



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGROPECUARIA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Trabajo de Integración Curricular, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

TEMA:

Evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE, Babahoyo

AUTORA:

Liza Beatriz Sanchez Pisco

TUTOR:

Ing. Agr. Nessar Enrique Rojas Jorgge, M.Sc.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2024

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	II
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLA.....	V
ÍNDICE DE CUADRO.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Contextualización de la situación problemática.....	1
1.1.1. Contexto Internacional.....	1
1.1.2. Contexto Nacional.....	1
1.1.3. Contexto Local.....	2
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos de investigación	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Hipótesis.....	4
CAPITULO II.- MARCO TEORICO	6
2.1 Antecedentes	6
2.2 Bases teóricas.....	7
2.2.1. Suelo	7
2.2.2. Estructura del suelo.....	7
2.2.3. Textura	8
2.2.4. Color	9
2.2.5. Materia orgánica.....	10
2.2.6. Capacidad de intercambio catiónico	11
2.2.7. Compactación de suelo.....	12
2.2.8. Causas de la compactación	16
2.2.9. Impacto de la compactación en suelos agrícolas	16
2.2.10. Erosión del suelo.....	17
2.2.11. Erosión antrópica	19
2.2.12. Causas y consecuencias de la erosión antrópica.....	19
2.2.13. Parámetros para determinar la compactación y erosión del suelo....	20

2.2.14. Alternativas de manejo de suelos agrícolas compactados y erosionados.....	22
CAPITULO III. METODOLOGÍA	24
3.1. Tipo y diseño de investigación	24
3.2. Operacionalización de variables.....	23
3.3. Población y muestra	24
3.3.1. Población.....	24
3.3.2 Muestra.....	25
3.4. Técnicas e instrumento de medición.....	25
3.5. Procesamientos de datos.....	25
3.5.1. Análisis estadístico.....	26
3.5.2. Variables estudiadas	26
3.6. Aspectos Éticos.....	29
CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. Resultados	31
4.2. Discusión.....	41
CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
5.1. Conclusiones.....	44
5.2. Recomendaciones	45
REFERENCIAS.....	46
ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triangulo de textura del suelo: USDA.....	9
Figura 2. Compactación de suelo.....	14
Figura 3. Tabla de Munsell	28

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Grados de erosión del suelo	18
Tabla 2. Valores de referencia de velocidad de infiltración básica en el suelo.	22
Tabla 3. Resistencia mecánica del suelo a la penetración en PSI y grado de erosión, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.	31
Tabla 4. Valores de Magnesio, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.	33
Tabla 5. Valores de Calcio, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.	34
Tabla 6. Valores de Potasio, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.	35
Tabla 7. Húmeda del suelo lectura 1, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.	38
Tabla 8. Húmeda del suelo lectura 2, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.	39
Tabla 9. Datos de velocidad de infiltración, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.	40

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Operacionalización de variables	24
Cuadro 2. Rango de PSI con grado de compactación.....	27
Cuadro 3. Grado de compactación con compactómetro	30
Cuadro 4: Cronograma de las actividades del TIC	60
Cuadro 5: Matriz del color del suelo en seco y húmedo con su notación, CEDEGE, Babahoyo, 2024.....	65
Cuadro 6: Matriz de la velocidad de infiltración con su calificación en base a valores de referencia, CEDEGE, Babahoyo, 2024.....	66
Cuadro 7: Matriz de los valores de cationes evaluadas y la humedad del suelo del día 1 y día 5, CEDEGE, Babahoyo, 2024.	67
Cuadro 8. Matriz de grados de compactación en PSI, CEDEGE, Babahoyo 2024.....	68

RESUMEN

El suelo es uno de los recursos no renovables más importante para la producción agrícola, pero está sujeto a efectos de compactación y erosión antrópica por el uso desmedido y el desconocimiento de sus propiedades, que resultan de un continuo e intenso desgaste del suelo. El objetivo principal es evaluar los niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE, Babahoyo, con el fin de proponer alternativas de manejo que mejoren la productividad agrícola y la sostenibilidad del suelo. El trabajo investigativo se enfoca en cuantificar los niveles de compactación en suelos agrícolas, establecer los grados de erosión antrópica y determinar alternativas de manejo para suelos compactados y erosionados. La metodología incluye la recolección de muestras de suelo en 30 sectores de la zona de estudio del proyecto CEDEGE-Babahoyo, las variables evaluadas son: resistencia a la penetración, determinación del color del suelo mediante la Tabla de Munsell, análisis de cationes más influenciados por efectos de compactación (K, Mg, Ca), capacidad de almacenamiento y velocidad de infiltración. Los resultados indican que la presencia de Calcio y Magnesio con valores arriba del rango mínimo requerido puede estar influenciada por la constante actividad agrícola del sector, los bajos niveles de potasio son consecuencia de la pérdida paulatina de arcilla de los suelos, los grados de Erosión se estimaron Ninguna o muy poca erosión (grupo 1) para Valle-Verde y Cedral-1; con erosión moderada (grupo 2) en 2-Puentes, Almesa y Rodríguez. Las prácticas más recomendadas para el sector se indican: siembra directa con cero labranzas, labranza mínima, siembra de árboles lineal como cerca divisoria y rotación de cultivos.

Palabras clave: Color de suelo, compactación, erosión, resistencia a la penetración, velocidad de infiltración.

ABSTRACT

Soil is one of the most important non-renewable resources for agricultural production, but it is subject to the effects of compaction and anthropogenic erosion due to excessive use and ignorance of its properties, which result from continuous and intensive soil erosion. The main objective is to evaluate the levels of compaction and anthropogenic erosion of agricultural soils in the CEDEGE area, Babahoyo, to propose management alternatives that improve agricultural productivity and soil sustainability. The research work focuses on quantifying the levels of compaction in agricultural soils, establishing the degrees of anthropogenic erosion and determining management alternatives for compacted and eroded soils. The methodology includes the collection of soil samples in 30 sectors of the study area of the CEDEGE-Babahoyo project, the variables evaluated are: resistance to penetration, determination of soil color using the Munsell Table, analysis of cations most influenced by compaction effects (K, Mg, Ca), storage capacity and infiltration rate. The results indicate that the presence of Calcium and Magnesium with values above the minimum required range can be influenced by the constant agricultural activity in the sector, the low levels of potassium are a consequence of the gradual loss of clay from the soils, the degrees of Erosion are They estimated no or very little erosion (group 1) for Valle-Verde and Cedral-1; with moderate erosion (group 2) in 2-Puentes, Almesa and Rodríguez. The most recommended practices for the sector are indicated: direct sowing with zero tillage, minimum tillage, linear tree planting as a dividing fence and crop rotation.

Keywords: Soil color, compaction, erosion, resistance to penetration, infiltration rate

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Contextualización de la situación problemática

1.1.1. Contexto Internacional

El suelo es considerado como uno de los recursos más importantes para la vida al igual que el agua y el aire, ya que hace posible la producción de recursos naturales y de alimentos para el ser humano. Es un recurso no renovable ya que cada vez es más escaso debido a que está sometido a constantes procesos de degradación y destrucción, por tal motivo, recuperarlo lleva un proceso lento y complejo.

Las practicas comunes, como la quema de rastrojos, han generado y producen impactos duraderos e irreversibles, incluyendo la destrucción de la materia orgánica y microestructura del suelo; además la erosión y la pérdida de fertilidad afectan a la mayoría de los suelos en el área ecuatoriana, con una pérdida anual de 6 400 millones de toneladas de suelo fértil en América causada por la erosión (FAO 2011).

1.1.2. Contexto Nacional

En Ecuador la compactación del suelo se ha identificado como un desafío ambiental que impacta los sistemas agrícolas del país, a pesar de esto, aún no se han llevado a cabo investigaciones exhaustivas que aborden de manera completa la disminución en la productividad de los suelos utilizados para la agricultura, considerando aspectos económicos, sociales y ambientales en su totalidad (Rodríguez *et al.* 2021).

La compactación del suelo representa una amenaza para la producción agrícola, considerada una de las formas más graves de degradación limitando el desarrollo y rendimiento de los cultivos.

Según Henríquez *et al.* (2011) menciona que, “la compactación del suelo es la compresión y empaquetamiento de las partículas en fracción sólida, disminuyendo el espacio poroso total y en consecuencia aumenta la densidad aparente”.

1.1.3. Contexto Local

La erosión del suelo tiene como efecto el arrastre de materiales sólidos de la capa superficial del suelo, de las cuales, la erosión natural es causada a través del tiempo por la acción del agua y aire como un proceso muy lento donde existe la pérdida de las partículas sólidas y antrópica donde interviene el ser humano por medio de las actividades agrícolas con el arrastre de los materiales sólidos acelerando con mayor intensidad el proceso erosivo del suelo (Espinosa *et al.* 2022).

Los niveles de compactación y erosión en suelos agrícolas constituyen un aspecto crucial en la agricultura, debido a que tiene un impacto directo en la productividad y sostenibilidad de los cultivos, por tal motivo, es fundamental comprender estos fenómenos y sus efectos para poder implementar prácticas de manejo del suelo adecuadas y sostenibles, que permitan a los agricultores optimizar la producción agrícola y garantizar la salud a largo plazo de sus tierras del cultivo.

1.2 Planteamiento del problema

La compactación y erosión de suelos en la agricultura representa desafíos significativos que afectan la productividad y sostenibilidad de los cultivos. Estos problemas se manifiestan con la reduciendo de la porosidad, dificultad el crecimiento de las raíces y la absorción del agua, lo cual repercute negativamente en el crecimiento de las plantas. Además, la erosión conlleva a la pérdida de la capa superficial rica en materia orgánica, afectando su capacidad para retener los nutrientes esenciales y humedad para el desarrollo de los cultivos.

La compactación del suelo se define como la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él, en condiciones naturales (sin intervención antrópica) se pueden encontrar en el suelo horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron la formación y evolución del suelo como el clima, vegetación, tipo de material parental y actividad biológica (Proain 2020).

Constituye un problema de alcance global que afecta el medio ambiente y el desarrollo, se ha extendido desde un 15% de la superficie terrestre total en 1991 a un 24% en la actualidad, y dentro de este, más del 20% está referido a suelos destinados a producción agrícola, por ende, las consecuencias de este fenómeno incluyen una disminución de la productividad agrícola, inseguridad alimentara y pérdida de biodiversidad debido a cambios en los hábitat tanto a nivel de las especies como a nivel genético (Bai *et al.* 2008).

1.3 Justificación

En Ecuador al divisar los problemas por baja capacidad productividad de los agricultores, sedimentación de los causes de los ríos y, sobre todo, la difícil roturación de suelos a través de la maquinaria como los suelos arables encaminando al deterioro del mismo; se estableció la importancia de determinar la causa o las condiciones en las que se encuentran los suelos de un sector productivo de nuestra provincia.

Sin embargo, de a poco la erosión ha afectado a los suelos agrícolas, en general, este aspecto ha sido descuidado por el hombre principalmente a partir de la conquista hispánica, generalmente por despreocupación frente a la abundancia de los recursos naturales, o falta de experiencia en materia de conservación de los suelos. El equilibrio morfodinámico del país, frágil en condiciones naturales a causa de la agresividad climática y de la topografía general accidentada, continua siendo cada vez más frecuente por el impacto agrícola del hombre. Resulta, en la actualidad, que la erosión se singulariza por tener un papel de primer orden en la degradación de los recursos naturales renovables.

De manera imperceptible, la erosión está socavando la seguridad económica de muchos países tropicales, incluso Ecuador, los desbordamientos de los ríos y las inundaciones en la costa ecuatoriana, en épocas de lluvia, son el resultado de la sedimentación causada por el desgaste del terreno en las partes altas. Para contrarrestar este desastre ambiental provocado por la erosión es imperativo emprender acciones inmediatas y a gran escala. Y con acciones no se limita a obras civiles de reparación de puentes y carreteras, sino a una concienciación a

nivel nacional del impacto desastroso de la deforestación, de los incendios y del mal manejo de los suelos.

Dentro de los conceptos globales de conservación de suelos, restauración ecológica, control de la erosión y protección de obras públicas, la implementación de escalas de evaluación y estudios de los niveles existentes en los suelos es una herramienta eficiente y sencilla. Adicional, el país no cuenta con datos fiables a nivel de región costa sobre la cantidad de material, condiciones y efectos de estos daños sobre la agricultura o sobre el nivel de erosión del suelo mismo.

Este proyecto de investigación no solo se centra en abordar una problemática local o específica en la zona, sino que también contribuye al avance del conocimiento científico sobre los niveles de compactación y erosión del suelo, así como los factores que influyen en el proceso. Por lo tanto, es fundamental promover la implementación de estrategias de manejo sostenible y conservación del suelo, que aseguren la estabilidad económica de la región y aumente la productividad, destacando su valor académico y aplicado.

1.4 Objetivos de investigación

1.4.1 Objetivo general

Evaluar los niveles de compactación y erosión antrópica de suelo agrícolas en la zona de CEDEGE, Babahoyo.

1.4.2 Objetivos específicos

- ✓ Cuantificar los niveles de compactación en suelos agrícolas de la zona de CEDEGE, Babahoyo.
- ✓ Establecer los grados de erosión antrópica de suelos en la zona de CEDEGE, Babahoyo.
- ✓ Determinar alternativas de manejo de suelos agrícolas compactados y erosionados del sector.

1.5 Hipótesis

Ho: Los suelos de la zona de CEDEGE, Babahoyo no presentan evidencia de procesos de compactación y erosión.

Hi: Los suelos de la zona de CEDEGE, Babahoyo presentan evidencia de procesos de compactación y erosión.

CAPITULO II.- MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

Según Oldeman y Hakkeling (1991) “Las consecuencias de este fenómeno incluyen una disminución de la productividad agrícola, la migración, la inseguridad alimentaria, los daños a recursos y ecosistemas básicos, y la pérdida de biodiversidad debido a cambios en los hábitats tanto a nivel de las especies como a nivel genético”.

El suelo constituye un recurso fundamental para el desarrollo económico y social; y es el soporte físico y químico de todos los ecosistemas terrestres, por tal motivo, es de gran preocupación la degradación del mismo que es definida como la pérdida a largo plazo en la función y productividad de los ecosistemas, debido a las diferentes alteraciones que impiden que el suelo no pueda recuperarse sin ayuda (Bai *et al.* 2008).

Según Pagliai *et al.* (2003), “entre los factores provocantes de degradación física del suelo se encuentra la compactación, la cual ha sido considerada como la principal causa de degradación del suelo”.

El tráfico de la maquinaria agrícola es la causa principal de la compactación del suelo, y este efecto es acumulativo (Keller 2004). Cuando se aplican cargas, las partículas del suelo se reorganizan, disminuye el espacio poroso y se acercan más entre sí, lo que incrementa la densidad del suelo, este proceso altera la forma, el tamaño y la distribución de los poros, limitando así la capacidad del suelo para retener agua, intercambiar hídrico y gaseoso; y aumentando la impedancia mecánica (Berli 2001).

La compactación del suelo provoca una disminución de los rendimientos agrícolas, incrementa los requerimientos energéticos para la labranza y otras labores agrícolas; y aumenta la necesidad de resiembras, también conlleva un mayor uso de agroquímicos y un mayor número de pasadas de la maquinaria, así como una creciente demanda de fertilizantes y una menor eficiencia en el uso del equipo agrícola (Botta 2002).

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Suelo

El suelo está compuesto por una porción sólida de minerales del 45% y materia orgánica del 5%, juntos con espacios porosos ocupado de agua del 25% y aire del 25%, dependiendo de los diferentes suelos minerales del planeta que pueden variar las proporciones volumétricas, destacando que la materia orgánica es de gran relevancia para la vitalidad del suelo (Carfagno *et al.* 2021).

Definido como un cuerpo natural resultante de una mezcla homogénea tridimensional y dinámica que incluye componentes sólidos (arena, limo, arcilla y materia orgánica), agua y gases (CO₂ y oxígeno), es un sistema complejo en el que se llevan a cabo innumerables procesos químicos, físicos y biológicos de manera continua; y este se forma a partir de la descomposición de rocas y restos orgánicos debido a la acción de factores ambientales, microorganismos, animales, plantas y el ser humano (Núñez *et al.* 2020).

La importancia del suelo radica en que es la superficie donde el ser humano puede cultivar sus alimentos básicos. Además, en el suelo crecen de manera natural los vegetales que consumen los animales herbívoros. Por otro lado, para que los vegetales puedan crecer y desarrollarse adecuadamente, es esencial que el suelo tenga acceso al agua, ya sea de forma natural (lluvia) o artificial o riego (Arango 2022).

2.2.2. Estructura del suelo

La capacidad que tiene la masa de suelo para desintegrarse por sí misma en distintas formas y tamaños se evalúa mediante la estabilidad de los agregados, esta propiedad está estrechamente relacionada con la porosidad del suelo, además, es fundamental para el control de la erosión y facilita el enraizamiento de las plantas, lo cual favorece la infiltración del agua, mejora la retención de humedad, fortalece la resistencia mecánica a la penetración, promueve el desarrollo de raíces, facilita la aireación del suelo y contribuye a la estabilidad ecológica del ecosistema (Echeverría *et al.* 2023).

Según Porta *et al.* (2019) mencionan, los tipos de estructura del suelo:

- ✓ **Estructuras granulares y migajosas:** Estas son agrupaciones de partículas individuales de arena, limo y arcilla que forman pequeños granos casi esféricos, el agua se mueve fácilmente a través de estos suelos, típicamente encontrados en el horizonte A de los perfiles de suelo.
- ✓ **Estructuras en bloques o bloques subangulares:** Son agrupaciones de partículas de suelo que forman bloques casi cuadrados o angulares con bordes más o menos pronunciados, los bloques grandes indican una resistencia del suelo a la penetración y al movimiento del agua, estas estructuras suelen encontrarse en el horizonte B, especialmente donde hay acumulación de arcilla.
- ✓ **Estructuras prismáticas y columnares:** Consisten en partículas de suelo dispuestas en columnas o pilares verticales separados por fisuras verticales diminutas pero definidas, el agua se mueve con dificultad y el drenaje es deficiente en estas estructuras, comúnmente encontradas en el horizonte B en áreas con acumulación de arcilla.
- ✓ **Estructura laminar:** Se compone de partículas de suelo agrupadas en láminas o capas delgadas que se superponen horizontalmente, estas láminas o capas dificultan considerablemente el movimiento del agua, esta estructura se encuentra predominantemente en suelos boscosos y en parte del horizonte A, así como en suelos compuestos por capas de arcilla.

2.2.3. Textura

La textura de un suelo se refiere a la proporción de diferentes tamaños de partículas minerales que lo componen, los suelos arenosos, son químicamente inertes, no tienen propiedades coloidales y carecen de nutrientes, en cuanto, a los suelos arcillosos son químicamente muy activos, capaces de adsorber iones y moléculas, y dispersarse, son ricos en nutrientes, retienen una gran cantidad de agua, están bien estructurados, pero tienden a ser impermeables y pueden causar asfixia de las raíces, por otro lado, los suelos limosos carecen de estructura, no tienen propiedades coloidales, son impermeables y presentan una mala aireación, finalmente, los suelos francos representan un equilibrio, con propiedades compensadas que los hacen ideales para muchos usos agrícolas para la producción (Martínez 2019).

plasticidad y tienden fácilmente a compactarse, además se asocian, a alta temperatura, baja actividad de agua, rápida descomposición de materia orgánica, baja fertilidad, pH ácido y predominancia de oxidación, por otro lado, los suelos rojo-marrón sugieren media a baja fertilidad y meteorización en condiciones aeróbicas (Aragón *et al.* 2020).

El color del suelo puede ser utilizado como una medida indirecta para evaluar ciertas propiedades, ya que cambia según los componentes presentes y, principalmente, según el nivel de humedad, volviéndose más oscuro cuando está mojado, en términos generales, un color rojo sugiere la presencia de óxidos de hierro y magnesio, mientras que un color amarillo indica óxidos hidratados, un suelo de color negro es característico de un alto contenido orgánico, por otro lado, si el suelo presenta manchas o es grisáceo, esto generalmente indica condiciones de aireación deficientes (Gavilanez 2022).

Según Thompson y Troeh (2021) indican, que la determinación del color del suelo se realiza comparando los diversos patrones de color establecidos en la Tabla Munsell, este sistema de notación de color se basa en una serie de parámetros que permiten obtener una gama de colores que varían en función del matiz, el brillo y el croma, el sistema de clasificación de colores de Munsell se organiza en un modelo tridimensional, representado en el árbol de colores de Munsell, cada color posee tres cualidades o atributos:

- 1. Matiz:** el color como rojo, negro, amarillo, marrón, gris, etc.
- 2. Valor:** la claridad u oscuridad del color.
- 3. Croma:** la saturación o intensidad del color.

Considerado uno de los análisis de campo más viables y adecuados para la determinación del suelo, el indicador de color no influye directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas, sin embargo, afecta indirectamente la humedad y la temperatura del suelo, ya que al interactuar con la energía radiante, se genera un aumento en la evaporación (Pinos 2022).

2.2.5. Materia orgánica

La materia orgánica (MO) en el suelo es la fracción compuesta por residuos de plantas y animales que se integran a su estructura después de descomponerse gracias a la actividad microbiana, esta materia se caracteriza por tener un color pardo o negrozco y representa aproximadamente el 5% del volumen en un suelo ideal o humus, también, se considera que una parte de esta materia orgánica se incorpora al suelo para enriquecerlo, mientras que otra parte se libera en forma de dióxido de carbono (Núñez *et al.* 2021).

El suelo está compuesto por diversos materiales, siendo la fracción mineral la más predominante, sin embargo, la materia orgánica del suelo juega un papel crucial en las funciones de un suelo saludable, entre las funciones esenciales como la producción de cultivos, la purificación y regulación del agua, el secuestro y regulación del carbono, la biodiversidad y el ciclo de nutrientes dependen en gran medida de la presencia y calidad de la materia orgánica del suelo (Grand y Michel 2020).

2.2.6. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico del suelo son las cargas negativas en su superficie que adsorben e intercambian iones positivos como calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), sodio (Na^{+}), hidrógeno (H^{+}) y potasio (K^{+}), de lo cual, estas cargas provienen de partículas de arcilla y humus (materia orgánica descompuesta), a mayor contenido de arcilla y materia orgánica, mayor es la CIC, los suelos arenosos tienen valores de CIC bajos, mientras que los suelos arcillosos tienen valores altos, variando entre 1 y 100, en cuanto a suelos con alta CIC suelen tener altas concentraciones de calcio intercambiable (Venlasaga y Flores 2021).

2.2.6.1 Cationes intercambiables

Potasio (K^{+})

El potasio en el suelo proviene de la descomposición y ruptura de rocas que contienen minerales potásicos, junto con elementos derivados de la descomposición de restos vegetales y animales, el suelo generalmente tiene un alto contenido de potasio, y la cantidad de K_2O presente depende de la textura del suelo, se considera el potasio un nutriente crucial para todos los organismos vivos,

y las plantas que necesitan grandes cantidades para satisfacer sus requerimientos de nitrógeno, el K es esencial para activar varias enzimas y afecta el equilibrio hídrico y el crecimiento de los meristema; también interviene en las fases metabólicas que contribuyen al crecimiento vegetativo, la formación de frutos, la maduración y la calidad de los mismos, no obstante, estos niveles de potasio pueden verse influenciados por la intensidad de las pérdidas debido a la cosecha, lixiviación y erosión (Ramírez 2022).

Magnesio (Mg^{2+})

El magnesio (Mg) en el suelo se presenta en forma iónica Mg^{2+} , tanto en solución como catión intercambiable, forma parte de la estructura de las micas y los minerales de arcilla del tipo 2:1, especialmente en suelos menos intemperizados, donde es posible encontrar minerales que contienen este nutriente, el magnesio en el suelo se encuentra en varias formas: contenido en minerales primarios y secundarios, como fracción intercambiable adsorbida al complejo de intercambio arcillo-húmico, y en solución, donde está presente en pequeñas cantidades, pero se repone rápidamente a partir de la fase de intercambio (Portilla *et al.* 2021).

Calcio (Ca^{2+})

El calcio es uno de los nutrientes más utilizados en suelos ácidos y uno de los elementos más abundantes en la mayoría de los suelos, sin embargo, en áreas con altas precipitaciones, las concentraciones de calcio suelen ser bajas debido a que la gran cantidad de agua provoca la lixiviación de este elemento hacia capas más profundas del suelo, el Ca es crucial para la integridad de las paredes y membranas celulares, y también participa en el funcionamiento de las hormonas (Arenas y Saucedo 2023).

2.2.7. Compactación de suelo

Según la FAO (2023), “la susceptibilidad de los suelos a la compactación varía con la textura, siendo los suelos arcillosos más vulnerables que los suelos arenosos. Los suelos con bajo contenido de materia orgánica tienden a ser más susceptibles a la compactación porque no forman agregados fuertes”.

La compactación del suelo implica un reordenamiento de las partículas sólidas, lo que aumenta su densidad aparente del suelo, es decir, este fenómeno es el resultado de la aplicación de una fuerza aplicada que destruye la estructura y reduce los poros, limitando el espacio disponible para el almacenamiento o movimiento del aire y el agua, como también, la compactación es una de las principales causas que restringen físicamente el crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas (Ávila 2022).

Se considera la compactación del suelo una de las formas más graves de degradación provocadas por la producción agrícola, sin embargo, a diferencia de otras formas de degradación del suelo, como la salinización o erosión, es difícil de detectar y medir este fenómeno que puede limitar el crecimiento y rendimiento de los cultivos sin presentar síntomas evidentes, por tal motivo, cuando se presentan síntomas, como crecimiento tardío de los cultivos, una deficiencia de nutrientes o infiltración insuficiente de agua, pueden atribuirse a otras causas relevantes (Jiménez 2024).

La compactación se produce debido a las tensiones generadas por el peso y la masa de la maquinaria que pasa repetidamente sobre el suelo, esta situación sugiere que la compactación afecta el espacio poroso y la capacidad de retención de humedad del suelo, por lo tanto, el tránsito de maquinaria es el principal factor que contribuye a la compactación del suelo, debido a esto, la textura y el contenido de humedad son aspectos cruciales relacionados con el espacio poroso, siendo los suelos arcillosos los más vulnerables a la compactación, además, el número de pasadas de la maquinaria es un factor clave en la compactación, ya que incrementa la densidad aparente del suelo (Arana 2023).

Existen diversas maneras en la que el suelo puede compactarse durante la producción agrícola, afectando negativamente al crecimiento y rendimiento de los cultivos, entre las formas, de compactación, como la formación de costras en la superficie o la compactación de las paredes laterales, pueden reducir el rendimiento en determinadas condiciones, pero, en general, estos problemas son menos graves debido a que la compactación no persiste en el suelo durante mucho tiempo y hay múltiples métodos disponible de tratamiento para reducir o mitigar sus efectos (Strachan y Jeschke 2017).

En la figura 2, se puede apreciar la diferencia de un suelo sano con un compactado, el primero muestra una estructura granular con buena porosidad y el segundo presenta una estructura densa con una limitada capacidad de drenaje, lo cual impide el crecimiento de las raíces e infiltración del agua.

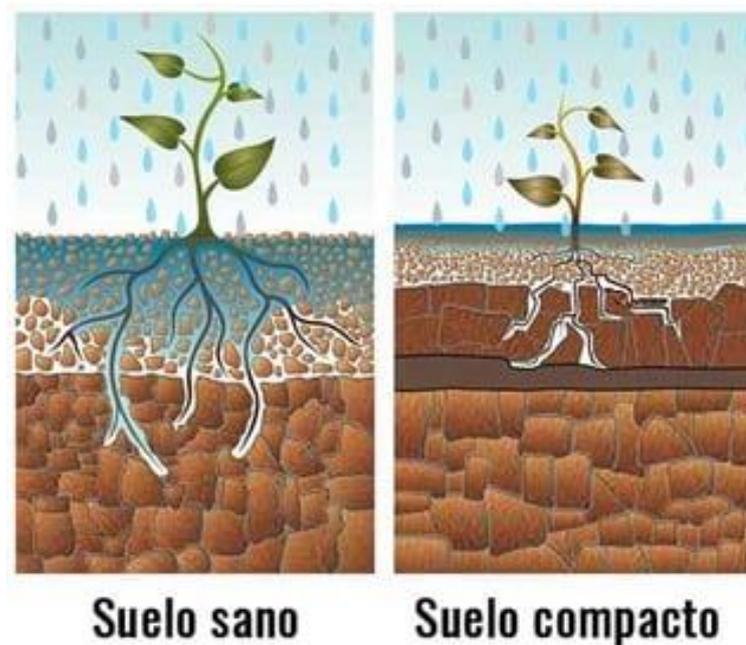


Figura 2. Compactación de suelo
Fuente: Tomado de Forigo 2023.

Según Yepes (2021) indica que, la compactación implica el proceso de aumentar la densidad de un material mediante la aplicación de fuerzas externas, ya sean estáticas o dinámicas, este proceso conlleva la reducción de los espacios vacíos, el aumento del rozamiento entre las partículas y la disminución de la permeabilidad, debido a estas acciones otorgan al material características como resistencia a la compresión y a la ruptura bajo esfuerzos cortantes, así como estabilidad frente a cambios de volumen.

La compactación puede afectar a suelos de diversas texturas, si bien algunos tipos son más propensos que otros, la resistencia a la penetración, nivel de compactación y la humedad influyen, siendo la distribución del tamaño de

partículas un factor clave que determina la compactibilidad como también el contenido de agua en el suelo (García 2020).

2.2.7.1. Tipos de compactación

Costra (en la superficie)

La compactación y el sellado de la capa más superficial del suelo, provocados por el impacto de las gotas de lluvia y el agua de riego por aspersión sobre suelos desnudos o con poca vegetación, es un factor crucial en el deterioro de las propiedades del suelo (Silva *et al.* 2023).

Superficial (en la capa arable)

La compactación superficial del suelo, que puede alcanzar hasta 30 cm de profundidad y se restringe a la capa arable, es causada por factores como el paso frecuente de remolques cargados, el uso de neumáticos con presiones excesivas y la repetición constante de las pasadas en las mismas áreas, por tal motivo, esta compactación afecta la vida biológica del suelo y reduce significativamente la cantidad de aire y agua presentes en las capas superiores, por otro lado, también afecta la escasez de oxígeno, dificulta la germinación y altera el desarrollo del sistema radicular de los cultivos futuros (Firestone 2022).

Suelo de arado (pie de arado)

La compactación es un problema que afecta todo el perfil del suelo, desde los primeros centímetros hasta profundidades de 50-60 cm o más, en cuanto, al pie de arado se refiere a una capa dura que se forma a partir de la profundidad de arado (25 a 30 cm) debido al uso repetido de arados de inversión, especialmente los de vertedera, por tal motivo, en el punto de apoyo inferior de estos arados, se genera una dureza de 8 a 10 cm de espesor o más, que se vuelve impenetrable para las raíces, obligándolas a crecer lateralmente (Mundoagro 2022).

Compactación profunda (>30 cm)

La compactación profunda del suelo se refiere a la consolidación del suelo a niveles más profundos, por debajo de la zona de labranza, a profundidades

mayores de 60 cm, la compactación es causada por el alto peso de la maquinaria, especialmente debido a las elevadas cargas por eje, esta compactación es casi irreversible limitando la infiltración de agua, el movimiento de aire y el crecimiento de raíces a esas profundidades (Medrano 2022).

2.2.8. Causas de la compactación

El tránsito de maquinaria puede tener efectos nocivos en el suelo, siendo la compactación uno de los principales problemas, esta compactación conlleva alteraciones en la estructura porosa del suelo, ya que las partículas se comprimen excesivamente, reduciendo el espacio disponible para el aire, como consecuencia, se reduce la capacidad de infiltración y drenaje del agua, incrementando la densidad del suelo y su resistencia a la penetración (Hidalgo *et al.* 2020).

En la actualidad, la compactación se reconoce como un grave problema medioambiental generado por las prácticas tecnológicas empleadas en la agricultura convencional, detectar y comprender este fenómeno resulta arduo, ya que las consecuencias dejadas por el paso de tractores y maquinaria agrícola sobre la superficie del suelo no son fácilmente identificables, contrario a la erosión y salinización, que muestran signos visibles de degradación del suelo, la compactación requiere un monitoreo físico y un examen detallado para su detección, evaluación y comprensión de su alcance, naturaleza y origen (García *et al.* 2020).

2.2.9. Impacto de la compactación en suelos agrícolas

En términos generales, la compactación del suelo ocurre cuando se siembra en tierras demasiadas húmedas o si se aplica demasiada presión en las unidades de siembra, por ende, el uso de disco de siembra que cortan en suelos húmedos puede resultar que las paredes laterales del surco de semillas se endurezcan después de la labor agrícola, que como, resultado puede ser una emergencia incorrecta del cultivo o un desarrollo inadecuado de las raíces, de las cuales, las consecuencias de compactación serian severa limitando el desarrollo de las raíces y podría incrementarse en condiciones más secas, dando como consecuencias, un cultivo con alto estrés hídrico, reduciendo el rendimiento hasta en un 50 % (Lee 2011).

La compactación del suelo se ve influenciada por varios factores, que determinan el grado de compactación y sus efectos sobre las propiedades físicas del suelo, el nivel de compactación alcanzado depende del tipo de suelo y de la cantidad de humedad presente en el mismo, por tal motivo, los efectos de la compactación sobre las propiedades incluyen un aumento de la densidad del suelo, una disminución de la porosidad y una reducción de la permeabilidad del mismo, estos cambios pueden afectar el crecimiento y la salud de las plantas; y también pueden provocar una mayor erosión del suelo (Porta 2023).

La compactación es fácil de detectar, a través, de la formación de costra superficial, a diferencia de la compactación profunda el suelo es más difícil, ya que se produce más profundamente en el suelo, por tal motivo, se pueden utilizar penetrómetros con punta cónica para localizar la compactación, sin menos olvidar, que puede presentar limitaciones, la resistencia a la penetración es una función de la densidad del suelo y del contenido en humedad (Duiker 2004).

La compactación del suelo puede reducir el rendimiento agrícola hasta en un 60%, esto se debe principalmente a la mala gestión agrícola (80%) y al sobrepastoreo (16%), que son las dos causas antrópicas más comunes de compactación, considerando que este fenómeno disminuye la macroporosidad del suelo y aumenta su microporosidad, lo que dificulta la penetración de las raíces de las plantas, por otro lado, la labranza mínima se considera una de las mejores prácticas para reducir los costos de laboreo, conservar el suelo y el agua, aumentar la disponibilidad de carbono orgánico en el suelo y reducir las emisiones netas de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, se estima que el 4% de la superficie terrestre global está compactada (López *et al.* 2020).

2.2.10. Erosión del suelo

La erosión es un proceso que se origina en la capa superficial de la Tierra, provocando el desgaste y desplazamiento de las partículas del suelo, es causada por diversos factores, como el agua (erosión hídrica), el viento (erosión eólica), el mar (erosión marina) y causada por el hombre (erosión antrópica); que, con el paso del tiempo, este problema ha ido en aumento debido a las incorrectas acciones del hombre (Bejarano 2022).

El grado de erosión se clasifica según la evaluación de la pérdida superficial de suelo, aunque el USDA menciona que es importante conocer las características específicas relacionadas con la pérdida de suelo en los primeros horizontes, su aplicación en zonas tropicales y ecuatoriales es particularmente adecuada para escalas detalladas, por lo tanto, es esencial establecer la descripción que faciliten la diferenciación entre las diversas categorías del grado de erosión (IDEAM y UDCA 2015).

En la tabla 1, se muestra los grados de erosión del suelo por porcentaje de pérdida del mismo.

Tabla 1. Grados de erosión del suelo

Grados de erosión	Descripción	Pérdida de suelo (%)
Muy severa	Pérdida parcial o total de los horizontes superficiales del suelo.	>75 o pérdida total
Severa	Los horizontes superficiales están completamente removidos.	50-75
Moderada	La capa superficial del suelo ha perdido espesor y hay más remoción de los horizontes superficiales, por tal motivo, requiere prácticas inmediatas de restauración y conservación.	25-50
Ligera	Evidencia de pérdida de suelo por escurrimiento superficial	<25
Sin evidencia	No existe evidencia de rasgos de erosión en la superficie del suelo	No hay erosión

Fuente: Tomado de IDEAM y UDCA 2015.

La erosión del suelo se define como el proceso de degradación, transporte y deposición de materiales del suelo debido a agentes erosivos como el agua, el viento o el hielo, aunque existen factores naturales como la topografía accidentada de cerros y montañas que son contribuyentes significativos, por tal motivo, el hombre ha desempeñado un papel crucial en acelerar estos procesos erosivos, entre las principales causas antrópicas de la erosión se encuentran la deforestación, el uso inadecuado de la capacidad del suelo, el sobre pastoreo, la

explotación excesiva de la vegetación natural para usos domésticos, y prácticas inadecuadas en el manejo del suelo (Troya 2020).

2.2.11. Erosión antrópica

La erosión antrópica se refiere al desgaste y desplazamiento de la capa superficial del suelo como consecuencia de las actividades humanas, que a diferencia de la erosión natural, que avanza de forma gradual y está condicionada por factores climáticos y geológicos, la erosión antrópica se origina directamente por la intervención humana en el medio ambiente, por tal motivo, esta intervención puede incluir prácticas agrícolas intensivas, deforestación, construcción de infraestructuras, y otras actividades que alteran el equilibrio natural del suelo y aceleran su degradación (Ruiz 2024).

2.2.12. Causas y consecuencias de la erosión antrópica

Actividad agrícola

Las prácticas agrícolas pueden intensificar la erosión del suelo al reducir la biodiversidad, tanto en la variedad de plantas como en los microorganismos presentes en el suelo que ofrecen una protección a la erosión causadas por factores externos, por tal motivo, esta disminución de la materia orgánica y biota beneficiosa afecta negativamente la fertilidad del suelo, ya que no solo se pierde tierra, sino también los nutrientes esenciales de los campos expuestos (EOS 2022).

El tráfico agrícola es una de las actividades agrícola que ocasiona el deterioro del suelo, el cual puede manifestarse visiblemente como una deformación en la superficie o permanecer oculto debajo de esta, independientemente de su visibilidad, el tráfico agrícola puede disminuir la producción de cultivos al generar una condición de suelo compactado que no favorece el crecimiento de las plantas (Maineri 2020).

Sobrepastoreo

El sobrepastoreo se produce cuando el ganado consume más pasto de lo que la tierra puede regenerar naturalmente, este problema surge cuando hay un exceso de animales pastando en un área específica durante períodos prolongados,

por tal motivo, el sobrepastoreo resulta en la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad, la erosión del suelo y la reducción de la calidad del pasto, causando un impacto negativo en la capacidad del ecosistema para mantener la vida silvestre y otras formas de vegetación (Ganadero 2024).

Perdida de fertilidad del suelo

La pérdida de la fertilidad del suelo es una de las consecuencias de la erosión debido a que tiene un impacto directo en la producción y calidad de los cultivos, lo cual se refleja en una reducción de la rentabilidad económica, una gestión deficiente del suelo puede llevar a la pérdida de fertilidad debido a la extracción de nutrientes por parte de las plantas o al lavado excesivo provocado por la pérdida de la estructura del suelo, entre otros factores, por tanto, es crucial realizar una vigilancia continua del suelo para implementar prácticas de manejo sostenible y, cuando sea necesario, tomar medidas correctivas para su recuperación (Tecniscop 2022).

2.2.13. Parámetros para determinar la compactación y erosión del suelo

Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración (RP) se emplea como un indicador de la compactación, permitiendo evaluar el grado de dureza del suelo debido a diversos factores como sellamientos superficiales, densificación de capas o formación de pisada de arado, esta medida se expresa típicamente en unidades de presión, como megapascales (MPa), kilopascales (kPa) o libras por pulgada cuadrada (PSI) (Alarcón 2021).

Densidad aparente

La densidad aparente se considera una propiedad física fundamental del suelo, no solo porque sirve de base para determinar otras características, sino también debido a los constantes cambios a los que está sujeta, estos cambios pueden deberse al asentamiento del suelo después de ser removido, así como a la compactación causada por fuerzas externas, como el peso de los equipos

utilizados en actividades agrícolas o la presión de las láminas de riego aplicadas (Cid *et al.* 2021).

Es un indicador de la compactación del suelo la densidad aparente (D_a) que mide la pérdida estructural del mismo, por tal motivo, se considera útil para evaluar la resistencia del suelo frente a la penetración y crecimiento de las raíces, por otro lado, también la densidad aparente aumenta con la profundidad en el perfil del suelo, debido al peso del material de la superficie y las prácticas de manejo agrícola, como la labranza, que tienden a reducir el espacio poroso (Salazar *et al.* 2020).

Capacidad de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento de agua del suelo, también conocida como CAA, se refiere a la cantidad máxima de agua que un suelo puede retener en una fase utilizable por las plantas, es decir, este valor resulta de la combinación de diversas propiedades físico-químicas del suelo, que incluyen su textura, contenido de materia orgánica, densidad, estructura y capacidad para retener humedad, entre otros factores (Urriola 2020).

La capacidad de almacenamiento de agua es un parámetro fundamental para la producción y sostenibilidad de los cultivos, debido a que influye en las reacciones químicas, procesos físicos y biológicos teniendo lugar tanto dentro como fuera del suelo, siendo cruciales para la nutrición, crecimiento y desarrollo de las plantas desde una perspectiva agrícola (Lince 2021).

Velocidad de infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra la superficie del suelo y se desplaza hacia sus capas más profundas, de los cuales, está influenciado por varios factores del suelo, que afectan tanto el control de la infiltración como la circulación y distribución del agua dentro del suelo, tanto durante como después de la infiltración (Ortiz y Godoy 2022).

En la tabla 2 se especifican los rangos de velocidad de infiltración en cm/h con su respectiva interpretación.

Tabla 2. Valores de referencia de velocidad de infiltración básica en el suelo.

Velocidad de Infiltración (cm/h)	Interpretación
<0.10	Muy lenta
0.10 – 2.0	Lenta
2.0 – 15.0	Moderada
15.0 – 25.0	Rápida
>25.0	Muy rápida

Fuente: Tomado de Chiza 2023.

2.2.14. Alternativas de manejo de suelos agrícolas compactados y erosionados

La compactación del suelo puede reducirse mediante varios métodos, como la incorporación de materia orgánica que mejora la formación y estabilidad de la estructura del suelo, el uso de cubiertas vegetales favorece la creación de poros continuos a través de la penetración y descomposición de raíces, facilitando el movimiento del aire y agua en el suelo, la construcción de camellones para el paso de maquinaria evita que la compactación alcance mayor profundidad, además, la rotación de cultivos, al alternar plantas de diferentes familias y necesidades nutritivas, previene el agotamiento del suelo y le da un período de descanso (Perez 2023).

Según Prieto (2023) indica que, la agroforestería se define como un conjunto de prácticas y sistemas de producción donde se intercalan cultivos agrícolas y árboles forestales de manera secuencial y combinada con la aplicación de técnicas de conservación del suelo, para mejorar el microclima y beneficiar a los agricultores, que se trata de utilizar los ecosistemas naturales de manera sostenible mediante técnicas ecológicas, aplicadas tanto a la agricultura como a sistemas ganaderos como los de bovinos y cerdos, con el propósito de mantener la salud del suelo a largo plazo sin degradarlo, también es importante considerar las siguientes alternativas de manejo:

- ✓ Disminuir la intensidad de labranza
- ✓ Sistema de tráfico controlado reduciendo las pasadas
- ✓ No usar implementos de discos
- ✓ Limitar uso de maquinaria pesada y mejorar drenaje del suelo

Los sistemas silvopastoriles y agroforestales, indica que las raíces de los árboles actúan como subsoladores naturales mejorando la estructura del suelo al aumentar su porosidad y aireación, lo que optimiza la absorción de nutrientes y el uso eficiente del agua, además, la integración simultánea de árboles, cultivos y ganado ayuda a mitigar riesgos ambientales, protege el suelo contra la erosión, reduce los impactos negativos de las inundaciones y actúa como un reservorio de agua, beneficiando así a los cultivos, por tal motivo, estos sistemas se presentan como una opción viable para recuperar la calidad del suelo y reincorporar tierras degradadas en sistemas productivos (Gonzalez 2024).

Ecuador se distingue por su vasta riqueza en recursos naturales, destacando la presencia de suelos de origen volcánico que ofrecen un alto potencial agrícolas, además, cuenta con una amplia variedad de climas, lo que ha permitido al ser humano aprovechar estas condiciones favorables para desarrollar la agricultura y generar una diversidad de productos (Cutiupala *et al.* 2023).

Las medidas de conservación de suelos deben abarcar cuatro acciones fundamentales: proteger el suelo del impacto de las gotas de lluvia, aumentar la capacidad de infiltración para disminuir el escurrimiento superficial, fortalecer la estabilidad de los agregados del suelo para hacerlo más resistente a la erosión por salpicaduras, incrementar la rugosidad de la superficie para reducir la velocidad del escurrimiento (Linares 2023).

Las técnicas de agricultura de conservación promueven la intensificación sostenible de la producción al minimizar la perturbación del suelo y mantener los residuos de los cultivos en la superficie, por tal motivo, la mecanización debe adaptarse y ajustarse a las condiciones específicas del entorno en el que se utilizará, considerando los avances tecnológicos en la agricultura, además, es crucial seleccionar y utilizar correctamente los equipos para evitar impactos negativos en el medio ambiente (Marrero 2021).

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación realizada es de campo y laboratorio, con un nivel de conocimiento de la investigación exploratorio y descriptivo, no se implementó un diseño experimental, sin embargo, se utilizaron variables cuantitativas y cualitativas. En cuanto a la selección de las fincas para la toma de muestra se empleó el método de muestreo sistemático estratificado.

3.2. Operacionalización de variables

Cuadro 1. Operacionalización de variables

Tipo de Variable		Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Tipo de medición	Instrumentos de medición
Independiente	Niveles de compactación y erosión de suelo agrícolas	Existencia de problemática por compactación de suelos en contenido de cationes de suelos e infiltración de agua que impiden productividad adecuada de cultivos	Determinación de compactación con equipos Lecturas de cationes Mg, Ca y K en suelos Identificación de colores de suelos Infiltración y capacidad de almacenamiento de agua del suelo	Rangos de compactación del suelo Valores de cationes en ppm Colorimetría según escala Munsell Rangos de infiltración en cm/h retención de agua en PSI	Cuantitativo Cualitativo	Tablas de datos Estudio con penetrómetro Conteo de contenido de Cationes Tabla de Munsell Cronometro Tensiómetro
Dependiente	Pérdida de calidad productiva de los suelos agrícolas por compactación	Disminución de la calidad productiva del suelo por efecto de la compactación y la erosión por cambio de prácticas agrícolas.	Niveles de compactación de suelos	Porcentaje de compactación Valores de pérdida de capacidad productiva	Cuantitativo	Observación directa Tabla de datos

3.3. Población y muestra

3.3.1 Población

La población corresponde a 250 parcelas del sector CEDEGE para la recolección de muestra de suelo y análisis correspondiente. El área de CEDEGE corresponde a 5 250 hectáreas. Las unidades de muestreo seleccionadas fueron macroparcels de los productores, las cuales variaron en superficies de 20 a 40 ha.

3.3.2 Muestra

La muestra comprende un total de 30 fincas de sectores de la zona de CEDEGE. La muestra de la investigación se determinó según Leocadio (2015), por la siguiente fórmula de Fisher y Navarro:

$$n = \frac{z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2(N - 1) + p \cdot q \cdot z^2}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

z = nivel de confianza

p = probabilidad a favor

q = probabilidad en contra

N = tamaño de la población

e = error de la muestra

N=250

Z= 95%

e= 17

P= 0.5

q= 0.5

3.4. Técnicas e instrumento de medición

3.4.1. Técnicas

Para el presente trabajo se utilizaron técnicas y métodos específicos para la determinación de las variables planteadas en campo y laboratorio. La obtención de datos se realizó en campo con un penetrómetro y medidor de humedad; y en cuanto a la recolección de muestra, pasó por un proceso de secado natural y por el método de la estufa para posteriormente ser evaluado en laboratorio.

3.4.2. Instrumentos

- ✓ Fundas flexiplast

- ✓ Pala o barreno
- ✓ Libreta
- ✓ Marcador
- ✓ Penetrómetro
- ✓ Mortero
- ✓ Agua destilada
- ✓ Probetas
- ✓ Pipetas
- ✓ Estufa de secado
- ✓ Tamices (diferentes tamaños)
- ✓ Papel periódico
- ✓ Cronometro
- ✓ Tabla de colores de Munsell
- ✓ Vidrio de reloj
- ✓ Frasco lavador
- ✓ Peachímetro (medidor de humedad)
- ✓ Vasos de precipitación
- ✓ Instrumento Multi paramater
- ✓ Instrumento Waterproof Apera

3.5. Procesamiento de datos

3.5.1. Análisis estadístico

El análisis estadístico que se implementó es inferencial, utilizando el software InfoStat versión 2020, con el fin de tabular los resultados obtenidos.

3.5.2. Variables estudiadas

Resistencia a la penetración

Para la determinación de la resistencia del suelo se utilizó un penetrómetro para obtener valores de compactación, considerando el suelo en capacidad de campo en cuanto al efecto de la humedad. El procedimiento consistió en insertar el penetrómetro en el suelo y realizar las lecturas dentro de los primeros 20 cm de

suelo que se supone son la parte más trabajada por los apero de labranza. Posteriormente, se registraron los valores de resistencia del suelo obtenidos por el penetrómetro que se expresaron en PSI (libras por pulgada cuadrada).

Cuadro 2. Rango de PSI con grado de compactación

Grado	Rango (PSI)	Color	Grado de compactación
1	0-200	Verde	Leve
2	201-300	Amarillo	Moderada
3	> 300	Rojo	Grave

Fuente: Tomado de Proain 2024.

Lecturas de cationes influenciados por la compactación

Las lecturas de los tres cationes más influenciados por efectos de la compactación del suelo (potasio, magnesio y calcio) de las muestras recogidas, se procedieron de la siguiente manera:

- ✓ Tomar muestra de suelo y secarlas a 105 °C durante 24 horas en la estufa.
- ✓ Luego se tritura la muestra con un mortero y se tamiza utilizando un tamiz de 0,037 mm.
- ✓ Se seleccionó 10 g de suelo tamizada por muestra.
- ✓ Se utilizó un vaso de precipitación donde se mezcló los 10 g de suelo con 30 ml de agua destilada.
- ✓ Se utiliza los Instrumento Multi paramater (Calcio y Potasio), Instrumento Waterproof Apera (Magnesio) con lo cual se registran los valores obtenidos en ppm de cada catión de muestra analizada después de cada 5 minutos.

Colorimetría con Tabla de Munsell

La Tabla de Munsell se utiliza para describir y evaluar los colores del suelo, la cual fue propuesta por el artista estadounidense Albert Henry Munsell, en su libro "A Color Notation" que significa una anotación de color en 1907, teniendo en

consideración que este sistema utiliza tonos, luminosidad y saturación para evaluar el color del suelo (Portal frutícola 2019).

La determinación del color se identificó en seco y húmedo mediante el Sistema de Notación Munsell a partir de la muestra de suelo, definiendo los valores de acuerdo a sus parámetros valor (value), matiz (hue) y croma (chroma) del color del suelo y el color de la tabla de Munsell (figura 3), el cual se asignó un nombre con una determinada notación. El procedimiento fue el siguiente:

- ✓ Se seleccionaron muestra de suelo, secada a 105 °C durante 24 horas en la estufa.
- ✓ Luego se trituro la muestra con un mortero y se tamiza utilizando un tamiz de 0,037 mm.
- ✓ Se seleccionó una porción de suelo de 10 g.
- ✓ Se utilizó un reloj de vidrio donde se observa el color del suelo en seco y húmedo con la tabla de Munsell.
- ✓ Se registra el Value, Hue y Chroma para identificar el color del suelo.



Figura 3. Tabla de Munsell

Capacidad de almacenamiento

La determinación de la capacidad de almacenamiento se realizó con un medidor de humedad el que permite determinar el estado de humedad del suelo bajo diferentes niveles de presión de succión. Para esto se empleó el siguiente protocolo:

- ✓ Se colocó el equipo Peachímetro (medidor de humedad)
- ✓ Se introdujo un puñado de tierra suelta en el fondo y se colocó el medidor de humedad presionando cuidadosamente.
- ✓ Se rellenó con tierra alrededor dejando un pequeño alto para evitar apozamientos que interfieran en las lecturas, de lo cual, dejar al menos 3 cm de espacio entre la superficie de la tierra y la base del equipo.
- ✓ Las lecturas con el medidor de humedad proporcionaron información sobre la capacidad de retención de agua del suelo bajo diferentes condiciones de humedad.

Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración es la tasa de agua que entra en el suelo en cada instante. Para el caso de velocidad de infiltración esta se evaluó a través de las muestras tomadas en los lotes, para el efecto se empleó el método de probeta aforada con la escala del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). El proceso fue el siguiente:

- ✓ Se tomó muestra de suelo secada a 105 °C durante 24 horas en la estufa.
- ✓ Luego se tritura la muestra con un mortero y se tamiza utilizando un tamiz de 0,037 mm.
- ✓ Se seleccionó una porción de la muestra de suelo.
- ✓ Se llenó la probeta aforada con agua 15 ml.
- ✓ Con un cronometro se calcula desde el momento en que se retira el tapón inferior de la probeta aforada para permitir que el agua comience a infiltrarse en el suelo en cm/h.
- ✓ Se registra periódicamente el descenso del nivel de agua en la probeta aforada.

Índice de erosión

El índice de erosión se ha clasificado de acuerdo a la intensidad del proceso en términos de severidad y grado, en tres categorías, según tabla adjunta (FAO 2020).

Cuadro 3. Grado de compactación con compactómetro

Grupo	Grado de compactación con compactómetro	Grado de erosión
1	< 25%	Ninguna o muy poca erosión
2	26-75 %	Erosión moderada
3	> 75 %	Erosión severa

Fuente: Tomado de FAO 2020.

3.6. Aspectos éticos

En el contexto de la investigación científica, el plagio consiste en utilizar ideas o contenidos ajenos como si fueran propios. Es plagio, tanto si obedece a un acto deliberado como a un error. La práctica de aspectos éticos, se garantiza de conformidad en lo establecido en el Código de Ética de la UTB.

Para la aprobación de la UIC, se generará un reporte del software anti-plagio, para garantizar la aplicación de aspectos éticos, con los que el estudiante demostrará honestidad académica, principalmente al momento de redactar su trabajo de investigación. Los docentes actuarán de conformidad a lo establecido en el Código de Ética de la UTB, y demostrarán honestidad académica, principalmente al momento de orientar a sus estudiantes en el desarrollo de la UIC.

Artículo 25.- Criterios de Similitud en la Unidad de Integración Curricular. – En la aplicación del Software anti-plagio se deberá respetar los siguientes criterios:

Porcentaje de 0 al 15%: Muy baja similitud (TEXTO APROBADO)

Porcentaje de 16 al 20%: Baja similitud (Se comunica al autor para corrección)

Porcentaje de 21 al 40%: Alta similitud (Se comunica al autor para revisión con el tutor y corrección)

Porcentaje Mayor del 40%: Muy Alta Similitud (TEXTO REPROBADO).

CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Resultados

4.1.1. Resistencia a la penetración

La tabla 3 muestra que en los sectores 2-Puentes, Almesa, Cedral-1, Rodríguez, y Valle-Verde, la media varía de 161,67 a 239,33. En cuanto a 2-Puentes presenta la mayor variabilidad (44,10%) y Rodríguez la menor (CV de 8,20%), a pesar de estas diferencias en medias y variabilidad, el análisis de Tukey no revela diferencias estadísticas significativas entre los sectores, ya que todos comparten la misma letra A.

En el caso de compactación Cedral-1 presenta el valor más alto (239,33 PSI), con un resultado menor en La Rodríguez 161,67 PSI.

En lo que respecta a los grados de Erosión o Severidad de esta, se estimó Ninguna o muy poca erosión (grupo 1) para Valle-Verde y Rodríguez; con erosión moderada (grupo 2) en 2-Puentes, Almesa y Cedral-1.

Tabla 3. Resistencia mecánica del suelo a la penetración en PSI y grado de erosión, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.

SECTOR	Media	CV	Mín	Máx	Tukey	Nivel de Compactación	Grado de erosión
2-Puentes	234,83	44,10	118	345	A	Amarillo	Grupo 2
Almesa	228,67	24,40	174	319	A	Amarillo	Grupo 2
Cedral-1	239,33	22,18	162	304	A	Amarillo	Grupo 2
Rodríguez	161,67	8,20	145	178	A	Verde	Grupo 1
Valle-Verde	176,17	34,32	110	245	A	Verde	Grupo 1

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Media: promedio de las mediciones en cada sector.

CV: coeficiente de variación refleja la variabilidad relativa.

Min: valores mínimos

Max: valores máximos registrados

Nivel de compactación: se muestra mediante código de colores de lo cual el verde (leve); amarillo (moderado); rojo (grave).

Grado de erosión: se agrupan según su susceptibilidad, grupo 1 (ninguna o muy poca erosión); grupo 2

(erosión moderada); grupo 3 (erosión severa)).

En el gráfico 1 de dispersión se presenta los valores de PSI que varían de aproximadamente 100 a 357, por tal motivo, se observa una dispersión significativa de los datos a lo largo de los casos, sin una tendencia clara, lo que indica variabilidad en los valores de PSI a través de los diferentes casos sin un patrón evidente.

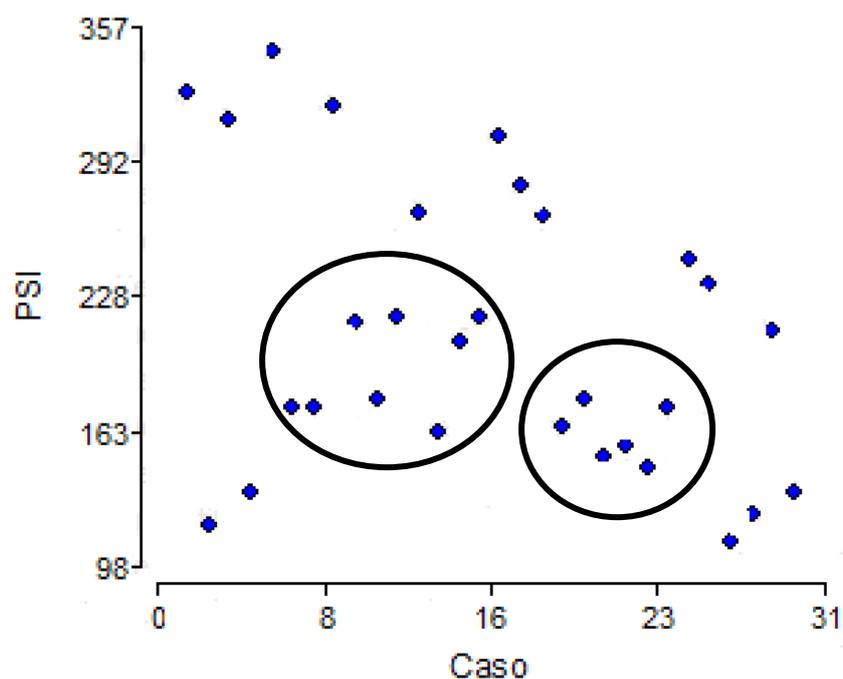


Gráfico 1. Resistencia mecánica del suelo a la penetración en PSI, Babahoyo, 2024.

4.1.2. Lecturas de cationes influenciados por la compactación

1. Magnesio

En la tabla 4 se detallan los promedios del contenido del catión de Magnesio (Mg) que se registraron de las muestras de suelos evaluadas. Entre las cuales, el sector de 2-Puentes presenta la media más alta de 567 ppm, con un coeficiente de variación de 43,59 %. En cuanto al sector Almesa presenta una media de 261 ppm (CV 110,42 %).

Tabla 4. Valores de Magnesio, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.

SECTOR	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máy	Tukey
2-Puentes	6	567	247,15	100,90	43,59	228	810	A
Almesa	6	261	288,19	117,65	110,42	120	846	A
Cedral-1	6	440	189,84	77,50	43,14	168	684	A
Rodriguez	6	240	80,32	32,79	33,47	156	360	A
Valle-Verde	6	366	126,71	51,73	34,62	216	516	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

n: Numero de muestra por sector

Media: promedio de las mediciones en cada sector.

D.E.: dispersión de datos en relación a la media de cada sector

E.E.: precisión estimada

CV: coeficiente de variación refleja la variabilidad relativa.

Min: valores mínimos

Max: valores máximos registrados

Tukey: análisis estadísticos de comparación de medias clasificadas en grupos de letras.

En el gráfico 2 de dispersión muestra la mayor concentración de magnesio (Mg) en valores menores de 500 de ppm, con rangos entre 80-400 ppm. La variabilidad en los valores registrados sugiere fluctuaciones significativas en la concentración de magnesio debido a la posibilidad de erosión en el suelo.

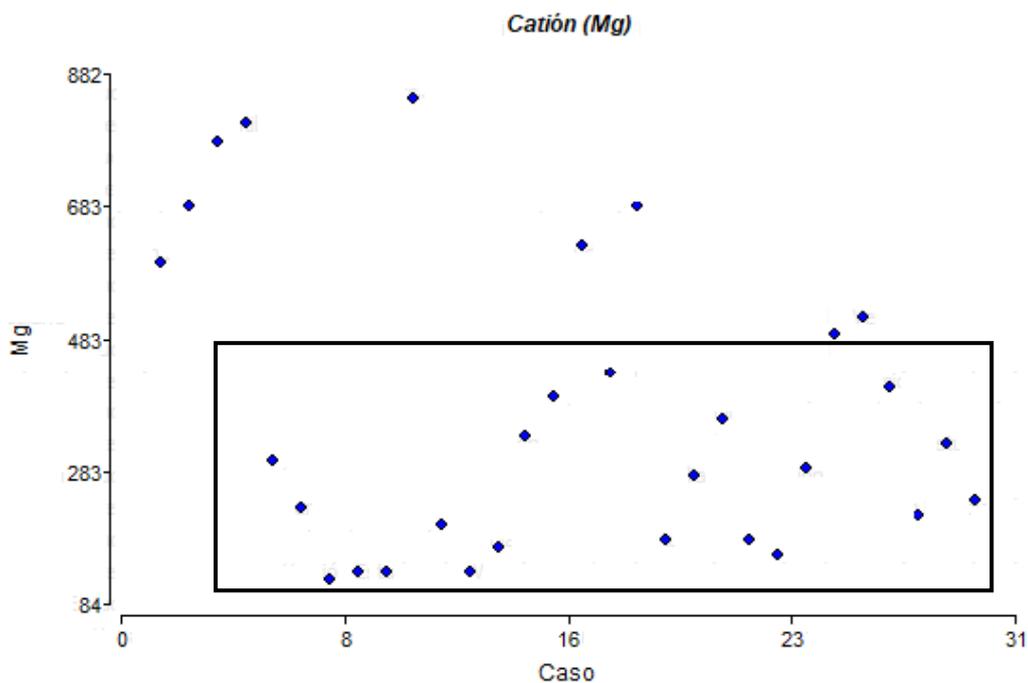


Gráfico 2. Rangos del contenido de Magnesio de las muestras evaluadas en la zona de CEDEGE, 2024.

2. Calcio

En la tabla 5 se muestran los promedios obtenidos de las muestras evaluadas del catión de Calcio (Ca). El sector Cedral-1 presenta una media de 2416,64 ppm con 19,69 % de coeficiente de variación. El sector Rodriguez es el menos relevante, debido a que presenta una media de 1673,28, teniendo el mínimo requerido y un coeficiente de variación 5,62 %.

Tabla 5. Valores de Calcio, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.

SECTOR	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx	Tukey
2-Puentes	6	2394,66	1067,58	435,84	44,58	1093,72	3484,84	A
Almesa	6	2294,55	593,31	242,22	25,86	1763,04	3317,16	A
Cedral-1	6	2416,64	475,79	194,24	19,69	1645,00	2912,32	A
Rodriguez	6	1673,28	94,10	38,42	5,62	1565,44	1807,60	A
Valle-Verde	6	2019,09	413,13	168,66	20,46	1587,24	2586,80	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

n: Numero de muestra por sector

Media: promedio de las mediciones en cada sector.

D.E.: dispersión de datos en relación a la media de cada sector

E.E.: precisión estimada

CV: coeficiente de variación refleja la variabilidad relativa.

Min: valores mínimos

Max: valores máximos registrados

Tukey: análisis estadísticos de comparación de medias clasificadas en grupos de letras.

En el gráfico 3 de dispersión muestra la concentración de calcio con rangos que fluctúan entre 1500 y 2300 ppm; indicando una tendencia descendente a lo largo de los casos con una disminución considerable del contenido del calcio en las muestras de suelo evaluadas.

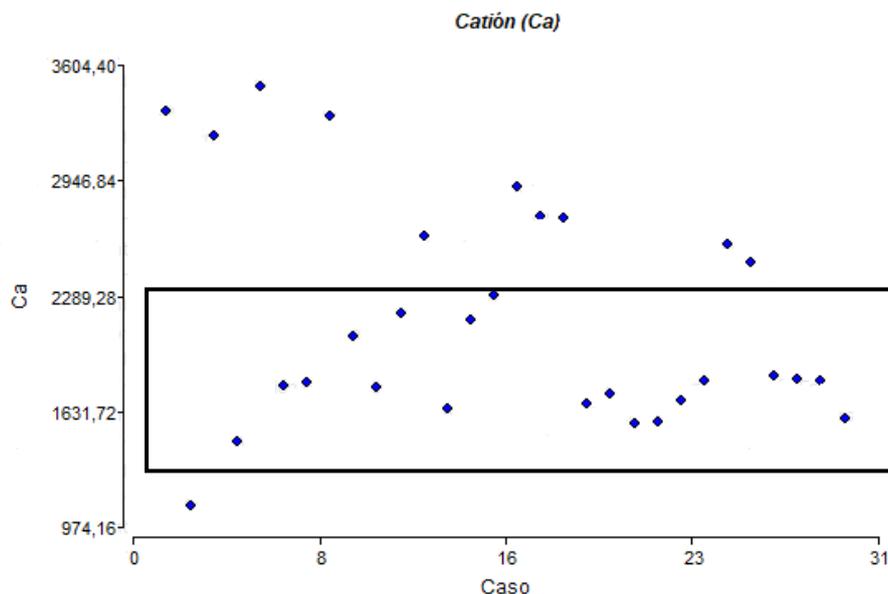


Gráfico 3. Rangos del contenido de calcio de las muestras evaluadas en la zona de CEDEGE, 2024.

3. Potasio

En la tabla 6 se presenta los resultados del contenido de Potasio (K) de los diferentes sectores evaluados. Los sectores con más significancia del contenido de este catión fueron Cedral-1 con 167,41 ppm (CV 0,24 %) y Valle-Verde con 167,07 ppm y el coeficiente de variación 1,12 %. Por otro lado, el sector Almesa tiene la media más baja de 108,98 ppm con un coeficiente de variación 26,54%.

Tabla 6. Valores de Potasio, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.

SECTOR	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx	Comparación
2-Puentes	6	134,08	7,85	3,20	5,85	122,25	144,33	A
Almesa	6	108,98	28,92	11,81	26,54	86,03	163,90	A
Cedral-1	6	167,41	0,41	0,17	0,24	167,10	168,20	B
Rodríguez	6	121,14	27,76	11,33	22,92	73,35	147,85	A
Valle-Verde	6	167,07	1,87	0,76	1,12	164,03	168,78	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

n: Numero de muestra por sector

Media: promedio de las mediciones en cada sector.

D.E.: dispersión de datos en relación a la media de cada sector

E.E.: precisión estimada

CV: coeficiente de variación refleja la variabilidad relativa.

Min: valores mínimos

Max: valores máximos registrados

Tukey: análisis estadísticos de comparación de medias clasificadas en grupos de letras.

En el gráfico 4 de dispersión muestra la concentración de potasio (K) con una variabilidad muy notable del contenido de potasio de las muestras evaluadas, existiendo al menos tres grupos definidos.

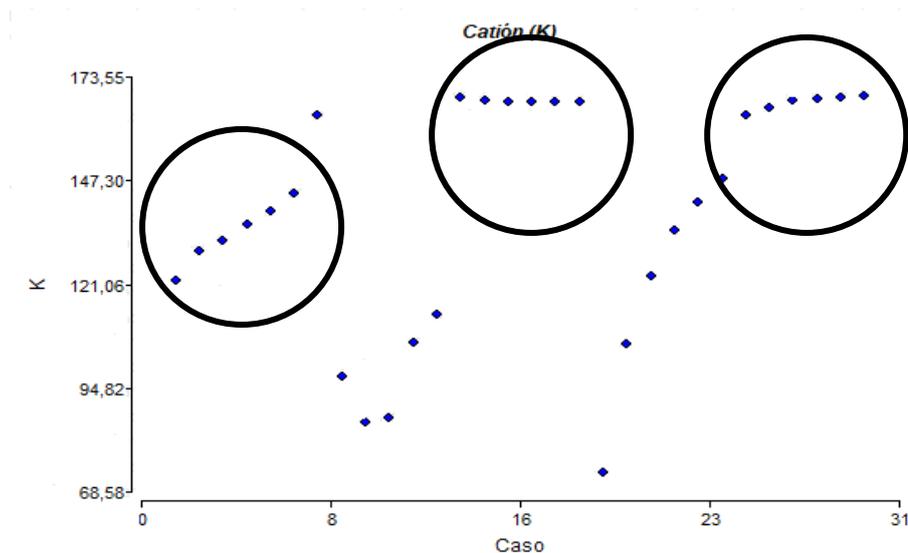


Gráfico 4. Rangos del contenido de potasio de las muestras evaluadas en la zona de CEDEGE, 2024.

4.1.3. Colorimetría con Tabla de Munsell

En el gráfico 5 se ilustra la distribución de colores del suelo seco, en el cual el color predominante es el marrón rojizo claro con el 40% del total. Y el marrón claro fue el menos común con un 3%. La variabilidad en los colores del suelo seco puede ser indicativa de diferentes composiciones minerales y condiciones ambientales de las distintas áreas estudiadas.

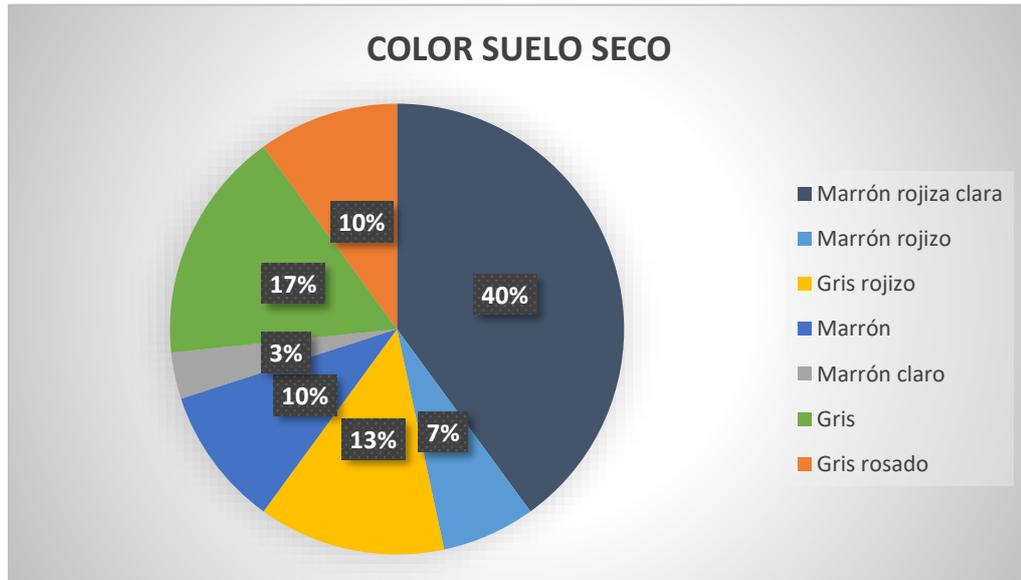


Gráfico 5. Color del suelo seco, 2024.

En el gráfico 6 se ilustra la distribución del color del suelo húmedo, donde el color predominante es el gris oscuro que representa un 63% del total y el 3% representa los colores marrón claro y marrón rojizo los de menor proporción, indicando que el color gris rosado (17%), marrón y gris rojizo oscuro (7%) están en menor predominancia de las muestras evaluadas en el suelo húmedo.

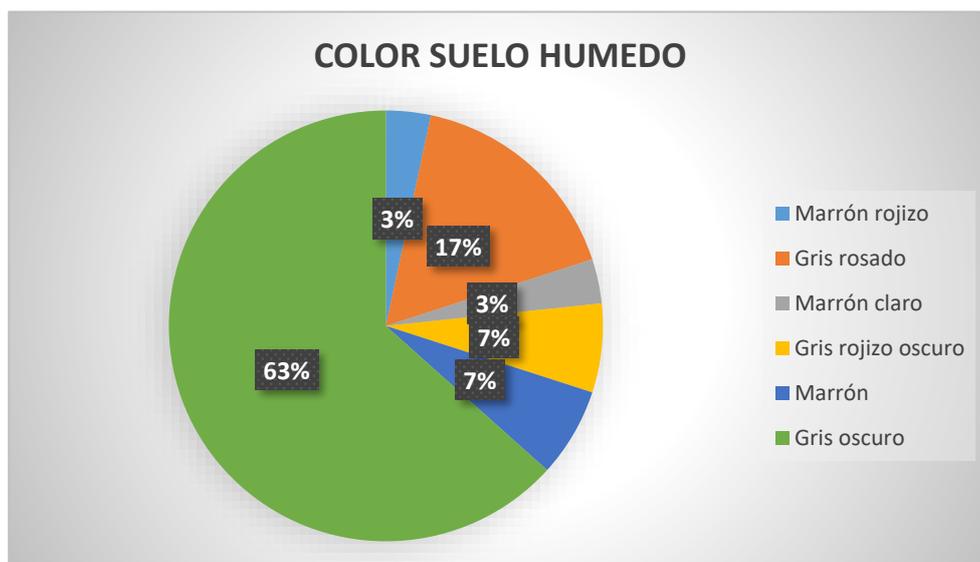


Gráfico 6. Color del suelo húmedo, 2024.

4.1.4. Capacidad de almacenamiento

En la tabla 7 se muestran los valores de humedad del suelo en la primera lectura, en el cual el sector 2-Puentes presenta la mayor media de 71,67% y con un coeficiente de variación de 25,60 %. En cuanto, al sector de Almesa presenta una media de 55 y un CV de 25,06 %.

Tabla 7. Húmeda del suelo lectura 1, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.

SECTOR	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx	Tukey
2-Puentes	6	71,67	18,35	7,49	25,60	40	90	A
Almesa	6	55,00	13,78	5,63	25,06	30	70	A
Cedral-1	6	70,00	10,95	4,47	15,65	60	90	A
Rodriguez	6	70,00	12,65	5,16	18,07	60	90	A
Valle-Verde	6	63,33	5,16	2,11	8,15	60	70	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

n: Numero de muestra por sector

Media: promedio de las mediciones en cada sector.

D.E: dispersión de datos en relación a la media de cada sector

E.E: precisión estimada

CV: coeficiente de variación refleja la variabilidad relativa.

Min: valores mínimos

Max: valores máximos registrados

Tukey: análisis estadísticos de comparación de medias clasificadas en grupos de letras.

En la tabla 8 se presenta los datos de humedad en segunda lectura, en los cuales se obtuvo la mayor media en los sectores de 2-Puentes (coeficiente de variación 36,51%) y Cedral-1 (coeficiente de variación 36,51%) con 30 % de contenido hídrico. El sector Rodríguez presentó la media más baja con 25 y un coeficiente de variación de 21,91 %.

Tabla 8. Húmeda del suelo lectura 2, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.

SECTOR	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx	Tukey
2-Puentes	6	30	10,95	4,47	36,51	20	50	A
Almesa	6	26,67	8,16	3,33	30,62	20	40	A
Cedral-1	6	30	6,32	2,58	21,08	20	40	A
Rodriguez	6	25	5,48	2,24	21,91	20	30	A
Valle-Verde	6	28,33	7,53	3,07	26,57	20	40	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

n: Numero de muestra por sector

Media: promedio de las mediciones en cada sector.

D.E: dispersión de datos en relación a la media de cada sector

E.E: precisión estimada

CV: coeficiente de variación refleja la variabilidad relativa.

Min: valores mínimos

Max: valores máximos registrados

Tukey: análisis estadísticos de comparación de medias clasificadas en grupos de letras.

En el gráfico 7 de dispersión muestra la capacidad de almacenamiento en dos categorías diferenciadas por colores (puntos azules y puntos amarillos) para los casos evaluados. Los puntos azules, que representan valores más altos que se agrupan entre 56, 74 y 93; mientras los puntos amarillos, representan valores más bajos de 19, 37 y 56 con menor variabilidad entre los casos.

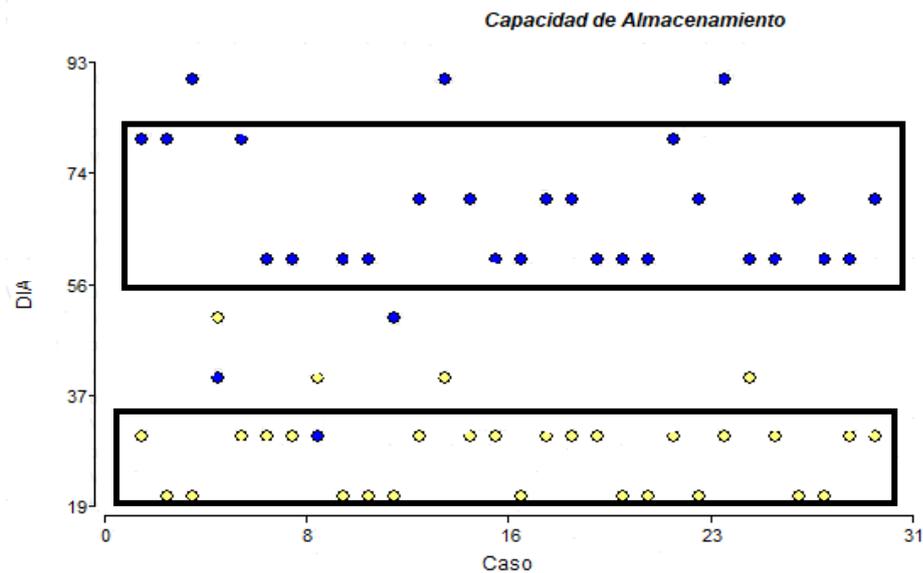


Gráfico 7. Rangos de humedad del suelo, diferenciado el día 1 (color azul) y día 5 (color amarillo), 2024.

4.1.5. Velocidad de infiltración

En la tabla 9 se detallan los resultados de velocidad de infiltración, de los cuales el sector 2-Puentes tiene la mayor media de infiltración de 35,33, con valores que varían de 25,00 – 45,00 cm/h, escala muy rápida según parámetros del United State Departament Agriculture (USDA). Por otro lado, el sector de Valle-Verde presenta la menor media de infiltración de 19,00, con valores que varían de 4,00 – 36,00, y el coeficiente de variación es de 71,70 %.

Tabla 9. Datos de velocidad de infiltración, en evaluación de niveles de compactación y erosión antrópica de suelos agrícolas en la zona de CEDEGE. Babahoyo, 2024.

SECTOR	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín.	Máx.	Tukey
2-Puentes	6	35,33	8,02	3,27	22,69	25,00	45,00	A
Almesa	6	29,50	11,78	4,81	39,92	9,00	41,00	A
Cedral-1	6	26,17	17,61	7,19	67,31	5,00	48,00	A
Rodriguez	6	22,83	9,47	3,87	41,49	13,00	37,00	A
Valle-Verde	6	19,00	13,62	5,56	71,70	4,00	36,00	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

n: Numero de muestra por sector

Media: promedio de las mediciones en cada sector.

D.E: dispersión de datos en relación a la media de cada sector

E.E: precisión estimada

CV: coeficiente de variación refleja la variabilidad relativa.

Min: valores mínimos

Max: valores máximos registrados

Tukey: análisis estadísticos de comparación de medias clasificadas en grupos de letras.

En el gráfico 8 de dispersión muestra la velocidad de infiltración medida en cm/h. Las velocidades de infiltración oscilan entre 2 y 50 cm/h, los datos presentan una considerable variabilidad sin una tendencia clara, con algunos valores altos dispersos entre los casos iniciales y una ligera disminución de otros, indicando una dispersión significativa a lo largo del gráfico con valores bajo, medio y altos de velocidad de infiltración.

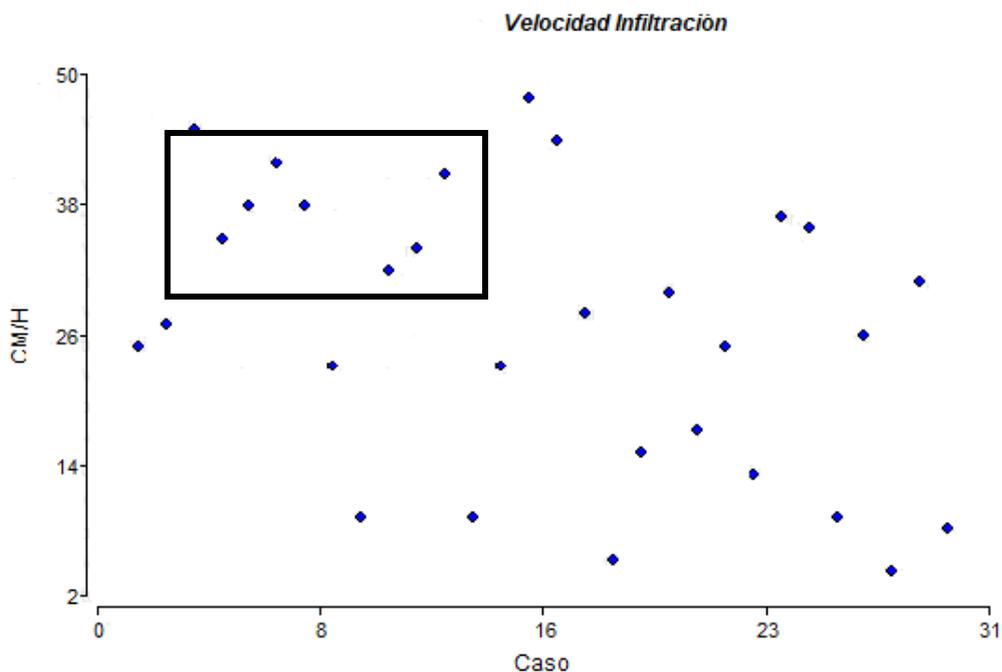


Gráfico 8. Velocidad de Infiltración de las muestras evaluadas de la zona de CEDEGE, 2024.

4.2. Discusión

La investigación es relativamente experimental en la cual se determinó la compactación y erosión de suelo agrícolas en los sectores muestreados.

El análisis de la lectura de los cationes (Mg, Ca y K) que más inciden por compactación presenta un bajo, medio y alto contenido de las muestras evaluadas. Según Cutiupala *et al.* (2023), menciona que el potasio y el magnesio se lixivian rápidamente en comparación con el calcio. Al igual que Casco y Patiño (2021), indican que los valores elevados de calcio, magnesio y potasio en la zona de muestreo se deben a la fuerte actividad agropecuaria, lo cual aporta materia orgánica a través del estiércol, abonos orgánicos y degradación vegetal, considerándose como una fuente secundaria de nutrientes, además, el fenómeno natural de arrastre a lo largo del tiempo ha llevado a la creación de depósitos de nutrientes en la zona periglaciaria.

La mayor incidencia del color del suelo seco fue marron rojizo claro (5YR/7/4, 5YR/6/4, 5YR/6/3) depende de varios factores como la materia orgánica, contenido

mineral, condiciones de drenaje, etc. De igual manera, concuerda con lo manifestado por Arango (2022), quien indica que, los colores del suelo están determinados por partículas finas de óxidos de hierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), materia orgánica humificada (presenta un color oscuro), óxidos de manganeso (producen colores negros), y por el material parental.

El análisis del color del suelo húmedo con mayor incidencia fue el gris oscuro (5YR/4/1, 7,5YR/4/1) indicando un alto contenido de materia orgánica en descomposición lo que tiende a oscurecer el suelo, y concuerda con lo manifestado por Pinos (2022), que indica que los suelos con una coloración gris oscuro indican una alta capacidad de retención hídrica, una gran cantidad de materia orgánica que este en estado de descomposición, lo que permite una absorción y liberación óptimas de nutrientes.

La evaluación de la humedad del suelo en los sectores de CEDEGE, Babahoyo, muestra variaciones significativas en la capacidad de retención de agua en los días evaluados, según Ortiz y Godoy (2022), indican que los suelos bajos sufren periódicamente de inundaciones, por lo que tienden a desarrollar una estructura más compacta, lo que limita su capacidad de almacenamiento de agua, presentando en épocas secas resquebrajamiento de los horizontes superficiales del suelo, afectando negativamente la retención de humedad y la salud del suelo.

La velocidad de infiltración es una medida de la rapidez con la que el agua se absorbe en el suelo, si el agua se infiltra demasiado lento, puede causar encharcamientos en áreas planas o erosión debido al escurrimiento en terrenos inclinados, por otro lado, si es muy rápida puede llevar a la pérdida de agua y nutrientes esenciales, esto está relacionado por lo descrito por Chiza (2023), al indicar que la (VI) en el suelo está fuertemente influenciada por la calidad y el uso del suelo en cada sitio, y factores como la textura, estructura, contenido de M.O. y prácticas de manejo del suelo.

Los valores de velocidad de infiltración encontrados fueron, moderado, rápido y muy rápido dependiendo de la textura del suelo y su manejo, además estos hallazgos concuerdan con Rivera y Dolmos (2020), que mencionan que los suelos agrícolas con mayor actividad en la preparación del suelo presentan altas

velocidades de infiltración, permitiendo que el agua fluya a través del perfil del suelo debido a la fuerza de gravedad, y los perfiles que muestran una mayor abundancia de macroporos en un decímetro cuadrado favorecen la infiltración.

Los niveles de compactación obtenidos de la muestras evaluadas fueron leve y moderada, concuerda con Garcia (2020), indica que los niveles de compactación del suelo en el cultivo de maíz impactaron tanto en el desarrollo agronómico como en el rendimiento del cultivo debido a que fueron alto, medio y bajos en PSI. Además, Cobos *et al.* (2021) menciona en su investigación que en Babahoyo, los valores indican que los suelos presentan un menor grado de compactación, lo cual favorece una mayor infiltración de agua y facilita la exploración de las raíces.

La ineficiencia de prácticas de conservación de suelos en el área de estudio, es consecuencia de la limitación de recursos de las entidades encargadas de promover estas técnicas, generando efectos negativos en la evaluación y seguimiento de la conservación de los mismos. Por tal motivo, Linares (2023) menciona que, las estrategias para mitigar la erosión deben enfocarse en la agricultura sustentable, incluyendo el uso de abonos orgánicos, siembra directa, mínimo laboreo y cultivos intercalados con árboles, estas técnicas mejoran la estructura y materia orgánica del suelo, reduciendo la compactación e incrementando la infiltración.

La aplicación de técnicas de conservación del suelo en la agricultura contribuye a la intensificación sostenible de la producción, teniendo en cuenta enfoque tecnológicos y el correcto uso de equipos para evitar efectos degradantes en el suelo y medio ambiente, como menciona Marrero (2021), que para prevenir la compactación del suelo o mitigar sus efectos, se recomienda reducir el tráfico de vehículos, usar equipos combinados que minimicen las pasadas, además, es aconsejable utilizar maquinaria de gran ancho de trabajo y tractores con rodaje de alta flotación, distribuyendo uniformemente los residuos de cosecha.

CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las principales conclusiones son:

1. En lo que respecta a los niveles de compactación Cedral-1, Almesa y 2-Puentes (moderado) y Rodríguez, Valle Verde (leve). En cuanto a los grados de erosión o severidad de esta, se estimó ninguna o muy poca erosión (grupo 1) para Valle-Verde y Cedral-1; con erosión moderada (grupo 2) en 2-Puentes, Almesa y Rodríguez.
2. La presencia de Calcio y Magnesio con valores arriba del rango mínimo requerido puede estar influenciada por la constante actividad agrícola del sector.
3. Los bajos niveles de potasio son consecuencia de la pérdida paulatina de arcilla de los suelos, sumando a esto el bajo uso de fertilizante potásico en la zona.
4. La coloración presente en el suelo no es la adecuada para las características químicas de este, lo cual indica un creciente incremento de la pérdida en la capacidad productiva del mismo por efecto de compactación.
5. Los suelos de la zona en mayor o menor medida presentan baja retención de humedad, esto se debe a la pérdida de arcillas, las cuales son desplazada por el efecto de compactación y erosión hídrica principalmente.
6. Los suelos presentan velocidades de infiltración muy rápidas para las características de estos, lo cual se debe a que los mismos presenta cantidades de arena mayor a las conocidas para el sector. Esto implica un proceso de erosión por desplazamiento de materiales geomórficos.
7. Entre las prácticas más recomendada para el sector se indican: siembra directa con cero labranzas, labranza mínima, siembra de árboles lineal como cerca divisoria y rotación de cultivos.

5.2. Recomendaciones

Con el fin de establecer mejoras en la producción se recomienda:

1. Establecer los niveles de erosión en otras fincas de la zona.
2. Implementar medidas de contingencia como: siembra directa con cero labranzas, labranza mínima, siembra de árboles lineal como cerca divisoria y rotación de cultivos.
3. Realizar labores de fertilización química y biológica en los cultivos para complementar programas de nutrición vegetal.

REFERENCIAS

- Alarcón, M. 2021. Consejos para la medición de la compactación de suelos (en línea). INIA Carillanca (Instituto de Investigación Agropecuaria). 4 p. Consultado 11 may. 2024. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68284/NR42673.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arana, A. 2023. Caracterización de la compactación ocasionada por un sistema de cosecha mecánica de la caña de azúcar en dos tipos de suelos del valle del cauca (en línea). Tesis (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). 96 p. Consultado 11 may. 2024. Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/85536/14700629.2023.pdf?sequence=2>
- Aragón, H; Martínez, J. Amador, C. 2020. Manejo y características de los suelos agrícolas de colonia Providencia, Nueva Guinea, 2017 (en línea). Revista Universitaria del Caribe. 24(01):78-97. Consultado 14 Ago. 2024. Disponible en <http://ceimm.uraccan.edu.ni/index.php/Caribe/article/view/799/3217>
- Arango, T. 2022. La fertilidad de los suelos de la comunidad de Ccarhuacata-districto El Carmen-Churcampa-Huancavelica (en línea). 101 p. Consultado 03 Ago. 2024. Disponible en <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/26c16bbe-2049-4e11-a9ce-90f379a454f0/content>
- Arenas, L; Saucedo, G. 2023. Cambio de propiedades químicas del suelo en zona boscosa, sistemas agroforestal, agrícola y pastoril Calzada–Moyobamba (en línea). Tesis de ingeniera. Universidad Católica Sedes Sapientiae 99 p. Consultado 6 Jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1933/Tesis%20-%20Arenas%20Morales%20-%20Saucedo%20Gonzales.pdf?sequence=1>
- Ávila, J. 2022. Elaboración de mapas de compactación de suelo en la Unidad Experimental y Validación El Plantel-UNA, 2021-2022 (en línea). Tesis

- Ingeniero. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA. 40 p. Consultado 01 Jun. 2024. Disponible en <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp33p438m.pdf>
- Bai, Z; Dent, D; Olsson, L; Schaepman, M. 2008. Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management*, 24: 223-234. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00169.x>
- Bejarano, S. 2022. Incidencia de la erosión en el suelo (en línea). *Revista Do-ciencia. Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Tolima* (6):47-53. Consultado 12 may. 2024. Disponible en <https://core.ac.uk/reader/588029270>
- Berli, M. 2001. Compaction of agricultural subsoils by tracked heavy construction machinery. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas). Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zurich. Zurich, Suiza. 141pp.
- Botta, G; Jorajuria, D; DRAGHI, L. 2002. Influence of the axle load, tire size and configuration, on the compaction of a freshly tilled clayey soil. *Journal of Terramechanics*, 39(2):47-54.
- Carfagno, P; Irigoín, J; Civeira, G; Irigoín, N. 2021. Cuidar el suelo, es cuidar la vida (en línea). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 19 p. Consultado 4 may. 2024. Disponible en https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/10552/INTA_CIRN_InstitutodeSuelos_Carfagno_Cuidar_el_suelo_es_cuidar.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Casco, G; Patiño, L. 2021. Evaluación vertical de los cationes: K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e H⁺ en suelos altoandinos de la microcuenca del río Atillo (en línea). 126 p. Consultado 03 Ago. 2024. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15340/1/236T0573.pdf>
- Cid, G; López, T; Herrera, J; González, F. 2021. Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos (en línea). *Revista*

Ingeniería Agrícola 11(2):3-9. Consultado 12 may. 2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/5862/586266250001/586266250001.pdf>

Chiza, G. 2023. *Evaluación de las propiedades físicas, químicas e hidrológicas del suelo en dos ecosistemas con juglans neotropica diels* (en línea). 108 p. Consultado 4 Ag. 2024. Disponible en <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/15341/2/03%20FOR%200374%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Cobos, F; Gómez, L; Reyes, W; Medina, R. 2021. Sustentabilidad de dos sistemas de producción de arroz, uno en condiciones de salinidad en la zona de Yaguachi y otro en condiciones normales en el sistema de riego y drenaje Babahoyo, Ecuador (en línea). *Ecología Aplicada*, 20(1):65-81. Consultado 15 Ag. 2024. Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162021000100065

Cutiupala, M; Lucio, M; Colcha, D; Ramírez, M. 2023. Análisis del estado del suelo de los ríos Cebadas-Yasipan de la microcuenca del río Cebadas, provincia de Chimborazo (en línea). *Polo del Conocimiento. Revista científico-profesional*, 8(11):112-125. Consultado 03 Ago. 2024. Disponible en <file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-AnalisisDelEstadoDelSueloDeLosRiosCebadasYasipanDe-9205911.pdf>

Duiker, S. 2004. *Avoiding Soil Compaction*. Penn State University Extension. The nature and properties of soils, 10th ed. pp. 91-152. MacMillan Publishing Co., New York.

Echeverría, E; Castañeda, E; Robles, C; Martínez, V; Santiago, G; Rodríguez, G. 2023. Indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad del suelo (en línea). *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 10(1):49-67. Consultado 16 Jun. 2024. Disponible en <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/376/340>

EOS. 19 de Oct. 2022. Erosion del suelo: tipos, como evitarla y controlarla (en línea, blog). Consultado 16 Jun. 2024. Disponible en <https://eos.com/es/blog/erosion-del-suelo/>

Espinosa, J; Moreno, J; Bernal, G. 2022. Suelos del Ecuador, clasificación, uso y manejo (en línea). Instituto Geográfico Militar. Ecuador. Persona y Sociedad 27(3):33-52. Consultado 3 may. 2024. Disponible en file:///C:/Users/usuario/Desktop/Sanchez%20Pisco%20Liza%20-%20Carpeta%20General%20de%20todos%20los%20semestre/Materias%20de%20Octavo%20semestre/Cap7_Erosion_del_Suelo_en_Ecuador.pdf

FAO. 2023. Soluciones para la compactación del suelo. Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, Italia. 230p.

FAO. 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, y Mundi-Prensa, Madrid. 334p.

FAO. 2011. Manual for Local Level Assessment of Land Degradation and Sustainable Land Management: Planning and methodological approach, analysis and reporting. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 164p.

Firestone. 21 de Sep. 2022. Todo sobre la recuperación del terreno tras la cosecha (en línea, sitio web). Consultado 16 Jun. 2024. Disponible en <https://www.firestone-agriculture.es/blog/todo-sobre-la-recuperaci%C3%B3n-del-terreno-tras-la-cosecha>

Forigo. 26 de Oct. 2023. Compactación del Terreno: ¿Cómo evitarla? ¿Cómo solucionarla? (Imagen). Consultado 16 Jun. 2024. Disponible en <https://www.forigo.it/es/news/compactaci%C3%B3n-del-terreno-c%C3%B3mo-puedes-evitarla-c%C3%B3mo-solucionarla>

Ganadero. 26 Feb. 2024. Del miedo al éxito. Estrategias para evitar el sobrepastoreo (en línea. blog). Consultado 16 Jun. 2024. Disponible en <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/del-miedo-al-exito-estrategias-para-evitar-el-sobrepastoreo>

García, E; Gutiérrez, F; Ramírez, J; Gonzalez, A; Pérez, D; Serrato, R. 2020. Evaluación de la intensidad de tráfico de tractores e implementos en un suelo agrícola (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11(4):753-766. Consultado 3 may. 2024. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v11n4/2007-0934-remexca-11-04-753.pdf>

García, E. 2020. Tránsito y efecto de la compactación de los tractores agrícolas en el cultivo de maíz (en línea). Tesis MSc. El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. 84 p. Consultado 4 may. 2024. Disponible en <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109999/tesisenrique2.pdf?sequence=2>

García, G. 2020. Comportamiento agronómico del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) sembrado en diferentes grados de compactación del suelo y dosis de fósforo en la zona de Baba (en línea). Tesis Ingeniera. 91 p. Consultado 16 Ago. 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/7954/TE-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000228.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Grand, A; Michel, V. 2020. Materia orgánica del suelo (en línea). 3p. Consultado 16 Jun. 2024. Disponible en <https://www.best4soil.eu/assets/factsheets/es/18.pdf>

Gavilanes, E. 2022. Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico-mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles (en línea). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil. Consultado 01 Jul. 2024. Disponible en

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34104/1/Tesis%20I.C.%201553%20-%20Gavilanes%20Pozo%20Erika%20Samantha.pdf>

González, D. 2024. Identificación de las técnicas agroecológicas que se utilizan para la recuperación de la calidad de los suelos de Ecuador y Colombia (en línea) Universidad del Azuay.46 p. Consultado 12 Ago. 2024. Disponible en <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/14217/1/19738.pdf>

Henríquez, C; Ortiz, O; Largaespada, K; Portugués, P; Vargas, M; Villalobos, P; Gómez, D. 2011. Determinación de la resistencia a la penetración, al corte tangencial, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero, Juan Viñas, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 35(1):175-184. ISSN 0377-9424.

Hidalgo, R; Pozzolo, O; Domínguez, J; Giménez, L; Botta, G. 2020. Compactación del suelo causado por el tránsito de maquinarias en la cosecha de maíz (*Zea mays*) (en línea). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* 52(1):161-174. Consultado 4 de may. 2024. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/pdf/refca/v52n1/v52n1a13.pdf>

IDEAM; U.D.C.A. 2015. Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión (en línea). IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) - U.D.C.A (Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales) Bogotá, Colombia 170 p. Consultado 16 Jun. 2024. Disponible en <https://docplayer.es/54327908-Para-la-identificacion-y-evaluacion-de-la-degradacion-de-suelos-por-erosion.html>

Jiménez, E. 2024. Efectos de la compactación de los suelos arcillosos en el desarrollo y producción del cultivo de palma aceitera *Elaeis guineensis* Jacq .Tesis Ingeniero. Consultado 16 Jun. 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/16065/E-UTB-FACIAG-AGRON-000141.pdf?sequence=1>

Jiménez, J. 2019. Funciones de R para graficar, clasificar y explorar los datos de textura del suelo (en línea). Consultado 03 Jul. 2024. Disponible en

<https://ridda2.utp.ac.pa/bitstream/handle/123456789/9429/manual-R-funciones-graficar-clasificar-suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Keller, T. 2004. Soil compaction and soil tillage studies in agricultural soil mechanics. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas. Uppsala, Suecia. 234p.

Lee, C. 2011. Sidewall Compaction Early Hurts Yields Late. University of Kentucky Extension. Grain Crops Update August 16, 2011.

Leocadio, P. 26 Nov. 2015. Estadística Básica para Educadores Físicos (en línea, blog). Consultado 01 Jul. 2024. Disponible en https://estadisticaedufisica.blogspot.com/2015/11/formula-de-fisher-y-navarro-para_26.html

Linares, J. 2023. Análisis de las prácticas de conservación de suelos para la evaluación de la erosión hídrica en la subcuenca Presa Jalpan (en línea). Consultado 8 Ago. 2024. Disponible en <file:///C:/Users/usuario/Downloads/RI007113.pdf>

Lince, L. 2021. Capacidad de almacenamiento de agua en suelos cultivados en café y otras propiedades edáficas relacionadas (en línea). Revista Cenicafé 72(1):7-22. Consultado 15 jun. 2024. Disponible en <https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/cenicafe/article/view/70/51>

López, A; Astroz, A; Silva, A. 2020. Uso de la tierra y su influencia en la compactación del suelo en el Oriente de Colombia (en línea). Revista Sistemas de Producción Agroecológicos. Universidad de los Llanos 11(1):34-53. Consultado 12 may. 2024. Disponible en <https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/sistemasagroecologicos/article/view/462/822>

Maineri, D. 2020. Pisoteo del suelo por el tráfico de la maquinaria agrícola en suelos bajo labranza convencional (en línea). Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Luján. 23 p. Consultado 15 jun. 2024. Disponible en

<https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/934/MAINERI%20TFA%20MAQUINARIA%20%20FINALIZADO.pdf?sequence=3>

Marrero, J. 2021. Propuesta de equipos de preparación de suelos para una labranza agroecológica, suelos compactados, erosionados y condiciones de sequía (en línea). *Opuntia Brava* 13(3):64-76. Consultado 8 Ago. 2024. Disponible en <file:///C:/Users/usuario/Downloads/1399-Texto%20del%20art%C3%ADculo-3265-3-10-20210728.pdf>

Martínez, D. 2019. Relación de la macrofauna con las propiedades del suelo en diferentes sistemas de uso, distrito Monzón, provincia Huamalíes (en línea). Tesis Ingeniero en Conservación de suelo y agua. 119 p. Consultado 15 jun. 2024. Disponible en file:///C:/Users/usuario/Downloads/DYMU_2019.pdf

Medrano, R. 2022. Digitalización de huellas inducidas por un neumático sobre suelo agrícola (en línea). Consultado 15 jun. 2024. Disponible en file:///C:/Users/usuario/Downloads/veranosug,+130+Art%C3%ADculo_Alberto_Salda%C3%B1a_Robles_y_No_Salda%C3%B1a_Robles.pdf

Mundoagro. 21 de Abr. 2022. Un buen manejo de labranza y compactación del suelo es clave para crecer en productividad de los cultivos (en línea, blog). Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <https://mundoagro.cl/un-buen-manejo-de-labranza-y-compactacion-del-suelo-es-clave-para-crecer-en-productividad-de-los-cultivos/>

Núñez, F; Ugas, M; Calderón, R; Rivas, F. 2021. Cuantificación del carbono orgánico y materia orgánica en suelos no rizosféricos o cubiertos por *Avicennia germinans* (L.) y *Conocarpus erectus* (L.) emplazados en Boca de Uchire, laguna de Unare, Estado de Anzoátegui, Venezuela (en línea). *Revista Geografica America Central* (66):340-366. Consultado 15 jun. 2024. Disponible en https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-25632021000100340&script=sci_arttext

Núñez, P; Colocho, J; Encina, A. 2020. Breve visión sobre el suelo: rol, importancia, funciones, calidad e indicadores. *APF*. 9(1):97-114. Consultado 03 Jul. 2024.

- Oldeman, L; Hakkeling, R; Sombroek, W. 1991. World map of the status of human-induced soil degradation, Tres mapas y una nota explicativa. ISRIC, Wageningen, Países Bajos y PNUMA. 175p.
- Ortiz, J; Godoy, V. 2022. Velocidad de infiltración del agua empleando tres infiltrómetros en la finca experimental a maría-cantón Mocache (en línea). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. 77 p. Consultado 9 jun. 2024. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/09700636-c21c-4a81-bbb1-7b2d608541f6/content>
- Pagliai, M; Marsili, A; Pieranna, S; Vignozzi, N; Pellegrini, S. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil and Tillage Research*, 73(1): 119-129.
- Perez, J. 2023. Elaboración de mapas de compactación de suelo en la Unidad Experimental y Validación El Plantel-UNA, 2021-2022 (en línea). Tesis Ing. Nicaragua. UNA (UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA). Consultado 3 may. 2024. Disponible en <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp33p438m.pdf>
- Pinos, D. 2022. *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* (en línea). 104 p. Consultado 03 Ago. 2024. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21860/1/UPS-CT009562.pdf>
- Porta, Y. 2023. Efectos de la energía de compactación durante el ensayo proctor modificado en un mejoramiento vial en la Provincia de Huancayo (en línea). Tesis Ingeniera. Universidad Peruana de los Andes. 113 p. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/6722/T037_76272213_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Porta, J; Lopez, M; Poc, R. 2019. *Edafología: uso y protección de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa (en línea). 603 p. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SZ3BDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=edafologia+1&ots=3LHFuogman&sig=eu2cA_9eSYspkjBeT9nyU-lxQqA#v=onepage&q=edafologia%201&f=false
- Portal frutícola. 2019. Cómo usar la tabla de color Munsell en la descripción y clasificación de los suelos (en línea, blog). Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/02/27/como-usar-la-tabla-de-color-munsell-en-la-descripcion-y-clasificacion-de-los-suelos/>
- Portilla, E; Reyes, B; Cardona, J; Monter, D. 2021. Relación calcio, fósforo, magnesio y selenio sobre la reproducción en vacas lecheras durante el periodo de transición (en línea). *Revista colombiana de ciencia animal recia*, 13(2):72-79. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2027-42972021000200072&script=sci_arttext
- Prieto, L. 2023. Diseño de un sistema agrosilvopastoril en la finca “Shayo” en Junín Cundinamarca (en línea). *Unidad Nacional Abierta y Distancia*. 89 p. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/58040/leprietomo.pdf?sequence=1>
- Proain. 07 de Oct. 2020. Impacto de la compactación del suelo agrícola (en línea, blog). Consultado 3 may. 2024. Disponible en <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/impacto-de-la-compactacion-del-suelo-agricola>
- Ramírez, S. 2022. Quema de una parcela y su efecto en la macrofauna del suelo en el centro poblado Los Ángeles, distrito Mariano Dámaso Beraún–región Huánuco (en línea). 78 p. Consultado 3 Jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c987683a-61ac-4169-ad2e-3d09e623e26a/content>

- Rivera, S; Dolmos, Y. 2022. *Efecto de las propiedades físicas del suelo en la infiltración de agua en la finca el Plantel UNA 2020-2022* (en línea). Universidad Nacional Agraria, Managua Nicaragua.81 p. Consultado 4 Ago. 2024. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/4542/1/tnp33r621.pdf>
- Rodríguez, I; Pérez, H; García, R. 2021. Degradación del suelo en sistemas agrícolas de la granja Santa Inés. Provincia de El Oro, Ecuador. *Universidad y Sociedad* 13(2):557–564. Consultado 11 may. 2024. Disponible en <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2349>
- Ruiz, M. 2024. Causas de la erosión antrópica, ejemplos y cómo controlarla (en línea, blog). Consultado 9 jun. 2024. Disponible en <https://www.biospace.es/erosion-antropica/>
- Salazar, C; Gonzalez, J; Corrales, D, Lacayo, G; Carrillo, k; Montero, H. 2020. Comparación de dos métodos para la determinación de la densidad aparente del suelo (en línea). *Alcances Tecnológicos* 13(1):5-12. Consultado 15 jun. 2024. Disponible en http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/164/142
- Silva, E; Dechmi, F; Isla, R; Mirás, J. 2023. Manual de campo. Proyecto DEMO SOS Suelo (en línea). 22 p. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/6721/3/Manual-de-Campo-SOS-SUELO-Proyecto-Demo-CITA-2023-v01%20%281%29.pdf>
- Strachan, S; Jeschke, M. 2017. Water Retention and Nutrient Availability in Soil: Drainage and Compaction. *Pioneer Crop Insights*, Vol. 27(11):34-45.
- Tecnicrop. 4 Ago. 2022. Cómo mejorar la fertilidad de los suelos (en línea, sitio web). Consultado 15 jun. 2024. Disponible en <https://tecnicrop.com/blog/como-mejorar-la-fertilidad-de-los-suelos>
- Thompson, L; Troeh, F. 2021. *Los suelos y su fertilidad*. Consultado 06 Jul. 2024. Disponible en <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=VpIUeAAQBAJ&oi=fnd&pg=>

PR7&dq=color+suelo&ots=GDOZ9uNq64&sig=8E9XLZcaMoLuTbrX5asnkli_5nM#v=onepage&q=color%20suelo&f=false

Troya, J. 2020. Rehabilitación de suelos erosionados para promover sostenibilidad socio-económica y ambiental en Salache UTC, San Felipe, Cotopaxi. Tesis PhD. Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 188 p.

Urriola, L. 2020. ¿Por qué estudiar las propiedades físicas del suelo? (en línea). Revista Científica Semilla del Este 1(1):22-25. Consultado 9 jun. 2024. Disponible en https://www.cenicafe.org/es/publications/Revista72%281%29_%281%29.pdf#page=7

Yepes, V. 2021. Procedimientos de construcción para la compactación y mejora del terreno (en línea). Valencia. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. p. 1-25. Consultado 3 may. 2024. Disponible en https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/172797/TOC_0428_03_01.pdf?sequence=1

Venlasaga, G; Flores, G. 2021. Influencia de la acidez del suelo en la capacidad de intercambio catiónico (Bases+ CIC) de la microcuenca del río Atillo y Ozogoché, del Parque Nacional Sangay (en línea). Tesis Ingeniería biotecnología ambiental. Escuela superior politécnica de Chimborazo. 102 p. Consultado 11 jul. 2024. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15339/1/236T0572.pdf>

ANEXOS



Anexo 1: Visita de los sectores muestreados



Anexo 2: Recolección de la muestra de suelo con un barreno y pala



Anexo 3: Identificación de las muestras de suelo



Anexo 4: Recorte del papel a utilizar para las muestras



Anexo 5: Muestras secas en el esterizador de secado



Anexo 6: Tamizado de las muestras de suelo (200 g)

Actividades	MES												
	Mayo	Junio				Julio				Agosto			
	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Planificación general del TIC	X												
Revisión de tutor	X	X											
Ajustes del proyecto		X											
Recolección y secado de muestra		X	X	X									
Análisis en laboratorio					X								
Toma de datos en el campo con el penetrómetro y tensiómetro					X	X	X	X	X				
Envío de muestra externas										X			
Toma de datos de las variables										X			
Tabulación de los datos											X		
Análisis de información de los resultados											X	X	
Entrega de la tesis													X

Cuadro 4: Cronograma de las actividades del TIC



Anexo 7: Identificación del color del suelo en seco y húmedo



Anexo 8: Tabla de Munsell para identificar el color



Anexo 9: Medición de Velocidad de Infiltración



Anexo 10: Medidor de Húmeda



Anexo 11: Toma de datos de cationes



Anexo 12: Preparación de la muestra en los vasos de precipitación para medir cationes



Anexo 13: Utilización de los aparatos de medición de cationes



Anexo 14: Instrumento Multi paramater para medir el Calcio y Potasio



Anexo 15: Instrumento Waterproof Apera para medir el Magnesio



Anexo 16: Obtención de los datos del Potasio en ppm de las muestras de suelo.



Anexo 17: Puesta del medidor de humedad en los sectores evaluados

Cuadro 5: Matriz del color del suelo en seco y húmedo con su notación, CEDEGE, Babahoyo, 2024.

ZONA	SECTOR	# DE MUESTRA	NOTACIÓN	COLOR (SECO)	NOTACIÓN	COLOR (HUMEDO)
CEDEGE	2-Puentes	M1	5-YR/7/4	Marrón rojiza clara	5-YR/5/4	Marrón rojizo
CEDEGE	2-Puentes	M2	5-YR/5/4	Marrón rojizo	5-YR/5/2	Gris rosado
CEDEGE	2-Puentes	M3	5-YR/6/4	Marrón rojiza clara	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	2-Puentes	M4	5-YR/6/3	Marrón rojiza clara	5-YR/5/2	Gris rosado
CEDEGE	2-Puentes	M5	5-YR/5/2	Gris rojizo	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	2-Puentes	M6	7,5-YR/5/2	Marrón	7,5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Almesa	M1	7,5-YR/6/4	Marrón claro	7,5-YR/5/3	Marrón claro
CEDEGE	Almesa	M2	5-YR/5/2	Gris rojizo	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Almesa	M3	5-YR/6/4	Marrón rojiza clara	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Almesa	M4	5-YR/6/3	Marrón rojiza clara	5-YR/5/2	Gris rosado
CEDEGE	Almesa	M5	5-YR/5/1	Gris	5-YR/4/2	Gris rojizo oscuro
CEDEGE	Almesa	M6	5-YR/5/2	Gris rojizo	5-YR/4/2	Gris rojizo oscuro
CEDEGE	Cedral-1	M1	7,5-YR/6/2	Gris rosado	7,5-YR/5/3	Marrón
CEDEGE	Cedral-1	M2	5-YR/6/3	Marrón rojiza clara	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Cedral-1	M3	5-YR/6/3	Marrón rojiza clara	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Cedral-1	M4	5-YR/6/1	Gris	5-YR/5/2	Gris rosado
CEDEGE	Cedral-1	M5	5-YR/5/3	Marrón rojizo	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Cedral-1	M6	5-YR/6/3	Marrón rojiza clara	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Rodriguez	M1	5-YR/6/2	Gris rosado	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Rodriguez	M2	7,5 YR/5/2	Marrón	7,5-YR/5/4	Marrón
CEDEGE	Rodriguez	M3	5-YR/5/1	Gris	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Rodriguez	M4	5-YR/6/3	Marrón rojiza clara	5-YR/5/2	Gris rosado
CEDEGE	Rodriguez	M5	5-YR/6/1	Gris	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Rodriguez	M6	5-YR/6/2	Gris rosado	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Valle-Verde	M1	5-YR/5/1	Gris	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Valle-Verde	M2	5-YR/6/3	Marrón rojiza clara	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Valle-Verde	M3	7,5-YR/5/3	Marrón	7,5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Valle-Verde	M4	5-YR/5/2	Gris rojizo	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Valle-Verde	M5	5-YR/6/4	Marrón rojiza clara	5-YR/4/1	Gris oscuro
CEDEGE	Valle-Verde	M6	5-YR/6/3	Marrón rojiza clara	5-YR/4/1	Gris oscuro

Cuadro 6: Matriz de la velocidad de infiltración con su calificación en base a valores de referencia, CEDEGE, Babahoyo, 2024.

ZONA	SECTOR	# DE MUESTRA	CM/H	VI
CEDEGE	2 Puentes	M1	25	RÁPIDA
CEDEGE	2 Puentes	M2	27	MUY RAPIDO
CEDEGE	2 Puentes	M3	45	MUY RAPIDO
CEDEGE	2 Puentes	M4	35	MUY RAPIDO
CEDEGE	2 Puentes	M5	38	MUY RAPIDO
CEDEGE	2 Puentes	M6	42	MUY RAPIDO
CEDEGE	Almesa	M1	38	MUY RAPIDO
CEDEGE	Almesa	M2	23	RÁPIDA
CEDEGE	Almesa	M3	9	MODERADA
CEDEGE	Almesa	M4	32	MUY RAPIDO
CEDEGE	Almesa	M5	34	MUY RAPIDO
CEDEGE	Almesa	M6	41	MUY RAPIDO
CEDEGE	Cedral 1	M1	9	MODERADA
CEDEGE	Cedral 1	M2	23	RÁPIDA
CEDEGE	Cedral 1	M3	48	MUY RAPIDO
CEDEGE	Cedral 1	M4	44	MUY RAPIDO
CEDEGE	Cedral 1	M5	28	MUY RAPIDO
CEDEGE	Cedral 1	M6	5	MODERADA
CEDEGE	Rodriguez	M1	15	MODERADA
CEDEGE	Rodriguez	M2	30	MUY RAPIDO
CEDEGE	Rodriguez	M3	17	RÁPIDA
CEDEGE	Rodriguez	M4	25	RÁPIDA
CEDEGE	Rodriguez	M5	13	MODERADA
CEDEGE	Rodriguez	M6	37	MUY RAPIDO
CEDEGE	Valle Verde	M1	36	MUY RAPIDO
CEDEGE	Valle Verde	M2	9	MODERADA
CEDEGE	Valle Verde	M3	26	MUY RAPIDO
CEDEGE	Valle Verde	M4	4	MODERADA
CEDEGE	Valle Verde	M5	31	MUY RAPIDO
CEDEGE	Valle Verde	M6	8	MODERADA

Cuadro 7: Matriz de los valores de cationes evaluadas y la humedad del suelo del día 1 y día 5, CEDEGE, Babahoyo, 2024.

ZONA	SECTOR	# DE MUESTRA	Mg (ppm)	Ca (ppm)	K (ppm)	HUMEDAD DEL SUELO	
						DIA 1	DIA 5
CEDEGE	2 Puentes	M1	600	3345,76	122,25	80	30
CEDEGE	2 Puentes	M2	684	1093,72	129,5	80	20
CEDEGE	2 Puentes	M3	780	3206,20	132,175	90	20
CEDEGE	2 Puentes	M4	810	1460,12	136,375	40	50
CEDEGE	2 Puentes	M5	300	3484,84	139,85	80	30
CEDEGE	2 Puentes	M6	228	1777,30	144,325	60	30
CEDEGE	Almesa	M1	120	1798,96	163,9	60	30
CEDEGE	Almesa	M2	132	3317,16	97,45	30	40
CEDEGE	Almesa	M3	132	2053,44	86,025	60	20
CEDEGE	Almesa	M4	846	1763,04	87,05	60	20
CEDEGE	Almesa	M5	204	2196,04	106,2	50	20
CEDEGE	Almesa	M6	132	2638,64	113,275	70	30
CEDEGE	Cedral 1	M1	168	1645,00	168,2	90	40
CEDEGE	Cedral 1	M2	336	2161,28	167,425	70	30
CEDEGE	Cedral 1	M3	396	2297,72	167,1	60	30
CEDEGE	Cedral 1	M4	624	2912,32	167,2	60	20
CEDEGE	Cedral 1	M5	432	2742,12	167,375	70	30
CEDEGE	Cedral 1	M6	684	2741,40	167,175	70	30
CEDEGE	Rodriguez	M1	180	1677,92	73,35	60	30
CEDEGE	Rodriguez	M2	276	1725,78	105,725	60	20
CEDEGE	Rodriguez	M3	360	1565,44	123,3	60	20
CEDEGE	Rodriguez	M4	180	1566,95	134,8	80	30
CEDEGE	Rodriguez	M5	156	1696,00	141,825	70	20
CEDEGE	Rodriguez	M6	288	1807,60	147,85	90	30
CEDEGE	Valle Verde	M1	492	2586,80	164,025	60	40
CEDEGE	Valle Verde	M2	516	2489,72	165,6	60	30
CEDEGE	Valle Verde	M3	408	1834,56	167,475	70	20
CEDEGE	Valle Verde	M4	216	1811,52	168,05	60	20
CEDEGE	Valle Verde	M5	324	1804,72	168,5	60	30
CEDEGE	Valle Verde	M6	240	1587,24	168,775	70	30

Cuadro 8. Matriz de grados de compactación en PSI, CEDEGE, Babahoyo 2024.

ZONA	SECTOR	# DE MUESTRA	PSI
CEDEGE	2 Puentes	M1	325
CEDEGE	2 Puentes	M2	118
CEDEGE	2 Puentes	M3	312
CEDEGE	2 Puentes	M4	134
CEDEGE	2 Puentes	M5	345
CEDEGE	2 Puentes	M6	175
CEDEGE	Almesa	M1	174
CEDEGE	Almesa	M2	319
CEDEGE	Almesa	M3	215
CEDEGE	Almesa	M4	178
CEDEGE	Almesa	M5	218
CEDEGE	Almesa	M6	268
CEDEGE	Cedral 1	M1	162
CEDEGE	Cedral 1	M2	206
CEDEGE	Cedral 1	M3	218
CEDEGE	Cedral 1	M4	304
CEDEGE	Cedral 1	M5	280
CEDEGE	Cedral 1	M6	266
CEDEGE	Rodriguez	M1	165
CEDEGE	Rodriguez	M2	178
CEDEGE	Rodriguez	M3	151
CEDEGE	Rodriguez	M4	156
CEDEGE	Rodriguez	M5	145
CEDEGE	Rodriguez	M6	175
CEDEGE	Valle Verde	M1	245
CEDEGE	Valle Verde	M2	234
CEDEGE	Valle Verde	M3	110
CEDEGE	Valle Verde	M4	123
CEDEGE	Valle Verde	M5	211
CEDEGE	Valle Verde	M6	134