficos, el establecimiento de instrumentos y técnicas de control y seguimiento del grado del suelo.

Sin embargo, no todos los indicadores presentan la misma importancia en cualquier suelo o situación (por ejemplo, el uso del suelo, la geografía, las circunstancias edafogénicas, las acciones antropogénicas y las variaciones del clima).

La ausencia de una adecuada formación en educación ambiental en los diferentes grados del nivel escolar nacional es la causa, de que la conservación de estos espacios, y en particular del recurso suelo, siga amenazada. Por ello, la determinación de los diferentes usos de los suelos que corresponden a la zona de estudio posibilita el planteamiento de criterios claros y concisos sobre la calidad del suelo.

Por ello, surge por la necesidad de conocer las propiedades físico-químicas y verificar los puntos críticos respecto a su uso sostenible de los suelos agrícolas en la provincia de Ica y si influyen en su calidad y así poder implementar propuestas de gestión para el adecuado manejo del suelo impactado.

1.2. Antecedentes de la Investigación

1.2.1. Antecedentes internacionales

Barrera en su estudio de investigación sobre “Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas, el aterrizaje en el siguiente resultado”[13]

“Se efectuó un análisis de las características físicas y químicas del suelo, los componentes que mostraron incompatibilidades se sometieron a un análisis de elementos fundamentales para elegir el conjunto mínimo de datos (MDS) de los factores que explicaban la mayor variación y se comprobó la existencia de redundancia a través de la correlación”[13], “El uso de la tierra con más alto nivel de indicador ICS se registró en el crecimiento del cultivo de cacao joven (0,47), que muestra un grado de calidad moderado, igual al demostrado por el cultivo de plátano (0,42), frente al crecimiento del cultivo de cacao maduro (0,39), que muestra un grado de calidad bajo”[13].

Afanador et al., en su estudio “Evaluación de la calidad de suelos en agroecosistemas de Colombia a través de la selección de un conjunto mínimo de datos, tuvo como conclusión”[14]

“El propósito de esta investigación fue evaluar la calidad del suelo por medio de indicadores de calidad compuestos por tres series mínimas de datos (tres, cinco y seis indicadores), en cinco agroecosistemas”[14], “Se concluye que el uso de indicadores como la densidad relativa, el índice de equilibrio, el pH, la acción de la deshidrogenasa, los niveles de bacterias hidrótrofas y solubilizadoras de fosfatos son factores importantes que posibilitan una evaluación apropiada de la calidad del suelo en los agroecosistemas”[14].

Pinos en su estudio de investigación “Calidad del suelo a partir de indicadores físicos y químicos aplicado a tres usos de suelo para la generación de propuestas de gestión por impactos en el suelo por acciones antrópicas en el bosque y vegetación protectores de Sunsun-Yanasacha, tuvo como conclusión”[15]

“Los suelos evaluados por indicadores físicos y químicos presentan modificaciones en cada una de las evaluaciones efectuadas, de acuerdo a la determinación del color del suelo se evidenció que no hay mayores alteraciones en sus tres usos de suelo a diferencia de hallarse en diferentes niveles de altitud, visualmente sus alteraciones no son tan evidentes”[15].

1.2.2. Antecedentes Nacionales

Irigoin en su estudio de investigación “Evaluación de indicadores de calidad de suelos mediante análisis multivariado de 223 muestras de suelos del distrito de Huarango-San Ignacio, tuvo como conclusión”[16]

“No se encontraron cambios significativos entre los promedios de las características químicas de los suelos naturales y los cultivados, según el nivel de diferencia obtenido en el test de variación. Además, los valores promedio de pH (7,6) y de calcáreo total (3,9%) fueron más elevados en los suelos naturales”[16], “Las propiedades químicas que más inciden o son decisivas en la calidad de los suelos de Huarango son: pH, saturación de bases, fósforo disponible, nitrógeno total, potasio disponible y aptitud de intercambio catiónico”[16].

Panaifo et al., En su estudio “Calidad y uso sustentable del suelo en el valle del Monzón, Huánuco – Perú tuvo como resultados”[17]

“Se determinaron índices físicos y químicos como la composición, la concentración, la conducción eléctrica, el pH, la materia orgánica, el nitrógeno total, el fósforo disponible, el calcio y el magnesio sustituible y la capacidad de intercambiar cationes”[17], “De acuerdo con el Subíndice de Uso Sostenible del Suelo (SUSS), el suelo SAF tiene una calidad "buena" y el suelo ex-local tiene una "calidad marginal", y el suelo SAF tiene una calidad mejor que el suelo ex-local, con mejores perspectivas para una correcta actividad agrícola”[17].

Huisa en su estudio “La calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var Catimor en el anexo Alto Pitocuna del distrito de Río Negro. Satipo. 2018, tuvo como conclusión”[18]

“Se concluyó que los suelos presentaban contenidos bajos de fósforo, potasio y sustancia orgánica, el pH era de sumamente ácido a ligeramente ácido, la estructura era de fina a medianamente fina, la resistencia al intercambio catiónico (CEC) era de baja a medianamente baja, El indicador de calidad del suelo era moderado en los suelos estudiados”[18].

Antecedentes locales

Se ha revisado la bibliografía en relación al tema de investigación y no se ha encontrado investigación al respecto.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Suelos

El suelo “es un entorno natural complejo en el que se producen cambios como fruto de la acción conjunta de procesos físicos, químicos y biológicos y de factores antropogénicos, estos cambios se producen simultáneamente, creando un sustrato que proporciona nutrientes, agua y soporte para el crecimiento de las plantas terrestres y otros organismos”[19].

1.3.2. Calidad del suelo

“La calidad del suelo es la capacidad para generar sin degradación ni daños para el entorno”[20].

La calidad del suelo es una apreciación de tipo global de los medios edáficos, que sirve para entender la aptitud de un cierto suelo para desempeñar diversas tareas en el medio ambiente, conservando su viabilidad en el ecosistema.

“La calidad del suelo se ve influida por las actividades que se desarrollan en él, modificando sus cualidades, y si los índices de rendimiento energético (productos conseguidos en la cosecha) son elevados con respecto a los insumos (laboreo, riego, fertilización, etc.) o son poco resistentes, resultan restrictivos para la contribución a la producción y a otras actividades del suelo”[21].

1.3.3. Indicadores de calidad del suelo

“Los indicadores posibilitan apreciar el aspecto de los suelos mediante inspecciones o mediciones que indican si un suelo está sano, es fértil o, por el contrario, está degradado”[22].

“Se emplean las propiedades físicas, químicas y biológicas como medidas indicativas de la calidad del suelo, permitiendo establecer comparación, evaluación y vigilancia; por lo tanto, constituyen un instrumento ágil para la toma de determinaciones, ya que son susceptibles a la gestión a corto, medio y largo plazo, según el suelo que se vaya a evaluar, puesto que cambian en función de las características dominantes de la zona”[12].

“Un indicador es una variable que permite resumir o simplificar datos pertinentes, así como hacer perceptible una situación de interés y cuantificar, medir y comunicar información importante de forma comprensible”[23].

“Los indicadores evolucionan con el transcurso del periodo debido a cambios en sus cualidades físicas, químicas y biológicas”[24].

“Los indicadores cambian de una ubicación a otra en función del tipo, el uso, la función y los agentes formadores del suelo”[25].

1.3.4. Indicadores físicos

“Los indicadores físicos son de suma relevancia en el proceso de evaluación, ya que no son sencillos de perfeccionar; y sugiere como índices físicos del suelo para analizar su integridad los siguientes: composición, grosor del suelo, infiltración, densidad aparente, capacidad de retención de agua y estabilidad de los aglomerados”[12].

“Para identificar los que más inciden en la generación de semillas, analizó los índices físicos: fondo efectivo, cornisidad y drenaje”[26].

“Para identificar las variables que permiten determinar las alteraciones menores de los suelos, que sintetizan y simplifican la información pertinente, estudiaron los siguientes indicadores: proporciones de arcilla, arena y limo”[27].

1.3.5. Indicadores químicos

“Para establecer los indicadores más decisivos en distintos regímenes de cultivo, utilizaron como indicador químico las siguientes cualidades: pH, sustancia orgánica, fósforo útil, bases cambiables (calcio, magnesio, sodio y potasio) y coeficiente efectivo de transferencia catiónica”[25].

“El indicador químico se relacionan con la función de amortiguación del suelo y la disposición de fertilizantes para las plantas y los organismos; asimismo, se proponen los principales índices químicos para evaluar la calidad del suelo: sustancia orgánica, pH, conductor eléctrico, nitrógeno, fósforo, potasio, capacidad de transferencia de cationes y metales pesados existentes”[12].

1.3.6. Indicadores biológicos

“Los indicadores biológicos son usados para conseguir datos sobre la salud del suelo, y agrega que los más usados son: biomasa de microorganismos, transpiración basal, nitrógeno mineralizable, niveles de actividad enzimática, estructura y composición de las poblaciones microbianas, cantidad y variedad de macrofauna, mesofauna y microfauna”[28].

“Utilizados como indicador de la calidad del suelo: biomasa de microbios C, biomasa de microbios N, ventilación, actividad enzimática, organismo indicador, variedad (composición de las especies y cantidad de especies)”[29].

1.3.7. Análisis multivariado

El análisis multivariado “abarca el conjunto de procedimientos estadísticos (componentes primarios, factorial, cluster, multidimensional, correspondencia, regresión múltiple, entre otros) que permiten analizar de forma simultánea varias mediciones (más de dos variables) de cada persona; en concreto, son una ampliación de los análisis univariados (análisis de distribución) y bivariados (clases cruzadas, correlación, análisis de varianza y regresiones simples), que se denominan así si todas las variables son al azar y están relacionadas entre sí”[30].

“El objetivo del análisis multivariante es aportar procedimientos cuya función es el análisis de datos multivariantes que los análisis estadísticos unidimensionales y bidimensionales no pueden realizar. Por ejemplo, el método de cálculo de elementos básicos, el análisis de conglomerados, el análisis discriminante y los análisis de regresión y correlación múltiples”[31].

1.3.8. Evaluación de la calidad del suelo

“Para ofrecer una apreciación global que facilite la interpretación de la calidad de un suelo con respecto a otro, de cierta forma es necesario reunir muchas características indicativas, dicha labor se complica por el hecho de que las mediciones se expresan en muchos tipos distintos de unidad, como mg/kg, dS/m, cmol/kg o Mg/m³”[32].

1.3.9. Como se determinan los indicadores de calidad

“Los indicadores se establecen por medio del análisis de componentes primordiales, con el fin de comprobar el funcionamiento de un grupo de

características físicas, químicas o biológicas; de un conjunto de lotes de vegetación natural y de parcelas con distintos periodos de manejo; en consiguiente, se establece la presencia o no de similitud de los valores del indicador entre los lotes”[33].

“Se utilizan métodos estadísticos como el análisis multivariante y el método de elementos fundamentales para la evaluación de los índices y de la composición de los suelos”[24].

“Utiliza el análisis multivariante y de elementos dominantes para establecer los factores que más inciden o son decisivos en la calidad del suelo y los define como indicador”[34].

1.3.10. Textura del suelo

“La textura del suelo sostiene una textura constituida por fibras de distintos diámetros tomando en cuenta únicamente el contenido de materia mineral y no el de materia orgánica, por lo que la textura del suelo permite establecer el grado de contenido de limo, arena y arcilla en el suelo, determinando su influencia en el desarrollo de las plantas, la capacidad de flujo de agua, la aireación, la fertilidad, la sensibilidad a la erosión y la capacidad de intercambiar cationes”[35].

1.3.11. Aluminio cambiante

La ponderación de frecuencia “en un sonómetro modifica la acidez del intercambio del suelo junto con el ion hidrógeno, y ambos provocan una reducción del pH”[36].

1.3.12. Materia orgánica

Es parte del conjunto coloidal, y cuando se descompone, por lo general presenta grupos funcional, como son: carboxilos, fenoles y aminas; siendo su porcentaje dependiente de su nivel de degradación, por lo que se relaciona con el pH del suelo y la proporción C/N.

1.3.13. pH.

“El potencial de hidrógeno establece el nivel de adaptación de los iones (H^+) a las fibras del suelo e informa de si el suelo es ácido o alcalino. Es el principal índice de acceso de las plantas a los nutrientes, ya que influye en la solubilidad, la circulación y la accesibilidad de otros componentes y contaminantes inorgánicos existentes en el suelo”[37].

1.4. Formulación de Problema

Problema General

¿Cómo evaluar la calidad de los suelos a través de la identificación y uso de indicadores en las agroindustrias de la provincia de Ica, 2023?

Problemas específicos

PE1: ¿Cómo identificar la calidad de suelos constituidos por tres agroindustrias de la provincia de Ica, 2023?

PE2: ¿Cómo usar los indicadores de calidad de suelos en las agroindustrias de la provincia de Ica, 2023?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo principal

Evaluación de la calidad de los suelos a través de la identificación y uso de indicadores en las agroindustrias de la provincia de Ica, 2023.

1.5.2. Objetivos Específicos

OE1: Identificar la calidad de suelos constituidos por tres agroindustrias de la provincia de Ica para su comparación, 2023.

OE2: Usar los indicadores de calidad de suelos para una mejor productividad en las agroindustrias de la provincia de Ica, 2023.

1.6. Hipótesis y variables de la investigación

1.6.1. Hipótesis principal

La Evaluación de la calidad de los suelos a través de la identificación y uso de indicadores influirá significativamente en las agroindustrias de la provincia de Ica, 2023.

1.6.2. Hipótesis Específicas

HE1: La identificación de la calidad de suelos influirá significativamente en la comparación de la calidad de suelos en las agroindustrias de la provincia de Ica, 2023.

HE2: El uso de los indicadores de calidad de suelos influirá significativamente en la productividad en las agroindustrias de la provincia de Ica, 2023.

1.7. Variables

1.7.1. Variable independiente

Calidad de los suelos

1.7.2. Variable dependiente

Indicadores en las agroindustrias.

1.7.3. Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

Variables	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
VI: “Calidad de suelos”	“Es la facultad de una categoría concreta de suelo de contribuir, en el marco de un ecosistema natural o gestionado, a sostener la producción vegetal y animal, conservar o incrementar la calidad del agua o del aire, y el mantenimiento del hábitat humano y la salud”[38].	D_{I,1}: “Características físicas del suelo” D_{I,2}: “Características químicas del suelo”	“Textura del suelo” “Densidad aparente” “pH del suelo”	“Análisis de laboratorio” “Análisis de muestras de suelos”
VD: “Indicadores en las agroindustrias”	“Los indicadores utilizados con frecuencia se refieren a las características físicas, químicas y biológicas del suelo, por lo que, para que puedan considerarse indicativos, deberán reunir determinadas cualidades”[39].	D_{D1}: “Eficiencia en el uso de recursos” D_{D2}: “Productividad agrícola”	“Consumo de agua” “Rendimiento de cultivo por hectárea” “Calidad de producto final”	“Registro de consumo de agua”

1.8. Justificación e Importancia

La determinación de la calidad del suelo supondrá una ayuda para la adecuada utilización del suelo con el fin de aumentar la productividad, la sostenibilidad de la obtención de alimentos y la garantía de la inocuidad de los mismos para las generaciones futuras que dependen de la conservación y la buena gestión del suelo.

Nuestro ecosistema posee en el suelo uno de sus elementos que ha perdido gradualmente su aptitud productiva, a causa de su uso inapropiado, y que tiene entre sus características un bajo nivel de materia orgánica; esto origina cultivos de baja calidad, lo que repercute en la salud de las personas.

Ante el aumento de la precariedad alimentaria, es preciso buscar soluciones agrícolas alternativas respetuosas con el medio ambiente y que no afecten a las generaciones futuras.

Es la calidad del suelo la que sustenta una buena productividad, la cual atenúa efectos adversos de los factores planta y clima.

Los efectos negativos de la actividad agrícola intensiva provocan la pérdida de fertilidad del suelo y la deforestación, que desequilibran el ecosistema y favorecen la aparición de plagas y enfermedades. Evaluar la calidad del suelo es uno de los elementos básicos para la sostenibilidad.

Importancia:

La relevancia de la investigación se basa en la preocupación del investigador por la calidad del suelo y es útil como antecedente para otras investigaciones.

Permite obtener amplios conocimientos y la oportunidad de aportar tecnología que favorezca la eficacia productiva y la sostenibilidad agrícola y medioambiental.

De esta forma, instaurar procedimientos de restablecimiento de las propiedades de este recurso que contribuyan a procesos sostenibles, prácticas agrícolas eficaces, seguridad alimentaria, consiguiendo así la preservación y conservación del entorno y la supervivencia de la humanidad.

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

La estrategia metodológica nos ayudará a determinar las técnicas, métodos y procedimientos para dar solución a la problemática, objetivos e hipótesis planteados en la presente investigación.

2.1. Área de estudio

“Se localiza en la Provincia de Ica, es uno de las cinco provincias que forman el departamento de Ica, cuenta con una población de 150, 280 habitantes (según Censo INEI 2017), tiene una altitud 409 m.s.n.m.”[40]

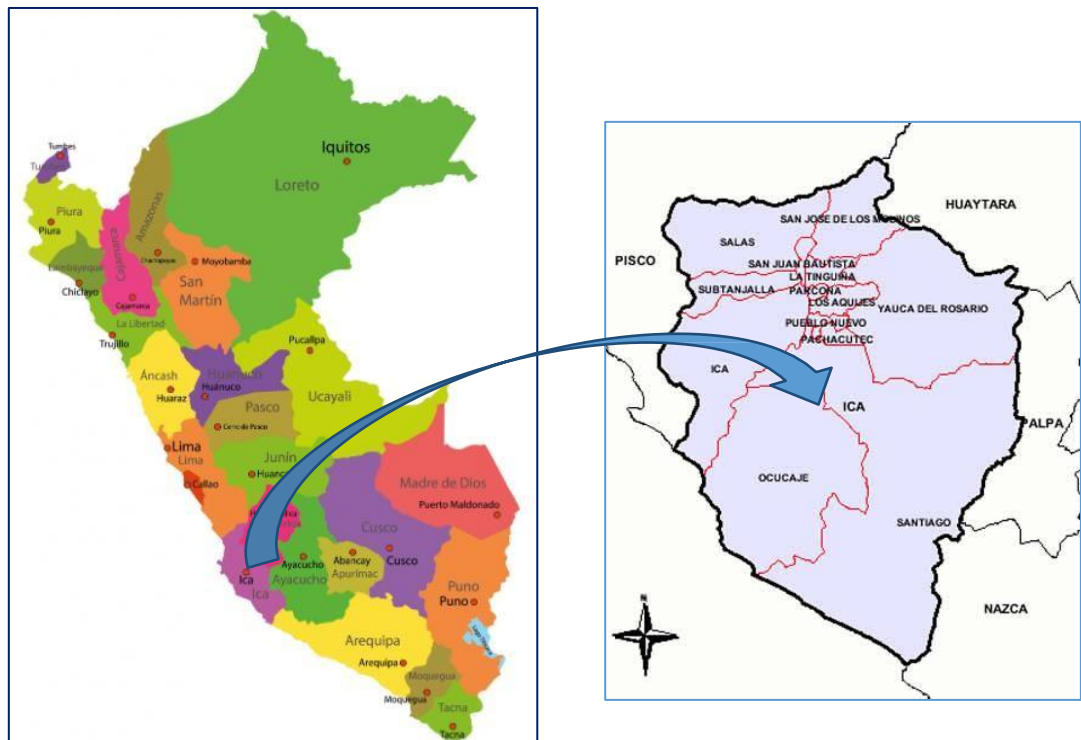


Figura 1 Departamento de Ica

“El departamento de Ica, es uno de los veinticuatro departamentos que forman la República del Perú, ubicado en el centro oeste del país, limitando al norte con Lima, al este Huancavelica y Ayacucho, al sur Arequipa y al oeste el Océano Pacífico”[41].

Provincia de Ica

“La provincia de Ica es una de las cinco provincias que integran el departamento de Ica en Perú. Se encuentra en la región costera central, en el centro del departamento. Limita al norte con la provincia de Pisco, al este con el departamento de Huancavelica y la provincia de Palpa, al sur con la provincia de Nasca, y al oeste con el océano Pacífico”[42].

Fig. 2: Distritos de la Provincia de Ica



Provincia de Ica

Coordenadas

14°04'00"S 75°44'00"O

Superficie

7894 km²

Población Total

321 332¹ hab.

Densidad

40,71 hab./km²

Ubigeo

1101

Geografía

“Ica se destaca como la provincia más extensa del departamento de Ica. Su territorio abarca amplias zonas desérticas y un litoral que no ha sido ampliamente explotado. El principal curso de agua de la región, el río Ica, se extiende a lo largo de 220 kilómetros y tiene su origen en las elevaciones del departamento de Huancavelica. Es raro que este río llegue al mar, ya que sus aguas son mayormente utilizadas para la agricultura en las áridas tierras de Ica. Esta gestión de recursos hídricos ha convertido su valle en una de las áreas más importantes y productivas del Perú”[42].

2.2. Metodología de investigación

2.2.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

Tipo, El tipo de estudio de la investigación es aplicada de tipo cuantitativo”[43].

Nivel, “El nivel correlacional”[44]. A un nivel descriptivo explicativo.

Inv. Descriptiva, porque identifica las características de la estructura productiva del sector agrario en relación el índice de calidad del suelo de la Región Ica y Nacional.

Inv. Explicativa, porque comprobará las hipótesis causales en el problema de la Estructura Productiva del sector agrario.

Diseño, “según el análisis y el alcance de los resultados esta investigación es de diseño no experimental”[45].

2.2.2. Población y muestra

Población

El estudio se basa en las muestras de suelo recolectadas de las agroindustrias en la provincia de Ica. Las muestras se obtuvieron a partir de nodos distribuidos en una cuadrícula con intervalos de 200 metros en la zona agrioindustrial. En cada nodo, se registraron datos sobre la vibración ambiental, que, al ser analizados, permiten evaluar las "características dinámicas del suelo" y su relación con la geomorfología de la cuenca de Ica. La población esta compuesta por Fundo Santa Ana de Sun Fruits Exports S.A. y Funda La Catalina de AGROKASA.

Muestra

La selección de la muestra es probabilística, ya que considera el muestreo sistemático definido por la toma de un dato en cada nodo de la grilla (200x200 m), Teniendo como base la unidad de análisis, se tiene como población el ámbito geográfico de la Región Ica, específicamente el territorio y población de sus valles agrícolas.

2.3. Procedimiento de la metodología general

2.3.1. Técnica de recolección de datos

“Se utilizará la *técnica* de la observación, revisión de información, inmersión en el campo”[46].

2.3.2. Instrumento de recolección de datos

“Como *instrumento* de recojo de información se utilizarán: Guía de observación, GPS, pH, Balanza Analítica entre otros”[46].

2.3.3. Análisis e interpretación de datos

La documentación que se realizará será encausada mediante el laboratorio de ensayos AGQ LABS.

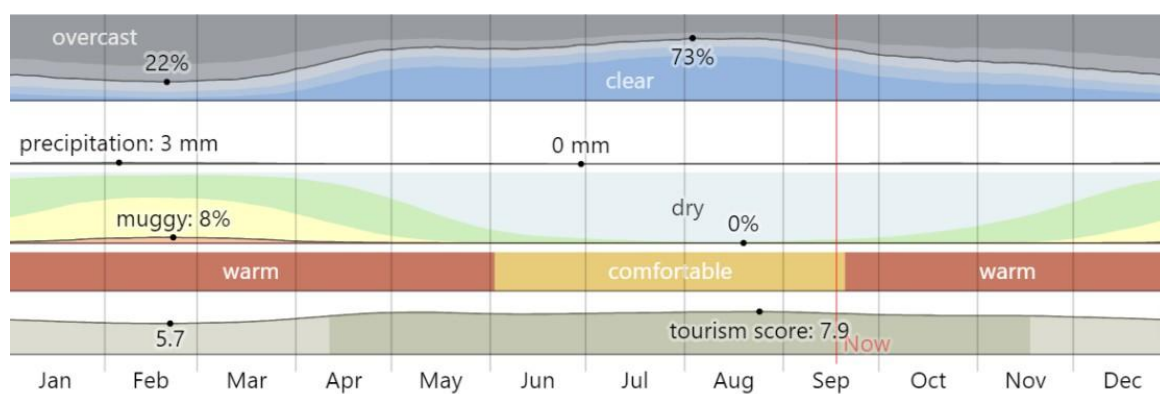
III. RESULTADOS

El estudio se llevó a cabo en cuatro ubicaciones cercanas dentro de la Provincia de Ica. Estas posiciones se encuentran alrededor de las coordenadas 13°59'49"S y 75°46'11"W, distribuidas en un área aproximada de 3.8 km de radio. Los límites de esta zona no corresponden exactamente a coordenadas específicas y la altitud promedio es de 406 metros sobre el nivel del mar.[47].

El clima y el tiempo promedio en todo el año en Ica

En la región de Ica, los veranos se caracterizan por ser cálidos, secos y con cielos nublados, mientras que los inviernos resultan ser agradables, secos y predominantemente despejados. A lo largo del año, las temperaturas suelen oscilar entre los 15 °C y 28 °C, siendo poco común que desciendan por debajo de los 12 °C o superen los 31 °C[48].

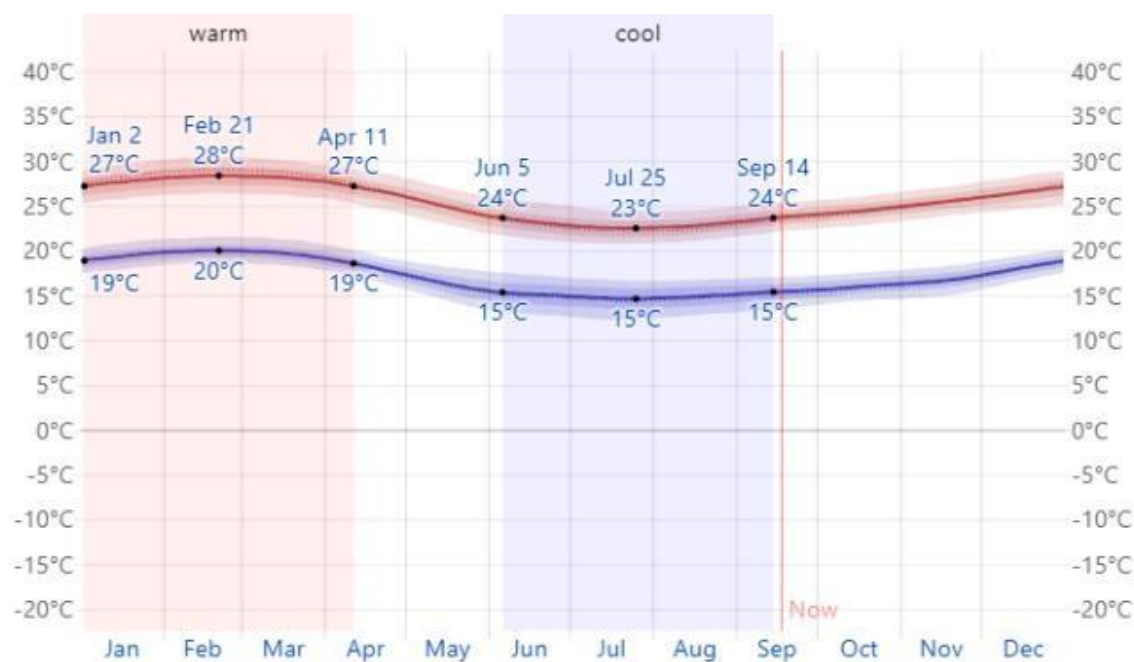
Fig. 3; Clima en Ica



Temperatura media en Ica

La estación cálida se extiende por 3.3 meses, desde el 2 de enero hasta el 11 de abril, registrando una temperatura máxima diaria promedio que supera los 27 °C. Febrero es el mes más caluroso en Ica, presentando una temperatura máxima promedio de 28 °C y una mínima de 20 °C. Por otro lado, la estación fría dura igualmente 3.3 meses, desde el 5 de junio hasta el 14 de septiembre, con una temperatura máxima diaria promedio por debajo de los 24 °C. Julio se destaca como el mes más frío, con una temperatura mínima promedio de 15 °C y una máxima de 23 °C[48].

Fig. 4: Temperatura media máxima y mínima en Ica



La temperatura máxima media diaria (representada por la línea roja) y la mínima (línea azul) se presentan junto con las bandas percentiles que van del 25.º al 75.º y del 10.º al 90.º. Las líneas de puntos más delgadas indican las temperaturas medias percibidas correspondientes[48].

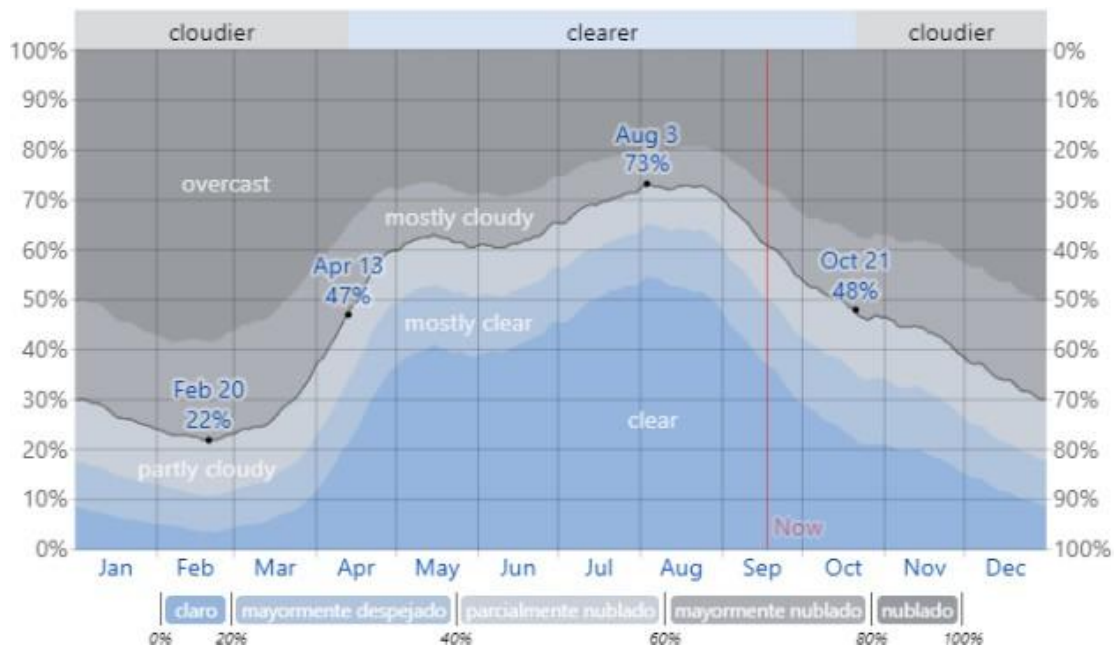
Nubes

En Ica, el porcentaje promedio de cobertura nubosa muestra una variación estacional significativa a lo largo del año[48].

La temporada más despejada se inicia alrededor del 13 de abril y se extiende por 6.2 meses, finalizando cerca del 21 de octubre. Agosto es el mes con cielos más claros, con un promedio del 72% del tiempo presentando condiciones despejadas, mayormente despejadas o parcialmente nubladas[48].

Por otro lado, la temporada más nublada comienza aproximadamente el 21 de octubre y dura 5.8 meses, concluyendo alrededor del 13 de abril. Febrero se destaca como el mes más nublado, ya que, en promedio, el cielo permanece nublado o mayormente nublado el 77% del tiempo[48].

Fig. 5: Categorías de cobertura de nubes en Ica

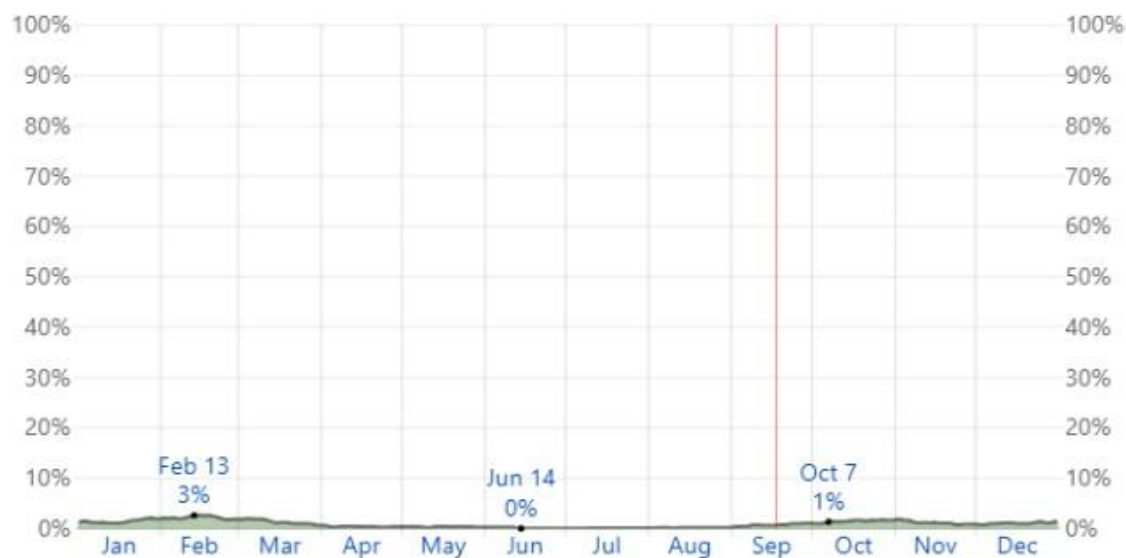


El porcentaje de tiempo que se encuentra en cada banda de cobertura nubosa se clasifica según el porcentaje del cielo cubierto por nubes.

Precipitación

En Ica, la frecuencia de días húmedos (aquellos con más de 1 milímetro de precipitación líquida o equivalente) no muestra una variación estacional significativa, oscilando entre el 0% y el 3%, con un promedio del 1%. Dentro de los días lluviosos, se distingue entre aquellos con solo lluvia, solo nieve o una mezcla de ambos. Febrero es el mes con mayor cantidad de días de lluvia, alcanzando un promedio de 0.6 días. Según esta clasificación, la forma de precipitación predominante durante el año es la lluvia sola, con una probabilidad máxima del 3% el 13 de febrero[48].

Fig. 6: Probabilidad diaria de precipitación en Ica



Sol

A lo largo del invierno en Ica, la duración del día se incrementa gradualmente. Desde el inicio hasta el final de esta estación, el día se alarga en 29 minutos, lo que se traduce en un aumento promedio de 19 segundos diarios y 2 minutos y 16 segundos por semana.

El día más corto del invierno es el 20 de junio, con 11 horas y 18 minutos de luz, mientras que el día más largo es el 31 de agosto, con 11 horas y 50 minutos de luz[48].

Fig. 7: Horas de luz natural y de crepúsculo en el invierno en Ica

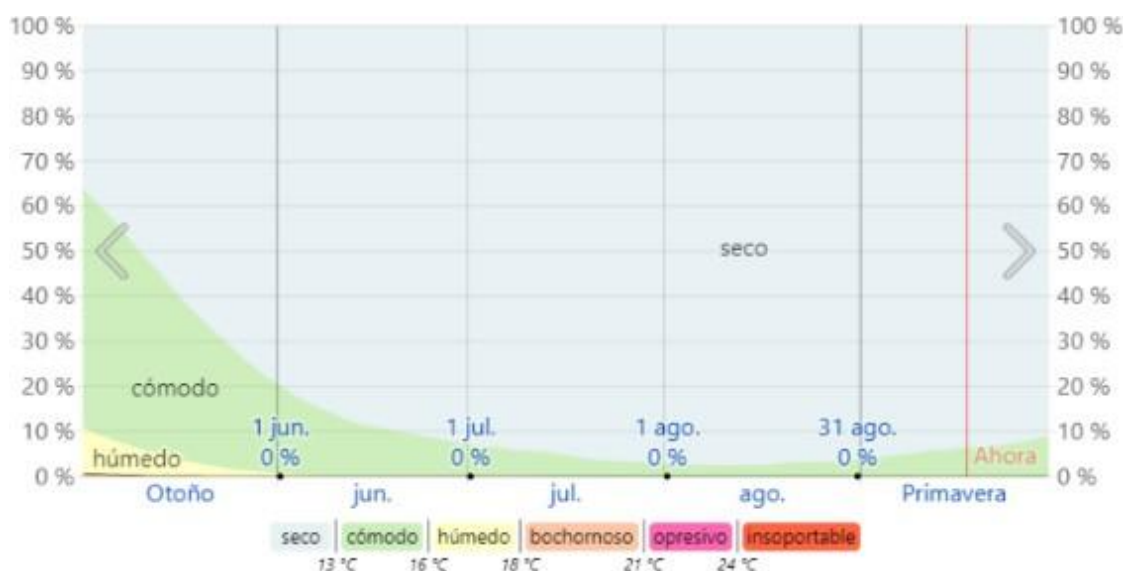


La cantidad de horas durante las cuales el sol está visible (línea negra). De abajo (más amarillo) hacia arriba (más gris), las bandas de color indican: luz natural total, crepúsculo (civil, náutico y astronómico) y noche total[48].

Humedad

El nivel de comodidad relacionado con la humedad se basa en el punto de rocío, ya que este factor determina si el sudor se evaporará de la piel, enfriando así el cuerpo. Puntos de rocío más bajos generan una sensación de sequedad, mientras que puntos más altos se perciben como humedad. A diferencia de la temperatura, que suele fluctuar significativamente entre el día y la noche, el punto de rocío cambia de forma más lenta, lo que significa que, incluso si la temperatura baja durante la noche, en un día húmedo es probable que la noche también se sienta húmeda. En Ica, la probabilidad de que un día sea bochornoso se mantiene constante durante el invierno, situándose en un 0%. Como referencia, el 22 de febrero, que es el día más bochornoso del año, se experimentan condiciones de bochorno el 8% del tiempo, mientras que el 6 de junio, el día menos bochornoso, la probabilidad es del 0% [48].

Fig. 8: Niveles de comodidad de la humedad en el invierno en Ica



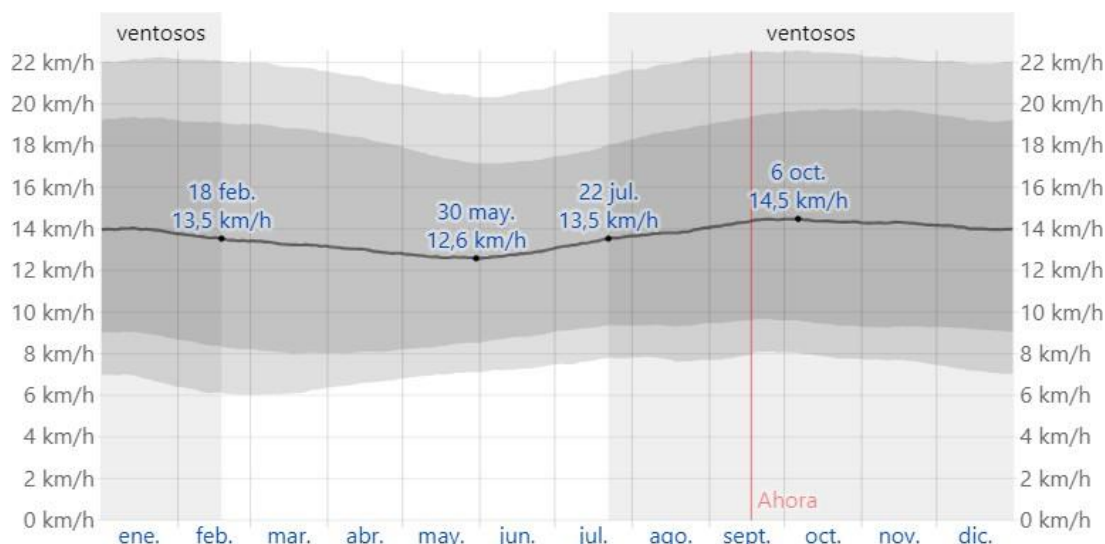
Viento

Esta sección describe el vector promedio del viento por hora en la zona, tanto en velocidad como en dirección, a 10 metros sobre el suelo. El viento en una ubicación específica está influenciado por la topografía local y otros factores, y tanto la velocidad instantánea como la dirección del viento tienden a variar más que los promedios horarios. En Ica, la velocidad promedio del viento presenta ligeras variaciones estacionales a lo largo del año [48].

La época más ventosa se extiende por 6.9 meses, desde el 22 de julio hasta el 18 de febrero, con velocidades promedio superiores a 13.5 km/h. Octubre es el mes más ventoso, con una velocidad promedio de 14.4 km/h [48].

La época más calmada dura 5.1 meses, del 18 de febrero al 22 de julio, siendo mayo el mes más tranquilo, con una velocidad promedio de 12.7 km/h[48].

Fig. 9: Velocidad promedio del viento en Ica



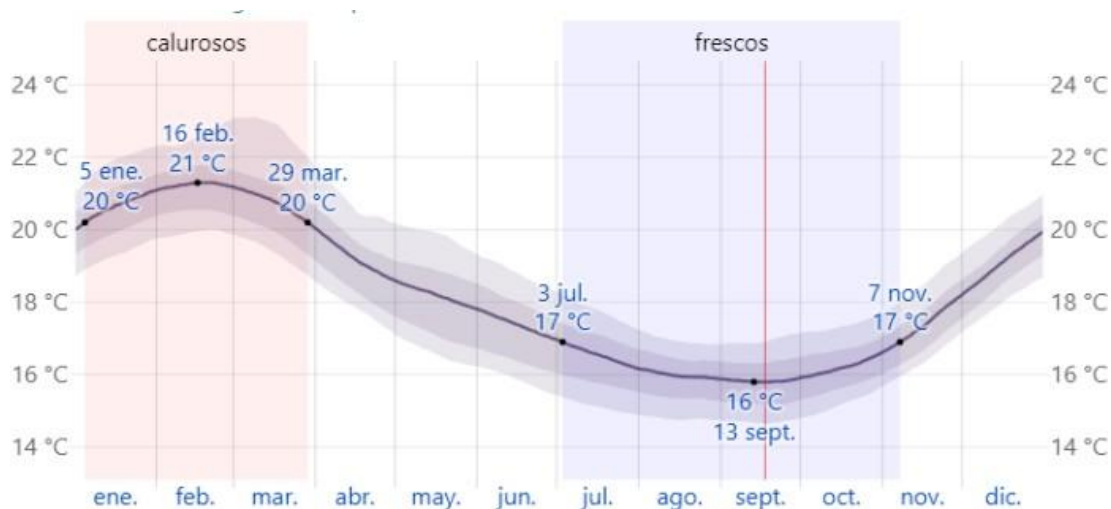
El promedio de la velocidad media del viento por hora (línea gris oscuro), con las bandas de percentil 25º a 75º y 10º a 90º.

Temperatura del agua

Ica se encuentra cerca de una gran masa de agua, como un océano, mar o lago. Esta sección aborda la temperatura promedio de la superficie del agua en un área extensa[48]. A lo largo del año, la temperatura del agua muestra variaciones estacionales significativas. La temporada más cálida se extiende por 2.8 meses, desde el 5 de enero hasta el 29 de marzo, con una temperatura promedio superior a 20 °C[48].

El mes más cálido es febrero, cuando la temperatura promedio del agua alcanza los 21 °C. En contraste, la temporada más fría dura 4.1 meses, desde el 3 de julio hasta el 7 de noviembre, con una temperatura promedio inferior a 17 °C. Septiembre es el mes más frío, con una temperatura promedio del agua de 16 °C[48].

Fig. 10: Temperatura promedio del agua en Ica.



Metodología

Para cada hora entre las 8:00 y las 21:00 durante el periodo de análisis (1980 a 2016), se calculan puntuaciones independientes para la temperatura percibida, nubosidad y precipitación total. Estas puntuaciones se combinan en una puntuación compuesta por hora, que luego se suma por día, promediando todos los años del periodo y aplicando un suavizado[48].

La puntuación de nubosidad alcanza 10 cuando el cielo está despejado, disminuyendo linealmente a 9 si está mayormente despejado y hasta 1 cuando está totalmente nublado.

La puntuación de precipitación se basa en la precipitación acumulada en tres horas centradas en la hora evaluada. Es 10 si no hay precipitación, baja a 9 si hay vestigios de precipitación y llega a 0 si se registra 1 milímetro o más de precipitación[48].

Para el turismo, la puntuación es 0 cuando las temperaturas percibidas son inferiores a 10 °C, aumenta linealmente a 9 si alcanzan 18 °C, a 10 si son 24 °C, disminuyendo a 9 si son 27 °C y hasta 1 si superan los 32 °C[48].

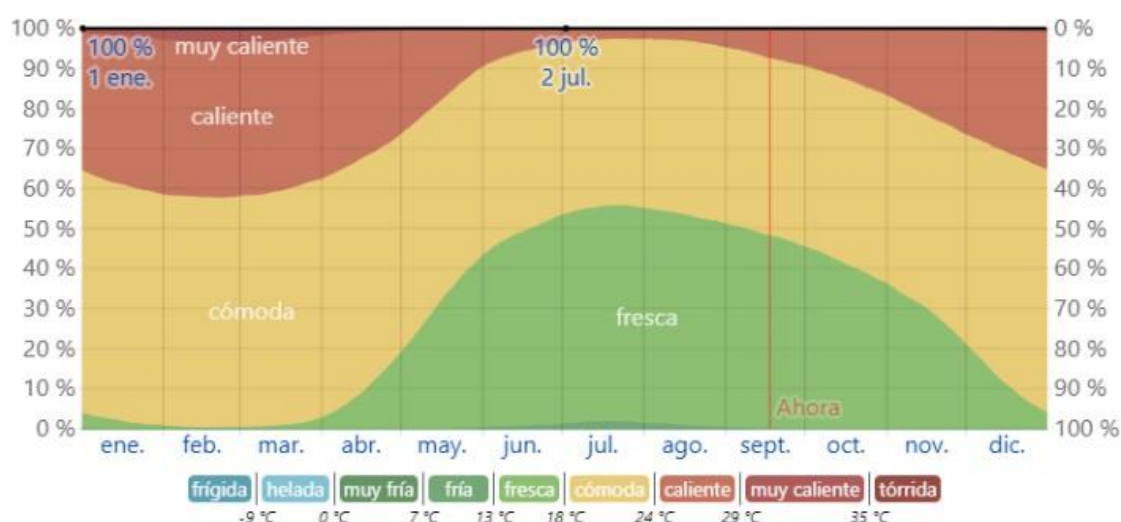
Para actividades de playa o piscina, la puntuación es 0 si las temperaturas percibidas son inferiores a 18 °C, aumenta a 9 si son 24 °C, a 10 si alcanzan 28 °C, disminuyendo a 9 si son 32 °C y hasta 1 si superan los 38 °C[48].

Periodo de cultivo

Las definiciones del período de cultivo varían en todo el mundo. Sin embargo, para este informe, se define como el período continuo más largo del año con temperaturas sin heladas ($\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$), considerando el año calendario en el hemisferio norte o del 1 de julio al 30 de junio en el hemisferio sur[48].

En el caso de Ica, las temperaturas son lo suficientemente cálidas durante todo el año, por lo que no resulta relevante hablar de un período de cultivo en estos términos. Aun así, se incluye la siguiente tabla para ilustrar la distribución de las temperaturas a lo largo del año[48].

Fig. 11: Tiempo que se pasa en diferentes bandas de temperatura y el periodo de cultivo en Ica



El porcentaje de tiempo que se pasa en diferentes bandas de temperatura. La línea negra es el porcentaje de probabilidad de que un día dado esté dentro del periodo de cultivo.

Energía solar

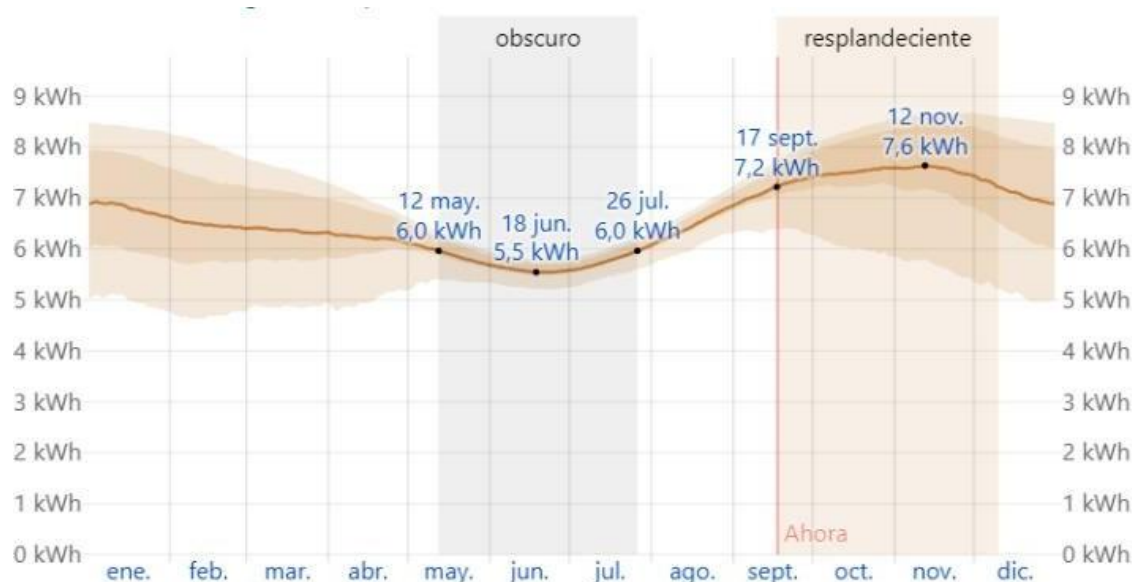
Esta sección analiza la energía solar de onda corta total diaria que incide sobre la superficie terrestre en un área amplia, considerando las variaciones estacionales en la duración del día, la altura del sol sobre el horizonte y la absorción por las nubes y otros elementos atmosféricos. La radiación de onda corta incluye tanto la luz visible como la radiación ultravioleta[48].

En Ica, la energía solar de onda corta incidente diario promedio muestra variaciones estacionales leves a lo largo del año. El período más luminoso se extiende por 2.8 meses, desde el 17 de septiembre hasta el 10 de diciembre, con una energía solar incidente diaria

promedio superior a 7.2 kWh por metro cuadrado. El mes más brillante es noviembre, con un promedio de 7.6 kWh[48].

Por otro lado, el período más oscuro dura 2.5 meses, del 12 de mayo al 26 de julio, con una energía solar incidente diaria promedio inferior a 6.0 kWh por metro cuadrado. Junio se destaca como el mes más oscuro, con un promedio de 5.6 kWh[48].

Fig. 12: Energía solar de onda corta incidente diario promedio en Ica



La energía solar de onda corta promedio diario que llega a la tierra por metro cuadrado (línea anaranjada), con las bandas de percentiles 25° a 75° y 10° a 90°.

Desarrollo del estudio

El estudio se llevó a cabo en diversos tipos de uso de suelo en la región de Ica. Los sitios de muestreo presentaron condiciones topográficas, edáficas y climáticas similares, con una precipitación media anual que oscila entre 30 mm y 290 mm, una humedad relativa entre 56% y 68%, y temperaturas que varían de 15.1 °C a 19.1 °C. Estas condiciones climáticas son características de las zonas agroindustriales[48].

Presentamos los principales cultivos

Clasificación de los principales cultivos agrícolas a nivel nacional y la Región Ica.

Se presenta el ranking de los principales cultivos agrícolas de la Región Ica para el año 2023, basado en las variables agrícolas: superficie cosechada (en hectáreas), producción (en toneladas métricas) y rendimientos por hectárea. Estas variables son fundamentales para explicar la presente investigación:

Tabla N°2: Ranking de superficie cosechada, producción y rendimientos de los principales cultivos agrícolas de la Región Ica

N°	CULTIVOS	VARIABLES AGRÍCOLAS		
		Superficie Cosechada en Hás.	Producción en Tm.	Rendimiento Promedio en Kg./Ha.
1	Maíz A.D.	20,148	204,901	10,170.00
2	Espárrago	14,821	189,941	12,815.00
3	Uva	13,620	265,005	19,457.00
4	Algodón Rama	10,270	30,142	2,935.00
5	Alfalfa	5,526	132,487	23,977.00
6	Palta	4,328	66,332	15,327.00
7	Papa	3,376	118,486	35,095.00
8	Mandarina	3,207	169,653	52,902.00
9	Pallar Grano Seco	2,562	3,174	1,239.00
10	Alcachofa	2,165	42,766	19,783.00
11	Cebolla de Cabeza	2,061	122,773	59,558.00
12	Granada	1,905	39,359	20,661.00
13	Camote	1,791	45,645	25,493.00
14	Tangelo	1,328	55,686	41,919.00
15	Olivo	1,321	6,511	4,929.00
16	Tomate	1,306	138,863	106,319.00
17	Maíz Choclo	1,278	18,495	14,477.00
18	Zapallo	1,204	41,974	34,853.00
19	Pecana	1,054	2,529	2,399.00
20	Naranja	1,012	29,261	28,915.00

21	Mango	688	7,364	10,709.00
22	Sandía	566	21,089	37,233.00
23	Tuna	419	958	2,286.00
24	Páprika	392	2,721	6,942.00
25	Frijol Grano Seco	310	480	1,552.00
26	Yuca	301	7,668	25,474.00
27	Pallar Grano Verde	276	1,494	5,413.00
28	Melón	253	6,563	25,980.00
29	Frijol Castilla	221	431	1,947.00
30	Higo	206	755	3,672.00
31	Garbanzo Seco	195	302	1,547.00
32	Lucuma	167	2,031	12,178.00
33	Arándano	162	1,465	9,672.00
	Otros	-2,218	-22,664	
	Total, Agro Región Ica:	100,657	1,799,968	

Fig. 13: Ranking de superficie cosechada, producción y rendimientos de los principales cultivos agrícolas de la Región Ica



El sector agrícola en el departamento de Ica es de gran relevancia, ya que involucra al 22.3% de la Población Económicamente Activa (PEA) en actividades como agricultura, ganadería, caza y silvicultura.

En 2012, este sector contribuyó con el 15.8% al Producto Bruto Interno (PBI) departamental. Según el Censo Agropecuario 2017, existen 32,291 unidades agropecuarias que ocupan una superficie total de 599,503.17 hectáreas, lo que da un tamaño promedio de 18.57 hectáreas por unidad. Del total de la superficie agrícola, el 91.32% se encuentra bajo riego, mientras que el 8.68% se cultiva en secano.

En la región, el riego por inundación o gravedad se utiliza principalmente para cultivos de consumo local, mientras que las plantaciones de exportación emplean riego tecnificado, aprovechando las aguas subterráneas.

El departamento de Ica se posiciona como el principal agroexportador del país, representando el 65% de la agroexportación peruana. Entre sus cultivos más destacados se encuentran el espárrago, uva, cebolla cabeza amarilla, paprika, palta y diversos cítricos como mandarina, naranja y tangelo, además de otros productos como alcachofa, granada y dátil. Ica también produce cultivos destinados al consumo interno, tales como algodón, camote, maíz amarillo duro, maíz choclo, papa, pallar, tomate.

Las temperaturas mínimas y máximas más elevadas, junto con lluvias breves seguidas de largos periodos secos, están generando erosión del suelo, disminución de su capacidad de almacenamiento hídrico y soporte, y procesos de desertificación más intensos. Esto impacta los bosques secos, como los de huarango, y provoca la pérdida de la cobertura natural, en particular los bosques de galería en las zonas de valle. Los efectos sobre las especies de flora y fauna aún no se comprenden completamente. La sensibilidad al cambio climático se ve exacerbada por presiones ambientales antropogénicas, tales como la tala, minería, contaminación industrial, sobrepesca, vertido de aguas residuales urbanas, expansión de la frontera agrícola y sobreexplotación de acuíferos. Para el 2030, se prevé un mayor aumento en la temperatura del aire, lo que probablemente agravará los problemas de desertificación.

Es fundamental promover una mayor investigación sobre los impactos actuales y futuros del cambio climático en los bienes y servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas de la región. Además, se deben llevar a cabo acciones de fortalecimiento en el sistema de gestión ambiental y en la protección de las áreas naturales.

IDENTIFICACIÓN Y USO DE INDICADORES DE SUELOS EN LAS AGROINDUSTRIAS DE LA PROVINCIA DE ICA.

En la provincia de Ica, la identificación y utilización de indicadores del suelo, como el pH, niveles de nutrientes y textura, son esenciales para las agroindustrias. Estos indicadores permiten a agricultores y profesionales del sector optimizar el rendimiento de los cultivos, reducir costos y promover la sostenibilidad ambiental. Al analizar la composición del suelo, es posible seleccionar cultivos, fertilizantes y sistemas de riego adecuados, lo que incrementa tanto la productividad como la rentabilidad.

Fig. 14: Monitoreo Calidad de suelo FSA - 01



Asimismo, los indicadores del suelo son útiles para evaluar su degradación y contaminación, lo que facilita la implementación de medidas correctivas para conservar su fertilidad.

Tabla 3: Cadena de custodia

UAGQ Lima CADENA DE CUSTODIA / SOLICITUD DE ANÁLISIS

CLIENTE: COOPERATIVA S.E.L. / TECNITRIS

PROYECTO: MONITOREO DE LA CALIDAD DEL SUELO - 2023

LUGAR DE MUESTREO: FUNDO CHATRO VIENTOS, ICA

MONITOREO: ICA, D.M.

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE MUESTREO	HORA	COORDENADAS	ANÁLISIS	RESULTADOS
C5-01	04/07/23	11:00	3A	ANÁLISIS DE NUTRIENTES	X X X X
C5-02	04/07/23	10:40	3A	ANÁLISIS DE NUTRIENTES	X X X X
C5-03	04/07/23	10:20	3A	ANÁLISIS DE NUTRIENTES	X X X X

ANÁLISIS: COOPERATIVA S.E.L. / TECNITRIS

ANÁLISIS: MONITOREO DE LA CALIDAD DEL SUELO - 2023

ANÁLISIS: FUNDO CHATRO VIENTOS, ICA

ANÁLISIS: ICA, D.M.

Al igual que en muchos países, Perú enfrenta actualmente uno de los problemas ambientales más graves: la pérdida de la calidad del suelo debido a actividades antrópicas, lo que impacta negativamente la producción agrícola. En la costa, uno de los problemas más críticos es la degradación del suelo por salinización, que generalmente se aborda utilizando agua de buena calidad para lavar el suelo. Sin embargo, en la región de Ica, es difícil encontrar agua de calidad, por lo que el manejo adecuado y la correcta aplicación de fertilizantes en la producción agrícola son fundamentales.

Fig. 15: Monitoreo calidad de suelo M-26 Lote C9



En la subunidad, se seleccionaron sitios de muestreo que representaban los tres sistemas de manejo agrícola empleados: siembra directa, labranza reducida y labranza convencional, considerando las variantes con y sin fertilización, así como con y sin pastoreo. Además, se eligieron dos sitios de referencia que representan condiciones lo más cercanas posible a un suelo natural.

Fig. 16: Monitoreo calidad de suelo M.28 Lt C10.



Por ello, se busca optimizar el proceso de fertilización. En este trabajo de investigación, se planteó como objetivo la evaluación de la calidad de los suelos mediante la identificación y uso de indicadores en las agroindustrias de la provincia de Ica.

Para el ensayo, se realizaron evaluaciones de la calidad del suelo. Los resultados muestran el impacto de la fertilización en la salinidad del perfil del suelo dentro del programa de fertilización, con valores de salinidad de 7 y 5 dS/m. Estos se compararon con los datos locales (T1), que presentaron valores de 5 y 2 dS/m a 20 y 40 cm de profundidad. Los cationes

responsables del aumento de la salinidad en la solución del suelo propuesto (T2) registraron niveles de 81 y 25 meq/L de sodio; 33 y 11 meq/L de magnesio; y 19 y 7 meq/L de potasio. En contraste, el programa de fertilización local alcanzó valores de 92 y 23 meq/L de sodio; 51 y 14 meq/L de magnesio; y 47 y 12 meq/L de potasio a 20 y 40 cm de profundidad, respectivamente.

Fig.17: Monitoreo de la calidad del suelo M-55. Lote B9



Actualmente, uno de los principales problemas ambientales que enfrenta Perú, al igual que muchos otros países, es el deterioro de la calidad del suelo causado por actividades humanas, lo que afecta negativamente la producción agrícola.

Fig. 18: Monitoreo Calidad de suelo



Este problema suele solucionarse mediante el uso de agua de buena calidad para cumplir con los requerimientos de lixiviación específicos del cultivo, el agua de riego y el suelo de la zona. Sin embargo, en la región de Ica, la disponibilidad de agua de alta calidad es limitada, lo que hace que las prácticas de fertilización responsable sean fundamentales para un adecuado manejo del suelo.

Fig. 19: Estación de suelo FSA 01



Tabla 4: Informe de ensayo



INFORME DE ENSAYO

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-072



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 072

Nº de Referencia:	S-23/028254	Registrada en:	AGQ Perú	Cliente (*):	CONSULTING SERVICIOS LUCKY S.R.L.
Análisis:	PE01-00026521-73	Centro Análisis:	AGQ Perú	Domicilio (*):	URB. SAN CARLOS MZ. B LOTE 30 - ICA - ICA
Tipo Muestra:	SUELOS	Fecha Recepción:	06/05/2023	Contrato:	QMT-PE230400442
Fecha Inicio:	06/05/2023	Fecha Fin:	25/05/2023	Cliente 3º(*):	---
Descripción(*):	CS-01				

Fecha/Hora Muestreo:	04/05/2023 11:06	Muestreado por:	*Cliente (*)
Lugar de Muestreo:	FUNDO CUATRO VIENTOS	Coordenadas x,y:	490229 8352284
Punto de Muestreo:	CS-01		

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los resultados reflejados en el presente informe se refieren únicamente a la muestra sometida a ensayo. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, tanto la asociada a la toma de muestras realizada por él como a otros datos descriptivos, marcados con (*) y que se encuentran fuera de nuestro alcance de Acreditación.



Nanci Liñan Acosta
COP 1342



Liliana Dedios Alegria
COP-824

FECHA EMISIÓN: 25/05/2023

OBSERVACIONES (*):

AGQ PERU, S.A.C.

Av. Luis José de Orbegoso 350, San Luis - Lima, PERU

T: (511) 710 27 00

atencionalclienteperu@agqlabs.com

agqlabs.pe

N° de Referencia: S-23/028254
Descripción(*): CS-01

Tipo Muestra: SUELOS
Fecha Fin: 25/05/2023

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert
Otros Parámetros Físico Químicos			
Cianuro Libre	< 0,3	mg/kg PS	-
¹³¹ Cromo VI	< 0,10	mg/kg PS	-
Metales Totales			
Arsénico Total	2,49	mg/kg PS	±0,25
Bario Total	97,89	mg/kg PS	±6,9
Cadmio Total	0,0942	mg/kg PS	±0,0057
Cromo Total	7,520	mg/kg PS	±0,53
Mercurio Total	< 0,010	mg/kg PS	-
Plomo Total	6,450	mg/kg PS	±1,0
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales de Petróleo F1(C6-C10)	< 0,30	mg/kg PS	-
HAPs			
Benzo (a) pireno	< 0,011	mg/kg PS	-
COVs			
¹³¹ 1,1,2-Tricloroeteno	< 0,004	mg/kg PS	-
Naftaleno	< 0,040	mg/kg PS	-
Tetracloroeteno	< 0,040	mg/kg PS	-
BTEX			
Benceno	< 0,030	mg/kg PS	-
Etilbenceno	< 0,030	mg/kg PS	-
m,p-Xileno	< 0,040	mg/kg PS	-
o-Xileno	< 0,040	mg/kg PS	-
Tolueno	< 0,030	mg/kg PS	-
Xilenos	< 0,060	mg/kg PS	-
PCBs			
PCB N° 101	< 0,011	mg/kg PS	-
PCB N° 118	< 0,011	mg/kg PS	-
PCB N° 138	< 0,011	mg/kg PS	-
PCB N° 153	< 0,011	mg/kg PS	-
PCB N° 180	< 0,011	mg/kg PS	-
PCB N° 28	< 0,011	mg/kg PS	-
PCB N° 52	< 0,011	mg/kg	-
PCB Total	< 0,011	mg/kg PS	-

Nota: A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

(13) Ensayo cubierto por la Acreditación n° TL-502 emitida por IAS.

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

N° de Referencia: S-23/028254
Descripción(*): CS-01

Tipo Muestra: SUELOS
Fecha Fin: 25/05/2023

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec. (B)
Otros Parámetros Físico Químicos				
Cianuro Libre	EPA Method 9013A Rev.2-2014 / SMEWW 4500 CN F. 23rd Ed. 2017	Electrometría		0,3 mg/kg PS
¹⁴¹ Cromo VI	PP-205 Rev.8 2021 (Digestión Basado en DIN EN 15192)	Espect ICP-OES		0,10 mg/kg PS
Metales Totales				
Arsénico Total	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014)	Espect ICP-MS		0,010 mg/kg PS
Bario Total	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014)	Espect ICP-MS		0,0230 mg/kg PS
Cadmio Total	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014)	Espect ICP-MS		0,0008 mg/kg PS
Cromo Total	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014)	Espect ICP-MS		0,0080 mg/kg PS
Mercurio Total	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014)	Espect ICP-MS		0,010 mg/kg PS
Plomo Total	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014)	Espect ICP-MS		0,0020 mg/kg PS
Hidrocarburos				
Hidrocarburos Totales de Petróleo F1(C6-C10)	EPA Method 8015C. Rev.3 (2007)	Cromat CG FID HS		0,30 mg/kg PS
HAPs				
Benzo (a) pireno	EPA Method 8270E Rev.6 (2018)	Cromatog CG/MS-MS		0,011 mg/kg PS
COVs				
¹⁴¹ 1,1,2-Tricloroeteno	EPA Method 8260D Rev.4 (2018)	Cromatog CG/MS		0,004 mg/kg PS
Naftaleno	EPA Method 8260D Rev.4 (2018)	Cromatog CG/MS		0,040 mg/kg PS
Tetracloroeteno	EPA Method 8260D Rev.4 (2018)	Cromatog CG/MS		0,040 mg/kg PS
BTEX				
Benceno	EPA Method 8260D Rev.4 (2018)	Cromatog CG/MS		0,030 mg/kg PS
Etilbenceno	EPA Method 8260D Rev.4 (2018)	Cromatog CG/MS		0,030 mg/kg PS
m,p-Xileno	EPA Method 8260D Rev.4 (2018)	Cromatog CG/MS		0,040 mg/kg PS
o-Xileno	EPA Method 8260D Rev.4 (2018)	Cromatog CG/MS		0,040 mg/kg PS
Tolueno	EPA Method 8260D Rev.4 (2018)	Cromatog CG/MS		0,030 mg/kg PS
Xilenos	EPA Method 8260D Rev.4 (2018)	Cromatog CG/MS		0,060 mg/kg PS

(B) El Lim Cuantif es el valor superior del cual debe ser el valor reportado en los resultados de laboratorio. El Lim Detec es el valor superior del cual debe ser el valor reportado en los resultados de laboratorio.

N° de Referencia: 5-23/028254
Descripción(*): CS-01

Tipo Muestra: SUELOS
Fecha Fin: 25/05/2023

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec (μ)
PCBs				
PCB N° 101	EPA Method 8270E Rev.6 (2018)	Cromatog CG/MS		0,011 mg/kg PS
PCB N° 118	EPA Method 8270E Rev.6 (2018)	Cromatog CG/MS		0,011 mg/kg PS
PCB N° 138	EPA Method 8270E Rev.6 (2018)	Cromatog CG/MS		0,011 mg/kg PS
PCB N° 153	EPA Method 8270E Rev.6 (2018)	Cromatog CG/MS		0,011 mg/kg PS
PCB N° 180	EPA Method 8270E Rev.6 (2018)	Cromatog CG/MS		0,011 mg/kg PS
PCB N° 28	EPA Method 8270E Rev.6 (2018)	Cromatog CG/MS		0,011 mg/kg PS
PCB N° 52	EPA Method 8270E Rev.6 (2018)	Cromatog CG/MS		0,011 mg/kg
PCB Total	EPA Method 8270E Rev.6 (2018)	Cromatog CG/MS		0,011 mg/kg PS

(*) El Lim Cuantif es el valor superior del cual se cuantificamos. El Lim Detec es el valor superior del cual se detecta la presencia de los parámetros de radiactividad en el MDO.

Se evaluó una propuesta de calidad de los suelos sin afectar el rendimiento.

Tabla 5: Resultados de los principales indicadores de suelos en agricultura de Ica.

Indicador	Valores Óptimos	Indicadores para Ica
pH del Suelo	6 - 7.5	7 - 8 (Ligeramente alcalino)
Materia Orgánica (MO)	> 3%	Bajo (< 2%)
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Alta (> 20 cmol /kg)	Moderada (15 - 20 cmol /kg)
Textura del Suelo	Franco (mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla)	Arenoso
Conductividad Eléctrica (CE)	< 4 dS /m	Baja (< 2 dS /m)
Niveles de Nitrógeno (N)	0.1 - 0.5% (depende del cultivo)	Bajo
Niveles de Fósforo (P)	10 - 30 ppm (depende del cultivo)	Medio
Niveles de Potasio (K)	100 - 300 ppm (depende del cultivo)	Medio
Micronutrientes	Adecuados según requerimientos específicos del cultivo	Zinc y Hierro suelen ser limitantes

Propiedades Físicoquímicas y Biológicas del Suelo en Sistemas de Producción Agropecuarios.

El análisis comparativo de las medidas entre los sistemas de producción agropecuarios reveló diferencias significativas en el comportamiento de los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo. El mayor valor de densidad aparente (D_a) en el suelo se observó en los sistemas forestales ($1.5 \pm 0.05 \text{ g cm}^{-3}$), seguido por los sistemas silvopastoriles (SSP) con un valor de $1.49 \pm 0.05 \text{ g cm}^{-3}$. La resistencia mecánica a la penetración de las raíces (RMP) fue más alta en el sistema forestal ($3.17 \pm 0.22 \text{ MPa}$) y más baja en los sistemas agroforestales (SAF) con un valor de $1.0 \pm 0.27 \text{ MPa}$. Los grupos texturales predominantes fueron el franco (F), variando desde franco arenoso (F-A) en los sistemas forestales hasta franco arcilloso (F-Ar) en los sistemas agroforestales (SAF) y en las praderas de ganadería tradicional (Pr), mientras que en los SSP predominó la textura arcillo limosa (Ar-L). El contenido de arena (A) mostró un comportamiento similar en los sistemas de monocultivo forestal y pradera ($P > 0.05$) y fue

significativamente diferente ($P < 0.0001$) en comparación con los sistemas asociados (SAF y SSP).

Fig. 20: Monitoreo calidad de suelo B9



El contenido de limos (L) y arcillas (Ar) en los sistemas evaluados mostró un comportamiento significativamente diferente ($P < 0.001$). Además, se identificó una correlación inversa entre el contenido de arena (A) y los contenidos de arcilla (Ar) y limo (L), con una mayor prevalencia de limos y arcillas en los sistemas silvopastoriles (SSP) y agroforestales (SAF). El índice de estabilidad estructural (IEE) también presentó diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre los sistemas de producción agropecuarios evaluados, siendo el sistema forestal el que alcanzó el valor más alto del IEE (3.92 ± 0.54), seguido por la pradera con manejo tradicional (Pr) y los sistemas silvopastoriles (SSP) (Tabla 6).

El mayor contenido de materia orgánica (MO) se registró en los sistemas silvopastoriles (SSP), seguido por el sistema forestal y las praderas (Pr). El contenido de fósforo (P) en el suelo mostró un comportamiento similar en los sistemas evaluados, con los sistemas agroforestales (SAF) reportando el mayor contenido ($27.05 \pm 22.45 \text{ mg kg}^{-1}$). El contenido promedio de azufre (S) en el suelo fue de $5.77 \pm 1.91 \text{ mg kg}^{-1}$, variando entre $4.01 \pm 0.59 \text{ mg kg}^{-1}$ en el sistema forestal y $7.09 \pm 0.98 \text{ mg kg}^{-1}$ en los SSP. Las bases de intercambio catiónico, calcio (Ca) y sodio (Na), presentaron un comportamiento similar ($P > 0.05$) en los sistemas de producción evaluados. Por el contrario, los valores de magnesio (Mg) y potasio (K) evidenciaron diferencias significativas ($P = 0.0112$ y $P = 0.0017$, respectivamente). Los mayores contenidos de Mg y K se encontraron en los sistemas SAF y SSP (Tabla 6). Asimismo, los valores más altos de capacidad de

intercambio catiónico (CIC) se observaron en los sistemas asociados con especies arbóreas o arbustivas (SAF y SSP) (Tabla 6).

Tabla 6. Indicadores fisicoquímicos y biológicos del suelo, en diferentes sistemas de producción agropecuarios

Sistemas*					ANAVA		
Indicadores del Suelo	Forestal	Pr	SAF	SSP	Media	CV	Significancia estadística
pH	6.38±0.2	6.19±0.11	6.06±0.28	6.25±0.15	6.36	11.38	NS
MO	2.31±0.35 b	2.19±0.28 b	1.22±0.39 c	3.1±0.3 a	2.21	43.23	**
CIC	17.67±3.21 ab	16.68±2.49 a	25.77±3.52 b	23.48±2.71 b	20.9	42.92	**
P	9.97±1.47	10.3±1.46	27.05±22.45	11.26±1.92	14.65	127.95	NS
S	4.01±0.59 b	5.02±1.16 b	6.96±0.91 ab	7.09±0.98 b	5.77	139.33	**
Ca	11.1±1.96	11.3±1.34	11.3±1.58	17.7±3.2	12.7	51.26	NS
Mg	4.8±1.25 ab	4.34±0.89 b	7.44±1.37 ab	5.87±1.09 ab	5.61	60.92	**
K	0.2±0.02 b	0.28±0.03 a	0.38±0.15 a	0.3±0.03 a	0.24	74.38	**
Na	0.27±0.07	0.23±0.04	0.21±0.03	0.2±0.06	0.23	153.89	NS
COS	36.6±4.83 ba	33.7±3.17 a	17.3±6.62 b	41.2±3.85 a	32.2	39.66	**
Da	1.5±0.05 a	1.46±0.04 a	1.24±0.07 b	1.49±0.05 a	1.42	10.58	**
RMP	3.17±0.22 a	2.62±0.17 b	1±0.27 c	2.51±0.19 b	2.33	25.34	**
PT	41.6±2.17	44.4±1.77	46.5±2.84	43.3±1.93	43.95	13.7	NS
A	0.52±0.04 a	0.45±0.02 a	0.25±0.02 b	0.3±0.02 b	0.38	43.98	**
Ar	0.17±0.02 b	0.24±0.01 b	0.39±0.02 a	0.33±0.01 a	0.28	41.12	**
L	0.31±0.02 cb	0.31±0.01 c	0.36±0.02 ab	0.37±0.01 a	0.34	26.15	**
IEE	3.92±0.54 a	3.52±0.34 a	1.94±0.35 b	3.41±0.36 ab	3.2	59.12	*
IDS	0.55±0.03 a	0.64±0.03 a	0.62±0.02 a	0.53±0.03 a	0.59	41.44	NS
S	0.87±0.14 bc	0.81±0.1 c	1.63±0.15 a	1.17±0.13 b	1.12	50.33	**
H	1.25±0.08 bc	1.2±0.05 c	1.81±0.09 a	1.44±0.08 b	1.43	37.5	**
Col	3.96±0.65 b	4.91±0.62 b	0.5±0.13 c	6.34±0.85 a	3.93	135.85	**
Iso	18.2±3.6 b	24.3±4.59 a	10.4±2.07 c	19.5±3.75 b	18.1	188.39	**
Hym	60.44±8.52 a	43.44±5.97 c	4.63±0.71 d	52.62±7.32 b	40.28	116.03	**
Haplo	11.14±1.15 ab	10.52±0.81 b	6.32±0.74 c	13.01±1.12 a	10.25	68.65	**

MO= materia orgánica; CIC = capacidad de intercambio catiónico; P = fósforo; S = azufre; Ca = calcio; Mg = magnesio; K = potasio; Na = sodio; COS = carbono orgánico acumulado en el suelo; Da = densidad aparente; RMP = resistencia mecánica a la penetración; Pt = porosidad total; A = arena; Ar = arcilla; L = limo; IEE = índice de estabilidad estructural; IDS = índice de dominancia de Simpson; S = riqueza de Margalef; H = índice de diversidad de Shannon; Col = coleópteros; Isó = Isoptera; Hym = himenópteros; Haplo = Haplotaxida; Pr = Sistemas de praderas ganadería tradicional; SAF = sistemas agroforestales con cacao; SSP = sistemas silvopastoriles. Nota: Letras iguales en cada línea, indica comportamiento similar entre los sistemas de acuerdo con la prueba de Tukey; ANAVA = análisis de varianza; letras iguales no hay diferencias significativas (NS); * significancia estadística 5%; ** significancia estadística de 1%.

En los sistemas silvopastoriles (SSP) y el sistema forestal se encontró la mayor acumulación de carbono orgánico en los suelos (COS), con valores de $41.2 \pm 3.85 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y $36.6 \pm 4.83 \text{ Mg C ha}^{-1}$, respectivamente. Este resultado fue significativamente diferente ($P < 0.0001$) en comparación con los sistemas agroforestales (SAF), que presentaron una reducción de más del 45% (Tabla 6).

Los índices biológicos del suelo evaluados mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los sistemas de producción analizados, a excepción del índice de dominancia de Simpson (IDS), donde no se encontraron diferencias ($P > 0.05$). El índice IDS fue mayor en las praderas (Pr), con un valor de 0.64 ± 0.03 unidades, seguido por los sistemas agroforestales (SAF), que registraron 0.62 ± 0.02 unidades. Por otro lado, el índice de diversidad de Shannon (H) y la riqueza de Margalef (S) presentaron los valores más altos en los sistemas silvopastoriles (SSP) y agroforestales (SAF), respectivamente (Tabla 6).

Los órdenes Coleóptera (Col) y Hymenoptera (Hym) (macroartrópodos) mostraron diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre los sistemas de producción agropecuarios. La mayor presencia de individuos por metro cuadrado (ind m^{-2}) del orden Coleóptera se registró en los sistemas silvopastoriles (SSP) y agroforestales (SAF), con $6.34 \pm 0.85 \text{ ind m}^{-2}$ y $0.5 \pm 0.13 \text{ ind m}^{-2}$, respectivamente (Cuadro 2). Por su parte, el orden Haplotaxida (Haplo) mostró un aumento en los sistemas SSP y en el sistema forestal, con $13.01 \pm 1.12 \text{ ind m}^{-2}$ y $11.14 \pm 1.15 \text{ ind m}^{-2}$, respectivamente, mientras que se observó una reducción de individuos en los sistemas SAF.

Construcción del Índice de Calidad de Suelo (ICS)

Se analizaron 24 indicadores de calidad del suelo en distintos sistemas de producción agropecuarios, incluyendo 10 indicadores químicos, siete físicos y siete biológicos (Tabla 6). El

análisis de componentes principales (ACP) de estos indicadores reveló que únicamente siete componentes principales (CP) explicaron el 71.28% de la varianza total acumulada (Tabla 7).

En estos componentes se identificaron los indicadores con mayor peso absoluto (Tabla 7). El CP-1 representó el 21.48% de la varianza total, destacando la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el Calcio (Ca) como los indicadores con mayor peso. El CP-2 explicó el 14.99% de la varianza, siendo la RMP y el COS los indicadores predominantes. Por su parte, el CP-3 explicó el 10.14%, con el índice de diversidad de Shannon (H) como el indicador más significativo. Los componentes restantes (CP-4 al CP-7) juntos explicaron el 24.67% de la varianza (Tabla 7). En estos, los vectores dominantes fueron: arena (A) y arcilla (Ar) en el CP-4, Isóptera en el CP-5, pH en el CP-6 y fósforo en el CP-7.

La identificación del CMD se realizó con el apoyo del análisis de correlación de Pearson, seleccionando el indicador de mayor peso en cada componente principal, considerando además la correlación significativa entre los indicadores en casos donde el CP presentaba más de uno. Así, para el CP-1 se eligió la CIC, que mostró una alta correlación positiva significativa con el Ca ($r = 0.86$). En el CP-2, se seleccionó la resistencia mecánica a la penetración (RMP), la cual presentó una correlación significativa e inversa con el COS ($r = -0.49$). Para el CP-3, se seleccionó el indicador biológico (H). En el CP-4, se optó por el contenido de arena (A), que presentó una alta correlación inversa significativa con el contenido de arcilla (Ar) ($r = -0.89$). Para los componentes CP-5, CP-6 y CP-7 se seleccionaron, respectivamente, Iso, pH y P.

Índices de Calidad de Suelo (ICS)

Los cambios en el uso del suelo y la sensibilidad de sus indicadores se reflejan en los valores del Índice de Calidad de Suelo (ICS) para cada indicador (Tabla 6). Los resultados indicaron que el índice de calidad del suelo, construido a partir del indicador químico de capacidad de intercambio catiónico (ICS-CIC), contribuyó entre un 34.7% y un 41.2% al valor total del ICS en los sistemas de producción agropecuaria evaluados. Se destacaron los sistemas que combinan múltiples especies (SSP y SAF) como los que presentan las mayores contribuciones al ICS desde la perspectiva química del suelo (Figura 2C y 2D). Desde las perspectivas física y biológica, se observó un comportamiento similar en el ICS generado por los indicadores en todos los sistemas, excepto en los sistemas agroforestales (SAF), donde el índice de calidad del suelo, construido a partir del indicador de resistencia mecánica a la penetración (ICS-RMP), mostró la mayor sensibilidad al evaluar los cambios en el suelo, seguido por el ICS-CIC (Figura 2D).

El índice de calidad de suelo (ICS) obtenido mostró diferencias ($P < 0.0001$) entre los sistemas agropecuarios evaluados. El sistema agroforestal exhibió el mayor valor de ICS (0.77) y los

sistemas que incluyen una sola especie (Forestales y la pradera ganadería tradicional - Pr) muestran los menores ICS (Tabla 7).

Efecto De Los Sistemas de Producción Agropecuarios sobre la Calidad y Salud del Suelo

En este estudio, la porosidad total (Pt) del suelo resultó ser mayor en los sistemas que incluyen especies arbóreas o arbustivas. Los valores más elevados de Pt se registraron en los sistemas silvopastoriles (SSP) y agroforestales (SAF), mientras que los valores más bajos se observaron en la pradera de ganadería tradicional (Pr) (Tabla 6). Esto podría estar relacionado con la capacidad de exploración de las raíces de las especies leñosas y la materia orgánica aportada por la biomasa aérea y subterránea (raíces) al suelo, lo que mejora el movimiento del agua y del oxígeno en el perfil del suelo. Por lo tanto, la transición de sistemas de monocultivo a sistemas más complejos (silvopastoriles, agroforestales, etc.) genera cambios favorables en el suelo (Duran-Bautista, Muñoz, Galindo, Ortiz y Bermúdez, 2020)[49]; Singh, Bhardwaj, Pala y Rajput, 2018)[50]. Aunque se registró un aumento en la porosidad total dentro de los sistemas asociados o multiespecies, los resultados mostraron que en todos los sistemas el porcentaje de macroporos libres fue inferior al 50%, lo cual está relacionado con procesos de compactación. (Salamanca y Amézquita, 2015)[51].

Tabla 7. Análisis de componentes principales (ACP) dentro de los sistemas de producción agropecuarios evaluados

Componente	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	CP-6	CP-7
Autovalor	5.15	3.60	2.43	2.17	1.59	1.11	1.05
Varianza (%)	21.48	14.99	10.14	9.03	6.63	4.65	4.36
Acumulado (%)	21.48	36.46	46.61	55.64	62.27	66.91	71.28
Indicador suelo	Vector propio						
	Comunalidad						
pH	0.07	0.08	0.04	0.04	0.09	0.83	0.15
MO	0.64	0.64	-0.10	-0.01	0.12	0.04	-0.15
CIC	0.84	0.02	0.19	0.01	0.13	-0.08	0.12
S	0.65	0.19	-0.13	0.19	-0.24	0.12	-0.18
P	0.09	0.02	-0.02	-0.03	0.00	0.15	0.91
Ca	-0.77	0.16	-0.03	-0.13	-0.16	-0.10	-0.01
Mg	0.06	-0.49	-0.14	0.17	0.26	0.51	0.22
K	0.66	0.30	-0.08	0.05	-0.14	0.15	0.32
Na	-0.31	0.29	0.38	-0.37	-0.10	0.03	0.09
Da	0.49	-0.21	0.27	-0.24	0.12	-0.56	0.13
PT	0.65	0.14	0.12	-0.07	0.06	-0.22	0.03
RMP	0.09	-0.75	0.24	-0.04	-0.13	-0.14	-0.10
Arena	-0.06	0.16	0.02	0.89	0.01	0.08	0.08
Arcilla	0.17	0.01	0.07	0.82	-0.19	0.11	-0.12
Limo	0.51	-0.15	-0.09	0.35	-0.40	-0.08	0.15

IEE	0.12	0.62	-0.12	-0.19	0.58	0.19	-0.05	0.83
COS	0.55	0.68	-0.20	0.04	0.13	0.16	-0.15	0.87
IDS	-0.35	-0.14	0.75	0.06	-0.08	0.06	-0.06	0.73
S	0.43	-0.07	0.74	-0.08	-0.18	-0.12	-0.08	0.80
H	0.18	-0.03	0.87	0.12	0.01	-0.07	0.04	0.82
Col	0.19	0.59	0.22	0.25	0.14	-0.31	0.09	0.62
Iso	0.07	0.10	-0.07	-0.08	0.78	0.04	-0.05	0.64
Hym	0.04	0.45	-0.23	0.09	0.58	0.03	0.25	0.67
Haplo	-0.02	0.54	0.25	0.39	0.32	-0.06	0.09	0.62

MO= materia orgánica; CIC = capacidad de intercambio catiónico; P = fósforo; S = azufre; Ca = calcio; Mg = magnesio; K = potasio; Na = sodio; COS = carbono orgánico acumulado en el suelo; Da = densidad aparente; RMP = resistencia mecánica a la penetración; Pt = porosidad total; A= arena; Ar = arcilla; L = limo; IEE = índice de estabilidad estructural; IDS = índice de dominancia de Simpson; S = riqueza de Margalef; H = índice de diversidad de Shannon; Col = coleópteros; Iso = isoptera; hym = himenópteros; Haplo = Haplotáxida. CP = componente. Nota: Los resultados resaltados y subrayados negrilla en el cuadro, referencian los indicadores fisicoquímicos y biológicos de mayor valor absoluto por componente principal.

Índice de Calidad del Suelo (ICS) en los Sistemas de Producción Agropecuarios

Los resultados de esta investigación demuestran la sensibilidad de los distintos indicadores de suelo en la construcción del ICS, destacando las contribuciones relativas de cada uno de los indicadores fisicoquímicos y biológicos seleccionados en el ACP. Las propiedades químicas más relevantes en la construcción del índice de calidad de suelo en los diferentes sistemas de uso fueron la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH y el contenido de fósforo disponible (P); resultados similares reportó Gutiérrez, Cardona y Monsalve (2017)[52], donde destacaron la disponibilidad de nutrientes, el contenido de fósforo y de carbono, el pH, y la capacidad de intercambio catiónico, entre otros; mostrando una mayor capacidad para explicar los efectos del cambio en el uso del suelo.

En el contexto físico del suelo, el índice también mostró sensibilidad a la resistencia mecánica a la penetración (RMP) y al contenido de arena (A) como indicadores relacionados con el cambio en el uso del suelo, los niveles de compactación, las funciones hidrológicas y la interacción suelo-ambiente, influyendo en la capacidad productiva del suelo (Vallejo, Afanador, Hernández y Parra, 2018)[53].

Las propiedades biológicas del suelo, por otro lado, estuvieron vinculadas con la presencia del orden Isóptera (termitas), el cual se asocia a ambientes con un alto grado de perturbación. Esto se debe a que las termitas poseen una elevada capacidad de adaptación en entornos alterados,

por lo que su presencia se considera un indicador de alteración ambiental (Araújo, Magalhaes, Santos, Nunes y Días, 2017[54]; Santos, Schossler, Santos, Melo y Santos, 2017[55]).

En este estudio, la construcción del índice de calidad de suelo (ICS) incluyó algunos de los principales indicadores necesarios para evaluar la funcionalidad o salud del suelo (Hernández-Terrón, Gutiérrez, Serrato, González y Rodríguez, 2021[56]; Gutiérrez *et al.*, 2017; Wilson y Sasal, 2017[52]; Sánchez-Navarro *et al.*, 2015[57]). Esto significa que los indicadores seleccionados durante el proceso de análisis de la información obtenida en los sistemas de producción agropecuarios analizados contribuyen a explicar las variaciones resultantes del cambio en los usos del suelo evaluados.

Los sistemas de uso de suelo que mostraron niveles de alta calidad de suelo ($ICS > 0.7$) fueron los dos sistemas multiespecies (SAF y SSP) (Barrera-León, Barrezuela y García, 2020; Gong, Ran, He y Tiyip, 2015)[58], [59]. Estos sistemas contribuyen a mejorar las propiedades fisicoquímicas (Cherubin, Chavarro y Silva, 2019; Leyva, Baldoquín y Reyes, 2018; Olaya-Montes *et al.*, 2021)[60],[61] y biológicas del suelo (Caicedo-Rosero *et al.*, 2021[62]; Teutscherová *et al.*, 2021)[63]. Así como a aumentar su potencial de captura de carbono (López-Santiago *et al.*, 2019)[64]. Estos resultados son similares a los reportados en otra investigación que evaluó el efecto del cambio de uso del suelo a lo largo del tiempo en sistemas de producción ganaderos, indicando que la implementación de sistemas silvopastoriles o la asociación de pasturas con especies arbóreas mejora la calidad del suelo (Martínez-Atencia *et al.*, 2020)[65] son una estrategia efectiva en la recuperación de la salud del suelo (Olaya-Montes *et al.*, 2021; Silva-Olaya *et al.*, 2022)[61],[66].

CONTRASTACIÓN DE LA HIPOTESIS

Hipótesis General

Hipótesis Nula (H_0): La evaluación de la calidad de los suelos a través de la identificación y uso de indicadores no influye significativamente en las agroindustrias de la provincia de Ica.

Hipótesis Alternativa (H_1): La evaluación de la calidad de los suelos a través de la identificación y uso de indicadores influye significativamente en las agroindustrias de la provincia de Ica.

Contrastación:

Los resultados del análisis ANOVA en el Cuadro 2 muestran que algunos indicadores fisicoquímicos y biológicos del suelo presentan diferencias significativas en sus valores (por ejemplo, MO, CIC, S, Mg, K, COS, Da, RMP, etc.). Esto se refleja en los valores de significancia estadística indicados en el cuadro.

Para aceptar la hipótesis alternativa, se observa que hay influencia significativa de la calidad del suelo en la productividad de las agroindustrias de Ica, dado que las variables como CIC

(capacidad de intercambio catiónico) y MO (materia orgánica) presentan diferencias significativas con una significancia estadística de 1% ($P < 0.01$).

Conclusión: Dado que se encontraron diferencias significativas para varios indicadores de suelos en las agroindustrias, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1). La evaluación de la calidad de los suelos influye significativamente en las agroindustrias.

2. Hipótesis Específica 1

Hipótesis Nula (H_0): La identificación de la calidad de los suelos no influye significativamente en la comparación de la calidad de los suelos en las agroindustrias de la provincia de Ica.

Hipótesis Alternativa (H_1): La identificación de la calidad de los suelos influye significativamente en la comparación de la calidad de los suelos en las agroindustrias de la provincia de Ica.

Contrastación:

Los resultados muestran diferencias significativas en los valores de los indicadores como MO (materia orgánica), CIC (capacidad de intercambio catiónico), S (azufre), K (potasio), RMP (resistencia mecánica a la penetración), y otros, según el análisis de varianza (ANOVA). Esto indica que hay diferencias claras en la calidad de los suelos entre los distintos sistemas agroindustriales.

La prueba de Tukey (indicada con letras en el cuadro) resalta que hay grupos con diferencias significativas en varios de los indicadores (por ejemplo, el contenido de materia orgánica es mayor en los sistemas silvopastoriles, lo que sugiere variabilidad en la calidad del suelo).

Conclusión: Al existir diferencias significativas en los indicadores de calidad de los suelos entre los sistemas evaluados, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1). La identificación de la calidad de suelos influye significativamente en la comparación de la calidad de los suelos en las agroindustrias de Ica.

3. Hipótesis Específica 2

Hipótesis Nula (H_0): El uso de los indicadores de calidad de suelos no influye significativamente en la productividad de las agroindustrias de la provincia de Ica.

Hipótesis Alternativa (H_1): El uso de los indicadores de calidad de suelos influye significativamente en la productividad de las agroindustrias de la provincia de Ica.

Contrastación:

El análisis de correlación indica que ciertos indicadores tienen correlaciones significativas con factores de calidad del suelo. Por ejemplo, el análisis de componentes principales (ACP) identificó que la CIC, el pH, y el contenido de fósforo (P) son indicadores clave que contribuyen a la calidad del suelo y, por ende, pueden influir en la productividad de las agroindustrias.

Los resultados de las correlaciones (como la alta correlación positiva de CIC con Ca y la correlación inversa de la resistencia mecánica con COS) sugieren que estos indicadores están relacionados con la productividad agrícola.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los indicadores de suelos agrícolas presentados permiten comparar los valores óptimos para la agricultura con los indicadores específicos de la región de Ica, Perú. Este análisis resulta crucial para identificar las limitaciones y particularidades de los suelos en Ica, lo que contribuye a desarrollar estrategias de manejo agrícola más eficaces y adaptadas a la zona.

El estudio se centró en evaluar la calidad de los suelos en las agroindustrias de la provincia de Ica, utilizando indicadores fisicoquímicos y biológicos que posibilitan la comparación entre distintos sistemas de uso del suelo.

Objetivo Principal: El análisis de la calidad del suelo en la provincia de Ica reveló que los sistemas silvopastoriles (SSP) y agroforestales (SAF) obtuvieron los índices más altos de calidad del suelo ($ICS > 0.7$). La presencia de especies arbóreas en estos sistemas contribuye a mejorar propiedades fisicoquímicas, como la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la porosidad total (PT), lo que se traduce en una mayor productividad del suelo. Estos hallazgos coinciden con estudios anteriores que destacan los sistemas multiespecies como una estrategia eficaz para optimizar la calidad del suelo.

Objetivo Específico 1 (OE1): El estudio reveló diferencias significativas entre los sistemas agroindustriales analizados, destacando que los sistemas asociados (SAF y SSP) presentaron mejores indicadores fisicoquímicos y biológicos en comparación con los monocultivos. Por ejemplo, el sistema silvopastoril mostró los valores más elevados de materia orgánica (MO) y carbono orgánico acumulado en el suelo (COS), lo cual se asocia con la presencia de especies leñosas que aportan biomasa al suelo. Además, el índice de diversidad de Shannon (H) fue superior en los sistemas multiespecies, reflejando una mayor diversidad biológica que contribuye de manera positiva a la salud del suelo.

Objetivo Específico 2 (OE2): La aplicación de indicadores de calidad del suelo, como la CIC, el pH y el contenido de fósforo (P), fue crucial para evaluar la productividad en las agroindustrias de Ica. Los sistemas que adoptan prácticas de manejo basadas en estos indicadores tienden a incrementar su eficiencia productiva. Además, los hallazgos indican que la textura del suelo, especialmente en los sistemas agroforestales, muestra un equilibrio entre arena y arcilla, lo que favorece la retención de agua y nutrientes. Incorporar estos indicadores en las prácticas de manejo agrícola puede guiar estrategias más efectivas para optimizar la producción.

Los resultados demuestran que los sistemas multiespecies, en particular los silvopastoriles y agroforestales, mejoran las propiedades del suelo, incrementan la productividad agrícola y

contribuyen a la restauración y sostenibilidad de los suelos en la provincia de Ica. Para futuras investigaciones, se sugiere un análisis más profundo de los efectos de estas especies arbóreas en diversos estratos del suelo, con el fin de obtener una comprensión más integral de su impacto en la calidad del suelo.

pH del Suelo: El pH óptimo para la mayoría de los cultivos se sitúa entre 6 y 7.5, un rango neutro que facilita la máxima disponibilidad de nutrientes. En la región de Ica, el pH del suelo generalmente oscila entre 7 y 8, indicando suelos ligeramente alcalinos. Esta alcalinidad puede afectar la disponibilidad de micronutrientes como el hierro y el zinc. Por ello, es fundamental aplicar medidas correctivas, como el uso de enmiendas ácidas o fertilizantes acidificantes, para equilibrar el pH y mejorar la absorción de nutrientes.

Materia Orgánica (MO): Los valores óptimos de materia orgánica en suelos agrícolas suelen superar el 3%, ya que la materia orgánica mejora la estructura del suelo, la retención de agua y la actividad microbiana. No obstante, los suelos de Ica presentan niveles bajos de materia orgánica (menos del 2%), debido a su naturaleza arenosa y las condiciones climáticas áridas de la región. Por lo tanto, se recomienda la aplicación de compost, abonos orgánicos o restos vegetales para aumentar el contenido de materia orgánica, mejorar la fertilidad y aumentar la retención de humedad en el suelo.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Una CIC alta, superior a 20 cmol/kg, es deseable porque indica una buena capacidad del suelo para retener nutrientes esenciales para las plantas. Los suelos en Ica presentan una CIC moderada (15-20 cmol/kg), lo cual es aceptable, pero sugiere que la capacidad para almacenar nutrientes no es óptima. Por consiguiente, se recomienda un manejo cuidadoso de la fertilización, aplicando los nutrientes de forma fraccionada y ajustada a las necesidades del cultivo, para minimizar las pérdidas por lixiviación.

Textura del Suelo: Los suelos con textura franca, es decir, una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla, son ideales para la agricultura. Sin embargo, los suelos en Ica son principalmente arenosos, lo que limita su capacidad de retención de agua y nutrientes, afectando potencialmente el desarrollo de los cultivos. Para mejorar esta condición, se recomienda la adición de materia orgánica y, en algunos casos, arcillas o enmiendas minerales que incrementen la capacidad de retención de agua.

Conductividad Eléctrica (CE): La CE es un indicador de la salinidad del suelo, y valores inferiores a 4 dS/m son ideales para la mayoría de los cultivos. En Ica, la CE es baja (< 2 dS/m), lo que sugiere que la salinidad no representa un problema significativo en esta región. Esta condición es ventajosa, ya que los cultivos no sufren el estrés hídrico comúnmente asociado con suelos salinos.

Macronutrientes (N, P, K): La tabla presenta los valores óptimos para nitrógeno, fósforo y potasio, los tres macronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. En Ica, los niveles de nitrógeno son, por lo general, bajos, mientras que los niveles de fósforo y potasio se encuentran en rangos medios. Esta deficiencia de nitrógeno indica la necesidad de priorizar su fertilización para asegurar un adecuado desarrollo de los cultivos.

Micronutrientes: La disponibilidad de micronutrientes como el zinc y el hierro es crucial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En la región de Ica, la disponibilidad de estos micronutrientes suele ser limitada, principalmente debido al pH ligeramente alcalino de los suelos. Por ello, se recomienda aplicar fertilizantes que contengan micronutrientes o implementar prácticas de manejo que mejoren su disponibilidad.

En resumen, los suelos de la región de Ica presentan ciertas limitaciones, como bajo contenido de materia orgánica, textura arenosa y una capacidad moderada de intercambio catiónico, que requieren una gestión cuidadosa para optimizar la productividad agrícola. No obstante, la baja salinidad (CE) constituye una ventaja para el cultivo en esta zona. La implementación de prácticas como la adición de materia orgánica, el ajuste del pH y una fertilización adecuada puede mejorar las condiciones del suelo, creando un entorno más favorable para el crecimiento de los cultivos.

V. CONCLUSIONES

Las conclusiones se fundamentan en los objetivos planteados y en el análisis de los resultados: Evaluación de la calidad de los suelos en las agroindustrias de Ica (Objetivo Principal): El análisis de los suelos en las agroindustrias de la provincia de Ica indicó que los sistemas multiespecies, particularmente los silvopastoriles (SSP) y agroforestales (SAF), obtuvieron los índices de calidad de suelo (ICS) más elevados (> 0.7). Esto evidencia que la incorporación de especies arbóreas y la adopción de sistemas más complejos contribuyen a mejorar la calidad y salud del suelo en comparación con los sistemas de monocultivo.

Identificación de la calidad de suelos en diferentes sistemas (OE1): Los sistemas silvopastoriles y agroforestales presentaron diferencias significativas en sus indicadores fisicoquímicos y biológicos en comparación con los monocultivos. Estos sistemas mostraron un mayor contenido de materia orgánica, carbono orgánico acumulado y una diversidad biológica superior, reflejada en un índice de diversidad de Shannon (H) más alto. Estos hallazgos sugieren que los suelos de estos sistemas son más saludables y ofrecen mejores condiciones para la producción agrícola.

Uso de indicadores para una mejor productividad (OE2): Los indicadores de calidad del suelo, como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH y el contenido de fósforo (P), resultaron fundamentales para evaluar y mejorar la productividad de las agroindustrias en Ica. Los sistemas que implementan prácticas de manejo basadas en estos indicadores, especialmente aquellos que incorporan especies arbóreas, consiguen una mejor retención de nutrientes y agua, lo que se traduce en una mayor eficiencia productiva.

La implementación de sistemas silvopastoriles y agroforestales se consolida como una estrategia eficaz y sostenible para mejorar la calidad del suelo, favoreciendo tanto la restauración como la productividad agrícola a corto, mediano y largo plazo. Esto confirma que un manejo adecuado del uso de la tierra, que incluya especies arbóreas y el monitoreo de indicadores clave, puede contribuir significativamente al mantenimiento y mejora de los suelos en la región de Ica.

En resumen, los resultados respaldan la importancia de adoptar sistemas multiespecies y prácticas de manejo basadas en indicadores de calidad del suelo para optimizar la productividad agrícola y fomentar la sostenibilidad en las agroindustrias de la provincia de Ica. A diferencia de los monocultivos, los sistemas que incorporaron especies arbóreas mostraron los mejores indicadores químicos y biológicos, como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la resistencia mecánica a la penetración (RMP), el contenido de arena (A), el orden Isóptera (Iso), el pH y el contenido de fósforo disponible (P), que fueron esenciales para construir los índices de calidad del suelo en cada sistema analizado.

Los hallazgos de este estudio demuestran que la implementación de sistemas silvopastoriles (SSP) y agroforestales (SAF) no solo mejora la calidad del suelo, sino que también se presenta como una estrategia productiva, económica y viable para la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo, vinculada a la restauración o rehabilitación del suelo. Es importante destacar que, para futuras investigaciones sobre sistemas multiespecies, será necesario evaluar el efecto de estas especies (arbóreas y arbustivas) en diferentes estratos del suelo, lo que permitirá entender mejor su impacto en la salud y calidad del suelo.

VI. RECOMENDACIONES

Implementación de sistemas multiespecies: Dado que los sistemas silvopastoriles (SSP) y agroforestales (SAF) demostraron tener los mayores índices de calidad de suelo, se recomienda que las agroindustrias de la provincia de Ica consideren la implementación de estos sistemas multiespecies. Incluir especies arbóreas en las prácticas agrícolas puede mejorar la estructura, la fertilidad y la biodiversidad del suelo, promoviendo un manejo más sostenible y productivo.

Monitoreo continuo de los indicadores clave de calidad del suelo: Se sugiere un monitoreo regular de los principales indicadores identificados en esta investigación, como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH y el contenido de fósforo (P). Esta práctica permitirá a los agricultores ajustar las estrategias de manejo del suelo en tiempo real, optimizando la productividad y evitando el agotamiento de los nutrientes.

Fomentar la incorporación de materia orgánica: Dado que los sistemas silvopastoriles mostraron un mayor contenido de materia orgánica (MO) en el suelo, se recomienda la incorporación de prácticas que aumenten los niveles de MO, como la aplicación de compost, abonos verdes y residuos orgánicos. Esto contribuirá a mejorar la estructura del suelo, la retención de agua y la actividad biológica.

Ajustes de fertilización y manejo del pH: La investigación reveló la importancia de mantener un pH adecuado para la disponibilidad de nutrientes. Por lo tanto, se recomienda el uso de enmiendas que permitan ajustar el pH del suelo, especialmente en áreas donde se detecte alcalinidad. Asimismo, se debe aplicar fertilización fraccionada y balanceada según las necesidades específicas del cultivo, basada en los niveles de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.

Incorporar prácticas de conservación del suelo: La textura arenosa y los niveles de compactación observados en algunos sistemas sugieren la necesidad de implementar prácticas de conservación, como la siembra en contorno, el uso de coberturas vegetales y la reducción del laboreo. Estas prácticas ayudarán a mejorar la estructura del suelo, reducir la erosión y conservar la humedad.

Investigación adicional en diferentes estratos del suelo: Para obtener una comprensión más completa del impacto de las especies arbóreas y arbustivas en la calidad del suelo, se recomienda realizar estudios futuros que evalúen los efectos de estas especies en diferentes estratos del suelo. Esto proporcionará información más detallada para optimizar las prácticas de manejo y maximizar los beneficios para la salud del suelo.

Capacitación de los agricultores: Se recomienda la implementación de programas de capacitación para los agricultores de la provincia de Ica, enfocados en la importancia del manejo adecuado del suelo y en la aplicación de sistemas multiespecies. La educación y concienciación sobre el uso de indicadores de calidad del suelo permitirán una toma de decisiones más informada y sostenible en las actividades agrícolas.

En conjunto, estas recomendaciones están orientadas a promover la sostenibilidad y la productividad agrícola en la región de Ica, abordando las limitaciones y oportunidades identificadas en la investigación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Cruz, E. Barra, Castillo, and Gutiérrez, “La calidad del suelo y sus indicadores,” *Rev. Ecosistemas*, p. 8, 2004.
- [2] W. Marcelo German, “Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina,” 2017.
- [3] Watson, Bolin, and Ravindranath, “Uso de la Tierra, Cambio de Uso y Silvicultura,” 2000.
- [4] D. De La Rosa and R. Sobral, “Soil quality and methods for its assessment,” *Digital.CSIC*, p. 34, 2008.
- [5] FAO, *Agricultura familiar en America Latina y el Caribe*. 2014.
- [6] “Formulaciones farmaceuticas de solubilidad acuosa mejorada.”
- [7] FAO, “El suelo es un recurso no renovable,” *Organ. las Nac. Unidas para la Aliment. y la Agric.*, p. 4, 2015.
- [8] Jiménez and González, “La calidad de suelos como medida para su conservación,” *Edafología*, vol. 13, no. 3, p. 14, 2006.
- [9] M. P. Cantú, A. Becker, J. C. Bedano, and H. F. Schiavo, “Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices,” *Cienc. del Suelo*, p. 6, 2007.
- [10] ARSHAD, “Agriculture Ecosystems & Environmen.”
- [11] Karlen *et al.*, “Soil Quality A Concept, Definition and Framework for Evaluation,” *Soil Science Society of America Journal*.
- [12] Y. Garcia, W. Ramírez, and S. Sánchez, “Indicadores de la calidad de los suelos: una manera de evaluar este recurso,” *Pastos Y Forrajes*, p. 15, 2012.
- [13] J. barrera leon, “Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas,” *Rev. Científica Multidiscip. la Univ. Metrop. Ecuador*, p. 9, 2020.
- [14] laura natali Afanador barajas, danier andres coca peña, andres felipe vargas giraldo, maria fernanda bautista murcia, A. mendoza hernandez, and victoria eugenia vallejo quintero, “Evaluación de la calidad de suelos en agroecosistemas de Colombia a través de la selección de un conjunto mínimo de datos,” *Colomb. For.*, p. 16, 2020.
- [15] D. S. Pinos Solano, “Calidad del suelo a partir de indicadores físicos y químicos aplicado a tres usos de suelo para la generación de propuestas de gestión por impactos en el suelo por acciones antrópicas en el bosque y vegetación protectores de Sunsun - Yanasacha,” *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*, 2022.
- [16] jhon maber Irigoin aguilar, “Evaluación de indicadores de calidad de suelos mediante análisis multivariado de 223 muestras de suelos del distrito de Huarango-San Ignacio,”

Universidad nacional de cajamarca, 2022.

- [17] C. Panaifo Gómez, M. Ñique Álvarez, and J. Levano Crisóstomo, “Calidad y uso sustentable del suelo en el Valle del Monzón, Huánuco – Perú,” *Rev. Latinoam. Difusión Científica*, p. 17, 2021, doi: 10.38186/difcie.35.02.
- [18] D. Huisa Altamirano, “La calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (Coffea arabica) VAR. CATIMOR en el anexo Alto Pitocuna del distrito de Río Negro. Satipo. 2018,” Universidad continental, 2020.
- [19] Soil Survey Staff, “Keys to soil taxonomy,” *United States Dep. Agric.*, p. 341, 2006.
- [20] M. Meza Aliaga, C. Castro Correa, K. Pereira Acuña, and G. Puga Morales, “Indicadores para el monitoreo de la calidad del suelo en áreas periurbanas,” *Asoc. interciencia*, p. 10, 2017.
- [21] X. Castillo Valdez, J. Etchevers, C. M. I. Hidalgo Moreno, and A. Aguirre Gómez, “Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores,” *Terra Latinoam.*, vol. 39, p. 12, 2021, doi: 10.28940/TERRA.V39I0.698.
- [22] M. Altieri and C. Nicholls, “Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café.”
- [23] J. Villarreal Núñez, L. Pla Sentis, L. Agudo Martinez, J. Villalaz Perez, F. Rosales, and L. Pocasangre, “Índice de calidad del suelo en áreas cultivadas con banano en Panamá,” *Agron. Mesoam.*, vol. 24, no. 2, p. 16, 2013.
- [24] A. Navarro Bravo, B. Figueroa Sandoval, M. Martínez Menes, F. González Cossio, and E. salvador Osuna Ceja, “Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos,” *Agric. Técnica en México*, vol. 34, no. 2, p. 8, 2008.
- [25] S. Rendón Pareja, F. Artunduaga Lemus, R. Ramírez Pisco, J. A. Quiroz Gamboa, and E. I. Leiva Rojas, “Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Suelo en Cultivos de Mora, Pasto y Aguacate,” *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, vol. 64, no. 1, p. 10, 2011.
- [26] G. Febles, V. Torres, R. Baños, T. Ruiz, S. Yañez, and J. Echeverría, “Aplicación del análisis multivariado para determinar la preponderancia de factores edafoclimáticos en la producción de semillas de gramíneas pratenses tropicales,” *Rev. Cuba. Cienc. Agrícola*, vol. 45, no. 1, p. 9, 2011.
- [27] S. Barrezueta Unda, A. Paz Gonzalez, and J. Chabla Carrillo, “Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en provincia de El Oro-Ecuador,” *Rev. CUMBRES*, vol. 3, no. 1, p. 8, 2017.
- [28] C. Garbisu, J. M. Becerril, L. Epelde, and I. Alkorta, “Bioindicadores de la calidad del suelo : herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador,” *Ecosistemas*, vol. 16, no. 2, p. 6, 2007.

- [29] L. E. Cerón Rincón and L. M. Melgarejo Muñoz, “Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad,” *Acta Biol. Colomb.*, p. 14, 2005.
- [30] T. L. Franco and R. Hidalgo, *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*. 2003.
- [31] J. Bech Vertti, *Analisis multivariado*, Primera Ed. Universidad Autónoma de Aguas Calientes, 2019.
- [32] “(PDF) The Nature and Properties of Soils. 15th edition.”
- [33] H. D. Casalinho, S. R. Martins, J. B. Da Silva, and Â. Da Silva Lopes, “Calidad del suelo como indicador de sostenibilidad de agro ecosistemas,” *Rev. Bras. agrociência*, p. 9, 2007.
- [34] J. A. Da Costa, “Indicadores de calidad del suelo en diferentes modelos de agricultura familiar en el semiárido Pernambuco,” *Univ. Fed. Rural Pernambuco*, p. 68, 2016.
- [35] M. Ríos Cabrera, M. Ruiz Dáger, M. Maduro Rojas, and H. García, “Estudio exploratorio de las propiedades físicas de suelos y su relación con los deslizamientos superficiales: Cuenca del río Maracay, estado Aragua-Venezuela,” *Rev. Geogr. Venez.*, p. 24, 2015.
- [36] D. P. Oliva Escobar, “Determinación de la acidez intercambiable ($AL*3+H^*$) apartir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua,” p. 28, 2009.
- [37] FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), “Propiedades Químicas.”
- [38] L. Karlen, M. J. Mausbach, J. W. Doran, R. G. Cline, R. F. Harris, and G. E. Schuman, “Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation,” *Soil Sci. Soc. Am. J.*, p. 6, 1997, doi: 10.2136/SSSAJ1997.03615995006100010001X.
- [39] J. Doran and T. Parkin, “Defining and Assessing Soil Quality.”
- [40] “Distrito de Ica.”
- [41] INEI, *Instituto Nacional de estadística e Informática. Sistema ESTADISTICO nacional*. Oficina Departamental de Estadística e Informática de ICA, 2017.
- [42] “Provincia de Ica - Wikipedia, la enciclopedia libre.” Accessed: Sep. 16, 2024. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Ica
- [43] R. Hernandez, C. Fernandez, and P. Baptista, *Metodologia de la Investigacion*, Sexta Edic. Mexico: Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736, 2014.
- [44] M. Tamayo y Tamayo, *El Proceso de la Investigación Científica. Incluye evaluación y Administración de Proyectos de Investigación*, Cuarta Edi. Mexico - Mexico, 2003.
- [45] R. Hernandez Sampieri, C. Fernandez Collado, and M. del P. Baptista Lucio, *Definición del alcance de la investigación a realizar: exploratoria, descriptiva, correlacional o*

explicativa. 2010.

- [46] E. Cabezas, D. Andrade, and J. Torres, *Introduccion a la Metodologia de la Investigacion Cientifica*. Ecuador, 2018.
- [47] “Ica - Wikipedia, la enciclopedia libre.” Accessed: Sep. 16, 2024. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ica>
- [48] “Clima en Ica, Tiempo por Mes, Temperatura Promedio (Perú) - Weather Spark.” Accessed: Sep. 17, 2024. [Online]. Available: <https://weatherspark.com/y/22218/Average-Weather-in-Ica-Peru-Year-Round>
- [49] E. H. Duran-Bautista, Y. Muñoz Chilatra, J. D. Galindo, T. A. Ortiz, and M. F. Bermúdez, “Soil Physical Quality and Relationship to Changes in Termite Community in Northwestern Colombian Amazon,” *Front. Ecol. Evol.*, vol. 8, p. 598134, Dec. 2020, doi: 10.3389/FEVO.2020.598134/BIBTEX.
- [50] R. Singh, D. R. Bhardwaj, N. A. Pala, and B. S. Rajput, “Variation in soil properties under different land uses and altitudinal gradients in soils of the Indian Himalayas,” *Acta Ecol. Sin.*, vol. 38, no. 4, pp. 302–308, 2018, doi: 10.1016/j.chnaes.2017.12.003.
- [51] A. Salamanca Jiménez and E. Amézquita Collazos, “Influence of the intensity of use on some physical properties in a soil of the Valle del Cauca, Colombia,” *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.*, vol. 6, pp. 43–51, 2015, [Online]. Available: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1262/1598>
- [52] J. S. Gutiérrez D., W. A. Cardona, and O. I. Monsalve C., “Potencial en el uso de las propiedades químicas como indicadores de calidad de suelo. Una revisión,” *Rev. Colomb. Ciencias Hortícolas*, vol. 11, no. 2, pp. 450–458, 2017, doi: 10.17584/rcch.2017v11i2.5719.
- [53] V. E. Vallejo, L. N. Afanador, M. A. Hernández, and D. C. Parra, “Efecto de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad del suelo en el municipio de cachipay, cundinamarca, colombia,” *Bioagro*, vol. 30, no. 1, pp. 27–38, 2018, [Online]. Available: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612018000100003&script=sci_abstract
- [54] A. S. F. Araújo, L. B. Magalhaes, V. M. Santos, L. A. P. L. Nunes, and C. T. S. Dias, “Propriedades biológicas de Cerrado sensu stricto preservado e não preservado do Nordeste do Brasil,” *Brazilian J. Biol.*, vol. 77, no. 1, pp. 16–21, 2017, doi: 10.1590/1519-6984.06715.
- [55] D. P. Santos, T. R. Schossler, I. L. dos Santos, N. B. Melo, and G. G. Santos, “Soil macrofauna in a Cerrado/Caatinga ecotone under different crops in Southwestern Piauí State, Brazil,” *Ciência Rural*, vol. 47, no. 10, 2017, doi: 10.1590/0103-8478cr20160937.
- [56] J. J. Hernández-Terrón, F. Gutiérrez Rodríguez, R. Serrato Cuevas, A. González Huerta, and E. G. Rodríguez, “Manejo nutricional integrado: herramienta clave para la

- agricultura sostenible,” *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, vol. 12, no. 5, pp. 885–897, 2021, doi: 10.29312/remexca.v12i5.2290.
- [57] A. Sánchez-Navarro, J. M. Gil-Vázquez, M. J. Delgado-Iniesta, P. Marín-Sanleandro, A. Blanco-Bernardeau, and R. Ortiz-Silla, “Establishing an index and identification of limiting parameters for characterizing soil quality in Mediterranean ecosystems,” *Catena*, vol. 131, pp. 35–45, 2015, doi: 10.1016/j.catena.2015.02.023.
- [58] J. Barrera, S. Barrezueta, and R. García, “Evaluation of Soil Quality Indices of Different Crops Under Different Topographic Con-,” *Rev. Metrop. Ciencias Apl.*, pp. 183–190, 2020, [Online]. Available: <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/159/159>
- [59] L. Gong, Q. Ran, G. He, and T. Tiyp, “A soil quality assessment under different land use types in Keriya river basin, Southern Xinjiang, China,” *Soil Tillage Res.*, vol. 146, no. PB, pp. 223–229, 2015, doi: 10.1016/j.still.2014.11.001.
- [60] M. R. Cherubin, J. P. Chavarro-Bermeo, and A. M. Silva-Olaya, “Agroforestry systems improve soil physical quality in northwestern Colombian Amazon,” *Agrofor. Syst.*, vol. 93, no. 5, pp. 1741–1753, 2019, doi: 10.1007/s10457-018-0282-y.
- [61] A. Olaya-Montes, M. P. Llanos-Cabrera, M. R. Cherubin, W. Herrera-Valencia, F. A. Ortiz-Morea, and A. M. Silva-Olaya, “Restoring soil carbon and chemical properties through silvopastoral adoption in the Colombian Amazon region,” *L. Degrad. Dev.*, vol. 32, no. 13, pp. 3720–3730, 2021, doi: 10.1002/ldr.3832.
- [62] Diego Caicedo-Rosero, Hernán Benavides-Rosales, Luis Carvajal-Pérez, and Gabriela Revelo-Salgado, “Análisis de las poblaciones edáficas en suelos con sistemas silvopastoriles dedicados a la producción lechera, en la finca San Vicente, El Carmelo, Ecuador,” *Rev. Criterios*, vol. 28, no. 2, pp. 185–194, 2021, doi: 10.31948/rev.criterios/28.2-art12.
- [63] N. Teutscherová *et al.*, “Intensive short-duration rotational grazing is associated with improved soil quality within one year after establishment in Colombia,” *Appl. Soil Ecol.*, vol. 159, no. December 2020, 2021, doi: 10.1016/j.apsoil.2020.103835.
- [64] J. G. López-Santiago *et al.*, “Carbon storage in a silvopastoral system compared to that in a deciduous dry forest in Michoacán, Mexico,” *Agrofor. Syst.*, vol. 93, no. 1, pp. 199–211, 2019, doi: 10.1007/s10457-018-0259-x.
- [65] J. Martínez-Atencia, J. C. Loaiza-Usuga, N. W. Osorio-Vega, G. Correa-Londoño, and M. Casamitjana-Causa, “Leaf Litter Decomposition in Diverse Silvopastoral Systems in a Neotropical Environment,” *J. Sustain. For.*, vol. 39, no. 7, pp. 710–729, 2020, doi: 10.1080/10549811.2020.1723112.
- [66] A. M. Silva-Olaya, A. Olaya-Montes, K. L. Polanía-Hincapié, M. R. Cherubin, E. H. Duran-Bautista, and F. A. Ortiz-Morea, “Silvopastoral systems enhance soil health in the

amazon region,” *Sustain.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–18, 2022, doi: 10.3390/su14010320.

