



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA AGRONOMÍA

EFFECTOS DE LA LABRANZA CONVENCIONAL SOBRE LA
CALIDAD DE LOS SUELOS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL
TUNSHI-ESPOCH

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR: JOHN HENRY PALMA PINCAY

DIRECTOR: Ing. ROQUE ORLANDO GARCÍA ZANABRIA, PhD

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, John Henry Palma Pincay

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo John Henry Palma Pincay, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados obtenidos en el mismo, son auténticos y originales. Los textos y los documentos que provienen de otra fuente, están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Titulación.

Riobamba, 23 de diciembre de 2021



John Henry Palma Pincay

CI. 2300505803

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA AGRONOMÍA

El Tribunal de trabajo de titulación, certifica: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación **EFFECTOS DE LA LABRANZA CONVENCIONAL SOBRE LA CALIDAD DE LOS SUELOS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI-ESPOCH**, realizado por el Sr. **JOHN HENRY PALMA PINCAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros de Tribunal de trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Víctor Alberto Lindao Córdova, PhD PRESIDENTE DE TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: VICTOR ALBERTO LINDAO CORDOVA	2021/12/23
Ing. Roque Orlando García Zanabria, PhD DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: ROQUE ORLANDO GARCIA ZANABRIA	2021/12/23
Ing. José Franklin Arcos Torres MIEMBRO DE TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: JOSE FRANKLIN ARCOS TORRES	2021/12/23

DEDICATORIA

A mis padres Freddy Palma y Fanny Pincay por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes logré llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mis hermanos Xavier, Yohana, Paul y Jimena, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mi esposa Tatiana e hijo Adrián, quienes con su apoyo me inspiran a siempre seguir creciendo como persona.

John

AGRADECIMIENTO

A mi director de tesis Ing. Roque Orlando García Zanabria, PhD, quien gracias a su apoyo y conocimientos muy acertados ayudó a concluir con éxito esta investigación.

Al Ing. José Franklin Arcos Torres, quién con su asesoría y sapiencia aportó en el desarrollo y finalización del presente trabajo investigativo.

A La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica, por haberme formado como profesional.

A los amigos que formaron parte de mi vida estudiantil, David, Sebastián, Jonatan y Daniel, a los cuales siempre recordaré.

John

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. Labranza convencional	5
1.2. Sistemas de labranza	5
1.3. Labranza mínima y labranza cero	6
1.4. Labranza reducida	6
1.5. Labranza conservacionista	6
1.6. Origen y evolución del arado	7
1.7. La calidad del suelo	7
1.8. Indicadores físicos de calidad del suelo	8
1.8.1. <i>Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo</i>	8
1.8.2. <i>Color</i>	8
1.8.3. <i>Textura</i>	9
1.8.4. <i>Humedad</i>	9
1.8.5. <i>Estructura</i>	10
1.8.6. <i>Porosidad</i>	10
1.8.7. <i>Densidad real (Dr)</i>	11
1.8.8. <i>Densidad aparente (Dap)</i>	11
1.8.9. <i>Conductividad eléctrica</i>	12
1.9. Indicadores químicos del suelo	12
1.9.1. <i>Nitrógeno</i>	12
1.9.2. <i>Fósforo</i>	13
1.9.3. <i>Potasio</i>	13
1.9.4. <i>Calcio</i>	13

1.9.5.	<i>Magnesio</i>	13
1.9.6.	<i>pH del suelo</i>	14
1.9.7.	<i>Materia orgánica</i>	14
1.9.8.	<i>Dinámica de carbono</i>	15
1.9.9.	<i>Almacenamiento de carbono</i>	15

CAPÍTULO II

2.	METODOLÓGICA	17
2.1.	Características del lugar	17
2.1.1.	<i>Localización</i>	17
2.1.2.	<i>Ubicación geográfica</i>	17
2.1.3.	<i>Características climáticas</i>	17
2.1.4.	<i>Clasificación ecológica</i>	18
2.2.	Materiales	18
2.2.1.	<i>Materiales para campo</i>	18
2.2.2.	<i>Materiales de oficina</i>	18
2.3.	Métodos	18
2.3.1.	<i>Muestreo de campo</i>	18
2.3.2.	<i>Caracterización del suelo</i>	19
2.3.3.	<i>Color</i>	19
2.3.4.	<i>Textura y estructura</i>	19
2.3.5.	<i>Humedad del suelo</i>	20
2.3.6.	<i>Densidad real</i>	20
2.3.7.	<i>Densidad aparente</i>	20
2.3.8.	<i>Porosidad del suelo</i>	21
2.3.9.	<i>pH del suelo</i>	21
2.3.10.	<i>Materia orgánica y carbono orgánico del suelo</i>	21
2.4.	Especificaciones del campo experimental	22
2.5.	Análisis estadístico	22

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
3.1.	Propiedades físicas y químicas del suelo de la estación experimental Tunshi–ESPOCH	23
3.1.1.	<i>Color del suelo</i>	23

3.1.2.	<i>Textura del suelo</i>	25
3.1.3.	<i>Estructura del suelo</i>	25
3.1.4.	<i>Humedad del suelo</i>	26
3.1.5.	<i>Densidad real del suelo</i>	28
3.1.6.	<i>Densidad aparente del suelo</i>	29
3.1.7.	<i>Porosidad del suelo</i>	32
3.1.8.	<i>Conductividad eléctrica</i>	35
3.1.9.	<i>pH del suelo</i>	37
3.1.10.	<i>Materia orgánica (MO)</i>	41
3.1.11.	<i>Carbono orgánico del suelo</i>	45
3.1.12.	<i>Contenido de nutrientes del suelo</i>	49
3.2.	Efectos que ocasiona la labranza convencional en la calidad de los suelos estudiados en la estación experimental Tunshi-ESPOCH	55
3.2.1.	<i>Caracterización de la aptitud de los suelos de la estación experimental Tunshi-ESPOCH</i>	56
3.2.2.	<i>Requerimiento de cultivo de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)</i>	58
3.2.3.	<i>Requerimiento de cultivo de cebolla</i>	59
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES	62
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Clases de calidad de suelos	7
Tabla 2-1:	Porcentajes de humedad para los diferentes tipos de suelos.	9
Tabla 3-1:	Tipos de estructura del suelo.	10
Tabla 4-1:	Clasificación de la porosidad del suelo.	11
Tabla 5-1:	Clasificación de la densidad real de los suelos.	11
Tabla 6-1:	Relación entre densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura. ...	11
Tabla 7-1:	Niveles de Conductividad Eléctrica.	12
Tabla 8-1:	Valores para determinar los niveles en los diferentes elementos químicos.	12
Tabla 9-1:	Clasificación de suelos según valores de pH.	14
Tabla 10-1:	Interpretación de materia orgánica.	14
Tabla 11-1:	Interpretación de carbono orgánico.	16
Tabla 1-2:	Información de suelo.	22
Tabla 1-3:	Color del suelo.	23
Tabla 2-3:	Análisis de varianza para humedad del suelo a la profundidad de 0 - 30 y 30 - 60 cm.	26
Tabla 3-3:	Retención de agua en el suelo a la profundidad de 0 - 30 y 30 - 60 cm.	28
Tabla 4-3:	Análisis de varianza para la densidad aparente a una profundidad de 0 - 30 cm. ...	29
Tabla 5-3:	Prueba de Tukey al 5% para la densidad aparente a una profundidad de 0 - 30 cm.	30
Tabla 6-3:	Análisis de varianza para la densidad aparente a una profundidad de 30 - 60 cm.	30
Tabla 7-3:	Prueba de Tukey al 5% para la densidad aparente a una profundidad de 30 - 60 cm.	31
Tabla 8-3:	Análisis de varianza para la porosidad del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm. ...	32
Tabla 9-3:	Prueba de Tukey al 5% para porosidad del suelo a una profundidad de 0 - 30 cm.	33
Tabla 10-3:	Análisis de varianza para la porosidad del suelo a la profundidad de 30 - 60 cm. ...	33
Tabla 11-3:	Prueba de Tukey al 5% para porosidad del suelo a una profundidad de 30 - 60 cm.	34
Tabla 12-3:	Análisis de varianza para la conductividad eléctrica a la profundidad de 0 - 30 cm.	35
Tabla 13-3:	Prueba de Tukey al 5% para conductividad eléctrica a una profundidad de 0 - 30 cm.	35

Tabla 14-3: Análisis de varianza para conductividad eléctrica a una profundidad de 30 - 60 cm.	36
Tabla 15-3: Prueba de Tukey al 5% para conductividad eléctrica a la profundidad de 30 - 60 cm.	36
Tabla 16-3: Contenido de pH del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm.	38
Tabla 17-3: Análisis de varianza para el pH del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm.	38
Tabla 18-3: Prueba de Tukey al 5% para el pH del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm.	39
Tabla 19-3: Contenido de pH del suelo a la profundidad de 30 - 60 cm.	39
Tabla 20-3: Análisis de varianza para el pH del suelo a una profundidad de 30 - 60 cm.	40
Tabla 21-3: Prueba de Tukey al 5% para el pH del suelo a una profundidad de 30 - 60 cm.	40
Tabla 22-3: Análisis de varianza para la materia orgánica a la profundidad de 0 - 30 cm.	41
Tabla 23-3: Prueba de Tukey al 5% para la materia orgánica a la profundidad de 0 - 30 cm.	42
Tabla 24-3: Análisis de varianza para la materia orgánica a la profundidad de 30 - 60 cm.	43
Tabla 25-3: Prueba de Tukey al 5% para la materia orgánica a la profundidad de 30 - 60 cm.	44
Tabla 26-3: Análisis de varianza para el contenido de carbono a una profundidad de 0 - 30 cm.	45
Tabla 27-3: Prueba de Tukey al 5 % para el contenido de carbono a la profundidad de 0 - 30 cm.	46
Tabla 28-3: Análisis de varianza para el contenido de carbono a una profundidad de 30 - 60 cm.	47
Tabla 29-3: Prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono a la profundidad de 30-60cm.	48
Tabla 30-3: Contenido de nutrientes del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm.	54
Tabla 31-3: Contenido de nutrientes del suelo a la profundidad de 30 - 60 cm.	55
Tabla 32-3: Clasificación de las variables edáficas según su grado de aptitud.	56
Tabla 33-3: Propiedades físicas y químicas del suelo a una profundidad de 0 - 30 cm.	57
Tabla 34-3: Requerimientos mínimos y máximos para el cultivo de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>).	58
Tabla 35-3: Valores normalizados e índice de aptitud agrícola del suelo bajo sistema de labranza convencional para el cultivo de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>).	58
Tabla 36-3: Requerimientos mínimos y máximos para el cultivo de cebolla (<i>Allium cepa</i>).	59
Tabla 37-3: Valores normalizados e índice de aptitud agrícola del suelo bajo sistema de labranza convencional para el cultivo cebolla (<i>Allium cepa</i>).	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Tabla Munsell para identificar el color del suelo.....	8
Figura 2-1. Triángulo de textura.....	9
Figura 1-2: Área de estudio.....	17
Figura 1-3: Color del suelo del área de estudio.....	24
Figura 2-3: Textura del suelo.....	25
Figura 3-3: Estructura del suelo.....	26

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Sistemas de labranza en relación a su capacidad de uso.....	5
Gráfico 1-3:	Humedad del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.....	27
Gráfico 2-3:	Densidad real del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.....	29
Gráfico 3-3:	Densidad aparente del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.	32
Gráfico 4-3:	Porosidad del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.	35
Gráfico 5-3:	Conductividad eléctrica del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.	37
Gráfico 6-3:	pH del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.....	41
Gráfico 7-3:	Materia orgánica del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm.....	43
Gráfico 8-3:	Materia orgánica del suelo a la profundidad de 30 - 60 cm.....	45
Gráfico 9-3:	Carbono orgánico del suelo a una profundidad de 0 - 30 cm.....	47
Gráfico 10-3:	Carbono orgánico del suelo a una profundidad de 30 - 60 cm.....	49
Gráfico 11-3:	Nitrógeno en el suelo a una profundidad de 30 - 60 cm y 30 - 60 cm.....	50
Gráfico 12-3:	Fósforo en el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.	51
Gráfico 13-3:	Potasio en el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.....	52
Gráfico 14-3:	Calcio en el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.	53
Gráfico 15-3:	Magnesio en el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: USOS DE SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO

ANEXO B: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO

ANEXO C: ANÁLISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO

ANEXO D: RESULTADOS DE LABORATORIO

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la labranza convencional sobre la calidad de los suelos en la estación experimental Tunshi-ESPOCH. Para el estudio se seleccionaron 16 lotes bajo diferentes usos y en cada uno se tomó 3 muestras compuestas las cuales fueron recolectadas, a dos profundidades 0 a 30 cm y 30 a 60 cm. Los parámetros analizados fueron: color, el cual se determinó mediante la tabla de colores Munsell; la textura, se determinó mediante el método de sensibilidad del tacto; la estructura, se determinó mediante observación directa en un estereomicroscopio a una resolución de 100x; la humedad, se determinó mediante el método de la estufa a 105 °C/24 horas; la porosidad, se determinó midiendo el volumen de líquido contenido en un volumen de suelo; la densidad aparente, se realizó mediante el método del cilindro de volumen conocido; el pH, se determinó a través del potenciómetro; la conductividad eléctrica, se midió mediante un conductímetro; la materia orgánica se determinó mediante el método Lost-Ignition y el contenido de carbono orgánico, se estimó a partir del % de materia orgánica. Los resultados indican una textura franco arenosa, estructura granular, una densidad aparente de 1,20 g/cm³ y 1,27 g/cm³. El pH fue ligeramente alcalino 7,49 y 8,09, con niveles bajo a muy bajo de materia orgánica. Los niveles de nitrógeno son bajos; el fósforo, potasio, calcio y magnesio disponible están en un rango medio a alto. Se concluyó que, al comparar suelos bajo diferentes cultivos y sistemas de labranza, muestran que el factor mecánico modifica las propiedades físicas y químicas; por tal razón se recomienda que el presente estudio sirva de base para la toma de decisiones en el manejo del suelo.

Palabras clave: <CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO>, <CALIDAD DE SUELO>, <DENSIDAD APARENTE>, <LABRANZA CONVENCIONAL>, <MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO>, <PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO>, <PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO>.

CRISTHIAN
FERNANDO
CASTILLO
RUIZ

Firmado digitalmente
por CRISTHIAN
FERNANDO CASTILLO
RUIZ
Fecha: 2022.01.31
09:53:27 -05'00'



0167-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

This investigation aimed to evaluate the effect of conventional tillage on soil quality in Tunshi-ESPOCH experimental station. For the study, 16 plots under different uses were selected and three composite samples were collected from each plot at two depths 0 to 30 cm and 30 to 60 cm. The parameters analyzed were: color, which was determined using the Munsell color chart; texture which was determined using the touch sensitivity method; structure which was determined by direct observation under a stereomicroscope at a resolution of 100x; moisture, which was determined using the oven method at 105 °C/24 hours; porosity, which was determined by measuring the volume of liquid contained in a volume of soil; bulk density was determined using the cylinder method of known volume; pH was determined using a potentiometer; electrical conductivity was measured using a conductivity meter; organic matter was determined using the Lost-Ignition method and the organic carbon content was estimated from the percentage of organic matter. The results indicate a sandy loam texture, granular structure, a bulk density of 1.20 g/cm³ and 1.27 g/cm³. The pH was slightly alkaline 7.49 and 8.09, with low to very low levels of organic matter. Nitrogen levels were low; available phosphorus, potassium, calcium, and magnesium were in the medium to high range. It was concluded that, when comparing soils under different crops and tillage systems, it was shown that the mechanical factor modifies the physical and chemical properties; that is why, it is recommended that this study should be used as a basis for making decisions in soil management.

Key words: <SOIL ORGANIC CARBON>, <SOIL QUALITY>, <BULK DENSITY>, <CONVENTIONAL TILLAGE>, <SOIL ORGANIC MATTER>, <SOIL PHYSICAL PROPERTIES>, <SOIL CHEMICAL PROPERTIES>



Firmado electrónicamente por:
ESTHELA ISABEL
COLCHA GUASHPA

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la agricultura ha incrementado su productividad mediante la aplicación de maquinaria agrícola, tradicionalmente la preparación del suelo con arado y rastra es una labor básica que se realiza con el fin de obtener un suelo bien mullido que favorezca la germinación de las semillas (Gómez et al., 2017, p.169).

Sin embargo, esta práctica tradicional tiene efectos sobre las propiedades físicas (color, textura, estructura, humedad, porosidad, densidad real y aparente, etc.) y químicas (pH, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica y carbono orgánico) del suelo. El exceso de movimiento del suelo mediante la labranza altera estas propiedades y la producción disminuye considerablemente hasta que se vuelve antieconómica. Los suelos ecuatorianos debido a la frecuencia e intensidad del laboreo en la preparación del suelo, han alterado las propiedades físicas y químicas, cambios que se verán reflejados en la sustentabilidad y sostenibilidad del sistema productivo (García 2015, p. 17; Muñoz et al., 2011. 153).

En los últimos años varias alternativas de conservación del suelo y cuidado del ambiente han tenido acogida, prácticas como la siembra directa, labranza mínima, rotación de cultivos, cultivos asociados, cultivos de cobertura y uso de abonos verdes, han contribuido a mejora de la productividad de los cultivos, conservación y recuperación de la fertilidad de los suelos (Topanta 2016, p. 12).

Por lo tanto, la presente investigación se centra en un análisis respecto al efecto de la labranza convencional sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en la estación experimental Tunshi-ESPOCH, teniendo en cuenta que la información recopilada en campo y laboratorio, permitirá comprobar la hipótesis respecto a la modificación o no de la capa estructural y superficial del suelo (Báez y Aguirre 2011, p. 114).

Además de otras variables como la disminución del espacio poroso, reducción del contenido de materia orgánica (MO), etc. Esta última propiedad (MO), guarda estrecha relación con la porosidad y la humedad; ambas propiedades influyen directamente en la recuperación de la estructura y estabilidad cuando los suelos se exponen a diferentes tipos de manejo (Báez y Aguirre 2011, p. 114).

También es importante indicar que el uso intensivo de la labranza, contribuye severamente con la emisión de carbono (C) almacenado en el suelo que, al exponerlo a la intemperie, este se oxida y se transforma en bióxido de carbono (CO₂), que por efecto de la evaporación se va hacia la

atmosfera convirtiéndose en uno de los gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global del planeta (Báez y Aguirre 2011, p. 114).

El proyecto técnico del trabajo de integración curricular se compone de los siguientes capítulos. En el capítulo I, contempla el diagnóstico del problema. Luego, en el capítulo II se desarrolló la revisión de literatura, donde se trabajará con recopilación de información bibliográfica y documental para de esta manera obtener información de base para dar soporte a la investigación. Seguido, en el capítulo III se presenta la metodología de la investigación. Finalmente, se definió el presupuesto y cronograma de actividades.

PROBLEMA

El suelo es un componente crítico de la biosfera no renovable a escala humana. La salud del suelo y la correcta gestión de los mismos es vital, no solo para el correcto funcionamiento de los ecosistemas, sino también para que desempeñen sus múltiples funciones como: mejora de la productividad, soporte para el crecimiento de la cobertura vegetal, regulación y almacenamiento del flujo hídrico. Los impactos antropogénicos en el suelo pueden convertirlo en sumidero o fuente neta de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Como fuente, el suelo emite GEI a la atmósfera donde atrapan la radiación térmica que aumenta el efecto invernadero contribuyendo así al calentamiento global.

En los últimos años la agricultura ha tenido una tendencia muy clara hacia el incremento de la productividad mediante la mecanización de las labores agrícolas, tradicionalmente la preparación del suelo con arado y rastra. Este tipo de actividades hacen que el suelo de vuelta completamente y lo pulvericen. Sin embargo, esta práctica tiene efectos sobre las propiedades físico-químicas del suelo y la interacción entre ellas. El exceso de movimiento del suelo mediante la labranza altera estas propiedades y la producción disminuye considerablemente.

En ese orden de ideas, la labranza es un proceso dinámico que causa profundos cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, las cuales persisten por un tiempo variable y dependiendo del tipo de suelo y clima, pueden afectar a los cultivos. También vale la pena indicar que inciden sobre la estabilidad estructural, factor determinante de una adecuada distribución de la porosidad que influye directamente sobre la humedad y el intercambio gaseoso. Este proceso de cambio influye sobre la actividad que ejercen las raíces como es la de proveer a la parte aérea nutrientes y agua necesarios para el desarrollo.

La evaluación de la calidad del suelo en la zona de estudio permitirá entender el efecto que causa la labranza y revertir el deterioro en la funcionalidad ecosistémica. Con ello, se determinará las áreas con posibles problemas para hacer un seguimiento de manera continua respecto a los cambios en la calidad y salud del suelo.

Por todo lo mencionado anteriormente es necesario contar con una base de datos actualizada de los parámetros (físico-químicos), que se consideren más importantes y que puedan utilizarse como indicadores de calidad para suelos agrícolas, ya que a partir de pequeñas muestras de información se pueden llegar a generar índices de calidad del suelo capaces de evaluar las condiciones del mismo a nivel general.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de la labranza convencional sobre la calidad de los suelos en la estación experimental Tunshi-ESPOCH.

Objetivos específicos

Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo en la estación experimental Tunshi-ESPOCH.

Evaluar los efectos que ocasiona la labranza convencional sobre la calidad de los suelos en la estación experimental Tunshi-ESPOCH.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula

La labranza convencional no influye sobre la calidad de los suelos en la estación experimental Tunshi-ESPOCH.

Hipótesis alternativa

La labranza convencional influye sobre la calidad de los suelos en la estación experimental Tunshi-ESPOCH.

Operacionalización de las variables

Variable dependiente

Calidad del suelo.

Variable independiente

Labranza convencional.

Tipo de aperos utilizados en la labranza convencional.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Labranza convencional

Este tipo de labranza se realiza con el uso del arado y la rastra como implementos acoplados a un tractor, o por medio de la yunta o fuerza humana a nivel de agricultura de pequeña escala (Boada y Espinoza 2016). Como labranza primaria se utiliza un arado de vertedera o de discos y una rastra de púas o discos en operaciones secundarias. La LC invierte el suelo con el objetivo de interrumpir mecánicamente el ciclo de vida de las malezas, seguido por varias operaciones para la preparación de la cama de siembra (Gómez et al., 2017, p. 79).

El arado ayuda a remover la capa superior del suelo, habitualmente hasta una profundidad de 30 cm. Luego se hacen varias pasadas con rastra, cuyo número dependerá de la textura y contenido de humedad del suelo, hasta formar agregados de un tamaño pequeño que se considera son apropiados para la cama de siembra (Báez y Aguirre 2011, p. 114; Toapanta 2016, p. 11).

La resistencia mecánica y la densidad aparente del suelo son variables que permiten medir la compactación de los suelos y, además, tienen un efecto determinante sobre el desarrollo radicular y el movimiento de agua y aire. En los sistemas de siembra directa, la resistencia mecánica del suelo y la densidad aparente son altas en comparación con los métodos de labranza convencional (Cruz 2018, p. 6).

1.2. Sistemas de labranza

Los actuales sistemas de labranza del suelo, de acuerdo a su intensidad de uso, pueden dividirse en dos amplias categorías: labranza de inversión y labranza de no inversión, como se ilustra en la Figura 1 que se presenta a continuación:

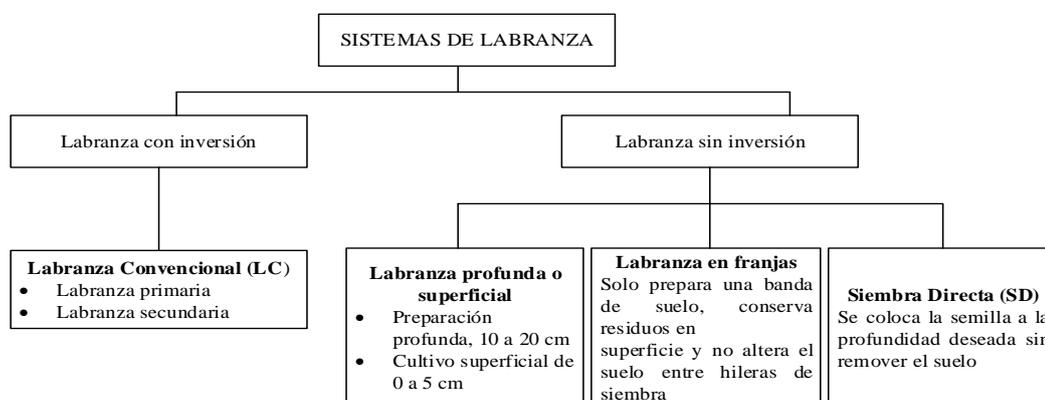


Gráfico 1-1. Sistemas de labranza en relación a su capacidad de uso.

Fuente: Avila, (2019, p. 3).

1.3. Labranza mínima y labranza cero

Los sistemas de labranza mínima y de labranza cero son muy similares ya que la tierra no se labra o se labra muy poco antes de la siembra; se dice que se hace una siembra directa. Una ventaja importante de la labranza mínima es que los cultivos pueden ser sembrados inmediatamente después de que el cultivo anterior haya sido cosechado y, por lo general, en el momento más cercano al óptimo de la siembra. Esto no es posible con la labranza convencional ya que esta requiere más tiempo. Por lo tanto, la siembra directa es adecuada para aquellas regiones en las cuales se rotan dos o más cultivos en el mismo campo y en el mismo año. La labranza mínima, además de reducir el período entre dos cultivos, también puede ser más económica que la convencional (Báze & Aguirre, 2011, p. 113; Gómez et al., 2017, p. 173).

La labranza mínima la tierra puede ser labrada y sembrada en una sola operación; por ejemplo, usando aperos con un tractor manual, se obtiene en una operación un lecho de siembra de 5 cm, se siembra y se cubre con tierra. Un sistema incluso menos dañino que el sistema de una sola pasada es la labranza en fajas, similar a la labranza cero pero donde se labran solamente unas fajas de 10 cm de ancho y 5 cm de profundidad (Báze & Aguirre, 2011, p. 114; Gómez et al., 2017, p. 173).

1.4. Labranza reducida

Consiste en la reducción del número de labores o pases de implementos en la preparación del suelo; un mínimo laboreo, utilizando preferiblemente los cinceles. Se consideran de una a tres labores las adecuadas para preparación del suelo en este sistema. Esta labranza se realiza preferiblemente con implementos como el cincel vibratorio o rígido, o combinaciones de implementos de disco o cincel. La labranza con cinceles rígidos o vibratorios, rompe mejor el suelo a profundidades adecuadas, evitando invertir las capas del suelo como ocurre con los implementos de disco. Estas labores se realizan en suelos en condiciones de humedad a capacidad de campo (García, Cárdenas y Parra 2018, p. 17).

1.5. Labranza conservacionista

La labranza conservacionista consiste en realizar siembra directa, manejo de rastrojo en la superficie con la finalidad las actividades de laboreo. Este tipo de prácticas sostenibles han demostrado buenos resultados en cultivos de ciclo corto (Amorocho, Sánchez y Murcia 2012, p. 84). Las principales ventajas de las tecnologías de labranza conservacionistas están relacionadas con la disminución de la evaporación directa del agua desde el suelo, producto de la cobertura vegetal, la disminución o eliminación de la erosión hídrica y eólica del suelo, la posibilidad de mejorar la macro porosidad del suelo y la mejora de la estructura y estabilidad de los agregados del suelo (Cruz et al. 2018, p. 47).

1.6. Origen y evolución del arado

La agricultura y el desarrollo de nuevas practica agrícolas como el arado, se originaron hace 10000 - 13000 años en la región del Cercano Oriente, en las orillas de los ríos: Tigris, Éufrates, Nilo, Indo y Yangtsé. De ahí que hace aproximadamente 10000 años, se empezaron a fabricar pequeñas herramientas para colocar y cubrir las semillas en el suelo, pero el desarrollo del arado promovió el auge de civilizaciones superiores como las de Mesopotamia, Egipto, India, entre otras (Avila 2019, p. 4).

Las herramientas que inicialmente se fabricaron fueron la a) rama bifurcada de mango corto que evolucionó hasta convertirse en una azada y b) una vara larga de madera con un mango curvo que se lo conocía como “ard”. Este último, de conformación simétrica, carecía de cuchilla o vertedera metálica y servía mayormente para romper el suelo antes que para invertirlo (Avila 2019, p. 4).

1.7. La calidad del suelo

Como lo expresan Bautista et al., (2004, p. 90) el término calidad del suelo se utilizó en relación a las funciones que desempeña el suelo, considerándolo como un substrato básico que debe funcionar adecuadamente dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte y con el que interactúa. Desde el punto de vista de Burbano, (2016, p. 118) la calidad del suelo se relaciona con su capacidad para desarrollar funciones en el ecosistema. Es importante conocer que la calidad no solo depende de un factor y debido a que es un concepto holístico depende de sus características físicas, químicas y biológicas.

La calidad de suelo es una medida de su capacidad para funcionar adecuadamente con relación a un uso específico. Para concluir, una definición sintetizada por el Comité para la Salud del Suelo de la *Soil Science Society of America*, cita que la calidad del suelo es la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (García, Ramírez y Sánchez 2012, p. 129; Jaurixje et al. 2013, p.48).

Tabla 1-1: Clases de calidad de suelos.

Índice de calidad de suelos	Escala	Clase
Muy alta calidad	0,80 – 1,0	1
Alta calidad	0,60 – 0,79	2
Moderada Calidad	0,40 – 0,59	3
Baja calidad	0,20 – 0,39	4
Muy baja calidad	0,00 – 0,19	5

Fuente: Cantú et al., (2007, p. 176).

1.8. Indicadores físicos de calidad del suelo

1.8.1. Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo

Para que las propiedades físicas y químicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones:

- describir los procesos del ecosistema;
- integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo;
- reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir;
- ser sensibles a variaciones de clima y manejo;
- ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo;
- ser reproducibles;
- ser fáciles de entender;
- ser sensibles a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica;
- y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

Los indicadores físicos tienen relación con las propiedades físicas del suelo, se describen a continuación los más relevantes:

1.8.2. Color

Es una propiedad muy utilizada pues es fácil de observar a partir de él se deducen rasgos importantes que se relacionan en algunas propiedades específicas de los suelos en una región. El color está compuesto por tres variables medibles (matiz, valor y tono cromático), la más utilizada es la Carta de Munsell (FAO 2009, p. 34).

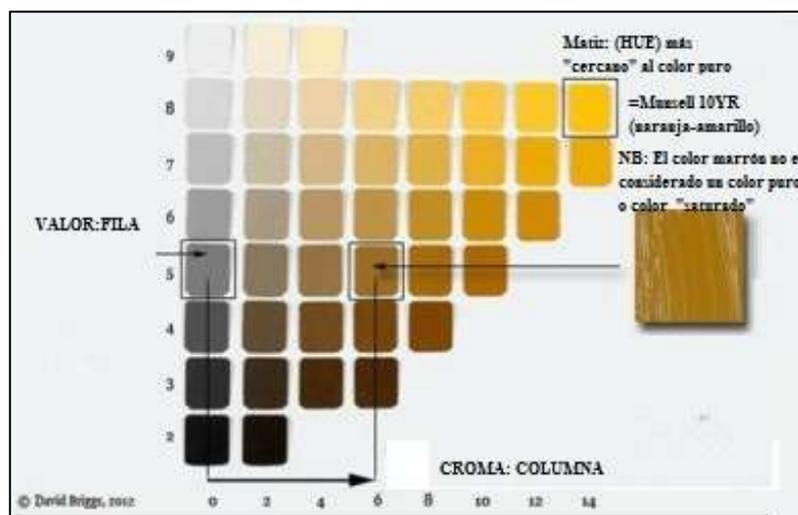


Figura 1-1. Tabla Munsell para identificar el color del suelo.
Fuente: FAO, 2016.

1.8.3. Textura

La textura exterioriza el porcentaje de partículas de limo, arena y arcilla en una muestra de suelo, las cuales se caracterizan por tener diferente tamaño, es importante considerar este indicador para conocer cuánta agua y aire retiene además de la velocidad con que el agua penetra y atraviesa el suelo (Ríos et al. 2010, p. 227).

En la figura 3 se puede identificar el triángulo de texturas que permite identificar según el porcentaje de arena, arcilla y limo el tipo de textura de una muestra de suelo.

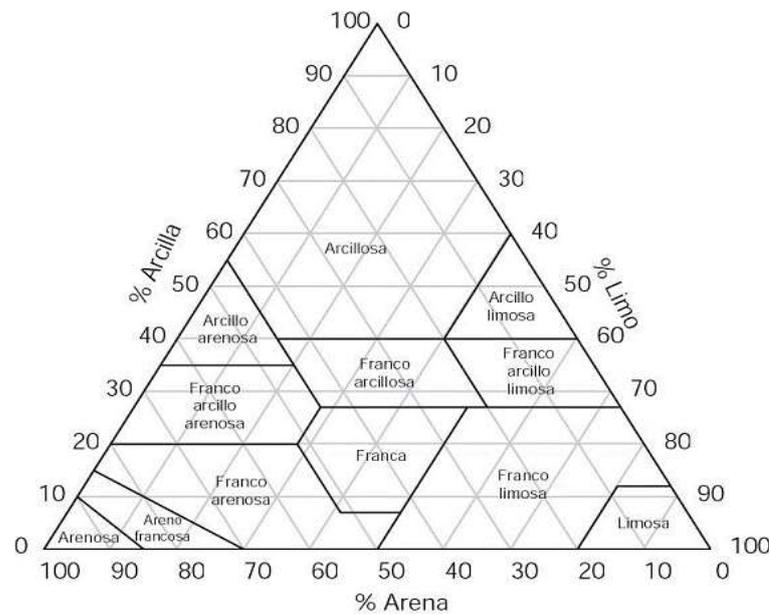


Figura 2-1. Triángulo de textura.

Fuente: (FAO 2009, p. 28).

1.8.4. Humedad

Se puede definir como la coherencia entre las partículas del suelo, que varía según el estado de humedad, por lo que se determina con el suelo en seco, húmedo y mojado (Ocaña y Pittaluga 2016, p. 8).

Tabla 2-1: Porcentajes de humedad para los diferentes tipos de suelos.

TEXTURA	CC	PMP	HD
Arenoso	9 %	2 %	7 %
Franco arenoso	14 %	4 %	10 %
Franco	34 %	12 %	22 %
Arcilloso	38 %	34 %	14 %

CC: Capacidad de Campo; PMP: Punto de Marchitez Permanente; HD: Humedad Disponible.

Fuente: Caste.

1.8.5. Estructura

Es la forma que se asocian las partículas del suelo para formar los agregados. Los agregados están formados por partículas individuales (minerales, MO y huecos) lo que le otorgan al suelo una determinada estructura por su forma tamaño y grado de desarrollo (Ocaña y Pittaluga 2016, p. 10).

Tabla 3-1: Tipos de estructura del suelo.

Blocosa (bloques)	Bloques o poliedros, casi equidimensionales, con superficies planas o ligeramente redondeadas que son moldes de caras de los agregados vecinos. Se recomienda la subdivisión en angular, con caras intersectando a ángulos relativamente agudos y bloques subangulares con las caras intersectando a ángulos redondeados.
Granular	Esferoides o poliedros, que tienen superficies curvilíneas o irregulares que no son moldes de las caras de los agregados vecinos.
Laminar	Planos con dimensiones verticales limitadas; generalmente orientados sobre un plano horizontal y usualmente sobrepuestos.
Prismática	Las dimensiones están limitadas en el plano horizontal y extendido a lo largo del plano vertical; las caras verticales están bien definidas; tienen superficies planas o ligeramente redondeadas que son moldes de las caras de los agregados circundantes. Las caras intersectan normalmente a los ángulos relativamente agudos. Las estructuras prismáticas que tienen una cubierta o casquete redondeado son distinguidas como Columnar.
Estructura rocosa	La estructura rocosa incluye la estratificación fina en sedimentos no consolidados y pseudomorfos de minerales intemperizados reteniendo sus posiciones relativas cada una y los minerales no intemperizados en saprolita de rocas consolidadas.
Forma de cuña	Lentes unidos, elípticos que terminan en ángulos afilados, confinados por caras de fricción; no limitado a materiales vérticos.
Migajas, conglomerados y terrones	Creado principalmente por alteración artificial; por ejemplo: la labranza.

Fuente: FAO, (2009, p. 46).

1.8.6. Porosidad

Es representada por el porcentaje de huecos existentes en el mismo frente al volumen total, lo que depende de la textura, estructura y actividad biológica (Ocaña y Pittaluga 2016, p. 15). La porosidad del suelo representa el volumen que no está ocupado por sólidos orgánicos y minerales, sino que se encuentra ocupado por aire y agua que van alternándose (Rodríguez y Rodríguez 2015, p. 24). Los poros se dividen en macroporos ($\geq 200 \mu\text{m}$), poros medios ($20 - 200 \mu\text{m}$), poros finos ($2 - 20 \mu\text{m}$) y poros muy finos ($< 2 \mu\text{m}$) (Tabla 4 - 1).

El equilibrio entre poros grandes y pequeños es el resultado de la textura del suelo, por tal razón un buen balance nos da suelos. En un suelo que predomine los macroporos, exhibe un drenaje y una aireación excesiva que conllevará a una baja capacidad de retención de agua; sin embargo si predomina la microporosidad se podría presentar problemas de drenaje y aireación lo que incrementa la compactación y la producción de compuestos tóxicos para las plantas continuamente (Rodríguez y Rodríguez 2015, p. 24).

Tabla 4-1: Clasificación de la porosidad del suelo.

Porosidad total (%)	Clasificación
> 70	Excesiva
55 – 70	Excelente
50 – 55	Satisfactoria
40 - 50	Baja
< 40	Muy Baja

Fuente: Jaramillo (2002, p. 193).

1.8.7. Densidad real (*Dr*)

La densidad real del suelo es la relación que existe entre el peso de éste, en seco (P_{ss}) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (V_p). Usualmente se expresa en g/cm^3 . La densidad real se puede considerar casi constante debido a que varía de 2,60 a 2,75 gr/cm^3 (Tabla 5 - 1).

Tabla 5-1: Clasificación de la densidad real de los suelos

Densidad real (g/cm^3)	Clasificación
< 2,4	Muy bajo
2,4 – 2,6	Bajo
2,6 – 2,8	Medio
> 2,8	Alto

Fuente: Cairo (1995, p. 24).

1.8.8. Densidad aparente (*Dap*)

Refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no tocado, para que incluya tanto a la fase sólida como gaseosa englobada en la misma (Ocaña y Pittaluga 2016, p. 14) (Tabla 6 - 1).

Tabla 6-1: Relación entre densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura.

Textura del suelo	Densidades aparentes ideales (g/cm^3)	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radicular (g/cm^3)	Densidades aparentes que pueden restringen el crecimiento radicular (g/cm^3)
Arena, areno-franco	< 1,60	1,69	>1,80
Franco-arenosa, franco	< 1,40	1,63	>1,80
franco-arcilla-arenosa, franco, franco-arcillosa	< 1,40	1,60	>1,75
Limosa, franco-limosa	< 1,30	1,60	>1,75
Franco-limosa, franco-arcillo-limosa	< 1,40	1,55	>1,65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35-45% de arcilla)	< 1,10	1,39	>1,58
Arcillosa (>45% de arcilla)	< 1,10	1,39	>1,47

Fuente: USDA (1999, p. 57).

1.8.9. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es proporcional al contenido de sales disueltas e ionizadas contenidas en esa solución. En el suelo, corresponde a la medida de la cantidad de corriente que pasa a través de la solución del suelo. Su determinación permite caracterizar los suelos en función a su salinidad (Tabla 7 - 1).

Tabla 7-1: Niveles de Conductividad Eléctrica.

Nivel	CE promedio (dS/m)	Características
No salino	< 2	Ningún cultivo es afectado
Ligeramente salino	2 - 4	Afectado los cultivos sensibles
Salino	4 - 8	Afectados muchos cultivos
Fuertemente salino	8 - 16	Posibles sólo cultivos tolerantes
Extremadamente salino	> 16	Muy pocos cultivos son posibles

CE: Conductividad Eléctrica.

Fuente: Rioja (2002, p. 18).

1.9. Indicadores químicos del suelo

Los indicadores químicos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo planta. Es por ello que, algunos indicadores son la disponibilidad de nutrimentos, pH, carbono orgánico total, conductividad eléctrica, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y mineralizable (García, Ramírez y Sánchez 2012, p. 131). Se muestran a continuación la interpretación de los niveles críticos en cuanto a los nutrientes disponibles para la planta (Tabla 8 - 1).

Tabla 8-1: Valores para determinar los niveles en los diferentes elementos químicos.

Elemento	Bajo	Medio	Alto
Nitrógeno	1 - 30	31 - 60	> 61
Fósforo	1 - 10	11 - 20	> 21
Potasio	0,19	0,20 - 0,38	> 0,39
Calcio	0,20	0,21 - 0,70	> 0,71
Magnesio	0,33	0,34 - 0,66	> 0,67

Fuente: INIAP, (1979, p. 9-16).

1.9.1. Nitrógeno

El nitrógeno tiene vital importancia para la nutrición de la planta y su suministro puede ser controlado por el hombre. En el suelo se le puede encontrar en estado orgánico e inorgánico. Las formas inorgánicas incluyen NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , NO y N_2 . Desde el punto de vista de la fertilidad del suelo, las dos primeras formas son de mayor importancia, mientras que la última se encuentra inerte en el suelo a excepción de uso por Rhizobia (Rosales 2011, p. 6).

1.9.2. Fósforo

En las plantas el fósforo se encuentra presente en los tejidos. En el suelo se encuentra en cantidades menores que el nitrógeno y potasio. Las cantidades pequeñas de fósforo en los terrenos y su tendencia a reaccionar con los componentes del suelo para formar compuestos relativamente insolubles y no ser utilizables por las plantas, provoca que sea un elemento de mayor importancia en la fertilidad del suelo. El fósforo disponible se refiere a la cantidad de este elemento que puede ser absorbido del suelo por las plantas del cultivo. Es de gran importancia para el crecimiento de las plantas (Rosales 2011, p. 6).

1.9.3. Potasio

El contenido de potasio varía en los suelos generalmente entre 0.04 y 3%. En casos excepcionales como suelos alcalinos, el contenido de Potasio puede llegar hasta 8%. El Potasio estructural, representa la mayor parte del Potasio en el suelo el cual no es disponible directamente para la planta, pero participa en los procesos dinámicos con reacciones lentas. El Potasio que contiene la solución del suelo representa una fracción muy pequeña del Potasio total, generalmente varía entre 0.1 y 100 mg de potasio por litro de la solución del suelo (Rosales 2011, p. 7).

1.9.4. Calcio

El calcio es un elemento de particular importancia para el desarrollo de la planta, que desempeña una doble función. Es un nutriente esencial de la planta siendo captada por la misma, pero tiene una considerable importancia la acción del calcio sobre el propio suelo, que se halla asociado con la práctica del encalado, la cual es en esencia la incorporación de forma especial del calcio al terreno (Freire 2012, p. 17).

En ciertas circunstancias la cal puede mejorar la estructura y labores de arado en suelos ácidos, pero siempre se ha de evitar un excesivo encalado. En cultivo agrícola susceptible, un exceso de cal puede dar lugar a que se induzca deficiencias de los elementos traza tales como el manganeso, hierro, boro. Los suelos en los cuales la práctica del encalado resulta más bien perjudicial, son en todos aquellos normalmente arenoso (Freire 2012, p. 17).

1.9.5. Magnesio

El magnesio es un nutriente esencial para las plantas. Es clave para una amplia gama de funciones en los vegetales. Uno de los papeles bien conocidos del magnesio se encuentra en el proceso de

la fotosíntesis, ya que es un componente básico de la clorofila, la molécula que da a las plantas su color verde (Freire 2012, p. 17).

1.9.6. pH del suelo

Esta característica es una de las más importantes ya que muchos procesos (incluyendo químicos, físicos y biológicos) están condicionados por el pH. Esta propiedad es un buen indicador del estado de fertilidad de un suelo y puede darnos muchas pistas acerca de otras propiedades, nosotros podemos usar el pH para determinar alguna anomalía a nivel del suelo (Tabla 9 - 1). Por lo general los suelos de páramo son ácidos debido a la composición que poseen (ácidos orgánicos). Sin embargo el proceso por el cual estos suelos llegan a ser ácidos es un poco más complejo (Llambí et al., 2012, p. 222).

Tabla 9-1: Clasificación de suelos según valores de pH.

Nivel	pH
Extremadamente ácido	3,5 – 4,4
Muy fuerte ácido	4,5 – 5,0
Fuertemente ácido	5,1 – 5,5
Moderadamente ácido	5,6 – 6,0
Ligeramente ácido	6,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Ligeramente alcalino	7,4 – 7,8
Moderadamente alcalino	7,9 – 8,4
Fuertemente alcalino	8,5 – 9,0

Fuente: Usda (1999, p. 63).

1.9.7. Materia orgánica

La materia orgánica es una mezcla de materiales orgánicos de plantas animales, junto con los productos de su transformación biológica (Tabla 10 - 1). Está compuesta principalmente por carbono (C), Hidrogeno (H), oxígeno (O), Nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) en cantidades variables lo que hace difícil una evaluación directa de su contenido en el suelo. El proceso de transformación de los materiales orgánicos en el suelo es continuo y dinámico (Quiroga, Galantini y Studdert 2017).

Tabla 10-1: Interpretación de materia orgánica.

Nivel	Materia Orgánica (%)
Muy bajo	< 0,9
Bajo	1,0 - 1,9
Normal	2,0 - 2,5
Alto	2,6 - 3,5
Muy alto	> 3,6

Fuente: Rioja (2002, p. 21).

1.9.8. Dinámica de carbono

La acumulación de materia orgánica (MO), es a menudo uno de los primeros procesos en la formación del suelo, y que a menudo alcanza un nivel constante. La MO se acumula cuando se incorpora material orgánico en el suelo, principalmente biomasa vegetal. Esto permite suplir las pérdidas que se producen a través de la descomposición. El aumento de gases en la atmósfera como el CO₂ ha llevado a un mayor interés en cuantificar las reservas de carbono, especialmente en el suelo, debido su gran capacidad de almacenamiento (Paz, Bazan y Saynes 2013, p. 32).

Es por ello que el suelo de los humedales tiene un mayor potencial de almacenamiento de carbono y tasas de secuestro más rápidas en comparación con otros suelos. Sin embargo, también tienen el potencial de convertirse en una gran fuente de gases de efecto invernadero (CO₂ y CH₄) debido a la gran reserva de carbono contenida en estos suelos (Gómez et al., 2011, p. 8; Locatelli & Sylvain, 2001, p. 73).

La mayor parte de la biomasa vegetal (componentes de superficie y subterráneos) se agrega al suelo y sirve como la principal entrada de carbono orgánico en los suelos. La productividad primaria neta de las plantas es controlada por Factores abióticos y bióticos, incluido el contenido de humedad del suelo (duración y frecuencia de saturación), disponibilidad de nutrientes, clima (radiación solar, temperatura del aire / suelo), salinidad, acidez del suelo; así como un sinnúmero de otros factores (Rossi y Rabenhorst 2019).

1.9.9. Almacenamiento de carbono

Los usos de tierra comprenden áreas de cultivo, plantas leñosas perennes, tal como bosques, plantaciones forestales y sistemas agroforestales, quienes ayudan a la reducción de gases de efecto invernadero (Tabla 11 - 1). Todo esto es posible, gracias a que las plantas fijan el CO₂ y lo convierten en madera que está presente en el fuste y ramas. Además, lo podemos encontrar en la biomasa, necromasa y suelo. En base a lo anterior es importante destacar que la implementación de plantaciones forestales es una de las principales alternativas para reducir las emisiones de CO₂. Por ello cada año se requerirían mucho más de 9,000 millones de hectáreas plantadas con árboles en desarrollo para compensar las emisiones de CO₂ y reponer los árboles muertos (Rodríguez & Cargua, 2013, p. 4).

Las plantaciones forestales con fines comerciales de 6 a 30 años almacenan entre 0,03 y 0,11 Pg Mg C año, lo cual se convierte en un indicador que nos permitiría estabilizar las emisiones de CO₂ a causa de la deforestación y los cambios de usos de suelo producto de las actividades antrópicas (Hofstede et al., 2002, p. 32).

Tabla 11-1: Interpretación de carbono orgánico.

Valores de Carbono Orgánico (%)			
Calificación	Clima		
	Frío	Medio	Cálido
Bajo	< 2,6	< 1,6	< 1,1
Medio	2,6 – 5,3	1,6 – 2,6	1,1 – 2,1
Alto	> 5,3	> 2,6	> 2,1

Fuente: Rioja (2002, p. 14).

CAPÍTULO II

2. METODOLÓGICA

2.1. Características del lugar

2.1.1. Localización

El presente estudio se llevó a cabo en la estación experimental Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, parroquia Licto, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo (Figura 1-2).

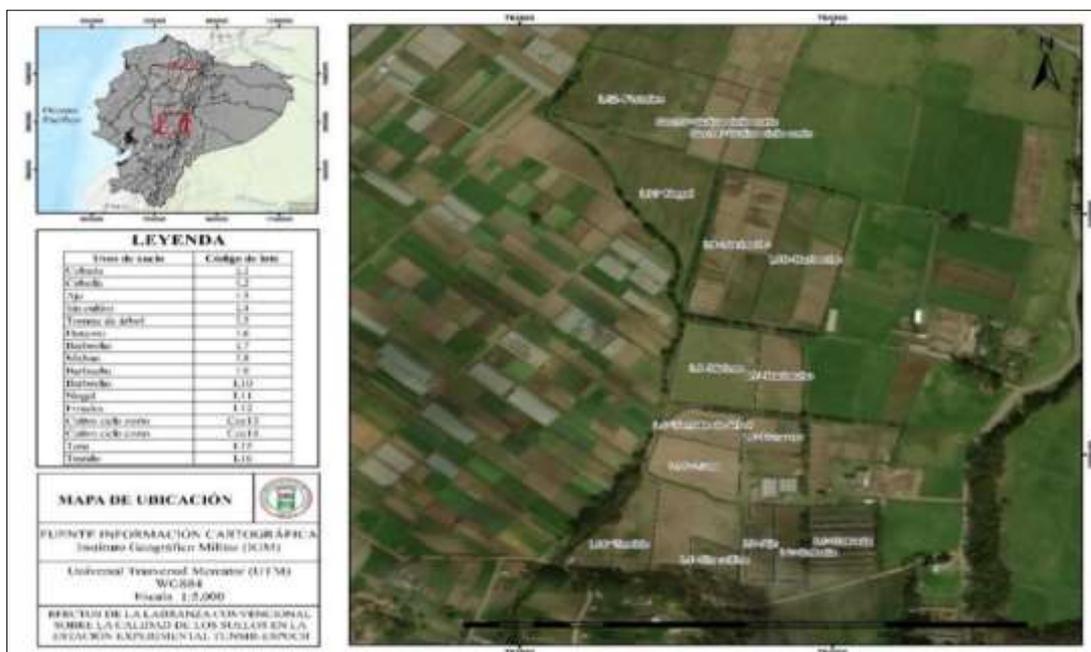


Figura 1-2. Área de estudio.
Realizado por: Palma, J. 2021.

2.1.2. Ubicación geográfica

Latitud: 9816945 UTM

Longitud: 758141 UTM

Altitud: 2838 m.s.n.m.

2.1.3. Características climáticas¹

Temperatura media anual: 13.5 °C

Humedad relativa: 60 – 70 %

Precipitación media anual: 400 – 500 mm.

¹ Información obtenida de los anuarios del INAMHI 2021.

2.1.4. Clasificación ecológica

Según Holdrige, (1982, p. 36), la zona de vida corresponde a estepa espinosa Montano Bajo (ee-MB).

2.2. Materiales

2.2.1. Materiales para campo

- Libreta para campo
- Manual para campo
- Mapas con la ubicación de los lotes
- Tablero para portar formularios
- Guía de Munsell para suelos
- Cinta métrica
- Fundas herméticas ziploc
- Pala pequeña de corte recto
- Balde
- Piola
- Estacas

2.2.2. Materiales de oficina

Computador (Laptop), impresiones, memoria USB, calculadora, cámara fotográfica, balanza analítica y GPS.

2.3. Métodos

Para el cumplimiento del primer objetivo de la investigación: Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo en la estación experimental Tunshi-ESPOCH; se desarrolló las siguientes actividades:

2.3.1. Muestreo de campo

Las muestras de suelo para el análisis fueron recolectadas a dos profundidades: de 0 - 30 cm y de 30 - 60 cm en cada punto de muestreo.

2.3.2. Caracterización del suelo

De acuerdo a la “Guía para la Descripción de Suelos” de la FAO, (2009, p. 21-66), se caracterizó los siguientes parámetros: color, textura, estructura, humedad, porosidad, densidad aparente, pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica y Carbono Orgánico del Suelo.

2.3.3. Color

El color del suelo se determinó mediante las notaciones para matiz, valor y croma establecidos en la tabla de colores de suelo Munsell, tanto en estado seco, como en húmedo y se registró el código del color para cada muestra de ambos estados (FAO, 2009, p. 35).

2.3.4. Textura y estructura

Para determinar la textura del suelo se utilizó el método de sensibilidad del tacto (organoléptico) y prueba de manipulación, el cual permitió evaluar la ocurrencia relativa de arena, limo y arcilla (FAO, 2009, p. 26).

La prueba de manipulación dio una idea mejor de la textura del suelo. Esta prueba se realizó de acuerdo con el siguiente detalle:

- Se tomó una muestra de suelo (A); y se mojó un poco en la mano hasta que sus partículas comenzaron a unirse, pero sin que se adhiriera a la mano.
- Amase la muestra de suelo hasta que forme una bola de unos 3 cm de diámetro (B)
- Deje caer la bola (C)...
- Si se desmorona, es arena;
- Si mantiene la cohesión, prosiga con el siguiente paso
- Amase la bola en forma de una cinta de 6 a 7 cm, de longitud (D).
- Si no mantiene esa forma, es arenoso franco;
- Si mantiene esa forma, prosiga con el siguiente paso.
- Continúe amasando el cilindro hasta que alcance de 15 a 16 cm de longitud (E)...
- Si no mantiene esa forma es franco arenoso;
- Si mantiene esa forma, prosiga con el siguiente paso.
- Trate de doblar la cinta hasta formar un semicírculo (F)...
- Si no puede, es franco;
- Si puede, prosiga con el siguiente paso.
- Siga doblando el cilindro hasta formar un círculo cerrado (G)...
- Si no puede, es franco pesado;
- Si puede, y se forman ligeras grietas en el cilindro, es arcilla ligera;
- Si puede hacerlo sin que el cilindro se agriete, es arcilla.

La estructura del suelo se determinó mediante la observación directa por medio del estereomicroscopio a una resolución de 100x. Las muestras de suelo (Ped) fueron colocadas sobre el porta muestras para tomar su respectiva fotografía, y así obtener las mejores condiciones de imagen donde se pudo apreciar la forma, tamaño y disposición de los agregados del suelo.

2.3.5. Humedad del suelo

La humedad del suelo se determinó mediante el método de la estufa a 105 °C/24 horas, (FAO, 2009), donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas, como se muestra en la ecuación (1):

$$HR\% = \frac{Ph * Ps}{Ps} * 100 \quad (1)$$

Dónde: HR% = contenido de humedad expresado en %; Ph = peso de la muestra húmeda; Ps = peso de la muestra seca.

2.3.6. Densidad real

Es el promedio ponderado de la densidad real (Dr) de las partículas sólidas lo cual tiene un valor de 2,65 g/cm³. Sin embargo, se puede calcular en función de la ecuación (2):

$$Dr (g/cm^3) = \frac{Pss (g)}{Vc (cm^3)} \quad (2)$$

2.3.7. Densidad aparente

La densidad aparente (Dap) se lo realizó mediante el método del cilindro de volumen conocido, el cual consistió en tomar muestras de suelo en campo a una profundidad de 0 - 30 cm y de 30 - 60 cm, sin disturbar la estructura natural (FAO, 2009). Estas muestras fueron colocadas en fundas plásticas ziploc previamente etiquetada para su traslado al laboratorio. En laboratorio las muestras fueron previamente pesadas y colocadas en la estufa a una temperatura de 105 °C/24 h, se aplicó una diferencia de pesos para conocer la masa como se muestra en la ecuación (3) (Cargua et al., 2017):

$$Dap (g/cm^3) = \frac{Pss (g)}{Vc (cm^3)} \quad (3)$$

Dónde: Dap= la densidad aparente expresada en g/cm³; Pss es el peso de suelo seco en gramos y Vc= es el volumen del cilindro.

2.3.8. Porosidad del suelo

La porosidad del suelo se determinó midiendo el volumen de líquido contenido en un volumen de suelo al estado de saturación. Se pesó una muestra de suelo saturado (generalmente extraída con el método del cilindro), se llevó a la estufa y se pesó de nuevo. La pérdida de peso indica el volumen total de poros, admitiendo que el agua de la muestra tiene una densidad igual a 1 g/cm³. La porosidad del suelo se determinó de acuerdo a la siguiente ecuación (4)

$$Pt (\%) = 1 - \frac{Dap}{Dr} * 100 \quad (4)$$

Dónde: Pt = porosidad en porcentaje; Dap = densidad aparente; Dr = densidad real (2,65 g/cm³).

2.3.9. pH del suelo

Para la medición se utilizó el pH metro portátil, para lo cual se prepararon soluciones de 10 g de suelo en 25 mL de agua destilada, con una agitación continua de 30 minutos (Beretta, Bassahum y Musselli 2014).

2.3.10. Materia orgánica y carbono orgánico del suelo

La MO se determinó mediante el método Lost-Ignition o pérdida de ignición. Es importante indicar que todas las muestras fueron previamente secadas al aire libre y pasadas por el tamiz de 2 mm. Para la cuantificación de carbono por LOI (calcinación) se utilizó el método expuesto en (Chambers, Beilman y Yu 2011; Isaza et al., 2009) de acuerdo al siguiente detalle:

- Se ingresó la muestra de suelo en una estufa a 105 °C/24 h00.
- Pesamos 5 g de muestra de suelo seco en un crisol.
- Luego colocar durante 4 h en una mufla a 550 °C.
- A continuación, se transfirió a un desecador y luego de enfriarse se registró el peso nuevamente.

El cálculo de MO se realizó a través de la diferencia de pesos (Ecuación 5), de acuerdo a la fórmula expuesta por Chambers et al., (2011) e Isaza et al., (2009).

$$\% MO = \frac{\text{Peso del suelo (5g)} - \text{peso despues de la ignición}}{\text{Peso del suelo (5g)}} \quad (5)$$

El contenido de COS, se estimó a partir del % de MO relacionándola con factores empíricos como el de van Benmelen equivalente 1,724 que resulta ($1/0,58 = 1,724$) de la suposición de que la MO del suelo contiene un 58% de carbono (Ecuación 6).

$$\% \text{ COS} = \frac{\% \text{ MO}}{1,724} \quad (6)$$

Para el desarrollo del segundo objetivo: Evaluar los efectos que ocasiona la labranza convencional sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en la estación experimental Tunshi-ESPOCH, fue necesario realizar las siguientes actividades:

- Análisis descriptivo mediante el programa *Minitab 17* que permitió conocer la base de datos con la que se trabajó en el presente estudio.
- Se realizó una evaluación del impacto ocasionado por la labranza convencional, sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo, como: Dap, pH, porosidad, MO % y COS.

2.4. Especificaciones del campo experimental

La zona de estudio comprende un área de 166277,00 m², distribuidos en 16 lotes (Tabla 1 - 2).

Tabla 1-2: Información de suelo.

No	Uso de suelo	Código del lote	Área m2	Formación geológica	Taxonomía
1	L1-Cebada	L1	2793,81		
2	L2-Cebolla	L2	5512,88		
3	L3-Ajo	L3	4304,49		
4	L4-Sin cultivo	L4	3078,91		
5	L5-Tomate	L5	5142,27		
6	L6-Durazno	L6	4369,77		
7	L7-Barbecho	L7	7556,78		
8	L8-Malvas	L8	13828,59		
9	L9-Barbecho	L9	22224,78	Depósitos coluviales	Inceptisol
10	L10-Barbecho	L10	21697,78		
11	L11-Nogal	L11	22359,20		
12	L12-Frutal	L12	22799,87		
13	L13-Cultivo de ciclo corto	L13	6209,58		
14	L14-Cultivo de ciclo corto	L14	6149,91		
15	L15-Tuna	L15	9196,57		
16	L16-Testigo	L16	9051,81		

Realizado por: Palma, J. 2021.

2.5. Análisis estadístico

Se realizó pruebas de normalidad para verificar los supuestos del análisis ANOVA agrupando los datos de las propiedades físicas y químicas del suelo asociado a la labranza convencional. Se efectuó un ANOVA de una sola vía, ($p < 0,05$), para detectar diferencias estadísticas entre tratamientos y pruebas de medias de Tukey. Para este análisis estadístico se utilizó el software MINITAB V17 (Minitab 2016, p. 10-25).

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Propiedades físicas y químicas del suelo de la estación experimental Tunshi–ESPOCH

3.1.1. Color del suelo

Los 16 lotes de suelo del presente estudio pertenecen al orden Inceptisol y se encuentran bajo la formación geológica depósitos coluviales. Una de las propiedades físicas del suelo y de fácil identificación es el color, el cual refleja la composición, así como las condiciones pasadas y presentes de óxido reducción. El color del suelo se determinó a dos profundidades 0 - 30 cm y 30 - 60 cm, tanto en estado seco como en húmedo, utilizando la tabla de Munsell. Para determinar el color del suelo se consideró el matiz, la claridad (value) y la pureza (chroma) (Tabla 1 - 3).

Tabla 1-3: Color del suelo.

No	ID Campo	Profundidad (cm)	Color del suelo			
			Húmedo	Color	Seco	Color
1	L1-Cebada	0 - 30	7.5 YR 3/2	Marrón oscuro	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
2	L2-Cebolla	0 - 30	7.5 YR 3/2	Marrón oscuro	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
3	L3-Ajo	0 - 30	7.5 YR 3/2	Marrón oscuro	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
4	L4-Sin cultivo	0 - 30	7.5 YR 3/2	Marrón oscuro	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
5	L5-Tomate	0 - 30	7.5 YR 3/2	Marrón oscuro	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
6	L6-Durazno	0 - 30	7.5 YR 3/2	Marrón oscuro	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
7	L7-Barbecho	0 - 30	7.5 YR 3/2	Marrón oscuro	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
8	L8-Malvas	0 - 30	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
9	L9-Barbecho	0 - 30	7.5 YR 3/2	Marrón oscuro	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
10	L10-Barbecho	0 - 30	7.5 YR 3/2	Marrón oscuro	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
11	L11-Nogal	0 - 30	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
12	L12-Frutal	0 - 30	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
13	L13-Ccc	0 - 30	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
14	L14-Ccc	0 - 30	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
15	L15-Tuna	0 - 30	7.5 YR 3/2	Marrón oscuro	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
16	L16-Testigo	0 - 30	7.5 YR 3/2	Marrón oscuro	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro
1	L1-Cebada	30 - 60	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
2	L2-Cebolla	30 - 60	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
3	L3-Ajo	30 - 60	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
4	L4-Sin cultivo	30 - 60	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
5	L5-Tomate	30 - 60	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
6	L6-Durazno	30 - 60	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
7	L7-Barbecho	30 - 60	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
8	L8-Malvas	30 - 60	7.5 YR 4/3	Marrón	7.5 YR 4/4	Marrón
9	L9-Barbecho	30 - 60	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
10	L10-Barbecho	30 - 60	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
11	L11-Nogal	30 - 60	7.5 YR 4/3	Marrón	7.5 YR 4/4	Marrón
12	L12-Frutal	30 - 60	7.5 YR 4/3	Marrón	7.5 YR 4/4	Marrón
13	L13-Ccc	30 - 60	7.5 YR 4/3	Marrón	7.5 YR 4/4	Marrón
14	L14-Ccc	30 - 60	7.5 YR 4/3	Marrón	7.5 YR 4/4	Marrón
15	L15-Tuna	30 - 60	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro
16	L16-Testigo	30 - 60	7.5 YR 3/3	Marrón oscuro	7.5 YR 3/4	Marrón oscuro

Realizado por: Palma, J. 2021.

El color del suelo en estado húmedo a la profundidad de 0 - 30 cm, variaron de 3/2 a 3/3, lo que indica un suelo de color marrón oscuro. En estado seco mostro un value y chroma de: 3/3 a 3/4, lo que pertenece a suelos de color marrón oscuro. Para la profundidad de 30 - 60 cm, el color del suelo cambia su tonalidad a un color más claro 3/3 a 3/4 (marrón oscuro), esto puede estar en relación con el contenido de materia orgánica porque a medida que incrementa la profundidad el contenido disminuye (FAO, 2009, p. 34).

El color del suelo en húmedo a la profundidad de 0 - 30 cm fue 7.5 YR 3/2 marrón oscuro y en seco 7.5 YR 3/3 marrón oscuro; a la profundidad de 30 - 60 cm, en húmedo fue 7.5 YR 3/3 marrón oscuro y en seco 7.5 YR 3/4 marrón oscuro (Figura 1 - 3). El color del suelo depende de los minerales expuestos y acumulados por desintegración del material parental. Las tonalidades de los suelos estudiados concuerda con lo reportado por Olgún et al., (2017, p. 53), en estudios realizados en suelos en la región Andina de nuestro país, quien indica que hay una relación directa con el tipo de vegetación, materiales de origen (depósitos coluviales) y contenido de materia orgánica. El color de estos suelos obedece a que son suelos bastante jóvenes, poco evolucionados y con un incipiente desarrollo de horizontes pedogenéticos. Es por ello que en este orden de suelos el tiempo es uno de los factores más importantes para conseguir su desarrollo de acuerdo a lo que manifiesta Gómez et al., (2017, p. 170).

El efecto de la labranza incide sobre el contenido de humedad y por consiguiente influye sobre el color del suelo, por tal razón suelos con mayor contenido de materia orgánica y que conservan la humedad presentan tonalidades más oscuras.

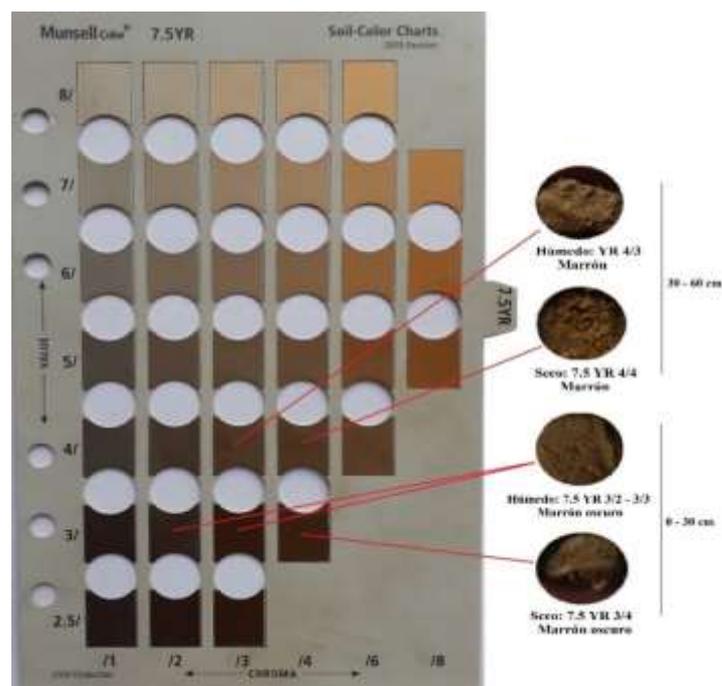


Figura 1-3. Color del suelo del área de estudio.
Realizado por: Palma, J. 2021.

3.1.2. Textura del suelo

La textura que presentan los suelos de los 16 lotes a las dos profundidades 0 - 30 cm y 30 - 60 cm, es Franco arenosa, lo que indica una elevada proporción de partículas gruesas (Figura 2 - 3). Este tipo de textura posee en sus agregados gran cantidad de arena (> 60%), lo que supone una mala retención del agua; así como de los nutrientes, lo cual concuerda con lo mencionado por Ciancaglini (2010, p. 2-3), en referencia a suelos arenosos. Además, este tipo de textura proviene del mismo material parental e igual mineralogía, lo que da como origen a una textura de grano medio a grueso. En el caso de los suelos de textura franco arenosa es necesario tener presente que los aperos tradicionales utilizados en la labranza convencional, producen una mayor degradación del suelo, afectando la calidad.

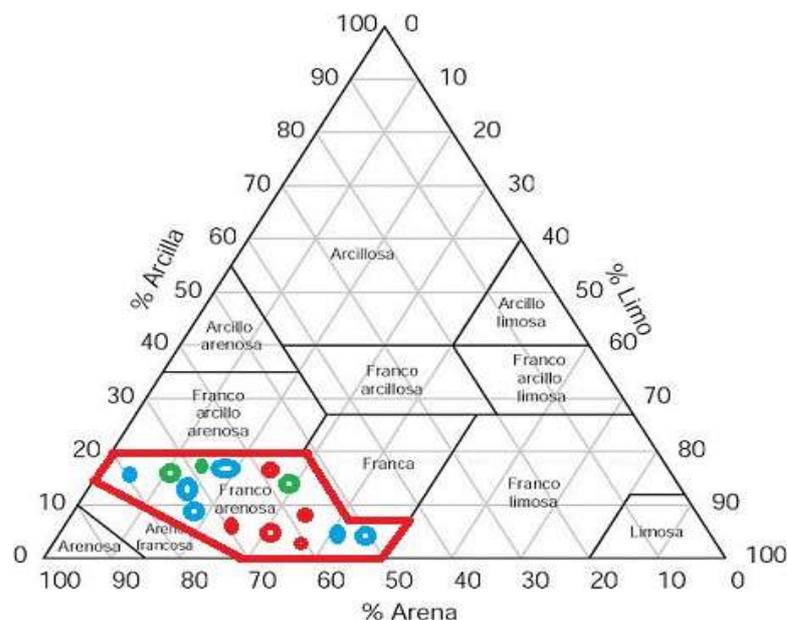


Figura 2-3. Textura del suelo.
Realizado por: Palma, J. 2021.

3.1.3. Estructura del suelo

En la (Figura 3 – 3), se muestra la estructura de los 16 lotes de suelo estudiados, los cuales presentan una estructura suelta, la misma que favorece a un mejor flujo del aire, agua y nutrientes. El uso de implementos o aperos inadecuados en la labranza incide de manera negativa en la estructura del suelo. Los arados de disco, así como las rastras de disco son aperos de corte horizontal que propician una remoción superficial y una compactación en capas inferiores. De acuerdo a Camargo et al., (2012, p. 159), este tipo de propiedades es frecuente en suelos que ya han sido cultivados convirtiéndole en un suelo resistente al impacto de la lluvia y el viento. Los agregados no son muy grandes y presentan una forma más o menos redondeada. Por tal razón de la estructura depende en gran parte la capacidad de resiliencia de un suelo, es decir la capacidad de soportar un disturbio para volver a su equilibrio.



Figura 3-3: Estructura del suelo.

Realizado por: Palma, J. 2021.

3.1.4. Humedad del suelo

El análisis de varianza del contenido de humedad para la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm, no presentó diferencias significativas, pues ambas profundidades están reteniendo similares contenidos de humedad (Tabla 2 - 3). El valor medio de humedad a la profundidad de 0 - 30 cm fue 9,07 %, con una desviación estándar de 2,012 y un coeficiente de variación de 22,18 %. A la profundidad de 30 - 60 cm, presentó un valor medio de 7,74 %, con una desviación estándar de 1,735 y un coeficiente de variación de 22,41 %. De acuerdo a la tabla 1 - 1 de interpretación de porcentaje de humedad propuesto por Castellanos, García y Cano, (2017, p. 56-59) los lotes se encuentran por debajo de la capacidad de campo.

Tabla 2-3: Análisis de varianza para humedad del suelo a la profundidad de 0 - 30 y 30 - 60 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	1	14,11	14,111	4,00	0.055	Ns
Error	30	105,87	3,529			
Total	31	119,99				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Palma, J. 2021.

Los suelos estudiados presentan un porcentaje bajo de humedad, esto está en concordancia con su textura y la porosidad. El contenido de humedad del suelo es un parámetro utilizado para conocer el balance de agua y su posterior necesidad de riego en relación con cada uno de los cultivos. El suelo al ser una masa porosa, formada por partículas de diferente tamaño (agregados), permite la existencia de espacios intersticiales o ínter granulares, donde se retiene el agua. La humedad del suelo disminuye de manera leve a medida que incrementa la profundidad, esto debido a la baja capacidad de retención en los suelos arenosos, también la falta de riego durante varios días podría ocasionar estrés hídrico, especialmente en aquellos lotes con cultivo. En días muy calurosos hacen que incremente la transpiración, lo cual genera una disminución del contenido de agua del suelo.

Estudios realizados por Demuner et al., (2014, p. 4-6), sobre el efecto de labranza y mejoradores de suelo en humedad y desarrollo radicular encontraron que no existen diferencias significativas en la disponibilidad de agua en el perfil del suelo entre labranza cero, labranza mínima y labranza convencional.

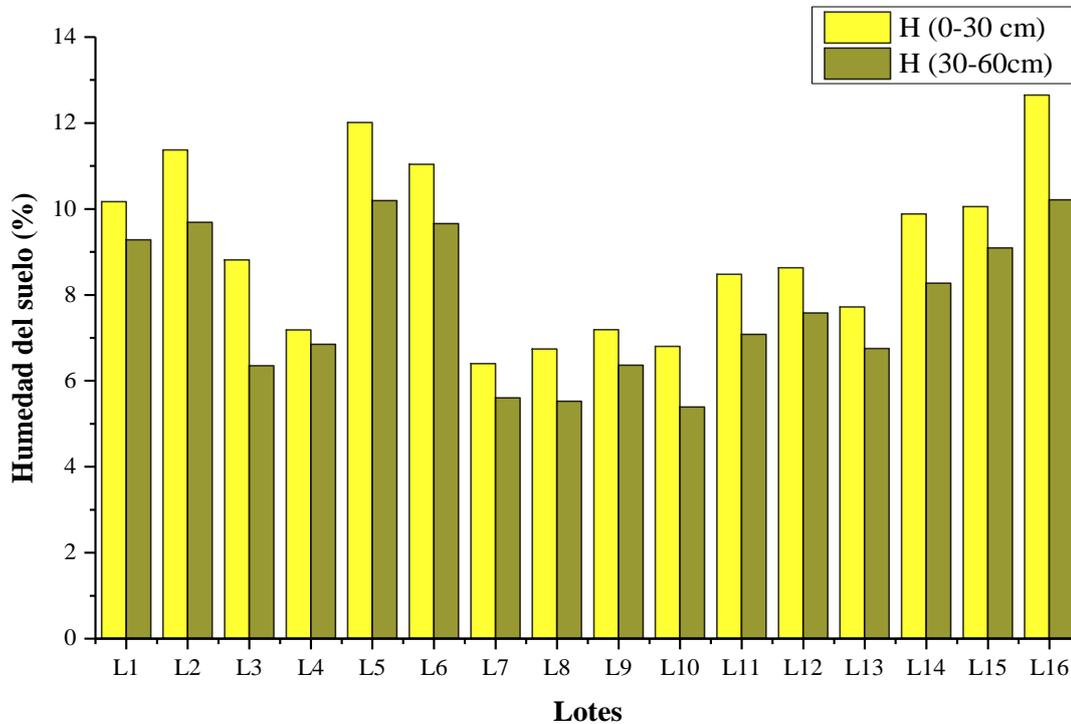


Gráfico 1-3. Humedad del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.
Realizado por: Palma, J. 2021

Los valores bajos de humedad se presentaron en suelos con barbecho (L7-L9-L10), malvas (L8) y lote sin cultivo (L4) (Gráfico 1 - 3). El porcentaje de humedad en estos suelos fue 45 % menos en relación con el testigo, lo que está relacionado con suelos que han sido removidos producto de la labranza convencional; además de que estos suelos se encuentran sin cubierta vegetal lo cual influyó en la disminución de las pérdidas de humedad por efectos de la evaporación.

Los valores calculados de retención de agua para un suelo franco arenoso en los 16 lotes y a las dos profundidades se indican en la (Tabla 2 - 3). Esta propiedad es muy importante debido a que desempeña una de las funciones ecológicas más significativas como: absorción, retención y suministro del líquido vital (Durán 2000, p. 28). A la profundidad de 0 - 30 cm, la retención promedio de agua fue de $377,72 \text{ m}^3$, con un valor máximo de retención de $497,14 \text{ m}^3$ en el lote testigo (L16) y una retención mínima de $274,56 \text{ m}^3$ en el lote con barbecho (L7). A la profundidad de 30 - 60 cm, la retención promedio de agua fue de $680,08 \text{ m}^3$, con un valor máximo de retención de $892,64 \text{ m}^3$ en el lote con cultivo de tomate (L5) y una retención mínima de $498,03 \text{ m}^3$ en el lote con barbecho (L10).

Tabla 3-3: Retención de agua en el suelo a la profundidad de 0 - 30 y 30 - 60 cm.

No	ID Campo	Profundidad (cm)	Humedad %	Agua retenida m ³	Agua disponible m ³
1	L1 – Cebada	0 - 30	10,17	417,98	208,99
2	L2 – Cebolla	0 - 30	11,37	467,30	233,65
3	L3 – Ajo	0 - 30	8,81	364,73	182,37
4	L4 – Sin cultivo	0 - 30	7,18	305,86	152,93
5	L5 – Tomate	0 - 30	12,01	490,00	245
6	L6 – Durazno	0 - 30	11,04	440,49	220,25
7	L7 – Barbecho	0 - 30	6,4	274,56	137,28
8	L8 – Malvas	0 - 30	7,74	339,01	169,51
9	L9 – Barbecho	0 - 30	7,19	301,98	150,99
10	L10 – Barbecho	0 - 30	6,8	299,88	149,94
11	L11 – Nogal	0 - 30	8,48	376,51	188,26
12	L12 – Frutal	0 - 30	8,63	359,87	179,94
13	L13 – Cultivo de ciclo corto	0 - 30	7,72	326,55	163,28
14	L14 – Cultivo de ciclo corto	0 - 30	8,88	383,61	191,81
15	L15 – Tuna	0 - 30	10,05	397,98	198,99
16	L16 – Testigo	0 - 30	12,65	497,14	248,57
1	L1 – Cebada	30 - 60	9,28	846,33	423,17
2	L2 – Cebolla	30 - 60	9,69	819,77	409,89
3	L3 – Ajo	30 - 60	6,35	537,21	268,61
4	L4 – Sin cultivo	30 - 60	6,85	604,17	302,09
5	L5 – Tomate	30 - 60	10,19	892,64	446,32
6	L6 – Durazno	30 - 60	9,66	811,44	405,72
7	L7 – Barbecho	30 - 60	5,6	504	252
8	L8 – Malvas	30 - 60	5,52	523,29	261,65
9	L9 – Barbecho	30 - 60	6,36	560,95	280,48
10	L10 – Barbecho	30 - 60	5,39	498,03	249,02
11	L11 – Nogal	30 - 60	7,08	658,44	329,22
12	L12 – Frutal	30 - 60	7,58	659,46	329,73
13	L13 – Cultivo de ciclo corto	30 - 60	6,75	595,35	297,68
14	L14 – Cultivo de ciclo corto	30 - 60	8,27	724,45	362,23
15	L15 – Tuna	30 - 60	9,09	763,56	381,78
16	L16 – Testigo	30 - 60	10,21	882,14	441,07

Realizado por: Palma, J. 2021.

3.1.5. Densidad real del suelo

La densidad real fue medida a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm y es un parámetro cuyo valor depende de los materiales sólidos presentes en el suelo. Los resultados obtenidos en la profundidad de 0 - 30 cm, son muy similares entre sí, obteniéndose valores que oscilan entre 2,28 y 2,45 g/cm³, con un valor medio de 2,40 g/cm³. En la profundidad de 30 - 60 cm los valores están dentro del rango de 2,35 a 2,57 g/cm³, con un valor medio de 2,44 g/cm³ (Gráfico 2 - 3).

De acuerdo a lo citado por Rodríguez y Rodríguez (2015, p. 36), la densidad real depende directamente de los componentes que constituyan el suelo, dando valores superiores a 2,5 g/cm³ en suelos minerales y de aproximadamente 2,2 g/cm³ para los suelos orgánicos. En base a lo anterior se

puede deducir que en todos los puntos de muestreo del presente estudio en su mayoría son suelos minerales con poco material orgánico. De acuerdo a la (Tabla 4 - 1) de clasificación de la densidad real propuesto por Cairo (1995, p. 26), los lotes presentan una densidad real muy baja.

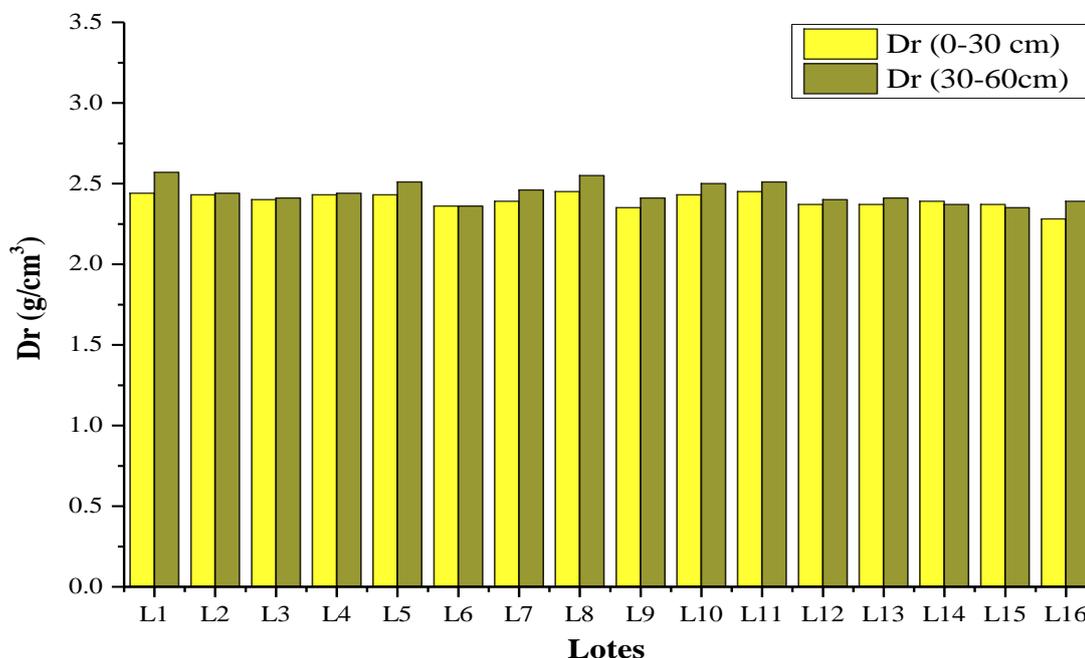


Gráfico 2-3: Densidad real del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.

Realizado por: Palma, J. 2021.

3.1.6. Densidad aparente del suelo

El análisis de varianza para la densidad aparente a una profundidad de 0 - 30 cm, presenta diferencias altamente significativas (Tabla 4 - 3), con un coeficiente de variación de 3,81 % y un valor medio de 1,40 g/cm³.

Tabla 4-3: Análisis de varianza para la densidad aparente a una profundidad de 0 - 30 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	0.131915	0.008794	222.17	0.000	**
Error	32	0.001267	0.000040			
Total	47	0.133181				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo

Realizado por: Palma, J. 2021.

Al realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 5 - 3), para densidad aparente a la profundidad de 0 - 30 cm, el lote con especies arbóreas de Nogal (L11) se encuentra en el nivel más alto con un valor de 1,48 g/cm³, mientras que en el nivel J se encuentra el testigo (L16) con una densidad

aparente de 1,31 g/cm³, los demás tratamientos se encuentran en niveles intermedios. De acuerdo a la (Tabla 6 - 1), de interpretación de la densidad aparente propuesto por la USDA (1999, p. 57), en base a la textura, los lotes se clasifican como franco arenosos.

Tabla 5-3: Prueba de Tukey al 5% para la densidad aparente a una profundidad de 0 - 30 cm.

Denominación	Código	Media (g/cm ³)	Agrupación
L11-Nogal	L11	1,48	A
L10-Barbecho	L10	1,47	A B
L8-Malvas	L8	1,46	B
L14- Cultivo de ciclo corto	L14	1,44	C
L7-Barbecho	L7	1,43	C D
L4-Sin cultivo	L4	1,42	D E
L13-Cultivo de ciclo corto	L13	1,41	E F
L9-Barbecho	L9	1,40	E F
L12-Frutales	L12	1,39	F G
L3-Ajo	L3	1,38	G H
L1-Cebada	L1	1,37	H
L2-Cebolla	L2	1,37	H
L5-Tomate	L5	1,36	H
L6-Durazno	L6	1,33	I
L15-Tuna	L15	1,32	I J
L16-Testigo	L16	1,31	J

Realizado por: Palma, J. 2021.

En la (Tabla 6 - 3) se muestran el análisis de varianza de la densidad aparente del suelo a la profundidad de 30 - 60 cm, para los 16 lotes en estudio, presentando diferencias altamente significativas para este factor, con una media de 1,47 g/cm³ y un coeficiente de variación de 3,67 %.

Tabla 6-3: Análisis de varianza para la densidad aparente a una profundidad de 30 - 60 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	0,134992	0,008999	179,99	0,000	**
Error	32	0,001600	0,000050			
Total	47	0,136592				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Palma, J. 2021.

La prueba de Tukey al 5% para densidad aparente a una profundidad de 30 - 60 cm, indica que el lote con malvas (L8), presenta el valor más alto con 1,58 g/cm³; mientras que el lote de durazno (L6) y el lote de tuna (L15), presentan el menor valor de densidad aparente 1,40 g/cm³, los demás tratamientos se encuentran en niveles intermedios (Tabla 7 - 3). De acuerdo a la (Tabla 6 - 1) de interpretación de la densidad aparente propuesto por la USDA (1999, p. 57), en base a la textura, los lotes se clasifican como franco arenosos.

Tabla 7-3: Prueba de Tukey al 5% para la densidad aparente a una profundidad de 30 - 60 cm.

Denominación	Código	Media (g/cm ³)	Agrupación
L8 - Malvas	L8	1,58	A
L11 - Nogal	L11	1,55	B
L10 -Barbecho	L10	1,54	B
L1 - Cebada	L1	1,52	C
L7 - Abejas	L7	1,51	C
L9 - Barbecho	L9	1,47	D
L4 - Sin cultivo	L4	1,47	D
L13 - Cultivo de ciclo corto	L13	1,47	D
L14 - Cultivo de ciclo corto	L14	1,46	D
L5 - Tomate	L5	1,46	D E
L12 - Frutales	L12	1,45	D E
L16 - Testigo	L16	1,44	E
L3 - Ajo	L3	1,41	F
L2 - Cebolla	L2	1,41	F
L15 - Tuna	L15	1,40	F
L6 - Durazno	L6	1,40	F

Realizado por: Palma, J. 2021.

Como se puede notar a esta profundidad de 30 - 60 cm, existe un ligero incremento en la densidad aparente (Gráfico 3 - 3); esto se debe a que las partículas del suelo como las arenas, limos y arcillas migran hacia el horizonte inferior, depositándose sobre los agregados y reduciendo el espacio poroso de acuerdo a lo manifestado por Andrade, Segura y Rojas (2016, p. 36).

La variación de los valores en la densidad aparente se ven influenciado por el bajo espacio poroso y posiblemente por el bajo contenido de materia orgánica. Estas variaciones en la densidad aparente obedecen a que son suelos que no han completado su desarrollo y han tenido un uso diferente.

Es importante mencionar que el incremento de la densidad aparente está relacionado con el sistema de labranza convencional aplicado a lo largo de muchos años y los implementos que se utilizan para esta labranza ocasiona compactación en capas inferiores. El incremento en la densidad aparente acarrea problemas como: disminución de la velocidad de infiltración, limitación del intercambio de O₂ y CO₂ entre el área radicular y el ambiente. Por consiguiente este tipo de degradación del suelo se ve de manera periódica en los suelos donde se utiliza de forma intensiva operaciones mecanizadas de acuerdo a lo que manifiesta Rodríguez et al., (2015, p. 42).

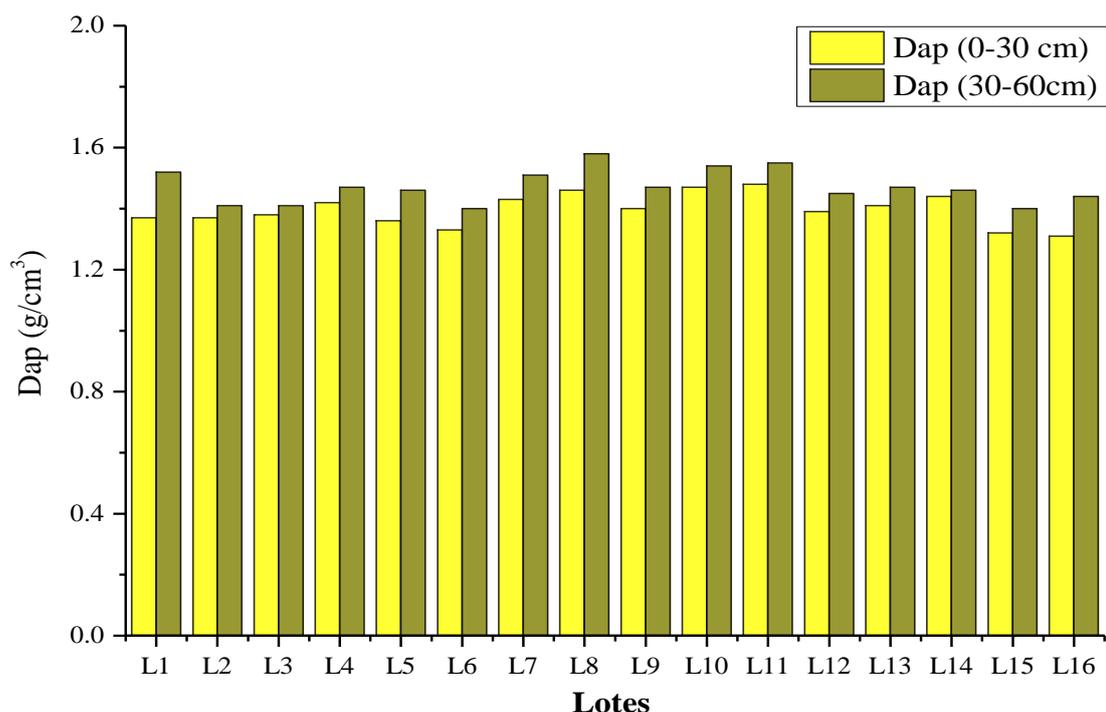


Gráfico 3-3. Densidad aparente del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.

Realizado por: Palma, J. 2021.

3.1.7. Porosidad del suelo

El análisis de varianza para la porosidad del suelo a una profundidad de 0 - 30 cm, presenta diferencias altamente significativas (Tabla 8 - 3), con un coeficiente de variación de 5,30 % y un valor medio de 41,85 %.

Tabla 8-3: Análisis de varianza para la porosidad del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	229,018	15,2679	222,17	0.000	**
Error	32	2,199	0,0687			
Total	47	231,217				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo

Realizado por: Palma, J. 2021.

Al realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 9 - 3), para porosidad del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm, el lote testigo (L16), presentó el nivel más alto con un valor de 45,56 %, mientras que el lote con nogal (L11) el valor más bajo de porosidad del suelo con un valor de 38,19 % los demás tratamientos se encuentran en niveles intermedios. De acuerdo a la (Tabla 8 - 3) de interpretación de la porosidad del suelo propuesto por Jaramillo (2002, p. 196), los lotes se clasifican como porosidad baja a muy baja.

Tabla 9-3: Prueba de Tukey al 5% para porosidad del suelo a una profundidad de 0 - 30 cm.

Denominación	Código	Media (%)	Agrupación
L16-Testigo	L16	45,56	A
L15-Tuna	L15	45,14	A B
L6-Durazno	L6	44,72	B
L5-Tomate	L5	43,19	C
L2-Cebolla	L2	43,06	C
L1-Cebada	L1	42,92	C
L3-Ajo	L3	42,64	C D
L12-Frutales	L12	42,08	D E
L9-Barbecho	L9	41,67	E F
L13-Cultivo de ciclo corto	L13	41,39	E F
L4-Sin cultivo	L4	40,97	F G
L7-Barbecho	L7	40,56	G H
L14- Cultivo de ciclo corto	L14	39,86	H
L8-Malvas	L8	39,03	I
L10-Barbecho	L10	38,61	I J
L11-Nogal	L11	38,19	J

Realizado por: Palma, J. 2021.

El espacio poroso fue calculado a partir de la densidad aparente donde se verificó que los valores de porosidad están dentro del rango de < 40 % a 50 % y de acuerdo a la tabla de interpretación propuesta por Jaramillo (2002, p. 196), estos valores se clasificaron como bajos a Muy bajos. La labranza convencional influye en la porosidad del suelo, sobre todo reduciendo el espacio poroso, lo cual ocasiona una reducción de la proporción de poros y trae como consecuencia dificultad para la circulación del agua, aire y penetración de las raíces, provocando un bajo rendimiento en la producción de cultivos.

El análisis de varianza para la porosidad del suelo a una profundidad de 30 - 60 cm, presenta diferencias altamente significativas (Tabla 10 - 3), con un coeficiente de variación de 5,56 % y un valor medio de 39,74 %.

Tabla 10-3: Análisis de varianza para la porosidad del suelo a la profundidad de 30 - 60 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	226,740	15,1160	179,99	0.000	**
Error	32	2,687	0,0840			
Total	47	229,427				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo

Realizado por: Palma, J. 2021.

Al realizar la prueba de Tukey al 5 % (Tabla 11 - 3), para porosidad del suelo a la profundidad de 30 - 60 cm, el lote con durazno (L6), se encuentra en el nivel más alto con 42,76 %, mientras que el lote con el cultivo de nogal (L11) presentó un valor bajo de porosidad del suelo de 35,38 % los demás tratamientos se encuentran en niveles intermedios. De acuerdo a la (Tabla 8 - 3) de interpretación de la porosidad del suelo propuesto por Jaramillo (2002, p. 196), los lotes se clasifican como porosidad baja a muy baja.

Tabla 11-3: Prueba de Tukey al 5% para porosidad del suelo a una profundidad de 30 - 60 cm.

Denominación	Código	Media (%)	Agrupación	
L6-Durazno	L6	42,76	A	
L15-Tuna	L15	42,62	A	
L2-Cebolla	L2	42,35	A	
L3-Ajo	L3	42,08	A	
L16-Testigo	L16	40,98	B	
L12-Frutales	L12	40,44	B	C
L5-Tomate	L5	40,16	B	C
L14- Cultivo de ciclo corto	L14	40,03	C	
L4-Sin cultivo	L4	39,89	C	
L13-Cultivo de ciclo corto	L13	39,89	C	
L9-Barbecho	L9	39,75	C	
L7-Barbecho	L7	38,25	D	
L1-Cebada	L1	37,84	D	
L10-Barbecho	L10	36,75	E	
L11-Nogal	L11	36,61	E	
L8-Malvas	L8	35,38	F	

Realizado por: Palma, J. 2021.

Un primer análisis permite detectar la mayor abundancia relativa de poros en la profundidad de 0 - 30 cm (Gráfico 4 - 3). El espacio poroso se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por materiales sólidos: 45% minerales y 5% materia orgánica y 50% de espacio poroso. En el presente estudio la porosidad se vio afectada por las actividades de labranza convencional, es decir el suelo se ha compactado por el sobre uso de maquinaria agrícola.

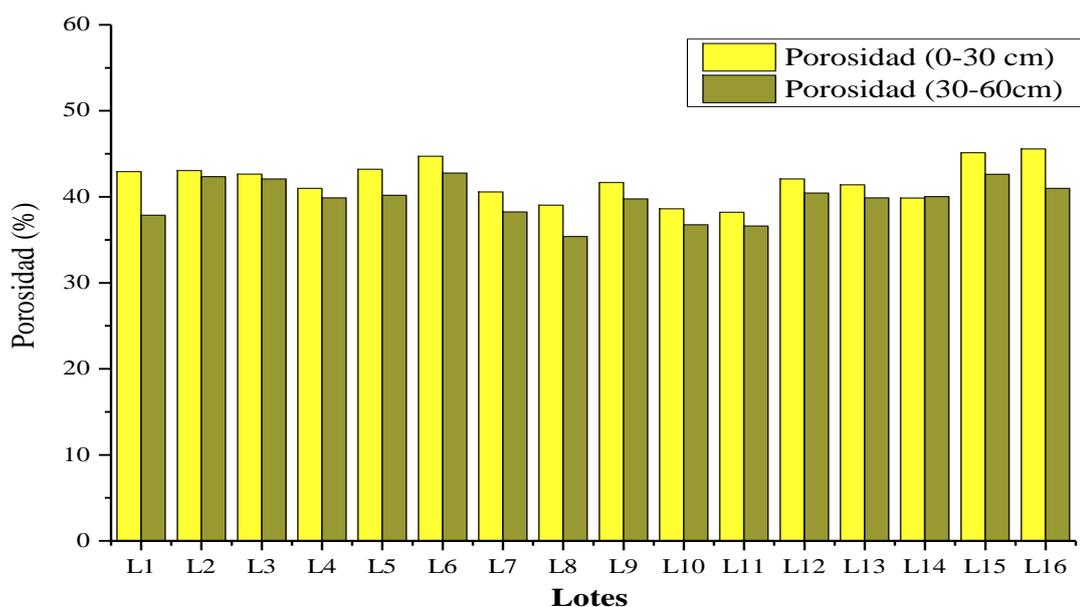


Gráfico 4-3. Porosidad del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.
Realizado por: Palma, J. 2021.

3.1.8. Conductividad eléctrica

En la (Tabla 12 - 3), se muestran el análisis de varianza para conductividad eléctrica (dS/m) del suelo a una profundidad de 0 - 30 cm. Este factor presenta diferencias altamente significativas, con un coeficiente de variación de 10,00 %.

Tabla 12-3: Análisis de varianza para la conductividad eléctrica a la profundidad de 0 - 30 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	0,005805	0,000387	50,05	0.000	**
Error	32	0,000247	0,000008			
Total	47	0,006052				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Palma, J. 2021.

El análisis de Tukey al 5 % indica que el lote con cebolla (L2), presenta el valor más alto con 0,13 dS/m, mientras que el lote en barbecho (L9), presenta el menor valor de conductividad eléctrica con 0,10 dS/m, los demás tratamientos se encuentran en niveles intermedios (Tabla 12 - 3). De acuerdo a la (Tabla 7 - 1), de interpretación de la salinidad del suelo propuesto por Rioja (2002, p. 18), los lotes se clasifican como no salinos.

Tabla 13-3: Prueba de Tukey al 5% para conductividad eléctrica a una profundidad de 0 - 30 cm.

Denominación	Código	Media (dS/m)	Agrupación
L2-Cebolla	L2	0,13	A
L4-Sin cultivo	L4	0,13	B
L1-Cebada	L1	0,12	C
L3-Ajo	L3	0,12	C
L5-Tomate	L5	0,11	C

L16-Testigo	L16	0,11	C	D	
L6-Durazno	L6	0,11	C	D	
L8-Malvas	L8	0,11	C	D	
L15-Tuna	L15	0,10		D	E
L7-Abejas	L7	0,10		D	E F
L10-Barbecho	L10	0,10			E F
L12-Frutales	L12	0,10			E F
L11-Nogal	L11	0,10			E F
L14- Cultivo de ciclo corto	L14	0,10			E F
L13-Cultivo de ciclo corto	L13	0,10			E F
L9-Barbecho	L9	0,10			F

Realizado por: Palma, J. 2021.

En la (Tabla 13 - 3), se muestran el análisis de varianza para conductividad eléctrica (dS/m) del suelo a una profundidad de 30 - 60 cm. Este factor presenta diferencias altamente significativas, con un coeficiente de variación de 12,67 %.

Tabla 14-3: Análisis de varianza para conductividad eléctrica a una profundidad de 30 - 60 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	0,010586	0,000706	115,85	0.000	**
Error	32	0,000195	0,000006			
Total	47	0,010781				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Palma, J. 2021.

Al realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 15 - 3), para conductividad eléctrica del suelo a la profundidad de 30 - 60 cm, el lote con ajo (L3), se encuentra en el nivel más alto con un valor de 0,15 (dS/m), mientras que el lote en barbecho (L9) presentó el valor más bajo de conductividad eléctrica del suelo con un valor de 0,10 (dS/m), los demás tratamientos se encuentran en niveles intermedios. De acuerdo a la (Tabla 7 - 1), de interpretación de la salinidad del suelo propuesto por Rioja (2002), los lotes se clasifican como no salinos.

Tabla 15-3: Prueba de Tukey al 5% para conductividad eléctrica a la profundidad de 30 - 60cm.

Denominación	Código	Media (dS/m)	Agrupación			
L3-Ajo	L3	0,15	A			
L2-Cebolla	L2	0,14	B			
L4-Sin cultivo	L4	0,14	B			
L1-Cebada	L1	0,13	B			
L16-Testigo	L16	0,12	C			
L5-Tomate	L5	0,12	C			
L12-Frutales	L12	0,12	C	D		
L8-Malvas	L8	0,12	C	D		
L15-Tuna	L15	0,12	C	D		
L14-Cultivo de ciclo corto	L14	0,12	C	D		
L6-Durazno	L6	0,11		D	E	
L13-Cultivo de ciclo corto	L13	0,11			E	F
L11-Nogal	L11	0,11				F
L10-Barbecho	L10	0,10				F G
L7-Abejas	L7	0,10				F G
L9-Barbecho	L9	0,10				G

Realizado por: Palma, J. 2021.

Los valores más altos de conductividad eléctrica se presentaron a la profundidad de 30 - 60 cm, (0,10 dS/m a 0,15 dS/m) (Gráfico 5 - 3). De acuerdo a la escala para clasificar los suelos según la salinidad, el 100% de los suelos del área de estudio se clasificó como no salinos, esto concuerda con lo manifestado por Cremona y Enriquez, (2020, p. 23), quienes mencionan que las concentraciones bajas se considera como suelos no salinos.

Este parámetro permite conocer el estado y salud del suelo, por lo que un exceso influye directamente sobre la disminución del pH y trae como consecuencia estrés que dificulta el crecimiento de las plantas. Los niveles de sales se ven influenciados por el riego, uso actual del suelo, fertilización, entre otros (Romero 2017). Existen factores como: la porosidad, el grado de saturación, la concentración de sales y la temperatura que influyen sobre la conductividad eléctrica.

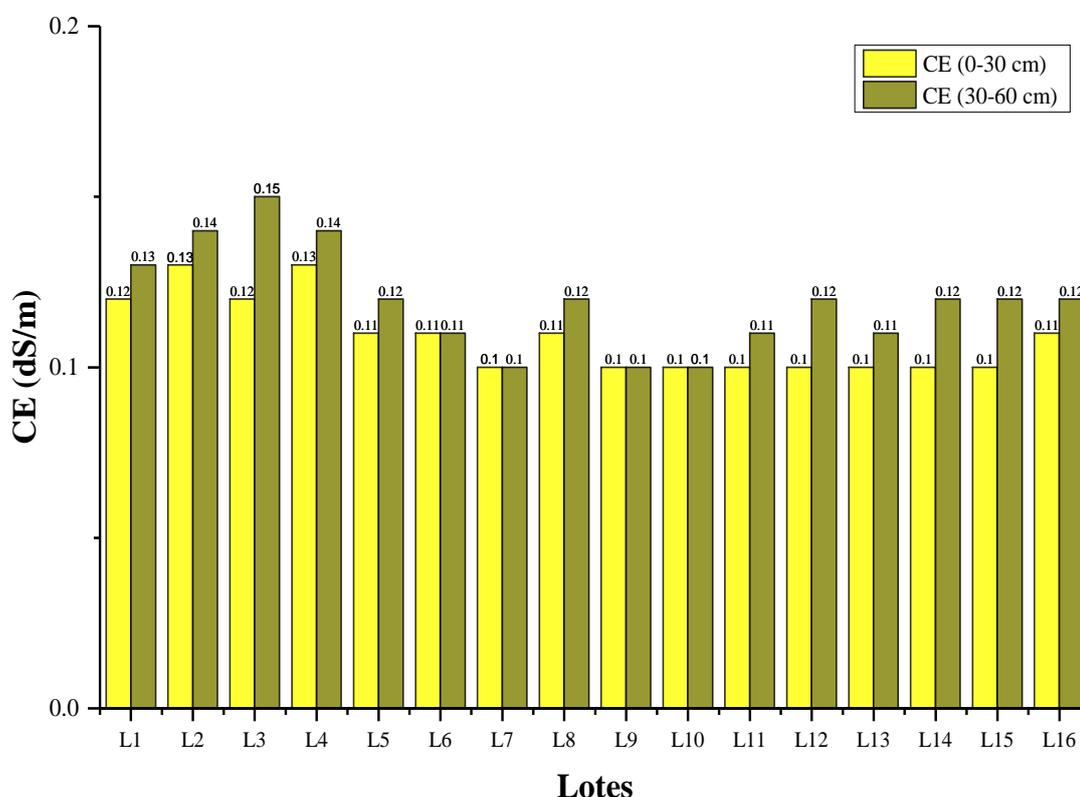


Gráfico 5-3. Conductividad eléctrica del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.

Realizado por: Palma, J. 2021.

3.1.9. pH del suelo

La (Tabla 16 - 3), muestra los resultados de pH del análisis de suelos a la profundidad de 0 - 30 cm, realizados a los 16 lotes del área de estudio, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de análisis de suelos plantas y aguas del INIAP, Santa Catalina (Anexo D).

Tabla 16-3: Contenido de pH del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm.

Lote	Cultivo	pH	Nivel
L1	Cebada	7,36	Ligeramente alcalino
L2	Cebolla	7,50	Ligeramente alcalino
L3	Ajo	8,08	Moderadamente alcalino
L4	Sin cultivo	7,76	Ligeramente alcalino
L5	Tomate	7,42	Ligeramente alcalino
L6	Durazno	7,52	Ligeramente alcalino
L7	Barbecho	7,45	Ligeramente alcalino
L8	Malvas	7,41	Ligeramente alcalino
L9	Barbecho	7,31	Ligeramente alcalino
L10	Barbecho	7,27	Ligeramente alcalino
L11	Nogal	7,51	Ligeramente alcalino
L12	Frutal	7,95	Ligeramente alcalino
L13	Cultivo ciclo corto	8,26	Moderadamente alcalino
L14	Cultivo ciclo corto	7,71	Ligeramente alcalino
L15	Tuna	7,27	Ligeramente alcalino
L16	Testigo	8,34	Moderadamente alcalino

Realizado por: Palma, J. 2021.

La (Tabla 17 - 3), muestra el análisis de varianza para el pH del suelo a una profundidad de 0 - 30 cm. Este factor presenta diferencias altamente significativas, con un coeficiente de variación de 5,47 %.

Tabla 17-3: Análisis de varianza para el pH del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	6,989	0,46592	6,13	0.000	**
Error	32	2,433	0,07602			
Total	47	9,421				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Palma, J. 2021.

El análisis de pH del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm, presentó un valor medio de 7,63 con un máximo de 8,34 en el lote testigo (L16) y un mínimo de 7,27 en el lote con cultivo de tuna (L15) y barbecho (L10), (Tabla 18 - 3). De acuerdo a la (Tabla 9 - 1), de interpretación de pH del suelo propuesto por USDA (1999, p. 43), los lotes se clasifican como ligeramente a moderadamente alcalinos.

Tabla 18-3: Prueba de Tukey al 5% para el pH del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm.

Denominación	Código	Media	Agrupación			
L16-Testigo	L16	8,34	A			
L13-Cultivo de ciclo corto	L13	8,26	A	B		
L3-Ajo	L3	8,08	A	B	C	
L12-Frugal	L12	7,95	A	B	C	D
L4-Sin cultivo	L4	7,76	A	B	C	D
L14-Cultivo ciclo corto	L14	7,71	A	B	C	D
L6-Durazno	L6	7,52		B	C	D
L11-Nogal	L11	7,51			C	D
L2-Cebolla	L2	7,50			C	D
L7-Barbecho	L7	7,45			C	D
L5-Tomate	L5	7,42			C	D
L8-Malvas	L8	7,41			C	D
L1-Cebada	L1	7,36				D
L9-Barbecho	L9	7,31				D
L10-Barbecho	L10	7,27				D
L15-Tunas	L2	7,27				D

Realizado por: Palma, J. 2021.

La (Tabla 19 - 3), muestra los resultados del análisis de suelos a la profundidad de 30 - 60 cm, realizados a los 16 lotes del área de estudio, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de análisis de suelos plantas y aguas del INIAP, Santa Catalina (Anexo D).

Tabla 19-3: Contenido de pH del suelo a la profundidad de 30 - 60 cm.

Lote	Cultivo	pH	Nivel
L1	Cebada	8,58	Fuertemente alcalino
L2	Cebolla	8,04	Moderadamente alcalino
L3	Ajo	7,21	Neutro
L4	Sin cultivo	8,37	Moderadamente alcalino
L5	Tomate	8,22	Moderadamente alcalino
L6	Durazno	8,59	Fuertemente alcalino
L7	Barbecho	8,27	Moderadamente alcalino
L8	Malvas	8,39	Moderadamente alcalino
L9	Barbecho	7,59	Ligeramente alcalino
L10	Barbecho	7,72	Ligeramente alcalino
L11	Nogal	7,98	Moderadamente alcalino
L12	Frugal	8,73	Fuertemente alcalino
L13	Cultivo ciclo corto	7,85	Ligeramente alcalino
L14	Cultivo ciclo corto	8,67	Fuertemente alcalino
L15	Tuna	7,71	Ligeramente alcalino
L16	Testigo	8,63	Fuertemente alcalino

Realizado por: Palma, J. 2021.

La (Tabla 20 - 3), muestra el análisis de varianza para el contenido de pH del suelo a una profundidad de 30 - 60 cm. Este factor presenta diferencias altamente significativas, con un coeficiente de variación de 6,10 %.

Tabla 20-3: Análisis de varianza para el pH del suelo a una profundidad de 30 - 60 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	10,152	0,67679	16,80	0.000	**
Error	32	1,289	0,04028			
Total	47	11,441				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Palma, J. 2021.

La prueba de Tukey al 5% para pH a la profundidad de 30 - 60 cm, indica que el lote con cultivo de Frutal (L12), presenta el valor más alto con 8,73 mientras que el lote con cultivo de ajo (L3), presentó el menor valor de pH 7,21 los demás tratamientos se encuentran en niveles intermedios (Tabla 21 - 3). De acuerdo a la (Tabla 9 - 1), de interpretación de pH del suelo propuesto la USDA (1999, p. 49), los lotes se encuentran en rangos que van de moderadamente alcalinos a fuertemente alcalinos.

Tabla 21-3: Prueba de Tukey al 5% para el pH del suelo a una profundidad de 30 - 60 cm.

Denominación	Código	Media	Agrupación		
L12-Frutal	L12	8,73	A		
L14-Cultivo de ciclo corto	L14	8,67	A		
L16-Testigo	L16	8,63	A		
L6-Durazno	L6	8,59	A		
L1-Cebada	L1	8,58	A		
L8-Malvas	L8	8,39	A		
L4-Sin cultivo	L4	8,37	A	B	
L7-Barbecho	L7	8,27	A	B	
L5-Tomate	L5	8,22	A	B	
L2-Cebolla	L2	8,04	A	B	
L11-Nogal	L11	7,98		B	C
L13-Cultivo de ciclo corto	L13	7,85			C
L10-Barbecho	L10	7,72			C
L15-Tuna	L15	7,71			C
L9-Barbecho	L9	7,59			C
L3-Ajo	L3	7,21			C

Realizado por: Palma, J. 2021.

Para la profundidad de 30 - 60 cm, el valor medio de pH fue de 8,16 con un valor máximo de 8,73 en el lote con cultivo de frutal (L12) y un mínimo de 7,21 en el lote con cultivo de ajo (L3) (Gráfico 6 - 3). Estos valores de pH son similares a los reportados por Acevedo et al., (2021), en su estudio sobre el nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos, donde menciona que el pH para suelos franco arcillosos bajo cultivo se encuentran en un rango de 7,0 a 8,5.

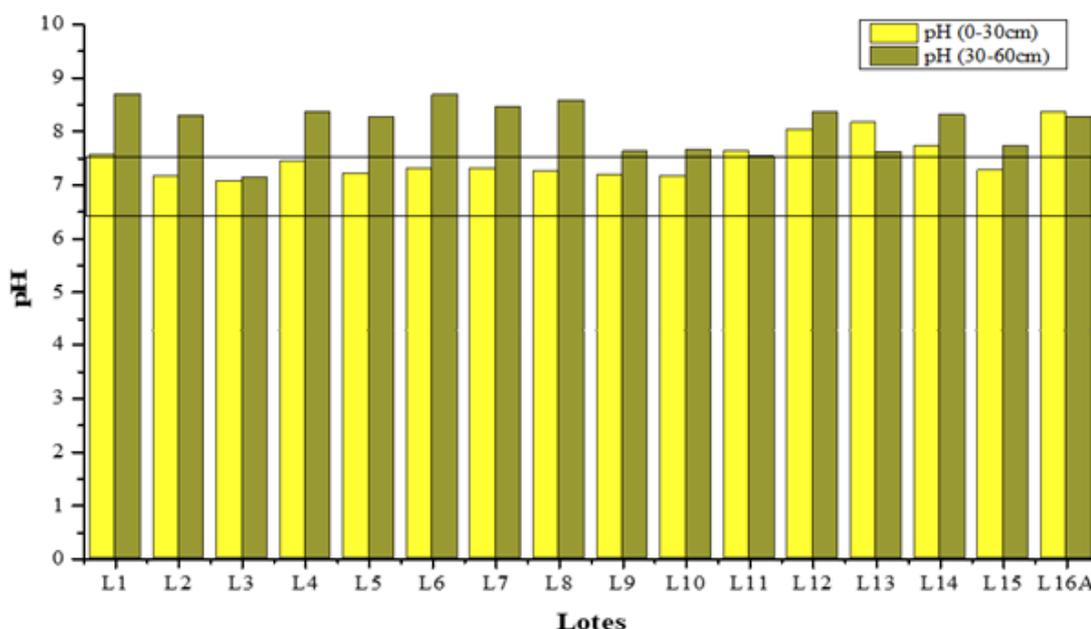


Gráfico 6-3. pH del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.

Realizado por: Palma, J. 2021.

El pH del suelo se considera como una de las propiedades químicas más importantes debido a que controla el movimiento de iones disueltos; así como la disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico y la actividad microbiana (FAO, 2009). Para que exista una máxima disponibilidad de nutrientes en el suelo el pH debe variar entre 6,5 a 7,5 (neutro). Este rango de pH facilita una mejor absorción de los nutrientes por parte de la planta (Avila 2019).

3.1.10. Materia orgánica (MO)

La (Tabla 23 - 3), se muestran el análisis de varianza para el contenido de materia orgánica a una profundidad de 0 - 30 cm. Este factor presenta diferencias altamente significativas, con un coeficiente de variación de 11,41 % y un valor medio de 0,86 %.

Tabla 22-3: Análisis de varianza para la materia orgánica a la profundidad de 0 - 30 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	5,81848	0,3878	147,30	0,000	**
Error	32	0,08427	0,0026			
Total	47	5,90275				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Palma, J. 2021.

La prueba de Tukey al 5% para el contenido de materia orgánica a la profundidad de 0 - 30 cm, indica que el lote testigo (L16), presenta el valor más alto con 1,35 %, mientras que el lote con cultivo de cebada (L1), presentó el menor valor de materia orgánica con 0,28 %, los demás tratamientos se encuentran en niveles intermedios (Tabla 23 - 3). De acuerdo a la (Tabla 10 - 1), sobre los contenidos de materia orgánica del suelo propuesto por Rioja (2002, p. 16), los lotes se interpretan dentro del rango bajo a muy bajo.

Tabla 23-3: Prueba de Tukey al 5% para la materia orgánica a la profundidad de 0 - 30 cm.

Denominación	Código	Media (%)	Agrupación
L16-Testigo	L16	1,35	A
L9-Barbecho	L9	1,34	A
L8-Malvas	L8	1,23	A B
L4-Sin cultivo	L4	1,14	B C
L7-Abejas	L7	1,12	B C
L12-Frutales	L12	1,07	C D
L10-Barbecho	L10	1,06	C D
L13-Cultivo de ciclo corto	L13	1,02	C D
L11-Nogal	L11	0,95	D
L14- Cultivo de ciclo corto	L14	0,79	E
L6-Durazno	L6	0,56	F
L2-Cebolla	L2	0,55	F
L5-Tomate	L5	0,46	F G
L3-Ajo	L3	0,46	F G
L15-Tuna	L15	0,39	G H
L1-Cebada	L1	0,28	H

Realizado por: Palma, J. 2021.

El contenido de materia orgánica del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm, presentó un valor medio de 0,86 % (Gráfico 7 - 3). De acuerdo a lo que manifiesta Suquilanda (2017, p. 55), en su estudio sobre el manejo agroecológico de los suelos indica que la degradación o cambio en el uso del suelo disminuye la materia orgánica y con ella el carbono orgánico. También el uso excesivo del suelo disminuye los contenidos de materia orgánica en pocos años, afectando su porosidad y la capacidad de retención de humedad.

El lote testigo (L16) presentan el valor más alto en materia orgánica (1,35%), es un suelo que está en descanso y al momento está ocupado por especies herbáceas. Es importante indicar también que en los primeros centímetros del suelo existe mayor actividad biológica por parte de los

microorganismos (hongos y bacterias), lo que incrementa la materia orgánica producto de la segregación de sustancias carbonadas que permiten mayor estructuración de los suelos, aumentos en la porosidad, infiltración, aireación y retención de humedad (Quiroga, Galantini y Studdert 2017, p. 6).

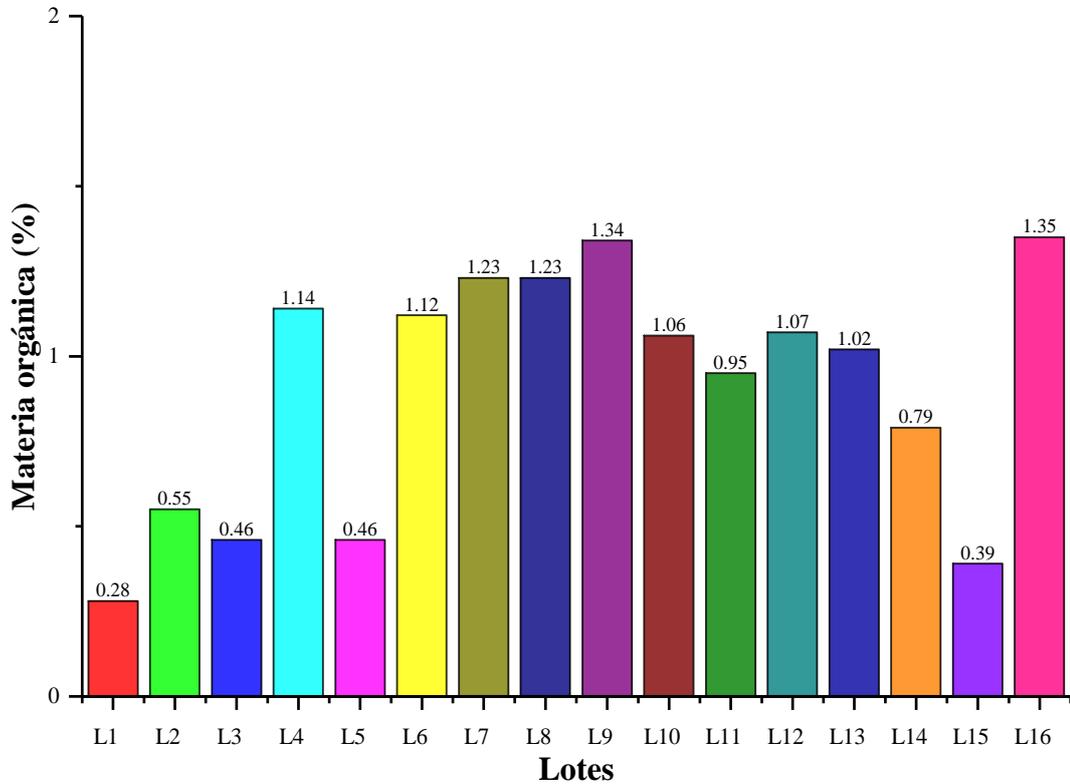


Gráfico 7-3. Materia orgánica del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm.
Realizado por: Palma, J. 2021.

La (Tabla 24 - 3), se muestran el análisis de varianza para el contenido de materia orgánica a una profundidad de 30 - 60 cm. Este factor presenta diferencias altamente significativas, con un coeficiente de variación de 14,59 % y un valor medio de 0,62 %.

Tabla 24-3: Análisis de varianza para la materia orgánica a la profundidad de 30 - 60 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	3,2829	0,2188	253,46	0,000	**
Error	32	0,0074	0,0002			
Total	47	3,2903				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Palma, J. 2021.

La prueba de Tukey al 5% para el contenido de materia orgánica a la profundidad de 30 - 60 cm, indica que el lote testigo (L16), presenta el valor más alto con 0,95%, mientras que el lote con

cultivo de cebada (L1), presento el menor valor de materia orgánica con 0,17 %, los demás tratamientos se encuentran en niveles intermedios (Tabla 25 - 3). De acuerdo a la (Tabla 10 - 1), de interpretación de materia orgánica del suelo propuesto por Rioja (2002), los lotes se clasifican dentro del rango muy bajo.

Tabla 25-3: Prueba de Tukey al 5% para la materia orgánica a la profundidad de 30 - 60 cm.

Denominación	Código	Media (%)	Agrupación
L16-Testigo	L16	0,95	A
L10-Barbecho	L10	0,90	B
L4-Sin cultivo	L4	0,86	B C
L8-Malvas	L8	0,85	C D
L9-Barbecho	L9	0,84	C D E
L13-Cultivo de ciclo corto	L13	0,81	D E F
L7-Abejas	L7	0,80	E F
L12-Frutales	L12	0,79	F
L11-Nogal	L11	0,68	G
L14- Cultivo de ciclo corto	L14	0,57	H
L6-Durazno	L6	0,40	I
L2-Cebolla	L2	0,40	I
L5-Tomate	L5	0,35	J
L3-Ajo	L3	0,31	J
L15-Tuna	L15	0,20	K
L1-Cebada	L1	0,17	K

Realizado por: Palma, J. 2021.

El análisis de materia orgánica a la profundidad de 30 - 60 cm, muestra una disminución gradualmente (Gráfico 7 - 3). El valor medio a esta profundidad fue 0,62 % con un valor máximo de 0,95 % en el lote (L16) y un valor mínimo de 0,17 en el lote (L1). Sin embargo, los lotes restantes presentan valores similares, pero de igual importancia en la zona de estudio.

Es importante indicar que estas mínimas diferencias se deben a que ciertos lotes están cubiertos o no por cobertura vegetal, por consiguiente, la cantidad de raíces por unidad de área influye en el contenido de materia orgánica. Otro de los factores que inciden en su contenido son las alteraciones a causa de la actividad agrícolas lo que ocasiona descomposición de la materia orgánica (mineralización) y liberación del carbono del suelo al aire en forma de CO₂ porque desestabiliza a los agregados y expone a la materia orgánica (Avila 2019; Vallejo et al., 2018).

De acuerdo con Brown y Cotton (2011), los suelos con incorporación de materia orgánica incrementan la capacidad de retención de humedad. También mencionan que altas cantidades de aplicación de

composta, mejoran el suelo de manera significativa, comparados con los suelos que recibieron cantidades reducidas de este elemento. Para lograr un buen rendimiento de los diferentes cultivos es primordial llevar a cabo un programa de riego eficiente. Existen factores como: el clima, suelo o sustrato, especie vegetal, fase del cultivo y sistema de riego, que influyen en este proceso.

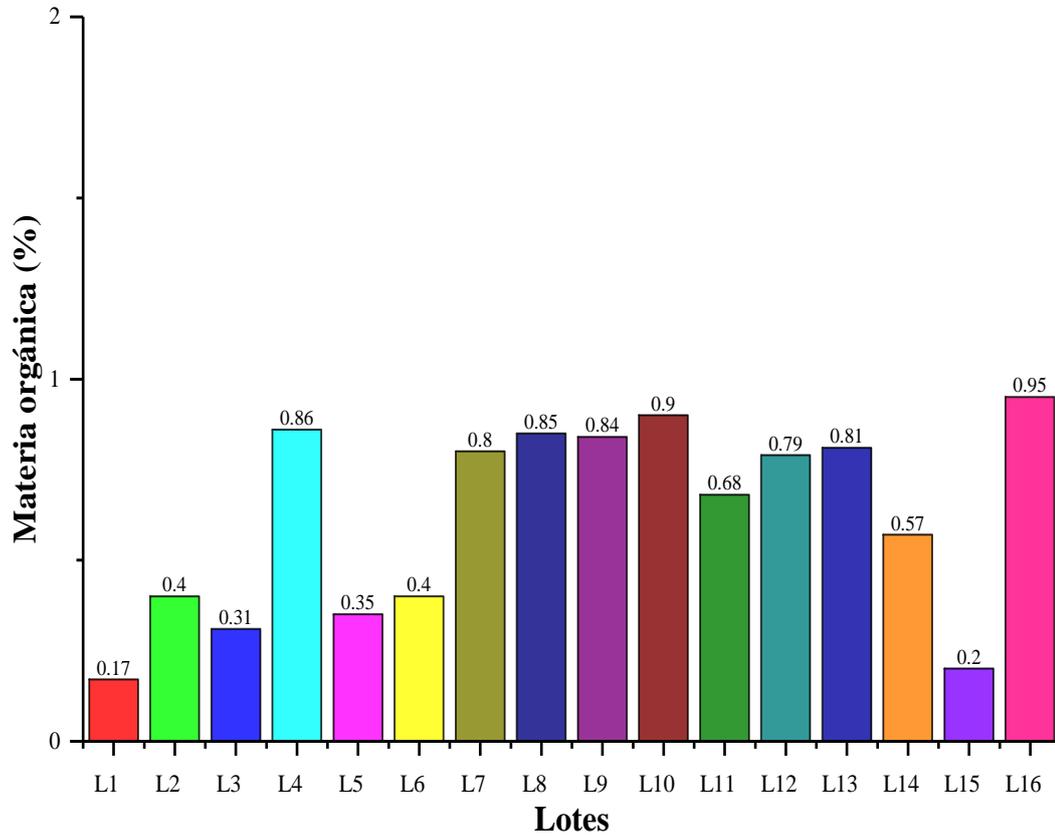


Gráfico 8-3. Materia orgánica del suelo a la profundidad de 30 - 60 cm.
Realizado por: Palma, J. 2021.

3.1.11. Carbono orgánico del suelo

El análisis de varianza para el contenido de carbono a la profundidad de 0 - 30 cm, presenta resultados altamente significativos, para todos los lotes del área de estudio con un coeficiente de variación de 11,47 % (Tabla 26 - 3).

Tabla 26-3: Análisis de varianza para el contenido de carbono a una profundidad de 0 - 30 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	1,95765	0,130510	147,30	0,000	**
Error	32	0,02835	0,000886			
Total	47	1,98600				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Palma, J. 2021.

La prueba de Tukey al 5 % para el contenido de carbono orgánico del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm, indica que el lote testigo (L16), presenta un valor alto con 0,79 %, mientras que el lote con cultivo de cebada (L1), presentó el menor valor de carbono orgánico con 0,16 %, los demás tratamientos se encuentran en niveles intermedios (Tabla 26 - 3). De acuerdo a la (Tabla 11 - 1), de interpretación de carbono orgánico del suelo propuesto por Rioja (2002, p. 12), los lotes se encuentran dentro del rango bajo.

Tabla 27-3: Prueba de Tukey al 5 % para el contenido de carbono a la profundidad de 0 - 30cm.

Denominación	Código	Media (%)	Agrupación	
L16-Testigo	L16	0,79	A	
L9-Barbecho	L9	0,78	A	
L8-Malvas	L8	0,72	A	B
L4-Sin cultivo	L4	0,66	B	C
L7-Abejas	L7	0,65	B	C
L12-Frutales	L12	0,62	C	D
L10-Barbecho	L10	0,62	C	D
L13-Cultivo de ciclo corto	L13	0,59	C	D
L11-Nogal	L11	0,55	D	
L14- Cultivo de ciclo corto	L14	0,46	E	
L6-Durazno	L6	0,33	F	
L2-Cebolla	L2	0,32	F	
L5-Tomate	L5	0,27	F	G
L3-Ajo	L3	0,27	F	G
L15-Tuna	L15	0,23	G	H
L1-Cebada	L1	0,16	H	

Realizado por: Palma, J. 2021.

Cuando se compara el contenido de carbono orgánico en suelos bajo diferentes usos y sistemas de labranza y en este caso particular con labranza convencional, la labranza rompe los agregados y expone la materia orgánica que está físicamente protegida de la degradación y mineralización del carbono; lo que trae como consecuencia una desestabilización de los agregados y su posterior disminución del contenido de carbono orgánico, de acuerdo a lo manifestado por Amores (2020).

El carbono orgánico del suelo, es el componente principal de la materia orgánica y es considerado como un indicador clave para conocer el estado, calidad y salud del suelo, en condiciones naturales el carbono es incorporado al suelo a través de residuos orgánicos especialmente de tipo vegetal según manifiesta Toledo et al., (2013, p. 207).

El secuestro de carbono al suelo es un proceso mediante el cual el carbono es fijado desde la atmósfera por las plantas durante la fotosíntesis en donde una parte queda movilizándose en los tejidos vegetales y otra parte regresa al suelo (Martínez et al., 2017, p. 113). En el (Gráfico 16 - 3), se puede observar la distribución del carbono orgánico del suelo en los diferentes lotes a una profundidad de 0 - 30 cm. El valor alto se registró en el lote testigo (L16) con 0,78 % y un valor bajo presenta el lote con cultivo de cebada (L1) con 0,16 %, estos valores están influenciados directamente por la densidad aparente y la profundidad del primer horizonte.

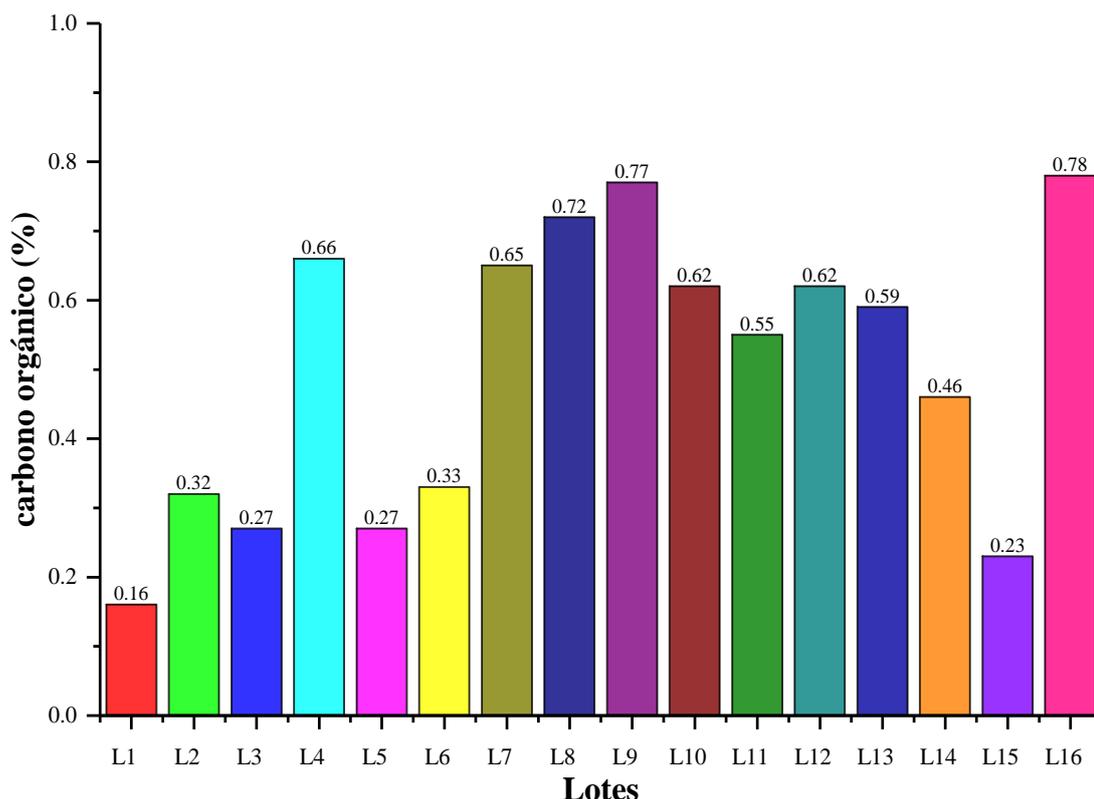


Gráfico 9-3. Carbono orgánico del suelo a una profundidad de 0 - 30 cm.

Realizado por: Palma, J. 2021.

La Tabla (28 - 3), muestra el análisis de varianza para el contenido de carbono orgánico a una profundidad de 30 - 60 cm. Este factor presenta diferencias altamente significativas, con un coeficiente de variación de 14,55 % y un valor medio de 0,36 %.

Tabla 28-3: Análisis de varianza para el contenido de carbono a una profundidad de 30 - 60 cm.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	Significancia
Factor	15	1,10454	0,073636	937,97	0,000	**
Error	32	0,00251	0,000079			
Total	47	1,10706				

Ns: No significativo, *: Significativo, **: Altamente significativo.

Realizado por: Palma, J. 2021.

La prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono a la profundidad de 30 - 60 cm, indica que el testigo (L16), presenta el valor alto con 0,55 %, mientras que el lote con cultivo de cebada (L1) presento un menor valor de carbono orgánico con 0,10 %, los demás tratamientos se encuentran en niveles intermedios (Tabla 29 - 3). De acuerdo a la (Tabla 11 - 1), de interpretación de carbono orgánico del suelo propuesto por Rioja (2002, p. 18), los lotes se encuentran dentro del rango bajo.

Tabla 29-3: Prueba de Tukey al 5% para el contenido de carbono a la profundidad de 30-60cm.

Denominación	Código	Media (%)	Agrupación
L16-Testigo	L16	0,55	A
L10-Barbecho	L10	0,52	B
L4-Sin cultivo	L4	0,50	B C
L8-Malvas	L8	0,49	C D
L9-Barbecho	L9	0,49	C D E
L13-Cultivo de ciclo corto	L13	0,47	D E F
L7-Abejas	L7	0,47	E F
L12-Frutales	L12	0,46	F
L11-Nogal	L11	0,40	G
L14- Cultivo de ciclo corto	L14	0,33	H
L6-Durazno	L6	0,23	I
L2-Cebolla	L2	0,23	I
L5-Tomate	L5	0,20	J
L3-Ajo	L3	0,18	J
L15-Tuna	L15	0,12	K
L1-Cebada	L1	0,10	K

Realizado por: Palma, J. 2021.

El mayor contenido de carbono está presente en el lote testigo (L16) con 0,55 % y el menor valor está concentrado en el lote con cultivo de cebada (L1) con 0,10 % (Gráfico 10 - 3). La estimación del carbono orgánico del suelo a esta profundidad mostró una variabilidad en toda el área de estudio. La pérdida de este elemento obedece a los constantes cambios de uso de suelo, producto de actividades antrópicas. La mayor parte de la biomasa vegetal (componentes de superficie y subterráneos) se agrega al suelo y sirve como la principal entrada de carbono orgánico en los suelos. Una de las principales causas es la intervención por labranza convencional, lo cual hace que se rompa el ciclo de formación de agregados y el carbono que es parte del suelo se ve alterado y sufre un proceso de transformación a CO₂ convirtiéndose en un gas del calentamiento global (Hayduk y Vafadari 2015, p. 21; Pardos 2010, p. 11; Sánchez et al., 2011, p. 8).

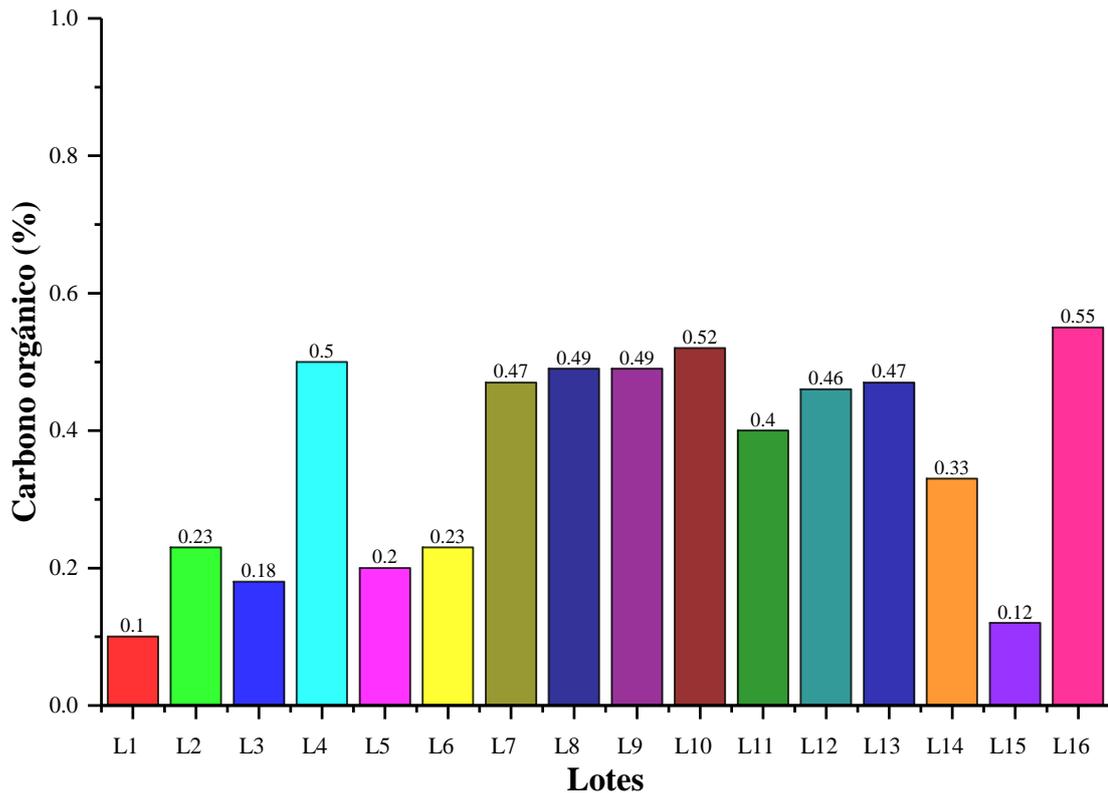


Gráfico 10-3. Carbono orgánico del suelo a una profundidad de 30 - 60 cm.
Realizado por: Palma, J. 2021.

3.1.12. Contenido de nutrientes del suelo

La (Tabla 29 - 3), muestra los resultados del análisis de suelos realizados a los 16 lotes del área de estudio; fueron analizadas en el laboratorio de análisis de suelos plantas y aguas del INIAP, Santa Catalina (Anexo 4). Para muestras tomadas a la profundidad de 0 - 30 cm, el valor máximo de 41,00 ppm presentó el lote con barbecho (L9) y corresponde a un nivel medio de nitrógeno, este lote se encuentra sin cultivo al momento de la recolección de las muestras de suelo y el valor mínimo de 18,00 ppm presentó el lote con cultivo de ciclo corto (L14) y corresponde a un nivel bajo. La labranza convencional y las actividades propias del cambio de uso de suelo puede causar disminución de este elemento, esto es lo que sucede con la mayoría de los lotes estudiados.

Al analizar las muestras de suelo de los 16 lotes, tomadas a la profundidad de 30 - 60 cm, el contenido de Nitrógeno varía de 12 a 36 ppm (Tabla 20 - 3), la interpretación para el nivel de nitrógeno, respecto a este contenido se encuentra de bajo a medio, de acuerdo a lo manifestado por Padilla (1979, p. 53), en la (Tabla 8 - 1). Es importante indicar que el nitrógeno constituye un factor limitante para los cultivos en estos suelos.

El nitrógeno al ser un elemento muy volátil se ve afectado por el proceso de la labranza convencional a través de la remoción del suelo. En la mayoría de lotes el nitrógeno disminuye

conforme se incrementa la profundidad; esto concuerda, con lo mencionado por (Avila 2019), quien indica que el proceso de lixiviación traslada al nitrógeno hacia las capas inferiores. La dinámica del nitrógeno es muy compleja y su cambio está relacionado con el contenido de materia orgánica del suelo, especialmente por ser fuente principal de nitrógeno. El nitrógeno para estar disponible en el suelo debe darse el proceso de amonificación a partir de los residuos vegetales y este a su vez es muy lento (Avila 2019, p. 40). Este elemento podría considerarse limitante en la producción, en la calidad y salud del suelo (Gráfico 11 - 3).

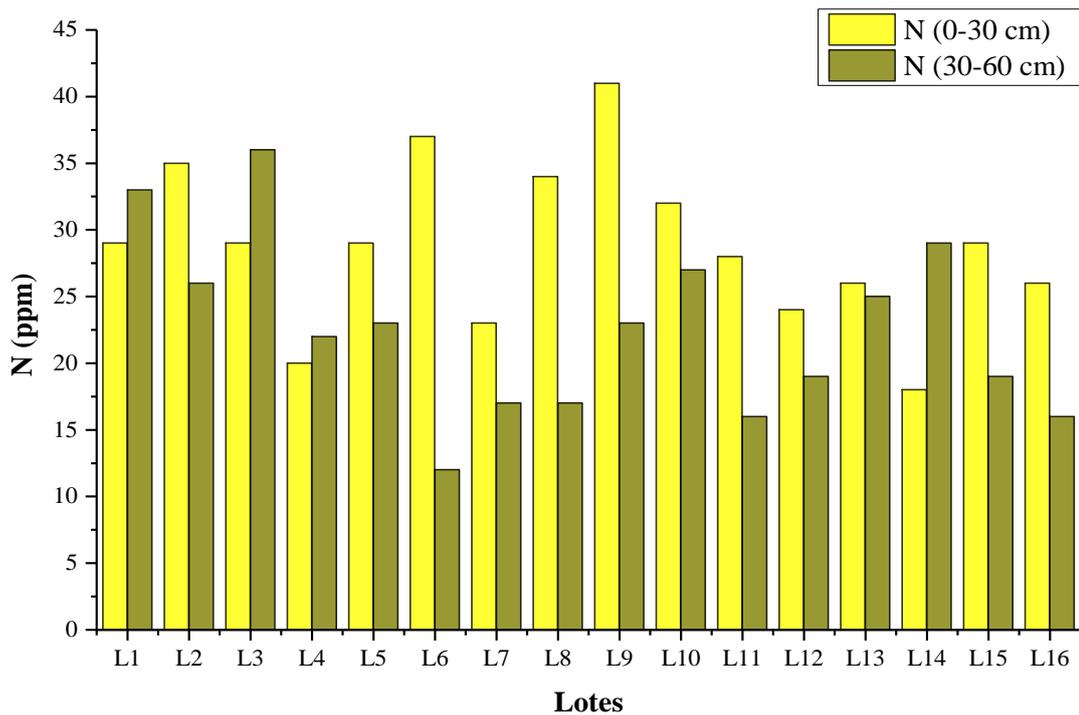


Gráfico 11-3. Nitrógeno en el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.
Realizado por: Palma, J. 2021.

El contenido de fósforo analizado a las muestras de suelo tomadas de 0 - 30 cm varió de 12 a 40 ppm (Tabla 29 - 3). Al realizar la interpretación para el nivel de fósforo (Tabla 11 - 1), su contenido se encuentra en niveles de medio a alto, este elemento podría considerarse no limitante para la calidad del suelo en función del cultivo.

El contenido de fósforo analizado a las muestras de suelo tomadas de 30 - 60 cm, varió de 6 a 19 ppm (Tabla 29 - 3), al realizar la interpretación para el nivel de fósforo (Tabla 11 - 1), el contenido de este elemento se encuentra en niveles de bajo a medio. La concentración del fósforo fue inferior en relación a la profundidad y desciende de forma gradual en los estratos subyacentes. Los contenidos típicos de fósforo total en los suelos varían de 150 a 700 ug/g (Topanta 2016, p. 8), pero aún con estas concentraciones de este elemento pueden presentarse deficiencia nutricional en los cultivos.

El fósforo puede estar presente en el suelo en cuatro formas, como componente de la materia orgánica, precipitado o adsorbido en los geles de hierro y aluminio, en suelos ácidos y precipitado como fosfato cálcico en suelos básicos muy lentamente asimilables (Plains 2015, p. 303).

La mayor parte del fósforo en el suelo se encuentra de forma inorgánica, como iones fosfato, pero su absorción puede estar limitada por la compactación que presenta el suelo en capas inferiores, por el sistema de labranza convencional aplicado en estos lotes por varios años y al haber un escaso desarrollo radicular, considerando que el fósforo es inmóvil en el suelo (Gráfico 12 - 3).

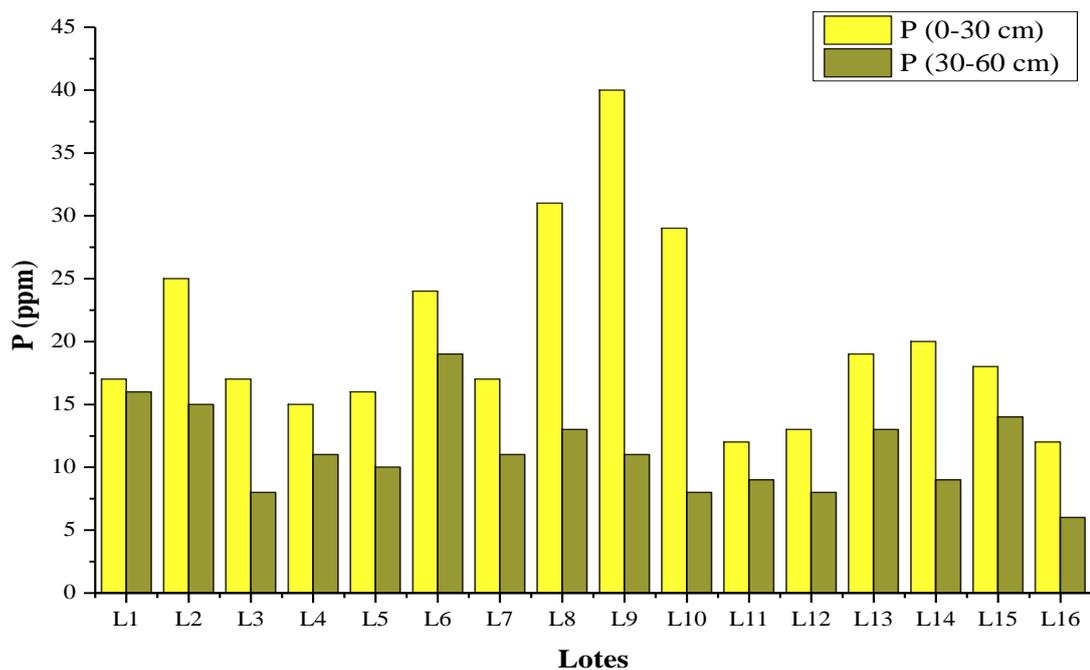


Gráfico 12-3. Fósforo en el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.

Realizado por: Palma, J. 2021.

El contenido de potasio varía de 0,43 a 1,38 meq/100g en las muestras de suelo tomadas de 0 - 30 cm, de los 16 lotes analizados (Tabla 28 - 3), al realizar la interpretación para el nivel de potasio (Tabla 11 - 1), el contenido de este elemento se encuentra en un nivel alto; esto obedece a que son suelo de origen volcánico y mantiene una estrecha relación con proporciones relativamente altas.

El potasio no constituye un elemento limitante para la producción en los lotes de suelo analizados ya que presenta nivel alto, pero es necesario tener presente que el sistema de labranza convencional no debe aplicarse en estos lotes, estos son suelos con bajo contenido de materia orgánica, con estructura suelta, bajo contenido de humedad, lo cual puede perjudicar la absorción de potasio por parte de los cultivos (Topanta 2016, p. 8).

El contenido de potasio varía de 0,23 a 0,94 meq/100g en las muestras de suelo tomadas de 30 - 60 cm (Tabla 29 - 3); al realizar la interpretación para el nivel de potasio (Tabla 12 - 1), el

contenido de este elemento se encuentra en un nivel medio a alto. La concentración de potasio es mayor en los primeros 30 cm, mientras que a la profundidad de 30 - 60 cm disminuye de manera gradual. El sistema de labranza convencional aplicado por varios años influye en los niveles de potasio del suelo (Gráfico 13 - 3).

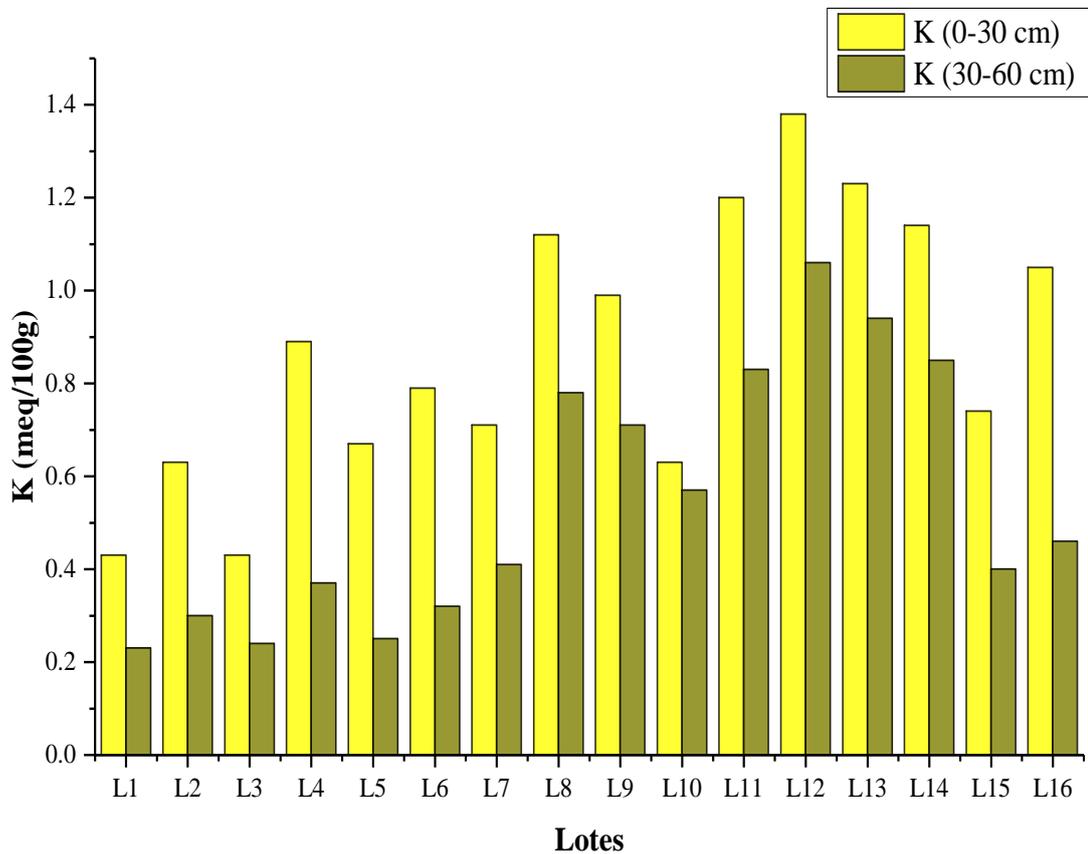


Gráfico 13-3. Potasio en el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.

Realizado por: Palma, J. 2021.

El contenido de calcio varía de 10,54 a 19,00 meq/100g en las muestras de suelo de los lotes analizados a la profundidad de 0 - 30 cm (Tabla 28 - 3), al realizar la interpretación para el nivel de calcio (Tabla 8 - 1), el contenido de este elemento se encuentra en un nivel alto. El análisis de calcio muestra ligera diferencia entre los suelos manejados con diferentes sistemas de labranza, no tiene un patrón de distribución, se supone que la aplicación de altas dosis de fertilización nitrogenada va a disminuir los niveles de calcio en el suelo debido a la lixiviación de este catión junto con los nitratos hacia capas inferiores del perfil del suelo (Mendoza et al., 2015, p. 7).

El contenido de calcio varía de 8,36 a 21,01 meq/100 en las muestras de suelo tomadas de 30 - 60 cm (Tabla 43 - 3); al realizar la interpretación para el nivel de calcio (Tabla 12 - 1), el contenido de este elemento se encuentra en el nivel alto. Este elemento no constituye un factor limitante para los suelos estudiados (Gráfico 14 - 3).

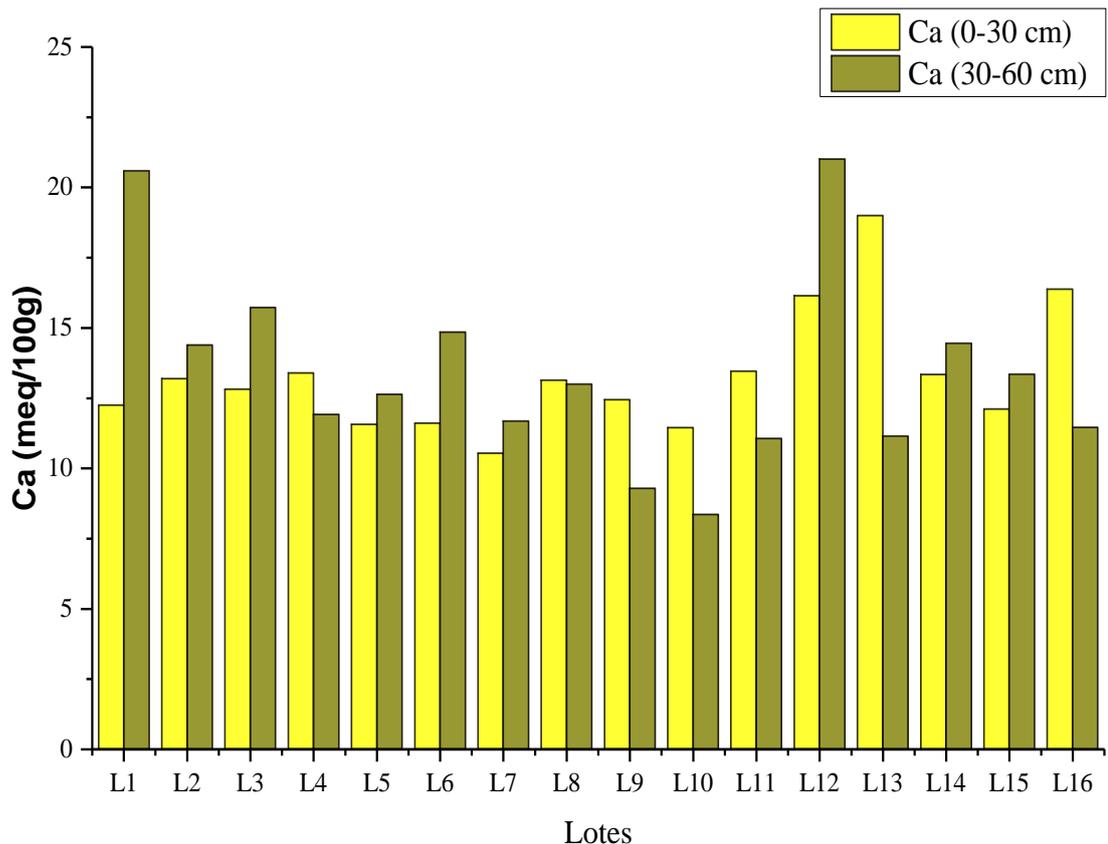


Gráfico 14-3. Calcio en el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.

Realizado por: Palma, J. 2021.

El contenido de magnesio varía de 4,58 a 7,58 meq/100g en las muestras de suelo tomadas de 0 - 30 cm (Tabla 28 - 3), al realizar la interpretación para el nivel de magnesio (Tabla 12 - 1), el contenido de este elemento se encuentra en nivel alto.

El efecto de labranza convencional sobre el magnesio fue mínimo, los suelos presentan una disponibilidad de magnesio mayor en relación con el lote testigo, es de suponer que los lotes en estudio recibieron aporte de nutrientes por la aplicación de fertilizantes en el que está incluido este elemento, considerando que es el constituyente central de la clorofila; del 15 al 20% de magnesio de la planta se encuentra en las partes verdes (Freire 2012, p. 30).

El contenido de magnesio varía de 3,96 a 6,36 meq/100 en las muestras de suelo tomadas de 30 - 60 cm (Tabla 29 - 3), al realizar la interpretación para el nivel de magnesio (Tabla 12 - 1), el contenido de este elemento se encuentra en un nivel alto, por consiguiente, este elemento no constituye limitante para el cultivo en estos suelos.

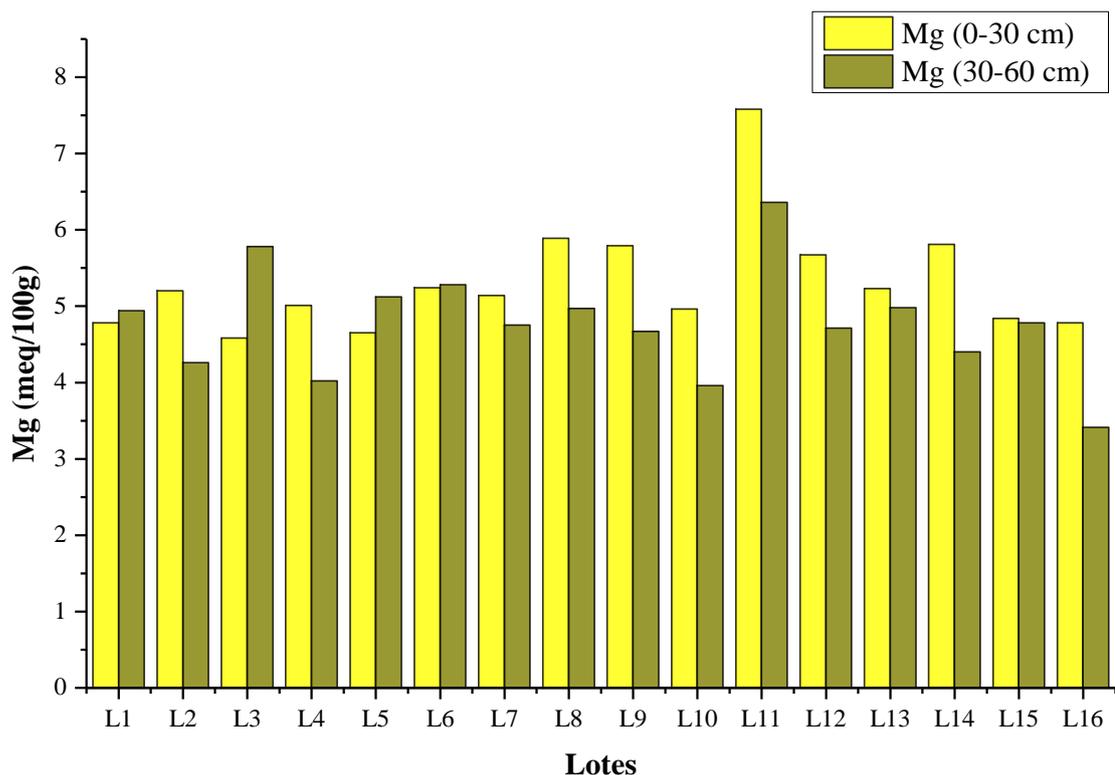


Gráfico 15-3. Magnesio en el suelo a una profundidad de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm.

Realizado por: Palma, J. 2021.

Tabla 30-3: Contenido de nutrientes del suelo a la profundidad de 0 - 30 cm.

Lote	Cultivo	N		P		K		Ca		Mg	
		ppm	Nivel	ppm	Nivel	meq/100	Nivel	meq/100	Nivel	meq/100	Nivel
L1	Cebada	29	B	17	M	0,43	A	12,25	A	4,78	A
L2	Cebolla	35	M	25	A	0,63	A	13,19	A	5,20	A
L3	Ajo	29	B	17	M	0,43	A	12,82	A	4,58	A
L4	Sin cultivo	20	B	15	M	0,89	A	13,39	A	5,01	A
L5	Tomate	29	B	16	M	0,67	A	11,56	A	4,65	A
L6	Durazno	37	M	24	A	0,79	A	11,61	A	5,24	A
L7	Barbecho	23	B	17	M	0,71	A	10,54	A	5,14	A
L8	Malvas	34	M	31	A	1,12	A	13,14	A	5,89	A
L9	Barbecho	41	M	40	A	0,99	A	12,44	A	5,79	A
L10	Barbecho	32	M	29	A	0,63	A	11,45	A	4,96	A
L11	Nogal	28	B	12	M	1,20	A	13,46	A	7,58	A
L12	Frutal	24	B	13	M	1,38	A	16,14	A	5,67	A
L13	Ccc	26	B	19	M	1,23	A	19,00	A	5,23	A
L14	Ccc	18	B	20	M	1,14	A	13,34	A	5,81	A
L15	Tuna	29	B	18	M	0,74	A	12,11	A	4,84	A
L16	Testigo A	26	B	12	M	1,05	A	16,38	A	4,78	A

Realizado por: Palma, J. 2021.

Tabla 31-3: Contenido de nutrientes del suelo a la profundidad de 30 - 60 cm.

Lote	Cultivo	N		P		K		Ca		Mg	
		ppm	Inter	ppm	Inter	meq/100	Inter	meq/100	Inter	meq/100	Inter
L1	Cebada	33	M	16	M	0,23	M	20,59	A	4,94	A
L2	Cebolla	26	B	15	M	0,30	M	14,39	A	4,26	A
L3	Ajo	36	M	8	B	0,24	M	15,73	A	5,78	A
L4	Sin cultivo	22	B	11	M	0,37	M	11,92	A	4,02	A
L5	Tomate	23	B	10	M	0,25	M	12,63	A	5,12	A
L6	Durazno	12	B	19	M	0,32	M	14,85	A	5,28	A
L7	Barbecho	17	B	11	M	0,41	A	11,68	A	4,75	A
L8	Malvas	17	B	13	M	0,78	A	13,00	A	4,97	A
L9	Barbecho	23	B	11	M	0,71	A	9,29	A	4,67	A
L10	Barbecho	27	B	8	B	0,57	A	8,36	A	3,96	A
L11	Nogal	16	B	9	B	0,83	A	11,06	A	6,36	A
L12	Frutal	19	B	8	B	1,06	A	21,01	A	4,71	A
L13	Cultivo de ciclo corto	25	B	13	M	0,94	A	11,15	A	4,98	A
L14	Cultivo de ciclo corto	29	B	9	B	0,85	A	18,45	A	4,40	A
L15	Tuna	19	B	14	M	0,40	A	13,35	A	4,78	A
L16	Testigo B	16	B	6	B	0,46	A	11,46	A	3,41	A

Realizado por: Palma, J. 2021.

3.2. Efectos que ocasiona la labranza convencional en la calidad de los suelos estudiados en la estación experimental Tunshi-ESPOCH

El contenido de materia orgánica en el suelo del área de estudio fue de 0,86 % y el carbono orgánico fue de 0,50 %. Estas dos propiedades del suelo tienen un efecto protector frente a la compactación. La adsorción de compuestos orgánicos humificados presentes en la superficie de las arcillas aumenta la porosidad intra agregados (porosidad textural) para constituir el complejo arcillo-húmico, modificando el comportamiento global de los suelos frente a la compactación y a las propiedades de retención de agua (Campitelli et al., 2010, p. 228). La labranza convencional influye en la densidad aparente del suelo.

La labranza convencional tiene efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo (materia orgánica) dependiendo de la frecuencia e intensidad de laboreo (García et al., 2018, p. 20). La tendencia en la disminución de la materia orgánica en suelos mecanizados obedece a la revuelta de los agregados por acciones antrópicas. Los métodos agrícolas de producción para cultivos se han concentrado en la labranza intensiva, suministro de insumos agrícolas para incrementar la fertilidad del suelo y el rendimiento de la cosecha.

Sin embargo, las consecuencias de la labranza intensiva son la compactación del suelo y la reducción del espacio poroso. Esta última se ve afectada sobre todo en los macroporos, quienes son encargados de facilitar las interconexiones para un adecuado movimiento del agua infiltrada a través del perfil, intercambio gaseoso y de propiciar un espacio adecuado para el crecimiento de las raíces.

3.2.1. Caracterización de la aptitud de los suelos de la estación experimental Tunshi-ESPOCH

La evaluación de tierras es un procedimiento que permite conocer el uso óptimo en relación con su potencial. A través del tiempo no se han aplicado metodologías para la evaluación de este recurso. Uno de los métodos más utilizados es el propuesto por la FAO, (1976), el cual consta de 5 clases de aptitud: 1) muy apto; 2) moderadamente apto; 3) marginalmente apto; 4) no apto temporalmente y 5) permanentemente no apto. En la (Tabla 32 - 3) se presenta las categorías de aptitud asignadas y un resumen de los criterios establecidos para clasificar cada una de las variables (Trabichet 2020, p. 54).

Tabla 32-3: Clasificación de las variables edáficas según su grado de aptitud.

	Muy Apto	Apto	Moderadamente Apto	Marginalmente Apto	No Apto
Profundidad (cm)	>=100	80-100 cm	60-80 cm	>0-60 cm	0 cm
Textura	Franca	Franco arenosa, franco arcillosa y franco arcillo limosa	Arcillosa	Arenosa franca, arenosa	Areno-gravilosa, arenogravosa, areno-gravilosa, arenoso gruesa, no determinada
Drenaje	Bien drenadas sin limitaciones	Bien drenado asociado a drenaje deficiente asociado a limitante terciaria, moderado	Drenaje algo excesivo asociado a baja retención de humedad como limitante secundaria	Drenaje imperfecto, drenaje excesivo, drenaje algo excesivo asociado a baja retención de humedad como limitante primaria	Drenaje deficiente como limitante primaria, afloramientos rocosos, drenaje excesivo, lagunas, salinas
Rociedad	Unidades sin limitantes de rocosidad, ni clasificación “interfiere en labranza”, sin pedregosidad en las descripciones de suelos	Unidades con menos de 35% de rocosidad en el perfil según descripción de suelos	Unidades que por las características de sus suelos presentan baja pedregosidad pero están clasificados como “interfiere labranza”	Unidades que según la descripción de suelos presentan abundante pedregosidad y que se clasifican como “interfiere labranza”	Unidades con “interfiere labranza” o que presentan rocosidad como limitantes, afloramientos rocosos, lagunas, salinas
Salinidad	No sódico. Sin limitantes.	Ninguna unidad cartográfica	Ninguna unidad cartográfica	Alcalinidad débil sin limitantes	Alcalinidad débil, salinidad y/o alcalinidad en primeros 50 cm como limitantes. Alcalinidad fuerte
Anegamiento	Sector medio, apical, o superior de cono, llanuras y llanuras extendidas, planicies arenosas, explanadas, lomas, laderas escarpadas, laderas empinadas y pendientes escarpadas	Planicies	Vías de escurrimientos	Bajos, planos inundables y planicies inundables	Planos aluviales, afloramientos rocosos, lagunas y salinas

Fuente: Trabichet, (2020).

Realizado por: Palma, J. 2021.

Tabla 33-3: Propiedades físicas y químicas del suelo a una profundidad de 0 - 30 cm.

No	ID Campo	Profundidad (cm)	pH	CE (µS/cm)	Color		Textura	Estructura	Dap (g/cm ³)	Humedad (%)	Espacio Poroso (%)	MO (%)	COT (%)	N (ppm)	P (ppm)	K (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)
					Húmedo	Seco												
1	L1-Cebada	0 - 30	7,36	0,13	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	FA	Suelta	1,37	10,17	45,82	0,28	0,16	29	17	0,43	12,25	4,78
2	L2-Cebolla	0 - 30	7,50	0,18	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	FA	Suelta	1,37	11,37	45,96	0,55	0,32	35	25	0,63	13,19	5,20
3	L3-Ajo	0 - 30	8,08	0,15	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	FA	Suelta	1,38	8,81	45,55	0,46	0,27	29	17	0,43	12,82	4,58
4	L4-Sin cultivo	0 - 30	7,76	0,10	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	FA	Suelta	1,42	7,18	44,07	1,14	0,66	20	15	0,89	13,39	5,01
5	L5-Tomate	0 - 30	7,42	0,11	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	FA	Suelta	1,36	12,01	46,14	0,46	0,27	29	16	0,67	11,56	4,65
6	L6-Durazno	0 - 30	7,52	0,08	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	FA	Suelta	1,33	11,04	47,45	0,56	0,33	37	24	0,79	11,61	5,24
7	L7-Barbecho	0 - 30	7,45	0,05	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	FA	Suelta	1,43	6,40	43,74	1,12	0,65	23	17	0,71	10,54	5,14
8	L8-Malvas	0 - 30	7,41	0,10	7.5 YR 3/3	7.5 YR 3/4	FA	Suelta	1,46	6,74	42,33	1,23	0,72	34	31	1,12	13,14	5,89
9	L9-Barbecho	0 - 30	7,31	0,10	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	FA	Suelta	1,40	7,19	44,64	1,33	0,77	41	40	0,99	12,44	5,79
10	L10-Barbecho	0 - 30	7,27	0,09	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	FA	Suelta	1,47	6,80	42,01	1,06	0,62	32	29	0,63	11,45	4,96
11	L11-Nogal	0 - 30	7,51	0,06	7.5 YR 3/3	7.5 YR 3/4	FA	Suelta	1,48	8,48	41,63	0,95	0,55	28	12	1,20	13,46	7,58
12	L12-Frutal	0 - 30	7,95	0,07	7.5 YR 3/3	7.5 YR 3/4	FA	Suelta	1,39	8,63	45,06	1,07	0,62	24	13	1,38	16,14	5,67
13	L13-Ccc	0 - 30	8,26	0,10	7.5 YR 3/3	7.5 YR 3/4	FA	Suelta	1,41	7,72	44,41	1,02	0,59	26	19	1,23	19,00	5,23
14	L14-Ccc	0 - 30	7,71	0,08	7.5 YR 3/3	7.5 YR 3/4	FA	Suelta	1,44	9,88	43,16	0,79	0,46	18	20	1,14	13,34	5,81
15	L15-Tuna	0 - 30	7,27	0,07	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	FA	Suelta	1,32	10,05	47,84	0,39	0,23	29	18	0,74	12,11	4,84
16	L16-Testigo A	0 - 30	8,34	0,11	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	FA	Suelta	1,31	12,65	48,21	1,34	0,78	26	12	1,05	16,38	4,78

Realizado por: Palma, J. 2021.

En el área de estudio se determinó que la aptitud del suelo corresponde a la clase MARGINALMENTE APTO considerando que el suelo presenta una textura arenosa, este tipo de textura permite una exploración radicular buena, presenta baja retención hídrica. El drenaje en este tipo de suelo debería ser bueno, pero la presencia de capas endurecidas en niveles inferiores dificulta el drenaje. El contenido de pedregosidad es menor al 5 %. El pH de estos suelos se encuentra entre neutros a ligeramente alcalinos, el anegamiento corresponde a un sector con una topografía plana (2%) (Tabla 33 - 3). Como medida para evitar la degradación del suelo por labranza convencional se requiere contar con datos de las propiedades físicas, químicas y biológicas tomados por varios años, los mismos que sirven de insumo para el diseño de prácticas de manejo sostenibles para lograr calidad y salud del suelo.

3.2.2. Requerimiento de cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*)

La cebada (*Hordeum vulgare*) al igual que cualquier cultivo prefiere suelos de buena calidad (fértiles), sin embargo, puede dar una buena producción en suelos poco profundos y pedregosos, siempre y cuando no falte el suministro de agua, especialmente en la etapa de desarrollo. Es un cultivo que tolera bien el exceso de salinidad en el suelo. Si el suelo está compactado no produce bien debido a que le cuesta trabajo desarrollar su sistema radicular, sobre todo en la etapa inicial.

Tabla 34-3: Requerimientos mínimos y máximos para el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*).

Elemento	Requerimiento	Valoración del suelo Tunshi	Valores normalizados
Textura	Franco	Franco arenosa	
Estructura	Suelta	Suelta	
Humedad (%)	14 - 20	9,07	-0,82
Densidad aparente (g/cm ³)	< 1,4	1,20	0
Porosidad (%)	45 - 55	54,88	0
Conductividad eléctrica (dS/m)	< 2	0,10	0
pH	6,5 - 7,5	7,63	1,13
Materia orgánica (%)	1 - 2	0,86	-0,14
Carbono orgánico (%)	0,8 - 1,6	0,50	-0,30
Nitrógeno (ppm)	> 35	28,75	0,82
Fósforo (ppm)	> 20	20,31	0
Potasio (meq/100g)	0.30	0,87	2,9
Calcio (meq/100g)	0.21	13,30	
Magnesio (meq/100g)	0,37	5,32	

Fuente: Garofalo (2012).

Realizado por: Palma, J. 2021.

Tabla 35-3: Valores normalizados e índice de aptitud agrícola del suelo bajo sistema de labranza convencional para el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*).

Propiedad	Valores normalizados
Humedad (%)	-0,82
Densidad aparente (g/cm ³)	0
Porosidad (%)	0
Conductividad eléctrica (dS/m)	0
pH	1,13
Materia orgánica (%)	-0,14
Carbono orgánico (%)	-0,30
Nitrógeno (ppm)	-0,82
Fósforo (ppm)	0
Potasio (meq/100)	2,9
Sumatoria	3,59
Índice de aptitud agrícola	0,59

Realizado por: Palma, J. 2021.

Analizados los requerimientos del cultivo de cebada con respecto a los valores mínimos y máximos (Tabla 33 - 3) y (Tabla 34 - 3) en relación con los valores obtenidos en el análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo se puede decir que corresponde a la clase 3 siendo de MODERADA CALIDAD (Cantú 2009, p. 176) para este tipo de cultivo (Tabla 1 - 1).

3.2.3. Requerimiento de cultivo de cebolla

La cebolla (*Allium cepa*) es un cultivo de importancia mundial, alcanza una producción de 35 t/ha y consume aproximadamente 128 kg/ha de N; 24 kg/ha de P; 99 kg/ha de K; 28 kg/ha de Ca y 6,3 kg/ha de Mg. Un desequilibrio nutricional trae como consecuencia baja producción. Los niveles nutricionales necesarios para el cultivo se detallan a continuación (Tabla 36 - 3):

Tabla 36-3: Requerimientos mínimos y máximos para el cultivo de cebolla (*Allium cepa*).

Elemento	Requerimiento	Valoración del suelo Tunshi	Valores Normalizados
Textura	Franco	Franco arenosa	
Estructura	Suelta	Suelta	
Humedad (%)	12 - 18	9,07	-0,48
Densidad aparente (g/cm ³)	< 1,4	1,20	0
Porosidad (%)	45 - 55	54,88	0
Conductividad eléctrica (dS/m)	< 2	0,10	0
pH	6 - 7	7,63	1,63
Materia orgánica (%)	1 - 2	0,86	-0,14
Carbono orgánico (%)	0.9 - 1,7	0,50	-0,5
Nitrógeno (ppm)	> 20	28,75	0
Fósforo (ppm)	> 25	20,31	0,81
Potasio (meq/100g)	0,092	0,87	
Calcio (meq/100g)	0.051	13,30	
Magnesio (meq/100g)	0.019	5,32	

Realizado por: Palma, J. 2021.

Tabla 37-3: Valores normalizados e índice de aptitud agrícola del suelo bajo sistema de labranza convencional para el cultivo cebolla (*Allium cepa*).

Propiedad	Labranza Convencional
Humedad (%)	-0,48
Densidad aparente (g/cm ³)	0.
Porosidad (%)	0
Conductividad eléctrica (dS/m)	0
pH	1,63
Materia orgánica (%)	-0,14
Carbono orgánico (%)	-0,5
Nitrógeno (ppm)	0
Fósforo (ppm)	0.81
Sumatoria	1.32
Índice de aptitud agrícola	0,26

Realizado por: Palma, J. 2021.

Analizados los requerimientos del cultivo de cebolla con respecto a los valores mínimos y máximos (Tabla 36 - 3) y (Tabla 37 - 3) en relación con los valores obtenidos en el análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo se puede decir que corresponde a la clase 4 siendo de BAJA CALIDAD (Cantú 2009, p. 176) para este tipo de cultivo (Tabla 1 - 1).

CONCLUSIONES

Los suelos del área de estudio presentan una textura franco - arenosa, con estructura suelta. La densidad aparente con promedio de $1,40 \text{ g/cm}^3$ a la profundidad de 0 - 30 cm y de 30 - 60 cm con un valor de $1,47 \text{ g/cm}^3$. El porcentaje de porosidad se encuentra entre 38,19 % y 45,56 %, disminuyendo la porosidad a mayor profundidad por efecto del sistema de labranza convencional que se aplica para los diferentes cultivos por muchos años consecutivos. El color del suelo en estado húmedo y seco predomina el marrón oscuro 7.5 YR 3/2 y 7.5 YR 3/3; El contenido de humedad se encuentra entre 6,40% a 12,65% a la profundidad de 0 - 30 cm y de 5,39% a 10,21% a la profundidad de 30 – 60 cm, constituyendo este factor en un limitante para los cultivos.

El pH del suelo se encuentra entre 7,27 a 8,34 a la profundidad de 0 - 30 cm y de 7,21 a 8,73 a la profundidad de 30 - 60 cm, lo que corresponde a un pH neutro a moderadamente alcalino, es necesario tener presente en los abonamientos y fertilizaciones a aplicar en los diferentes cultivos. El bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno y carbono orgánico favorece a que exista baja capacidad de intercambio catiónico, por lo cual se puede considerar como suelos moderadamente aptos para los cultivos. Los niveles de fósforo, potasio, calcio y magnesio se encuentran de medio a alto por lo cual no constituyen elementos limitantes para los cultivos, siempre que se aplique un sistema de labranza de conservación.

Considerando las propiedades físicas y químicas de los diferentes lotes de suelo analizadas y tomando como referencia los cultivos de cebada y cebolla; los suelos estudiados se encuentran en la clase 3 que corresponde a moderada calidad con respecto al cultivo de cebada, mientras que para el cultivo de cebolla los suelos estudiados se encuentran en la clase 4 que corresponde a baja calidad.

Los suelos del área de estudio al ser franco arenosos, le confiere cierta susceptibilidad a la compactación tanto superficial como sub- superficial; sin embargo, a pesar de que estos suelos son relativamente planos, debido a la alta facilidad para separarse tanto por el impacto de las gotas de lluvia, como por el humedecimiento de las partículas predominantes, se concluye que la labranza convencional afecta la porosidad reduciendo su espacio poroso.

La comparación de suelos bajo diferentes cultivos y labranza convencional muestra que el factor mecánico modifica las propiedades físicas del suelo generando diferencias en la capa superficial, este problema se evidenció donde se encontró que los lotes sometidos a labranza presentaron valores superiores ($1,48 \text{ g/cm}^3$) de densidad aparente en comparación con el testigo ($1,31 \text{ g/cm}^3$), condición que se encuentra relacionada con el uso de maquinaria agrícola.

RECOMENDACIONES

Realizar seguimiento y monitoreo periódico de los lotes en estudio para estimar la variación de las propiedades físico químicas del suelo en el transcurso del tiempo, no utilizar sistema de labranza convencional con la finalidad de evitar compactación de capas inferiores.

Dar continuidad a esta investigación para generar una base de datos que permitan determinar el índice de aptitud agrícola en otros lotes de la estación y para varios cultivos.

La tendencia actual en el laboreo de suelos debe ser hacia el uso de sistemas de labranza de conservación que permita un ahorro de energía y además un mejoramiento en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, I.; et al. Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. II. Calidad del suelo, *Bioagro*, [en línea], 2021, vol. 33, no. 2, pp. 127-134.

AMORES, M. "Efecto de prácticas de manejo del suelo y sus interacciones en la dinámica del carbono orgánico del suelo: Revisión de Literatura". [en línea], 2020, S.l.: Zamorano.

AMOROCHO, C.; et al. "Efecto del sistema de labranza conservacionista en las propiedades de los suelos de ladera en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)". *Ingeniería y Región* [en línea], 2011, vol. 29, pp. 113-121. Disponible en: <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/778>.

ANDRADE, H.; et al. "Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en Piedras, Tolima, Colombia". *Agronomía Mesoamericana*, [en línea], 2016, vol. 27, no. 2, pp. 233. ISSN 1021-7444. DOI 10.15517/am.v27i2.24359.

AVILA, O. Efecto de la labranza convencional y siembra directa en las propiedades químicas de un suelo sembrado con maíz y fréjol (Trabajo de titulación). (Pregrado), [en línea], 2019. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19032>.

BÁEZ, M., & AGUIRRE, J. "Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo". *Terra Latinoamericana* [en línea], 2011, vol. 29, pp. 113-121. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n2/2395-8030-tl-29-02-00113.pdf>.

BAUTISTA, A.; et al. "La calidad del suelo y sus indicadores". *Ecosistemas*, [en línea], 2004, vol. 13, no. 2, pp. 90-97. ISSN 00068969.

BERETTA, A.; et al. "¿Medir el pH del suelo en la mezcla suelo: agua en reposo o agitando?" *Agrociencia Uruguay*, [en línea], 2014, vol. 18, no. 2, pp. 90-94. ISSN 2301-1548. DOI 10.2477/vol18iss2pp90-94.

BOADA, R., & ESPINOZA, J. "Factores que limitan el potencial de rendimiento del maíz de polinización abierta en campos de pequeños productores de la Sierra de Ecuador". *Siembra*, [en línea], 2016, vol. 3, pp. 67-82.

BROWN, S., & COTTON, M. "Changes in soil properties and carbon content following compost application: Results of on-farm sampling". *Compost Science & Utilization*, [en línea], 2011, vol. 19, no. 2, pp. 87-96.

BURBANO, H. "El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria". *Revista de Ciencias Agrícolas*, [en línea], 2016, vol. 33, no. 2, pp. 117-124. ISSN

0120-0135. DOI 10.22267/rcia.163302.58.

CAIRO, P. La fertilidad física del suelo y la agricultura orgánica en el trópico. (Trabajo de titulación). (Pregrado), S.l.: Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. 1995. pp. 1-231.

CAMARGO, J.; et al. "Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia". *Acta Agronomica*, [en línea], 2012, vol. 61, no. 2, pp. 151-165. ISSN 01202812.

CAMPITELLI, P.; et al. "Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba". *Ciencia del Suelo*, [en línea], 2010, vol. 28, no. 2, pp. 223-231. ISSN 03263169.

CANTÚ, M.; et al. "Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices". *Ciencia del suelo*, [en línea], 2007, vol. 25, no. 2, pp. 173-178. ISSN 1850-2067. DOI <http://dx.doi.org/10.1186/1472-6947-9-39>.

CARGUA, F.; et al. "Analytical methods comparison for soil organic carbon determination in Andean Forest of Sangay National Park-Ecuador". *Acta Agronomica*, [en línea], 2017, vol. 66, no. 3, pp. 408-413. ISSN 01202812. DOI 10.15446/acag.v66n3.52467.

CASTELLANOS, I.; et al. "Procesos físicos del suelo en la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria: Atributos para su conservación". *Revista Terra Latinoamericana*, [en línea], 2017, vol. 35, no. 1, pp. 51-64. ISSN 2395-8030. DOI 10.28940/terra.v35i1.241.

CHAMBERS, F.; et al. "Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics". *Mires and Peat* [en línea], 2011, vol. 7, no. 7, pp. 1-10. Disponible en: <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map07/map0707.php>.

CIANCAGLINI, N. Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. 2010. R- 001, pp. 1-10.

CREMONA, M., & ENRIQUEZ, A. "Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica". *EEA Bariloche*, [en línea], 2020, vol. 73, pp. 5-8.

CRUZ, J. Evaluación del efecto de tres sistemas de labranza sobre la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, en la irrigación majes. (Trabajo de titulación). (Pregrado), 2018. S.l.: s.n.

CRUZ, M.; et al. "Diseño de un nuevo apero para la labranza conservacionista de los suelos

cañeros". *Revista Ingeniería Agrícola*, [en línea], 2018, vol. 8, no. 1, pp. 47-53. ISSN 2227-8761.

DEMUNER, G.; et al. "Efecto de labranza y mejoradores de suelo en humedad y desarrollo radicular". *Tecnología y ciencias del agua* [en línea], 2014, vol. 5, no. 2, pp. 123-130. ISSN 2007-2422. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000200008 &lang=pt.

DURÁN, A. Propiedades hídricas de los suelos. Cátedra de Edafología. Área de Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía. (Trabajo de titulación). (Pregrado), 2000, pp. 1-45.

FAO. A framework for Land Evaluation. *Soils Bulletin*, [en línea], 1976, vol. 32.

FAO. Guía para la descripción de suelos. Roma, Italia: [en línea], 2009.

FREIRE, M. Evaluación en fertilización de NPK-Ca en el cultivo de *Alstroemeria hybrida*. (Trabajo de titulación). (Pregrado), Universidad Técnica de Ambato - Ecuador. 2012. pp. 1-91.

GARCÍA, D.; et al. "Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físico-químicas y microbiológicas en un Inceptisol". *Revista de Ciencias Agrícolas*, [en línea], 2018, vol. 35, no. 1, pp. 16-25. ISSN 0120-0135. DOI 10.22267/rcia.183501.79.

GARCÍA, R. "Efecto de sistemas de labranza en propiedades físicas del suelo y desarrollo radicular del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.)". *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, [en línea], 2015, vol. 18, no. 35, pp. 109-113. ISSN 1682-3087.

GARCÍA, Y.; et al. "Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este curso". *Pastos y Forrajes* [en línea], 2012, vol. 35, no. 2, pp. 125-138. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001.

GAROFALO, J. Extracción de nutrientes por el cultivo de cebada. (Trabajo de titulación). (Pregrado), 2012, pp. 1-71.

GÓMEZ, J.; et al. "Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*". *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* [en línea], 2011, vol. 17, no. 2, pp. 261-272. ISSN 01863231. DOI 10.5154/r.rchscfa.2010.11.117. Disponible en: http://portal.chapingo.mx/revistas/forestales/contenido.php?id_articulo=1174?id_revistas=3?id_revista_numero=109.

GÓMEZ, N.; et al. "La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria)". *Tecnología en Marcha*, [en línea], 2018, vol. 31, no. 1, pp. 167-177. ISSN 0379-3982. DOI 10.18845/tm.v31i1.3506.

HAYDUK, D., & VAFADARI, K. Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático. *Fao*, 2015, pp. 4.

HOFSTEDE, R.; et al. "Impact of Pine Plantations on Soils and Vegetation in the Ecuadorian High Andes". *Mountain Research and Development* [en línea], 2002, vol. 22, no. 2, pp. 159-167. ISSN 0276-4741. DOI 10.1659/0276-4741(2002)022[0159:IOPPOS]2.0.CO;2. Disponible en: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1659/02764741%282002%29022%5B0159%3AIOPPOS%5D2.0.CO%3B2>

HOLDRIGE, L. *Ecología Basada en Zonas de Vida*. Segunda Ed. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1982, pp. 1-216.

INIAP. *Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del Ecuador*. [en línea], 1979. Disponible en: http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc_322est.pdf.

ISAZA, G.; et al. "Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica". *Universidad y ciencia* [en línea], 2009 vol. 25, no. 3, pp. 233-243. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792009000300005.

JARAMILLO, D. *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, 2002, pp. 1-619.

JAURIXJE, M.; et al. "Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara". *Biaogro* [en línea], 2013, vol. 25, no. 1, pp. 47-56. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85726736002>.

LLAMBÍ, L.; et al. *Páramos Andinos: Ecología, hidrología y suelos de páramos* [en línea]. 2012, pp. 1-280. ISBN 9789942115492. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56477.pdf>.

LOCATELLI, B., & SYLVAIN, L. "Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile)". *Bois et Forêts des Tropiques*, [en línea], 2001, vol. 267, no. 1, pp. 69-81.

MARTÍNEZ, J.; et al. Carbono y nitrógeno recalcitrante en un suelo con dos sistemas de labranza: efectos del largo plazo. *III Jornadas Nacionales de Suelos de Ambientes Semiáridos-II Taller Nacional de Cartografía Digital*, 2017, pp. 110-115. ISSN 1999-4125.

MENDOZA, B.; et al. "Efecto de posición fisiográfica y profundidad en dos sistemas de labranza sobre atributos de un suelo de Turén". *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, [en línea], 2015, vol. 33, pp. 1-12.

MINITAB. *Getting Started with Minitab 17*. Minitab. *Reference manual* [en línea], 2016, pp. 88. Disponible en: https://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/getting-started/_GettingStarted-en.pdf.

MUÑOZ, J.; et al. "Propiedades físicas de un andosol mólico bajo labranza de conservación".

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, [en línea], 2016, vol. 1, pp. 151-162.

OCAÑA, E., & PITTALUGA, A. Unidad 3: Propiedades de los Suelos. *Edafología*, [en línea], 2016, pp. 41-60.

OLGUÍN, J.; et al. "Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal". *IDESIA*, [en línea], 2017, vol. 35, no. 1, pp. 51-61. DOI 10.4067/S0718-34292017005000018.

PADILLA, W. Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del Ecuador. [en línea]. 1979, Quito, Ecuador: Disponible en: <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>.

PARDOS, J., Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Madrid. INIA 2010, pp. 1-253. ISBN 978-84-7498-529-0.

PAZ, F.; et al. Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avan. Texcoco, Estado de México: Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Sociedad Mexicana de Ciencias del Suelo. 2013, ISBN 9786079649005.

PLAINS, P.E. "Indicadores químicos de calidad de suelos en sistemas productivos del Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia". *Acta Agronomica*, [en línea], 2015, vol. 64, no. 4, pp. 51-61. , vol. 64, pp. 302-307.

QUIROGA, A.; et al. "La materia orgánica como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por el manejo". *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*, September, 2017, pp. 53-89. DOI 10.1016/j.eja.2016.09.01310.1016/j.eja.2016.09.01.

RIOJA, M. Apuntes de Fitotecnia General. Ciudad Real, España: E.U.I.T.A. 2002, pp. 1-58.

RÍOS, M.; et al. "Estudio exploratorio de las propiedades físicas de suelos y su relación con los deslizamientos superficiales: Cuenca del río Maracay, estado Aragua-Venezuela". *Revista Geográfica Venezolana*, [en línea], 2010, vol. 51, no. 2, pp. 225-247. ISSN 10121617.

RODRÍGUEZ, A.; et al. "Propiedades del suelo bajo la acción de dos sistemas de labranza en el maíz". *Revista Ingeniería Agrícola*, [en línea], 2015, vol. 5, no. 4, pp. 52-57.

RODRIGUEZ, H., & RODRIGUEZ, J. Métodos de análisis de suelos y plantas: Criterios de interpretación. S.l.: Trillas, 2015, pp. 1-288.

RODRÍGUEZ, M., & CARGUA, F. Elaboración de un inventario forestal multipropósito con énfasis en el contenido de carbono de las diferentes clases de uso de tierra, parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo. Trabajo de titulación. (Pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2013, pp. 1-199.

ROMERO, D. Evaluación del estado actual de degradación del suelo en agroecosistemas de cacao y pasto en la Granja Santa Inés. Trabajo de titulación. (Pregrado), Universidad Técnica de Machala, 2017, pp. 1-88. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11349%0Ahttp://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13852/3/DE00006_TRABAJODETITULACION2.pdf.

ROSALES, C. Evaluación de niveles de nitrógeno, fósforo, potasio y cuantificación de la absorción de macronutrientes en cuatro cortes para el cultivo de hierba mora (*Solanum americanum Miller*) en Tecpán, Chimaltenango, Guatemala, C.A. Trabajo de titulación. (Pregrado), Universidad San Carlos de Guatemala, 2011, pp. 1-50.

ROSSI, A.M., & RABENHORST, M.C. "Organic carbon dynamics in soils of Mid-Atlantic barrier island landscapes". *Geoderma* [en línea], 2019, vol. 337, no. July, pp. 1278-1290. ISSN 00167061. DOI 10.1016/j.geoderma.2018.10.028. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.028>.

SÁNCHEZ, R.; et al. "Contenido de carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico". *Terra Latinoamericana*, [en línea], 2011, vol. 29, no. 2, pp. 211-219. ISSN 0187-5779.

SUQUILANDA, M. Manejo agroecológico de suelos. Primera ed. Quito, Ecuador: Medios Públicos EP. 2017, pp. 1-292.

TOAPANTA, O. Efecto de labranza convencional y siembra directa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y en la producción de tres cultivos de la sierra [en línea]. (Trabajo de titulación). (Pregrado), Universidad Central del Ecuador, 2016, pp. 1-81. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2009.07.006%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.neps.2015.06.001%0Ahttps://www.abebooks.com/Trease-Evans-Pharmacognosy-13th-Edition-William/14174467122/bd>.

TOLEDO, D.; et al. "Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados". *Ciencia del suelo*, [en línea], 2013, vol. 31, no. 2, pp. 201-212.

TRABICHET, F. "Caracterización de la aptitud de los suelos de la provincia de Catamarca mediante sistemas de información geográfica". *Revista Huellas*, [en línea], 2020, vol. 24, no. 2, pp. 47-63.

USDA. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. *USDA, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos*, 1999, pp. 88.

VALLEJO, V.; et al. "Efecto de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad del suelo en el municipio de Cachipay, Cundinamarca, Colombia". *Bioagro*, [en línea], 2018, vol. 30, no. 1, pp. 1-14.

ANEXOS

ANEXO A: USOS DE SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO



Imagen 1. Cultivo de cebada.



Imagen 2. Cultivo de cebolla.



Imagen 3. Cultivo de ajo.



Imagen 4. Pasto.



Imagen 5. Sin cultivo.



Imagen 6. Frutales.



Imagen 7. Cultivo de durazno.



Imagen 8. Cultivo de tuna.



Imagen 9. Cultivo de tomate de árbol.



Imagen 10. Cultivo de ciclo corto.

ANEXO B: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO



Imagen 11. Recolección de muestras de suelo.



Imagen 12. Recolección de muestras de suelo.



Imagen 13. Calicata para muestreo de suelos.



Imagen 14. Calicata para muestreo de suelos.



Imagen 15. Profundidad de la calicata (60 cm).



Imagen 16. Muestras de suelo.



Imagen 17. Muestra compuesta de suelo.



Imagen 18. Muestra compuesta de suelo.



Imagen 19. Muestra compuesta de suelo.



Imagen 20. Muestra compuesta de suelo.



Imagen 21. Muestra de suelo.



Imagen 22. Etiquetado de muestras de suelo.



Imagen 23. Etiquetado de muestras de suelo.



Imagen 24. Etiquetado de muestras de suelo.



Imagen 25. Muestras de densidad aparente.



Imagen 26. Muestras de densidad aparente.

ANEXO C: ANÁLISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO



Imagen 27. pH del suelo.



Imagen 28. pH del suelo.



Imagen 29. Estructura del suelo.



Imagen 30. Estructura del suelo.

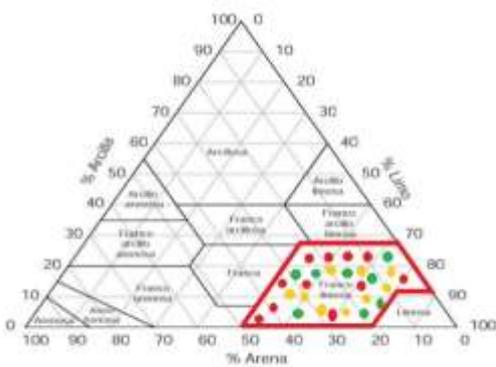


Imagen 31. Textura del suelo.

A color calibration chart with a grid of color and grayscale patches. The chart is used for ensuring color accuracy in digital imaging. It includes various color patches (red, green, blue, yellow, cyan, magenta, black, white) and grayscale steps (from 0 to 255) for color balance and exposure control.

Imagen 32. Color del suelo.



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 14 / 03 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)	
Nombres – Apellidos: John Henry Palma Pincay	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: Recursos Naturales	
Carrera: Agronomía	
Título a optar: Ingeniero Agrónomo	
f. responsable:	 Firmado electrónicamente por: CRISTHIAN FERNANDO CASTILLO RUIZ



0167-DBRA-UTP-2022