

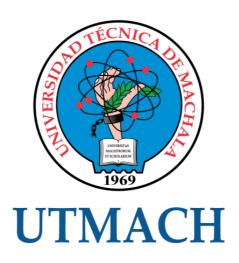
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EFECTO DEL MANEJO AGRÍCOLA EN PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO EN DIFERENTES AGROECOSISTEMAS DE LA GRANJA SANTA INÉS

> QUEZADA MOSQUERA ARTURO JOEL INGENIERO AGRÓNOMO

> > MACHALA 2020



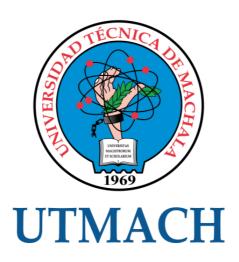
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EFECTO DEL MANEJO AGRÍCOLA EN PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO EN DIFERENTES AGROECOSISTEMAS DE LA GRANJA SANTA INÉS

> QUEZADA MOSQUERA ARTURO JOEL INGENIERO AGRÓNOMO

> > MACHALA 2020



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TRABAJO TITULACIÓN TRABAJO EXPERIMENTAL

EFECTO DEL MANEJO AGRÍCOLA EN PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO EN DIFERENTES AGROECOSISTEMAS DE LA GRANJA SANTA INÉS

QUEZADA MOSQUERA ARTURO JOEL INGENIERO AGRÓNOMO

RODRIGUEZ DELGADO IRAN

MACHALA, 16 DE MARZO DE 2020

MACHALA 2020

Trabajo de titulación. Ingeniería Agronómica

INFORME DE ORIGINALIDAD

	% E DE SIMILITUD	6% FUENTES DE INTERNET	2% PUBLICACIONES	3% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
FUENTE	ES PRIMARIAS			
1	dspace.u Fuente de Inter	nitru.edu.pe		1%
2	WWW.CO Fuente de Inter			1%
3	Submitte Trabajo del est		ad Continental	1%
4	WWW.prol	natta.gov.co		1%
5	repositori Fuente de Inter	o.ute.edu.ec		1%
6	repositori Fuente de Inter	o.utmachala.e	edu.ec	1%

Excluir citas Apagado
Excluir bibliografía Apagado

Excluir coincidencias

< 60 words

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, QUEZADA MOSQUERA ARTURO JOEL, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado EFECTO DEL MANEJO AGRÍCOLA EN PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO EN DIFERENTES AGROECOSISTEMAS DE LA GRANJA SANTA INÉS, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las dispociones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 16 de marzo de 2020

QUEZADA MOSQUERA ARTURO JOEL

0704584614

ÍNDICE

I.	INT	RODU	ICCIÓN	3
1.	.1.	Obje	etivo general	5
1.	.2.	Obje	etivos específicos	5
II.	REV	ISIÓN	I DE LITERATURA	6
2.1.	S	UELO		6
	2.1.	1.	Composición y fases del suelo	6
	2.1.	1.1.	Fase sólida	7
	2.1.	2.	Fase líquida	9
	2.1.	3.	Fase gaseosa	9
2.	.3.	Prop	oiedades físicas y químicas	11
	2.4.	In	dicadores físicos	11
	2.4.	1.	Textura	11
	2.4.	2.	Densidad Aparente (Da)	13
	2.4.	3.	Densidad real (Dr)	13
	2.4.	4.	Porcentaje de porosidad	14
	2.4.	5.	Resistencia a la penetración	14
	2.5.	In	dicadores químicos	14
	2.5.	1.	pH	15
	2.5.	2.	Conductividad eléctrica	16
	2.5.	<i>3</i> .	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	16
	2.5.	4.	Materia orgánica (MO)	16
2	.6.	Deg	radación física	17
2.	.7.	Deg	radación química	17
2	.8.	Calid	dad de suelos	17
2.	.9.	Indi	cadores de la calidad del suelo	17
III.	Ν	1ATEF	RIALES Y MÉTODOS	19
3.	.1.	Mat	eriales	19
	3.1.	1.	Localización del estudio	19
	3.1.	2.	Clima y ecología	20
	3.1.	3.	Materiales, equipos y reactivos utilizados en la investigación	20
	3.1.	4.	Variables analizadas	21
3.	.2.	Dise	ño de la investigación	21
3.	.2.1.	A	nálisis de laboratorio	23
IV.	R	ESUL ⁻	TADOS Y DISCUSIÓN	28

4.1 Comportamiento de las propiedades físicas y químicas del suelo por cada sistema de	
producción	28
4.1.1 Propiedades físicas	28
4.1.1.1 Densidad real	28
4.1.1.1 Arcilla	31
4.1.1.1 Limo	34
4.1.1.1 Arena	37
4.1.2 Propiedades químicas	40
4.1.2.1 pH	40
4.1.2.2 Materia orgánica	43
4.1.2.3 Nitrógeno	45
4.1.2.4 Fósforo	48
4.1.2.5 Potasio	50
4.1.2.6 Calcio	53
4.1.2.7 Magnesio	55
4.1.2.8 Capacidad de intercambio catiónico	58
4.1.2.9 Conductividad eléctrica	60
4.2 Correlación entre los valores de las propiedades físicas y químicas del suelo a tres	
profundidades en sistema de producción	63
4.2.1 Densidad real-potasio del suelo	64
4.2.2 Densidad aparente-conductividad eléctrica del suelo	64
4.2.3 Contenido de arena-capacidad de intercambio catiónico	65
4.2.4 Contenido de arcilla-capacidad de intercambio catiónico	66
V. CONCLUSIONES	68
VII. BIBLIOGRAFÍA	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición del suelo.	6
Tabla 2. Principales minerales del suelo componentes de la fase solida inorgánica	7
Tabla 3. Valores de densidad real según el tipo de suelo	.13
Tabla 4. Clasificación de la porosidad del suelo en porcentajes.	.14
Tabla 5. pH para la mayoría de los suelos minerales de regiones húmedas y áridas	.15
Tabla 6. Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo	.18
Tabla 7. Condiciones climatológicas del predio.	.20
Tabla 8. Colección de especies de banano presentes en la granja Santa Ines	.23
Tabla 9. Métodos utilizados para la determinación de las variables	.25
Tabla 10. Interpretación de resultados de MO, N, P, K, Ca y Mg para la región Costa	.25
Tabla 11. Interpretación de resultados del pH para la región costa y sierra.	.26
Tabla 12. Interpretación de resultados – región costa y sierra	.26
Tabla 13. Matriz de correlación para las propiedades físicas y químicas del suelo determinad	as
en las 48 muestras de suelo analizadas en la investigación	.63
Tabla 14. Resumen del modelo que muestra el tipo y fuerza de correlación entre el contenido	de
arcilla y la capacidad de intercambio catiónico.	
Tabla 15. Resumen del modelo que muestra el tipo y fuerza de correlación entre el contenido	
arcilla y la capacidad de intercambio catiónico.	.64
Tabla 16. Resumen del modelo que muestra el tipo y fuerza de correlación entre el contenido	
arcilla y la capacidad de intercambio catiónico.	
Tabla 17. Resumen del modelo que muestra el tipo y fuerza de correlación entre el contenido	
arcilla y la capacidad de intercambio catiónico.	.66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición porcentual de las fases del suelo.	7
Figura 2. Composición básica de la fracción mineral en el suelo.	8
Figura 3. Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las	S
partículas	12
Figura 4. Levantamiento planímetro de la Granja Experimental Santa Inés	19
Figura 5. Puntos permanentes de muestreo utilizados para la toma de muestras de suelo en los	s
sistemas de producción seleccionados	22
Figura 6. Toma de muestra de suelo en cada profundidad con el empleo de la pala	24
Figura 7. Embalaje y etiquetado de las muestras de suelo para su envío al laboratorio de	
suelos, foliares y aguas de AGROCALIDAD.	24
Figura 8. Promedio de densidad real (g/ml) a 0-15 cm de profundidad del perfil de suelo en lo	
diferentes sistemas de produccion	29
Figura 9. Promedio de densidad real (g/ml) a 15-30 cm de profundidad del perfil de suelo en	
los diferentes sistemas de produccion.	
Figura 10. Promedio de densidad real (g/ml) a 30-45 cm de profundidad del perfil de suelo en	า
los diferentes sistemas de produccion.	31
Figura 11. Promedio de arcilla (%) a 0-15 cm de profundidad del perfil de suelo en los	
diferentes sistemas de produccion.	32
Figura 12. Promedio de arcilla (%) a 15 - 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los	
diferentes sistemas de produccion.	33
Figura 13. Promedio de arcilla (%) a 30 – 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los	
diferentes sistemas de produccion	34
Figura 14. Promedio de limo (%) a 0 – 15 cm de profundidad del perfil de suelo en los	
'	35
Figura 15. Promedio de limo (%) a 15 – 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los	
'	36
Figura 16. Promedio de limo (%) a 30 – 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los	
'	.37
Figura 17. Promedio de arena (%) a $0-15$ cm de profundidad del perfil de suelo en los	
diferentes sistemas de producción.	38
Figura 18. Promedio de arena (%) a 15 – 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los	
diferentes sistemas de produccion	39
Figura 19. Promedio de arena (%) a 30 - 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los	
diferentes sistemas de producción	40
Figura 20. Promedio de pH a 0 - 15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes	
sistemas de producción	41
Figura 21. Promedio de pH a 15 - 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes	
sistemas de producción	42
Figura 22. Promedio de pH a 30 - 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes	
sistemas de produccion	
Figura 23. Promedio de materia orgánica (%) a $0-15$ cm de profundidad del perfil de suelo e	
los diferentes sistemas de produccion	
Figura 24. Promedio de materia orgánica (%) a 15 – 30 cm de profundidad del perfil de suelo	
en los diferentes sistemas de produccion	
Figura 25. Promedio de materia orgánica (%) a 30 - 45 cm de profundidad del perfil de suelo e	
los diferentes sistemas de produccion	45

Figura 26. Promedio de nitrógeno (%) a 0 – 15 cm de profundidad del perfil de suelo en los
diferentes sistemas de produccion46
Figura 27. Promedio de nitrógeno (%) a 15 – 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los
diferentes sistemas de produccion47
Figura 28. Promedio de nitrógeno (%) a 30 – 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los
diferentes sistemas de produccion47
Figura 29. Promedio de fósforo (mg/kg) a 0 – 15 cm de profundidad del perfil de suelo en los
diferentes sistemas de produccion49
Figura 30. Promedio de fósforo (mg/kg) a 15–30 cm de profundidad del perfil de suelo en los
diferentes sistemas de produccion49
Figura 31. Promedio de fósforo (mg/kg) a 30 – 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los
diferentes sistemas de produccion50
Figura 32. Promedio de potasio (cmol/kg) a $0-15$ cm de profundidad del perfil de suelo en los
diferentes sistemas de produccion
Figura 33. Promedio de potasio (cmol/kg) a 15 – 30 cm de profundidad del perfil de suelo en
los diferentes sistemas de produccion
Figura 34. Promedio de potasio (cmol/kg) a 30 – 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los
diferentes sistemas de produccion
Figura 35. Promedio de calcio (cmol/kg) a 0 – 15 cm de profundidad del perfil de suelo en los
diferentes sistemas de produccion54
Figura 36. Promedio de calcio (cmol/kg) a 15 – 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los
diferentes sistemas de produccion54
Figura 37. Promedio de calcio (cmol/kg) a 30 – 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los
diferentes sistemas de produccion55
Figura 38. Promedio de magnesio (cmol/kg) a 0 – 15 cm de profundidad del perfil de suelo en
los diferentes sistemas de produccion56
Figura 39. Promedio de magnesio (cmol/kg) a 15 – 30 cm de profundidad del perfil de suelo en
los diferentes sistemas de produccion57
Figura 40. Promedio de magnesio (cmol/kg) a 30 – 45 cm de profundidad del perfil de suelo en
los diferentes sistemas de produccion57
Figura 41. Promedio de capacidad de intercambio cationico (cmol/kg) a 0 − 15 cm de
profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion59
Figura 42. Promedio de capacidad de intercambio cationico (cmol/kg) a 15 – 30 cm de
profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion59
Figura 43. Promedio de capacidad de intercambio cationico (cmol/kg) a 30 – 45 cm de
profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion60
Figura 44. Promedio conductividad eléctrica (ds/m) a 0 – 15 cm de profundidad del perfil de
suelo en los diferentes sistemas de produccion61
Figura 45. Promedio conductividad eléctrica (ds/m) a 15–30 cm de profundidad del perfil de
suelo en los diferentes sistemas de produccion62
Figura 46. Promedio conductividad eléctrica (ds/m) a 30 – 45 cm de profundidad del perfil de
suelo en los diferentes sistemas de produccion62
Figura 47. Gráfico de dispersión que muestra el coeficiente de determinación y la ecuación que
mejor ajusta al modelo de regresión propuesto para la relacion entre la densidad real del suelo
y el contenido de potasio64
Figura 48. Gráfico de dispersión que muestra el coeficiente de determinación lineal y la
ecuación que mejor ajusta al modelo de regresión propuesto para la relacion entre la densidad
real y la conductividad eléctrica del suelo65

Figura 49. Gráfico de dispersión que muestra el coeficiente de determinación lineal y la	
ecuación que mejor ajusta al modelo de regresión propuesto para la relacion entre el	
contenido de arena y la capacidad de intercambio cationico del suelo	66
Figura 50. Gráfico de dispersión que muestra el coeficiente de determinación lineal y la	
ecuación que mejor ajusta al modelo de regresión propuesto para la relacion entre el	
contenido de arcilla y la capacidad de intercambio cationico del suelo	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la densidad real (g/ml) en los
diferentes sistemas de producción
Cuadro 2. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la variable contenido de Arcilla (%) en los diferentes sistemas de producción a 0-15, 15-30 y 30-45 cm de profundidad.
31
Cuadro 3. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la variable contenido de Limo
(%) en los diferentes sistemas de producción a 0-15, 15-30 y 30-45 cm de profundidad34
Cuadro 4. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la variable contenido de Arena
(%) en los diferentes sistemas de producción a 0-15, 15-30 y 30-45 cm de profundidad37
Cuadro 5. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para pH en los diferentes sistemas
de producción40
Cuadro 6. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para Materia orgánica (%) en los
diferentes sistemas de producción
Cuadro 7. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para Nitrógeno (%) en los
diferentes sistemas de producción
Cuadro 8. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para el contenido de fósforo del
suelo (mg/kg) en los diferentes sistemas de producción
Cuadro 9. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para el contenido de potasio del
suelo (cmol/kg) en los diferentes sistemas de producción
Cuadro 10. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para el contenido de calcio del
suelo (cmol/kg) en los diferentes sistemas de producción
Cuadro 11. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para el contenido de magnesio del
suelo (cmol/kg) en los diferentes sistemas de producción
Cuadro 12. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la capacidad de intercambio
catiónico (cmol/kg) en los diferentes sistemas de producción58
Cuadro 13. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la conductividad eléctrica
(ds/m) en los diferentes sistemas de producción60

RESUMEN

En los últimos años la agricultura se ha convertido en un pilar importante para la sociedad, generando cambios en los agroecosistemas, que han provocado modificaciones en el paisaje, así como, afectaciones a las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas, reflejadas en degradación de los suelos, perdida de la biodiversidad, emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, calentamiento global, incremento de la presencia de eventos extremos. Ecuador, país eminentemente agrícola, no ha escapado de esta situación, ya que la agricultura es la principal fuente de empleo, y constituye un eje principal en el desarrollo económico y la seguridad alimentaria. La actividad antrópica del hombre en la producción agropecuaria ha conducido no solamente a la explotación de áreas agrícolas, sino también al empleo de suelos vírgenes y terrenos vacíos. La investigación se desarrolló con los objetivos de demostrar la incidencia del manejo del sistema productivo en parámetros físicos y químicos de suelos sometidos a diferentes condiciones a diferentes profundidades del suelo (0-15, 15-30 y 30-45 cm y conocer la fuerza de correlación entre los valores de las propiedades físicas y los valores de las propiedades químicas a 0-15, 15-30 y 30-45 cm de profundidad del suelo en sistemas productivos de la granja experimental Santa Inés, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, parroquia El Cambio, cantón Machala, de la provincia de El Oro, clasificada en cuanto a zona de vida natural de Holdridge dentro de la formación bosque muy seco – Tropical (bms-T). El estudio de tipo observacional, transversal, prospectivo V analítico. Se seleccionaron cinco agrosistemas correspondientes a áreas productivas de banano, bosque, cultivos de ciclo corto, potreros y cacao, en los cuales se establecieron de forma completamente al azar puntos permanentes de muestreo, los cuales fueron georrefenciados. En los cinco PPM se realizaron calicatas con un diámetro de 60 x 60 cm, a tres profundidades del suelo (0-15 cm, 15-30 cm y de 30-45 cm) de donde se tomaron las muestras, que fueron homogeneizadas para garantizar un muestreo representativo. Las determinaciones analíticas se realizaron el laboratorio de suelos, foliares y aguas, perteneciente a la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD) Tumbaco-Quito. Para conocer si se presentan o no diferencias estadísticas significativas entre las medias de las variables densidad real, arcilla, limo, arena, pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, CIC y CE se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) de un factor intergrupos, previa verificación de los requisitos de independencia de observaciones, normalidad de datos y

homogeneidad de varianzas. En caso de presentarse diferencias estadísticas significativas entre los distintos sistemas agrícolas para cada una de las profundidades evaluadas (0-15 cm, 15-30 cm y 30-45 cm) se aplicaron pruebas post hoc, de rangos y comparaciones múltiples con la finalidad de establecer entre que tratamientos se encuentran las diferencias o similitudes. Para establecer si las propiedades físicas del suelo se encuentran relacionadas de forma lineal con las propiedades químicas del suelo, se aplicó la prueba de hipótesis para el contraste y posteriormente establecer el tipo y la fuerza de la correlación entre las dos variables (coeficiente de correlación de Pearson (r). Los datos fueron procesados estadísticamente con el paquete estadístico SPSS versión 24 de prueba para Windows y se utilizó una confiabilidad en la estimación del 95% (α=0.05). De forma general se evidencia una influencia del manejo agrícola y del tipo de cultivo utilizado en las propiedades físicas y químicas del suelo. Para el caso de la densidad real del suelo a 0-15 cm de profundidad, en pastos (1,76 g/ml) se obtuvo el menor valor, igual estadísticamente a bosque, cacao y banano, pero diferente estadísticamente a maíz (2,34 g/m), lo que demuestra que la intensificación de las labores es una condicionante para el incremento de la compactación del suelo. Para el caso del pH del suelo a 0-15 cm de profundidad, se obtuvieron, en todos los sistemas, valores por encima de 7, aunque en cacao (7,20 g/ml) se obtuvo el menor valor, igual estadísticamente a bosque y banano, pero diferente estadísticamente a pasto (7,81 g/ml) y maíz (7,83 g/ml), lo que puede encontrarse asociado, con la incorporación de residuos orgánicos en el suelo. El comportamiento de la materia orgánica del suelo mostró que en cacao (3,71%) y bosque (2,91%), se alcanzaron los mayores valores, diferentes estadísticamente a maíz (0,64%) y pastos (1,80), lo que se atribuye a la gran cantidad de hojas, ramas y tallos que se generan que se incorporan al suelo por la actividad de los microorganismos. La capacidad de intercambio catiónico evidencia que en maíz (13,28 cmol/kg) se alcanzan los valores más bajos, inclusive por debajo de 20, diferente estadísticamente al resto de los sistemas productivos, lo cual indica que un manejo del suelo de forma continuada e intensiva provoca una disminución del secuestro de carbono, acompañado de un poco incorporación de residuos orgánicos y una baja fertilidad en el área. Las pruebas de correlación realizadas evidencias correlación significativa entre la densidad real y la capacidad de intercambio catiónico negativa fuerte (p-valor=0,008 y r=-0,64).

Palabras clave: agroecosistemas tropicales, manejo agrícola, propiedades físicas y químicas del suelo.

ABSTRACT

In recent years, agriculture has become an important pillar for society, generating changes in agro-ecosystems, which have led to changes in the landscape, as well as affecting the physical and chemical properties of agricultural soils, reflected in soil degradation, loss of biodiversity, emission of greenhouse gases into the atmosphere, global warming, and increased presence of extreme events. Ecuador, an eminently agricultural country, has not escaped this situation, since agriculture is the main source of employment, and constitutes a major axis in economic development and food security. Human activity in agricultural production has led not only to the exploitation of agricultural areas, but also to the use of virgin soils and vacant land. The research was developed with the objectives of demonstrating the incidence of the management of the productive system on physical and chemical parameters of soils subjected to different conditions at different depths of the soil (0-15, 15-30 and 30-45 cm) and to know the correlation force between the values of the physical properties and the values of the chemical properties at 0-15, 15-30 and 30-45 cm depth of soil in productive systems of the experimental farm Santa Inés, belonging to the Faculty of Agricultural Sciences, Technical University of Machala, El Cambio parish, Machala canton, in the province of El Oro, classified as Holdridge natural life zone within the very dry forest formation -Tropical (bms-T). The study is of an observational, transversal, prospective and analytical type. Five agrosystems were selected corresponding to productive areas of banana, forest, short cycle crops, pastures and cocoa, in which permanent sampling points were established completely at random and georeferenced. In the five PPMs, pits were made with a diameter of 60 x 60 cm, at three depths of the soil (0-15 cm, 15-30 cm and 30-45 cm) from where the samples were taken, which were homogenized to guarantee a representative sampling. The analytical determinations were made in the laboratory of soil, foliage and water, belonging to the Ecuadorian Agency for Quality Assurance of Agriculture (AGROCALIDAD) Tumbaco-Quito. In order to know if significant statistical differences between the means of the variables real density, clay, silt, sand, pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, CIC and CE are presented or not, the analysis of variance (ANOVA) of an inter-group factor was used, previous verification of the requirements of independence of observations, normality of data and homogeneity of variances. In case of significant statistical differences between the different agricultural systems for each of the depths evaluated (0-15 cm, 15-30 cm and 30-45 cm), post-hoc tests, multiple range tests and comparisons were applied in order to establish between which treatments the differences or similarities are found. To establish if the physical properties of the soil are related in a linear way to the chemical properties of the soil, the hypothesis test was applied for the contrast and later to establish the type and strength of the correlation between the two variables (Pearson's correlation coefficient (r). The data were statistically processed with the SPSS version 24 statistical test package for Windows and an estimation reliability of 95% was used (α =0.05). In general, there is evidence of an influence of agricultural management and the type of crop used on the physical and chemical properties of the soil. For the case of real soil density at 0-15 cm depth, in pastures (1.76 g/ml) the lowest value was obtained, statistically equal to forest, cocoa and banana, but statistically different to corn (2.34 g/m), which shows that the intensification of the work is a condition for the increase of soil compaction. In the case of soil pH at 0-15 cm depth, values above 7 were obtained in all systems, although the lowest value was obtained for cocoa (7.20 g/ml), which is statistically equal to forest and banana, but statistically different to grass (7.81 g/ml) and corn (7.83 g/ml), which may be associated with the incorporation of organic waste into the soil. The behavior of organic matter in the soil showed that cocoa (3.71%) and forest (2.91%) reached the highest values, statistically different to corn (0.64%) and grass (1.80), which is attributed to the large amount of leaves, branches and stems that are generated that are incorporated into the soil by the activity of microorganisms. The cation exchange capacity shows that in corn (13.28 cmol/kg) the lowest values are reached, even below 20, which is statistically different from the rest of the productive systems, indicating that a continuous and intensive management of the soil causes a decrease in carbon sequestration, accompanied by a little incorporation of organic waste and a low fertility in the area. Correlation tests carried out show a significant correlation between real density and strong negative cation exchange capacity (p-value=0.008 and r=-0.64).

Keywords: tropical agroecosystems, agricultural management, physical and chemical properties of the soil.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos 200-250 años la agricultura se ha convertido en un pilar importante para la sociedad tras su rápido desarrollo, lo que ha provocado modificaciones en el paisaje en varios ecosistemas (Palacios & Escobar, 2016); según datos de la FAO (2005) a principios del año 2000 aproximadamente 2570 millones de personas dependían para su subsistencia de la agricultura y actividades afines, así mismo, establece que la actividad agrícola es la base de la economía para varios países en vías de desarrollo y que la exportación de productos agrícolas en países industrializados se incrementaron aproximadamente a 290000 millones de dólares. En 2010 la agricultura representaba, el 29% del PIB total en países con ingresos bajos, mientras que para los países de ingresos medios y altos representaba 10.5 y 1.5% (Alston & Pardey, 2014).

En Ecuador la agricultura es la principal fuente de empleo, representando un 25% de la Población Económicamente Activa (1.6 millones), es un eje principal donde se desarrolla la economía del país y la seguridad alimentaria ya que aporta en un promedio de 8.5 % al PIB convirtiéndose en el sexto sector de importancia económica (Universidad Técnica del Norte, 2017).

La alimentación de los seres humanos depende del suelo, ya que la sociedad consume un 95% de alimentos que son producidos en el mismo. La agricultura ocupa la tercera parte de la superficie terrestre, para satisfacer la demanda mundial de alimentos para una población creciente que para el año 2050 podrá llegar a 9000 millones de personas (Burbano-Orjuela, 2016).

El suelo es un recurso natural no renovable, su formación y restablecimiento es lento, es un componente necesario para la actividad agrícola, ya que provee de nutrientes, agua y sostén a los cultivos; además, intercede en los ciclos del agua, nitrógeno, carbono, fósforo, etc. (Ferreras, Toresani, Faggioli, & Galarza, 2015).

El proceso de formación del suelo es complejo y conlleva a que la roca madre sufra cambios físicos químicos y biológicos. En cuanto a los físicos se pueden mencionar la disminución del tamaño de las partículas conservando su composición, lo que ocurre por los ciclos de hielo-deshielo, lluvias, vientos, etc. Los químicos se generan tras la disociación de las partículas minerales de la roca madre; su destrucción o alteración y la resistencia a agregados sólidos estables corresponden, a la acción del oxígeno, agua, el dióxido de carbono y los compuestos orgánicos (Budhu, 2008).

El manejo intensivo de los suelos a nivel mundial por la implementación de monocultivos ha provocado el deterioro de la calidad del sustrato, lo cual afecta a las propiedades físicas químicas y biológicas de los agroecosistemas, ya que el 65% (1.500 millones de ha) de suelos dedicados a monocultivos han presentado algún nivel de degradación. Ante esta situación es necesario buscar y establecer soluciones eficaces y eficientes de acuerdo al entorno y posibilidades de aplicación.

La intervención del hombre en la producción de alimentos a generado modificaciones en las propiedades química, físicas y biológicas del suelo (Hernández et al., 2017). Las alteraciones edáficas por el uso del suelo, no solamente se origina por los sistemas de labranza utilizados, rendimiento de cultivos o por la expansión agrícola (Díaz-Zorita, Barraco, & Alvarez, 2004), de igual forma los cultivos intensivos degradan al suelo debido a la disminución de la cobertura vegetal, de materia orgánica, estabilidad de los agregados; además de ser precursores de compactación y erosión que reducen los niveles de productividad (Toledo et al., 2013).

El cambio de suelos forestales a cultivados, ha generado un impacto negativo en la degradación de los mismos, lo que ha provocado la emisión de grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera (Hernández et al., 2017). La degradación de los suelos involucra procesos físicos, químicos y biológicos así como factores propios del suelo entre ellos; el relieve, la litología, vegetación, clima los cuales son capaces de acelerar o desacelerar los procesos de desgaste (Pulido, 2014). Se reconocen tres tipos de erosión: Erosión antropocéntrica, hídrica y eólica (Zertuche, Badii, Guillen, & Zepeda, 2015).

La erosión es la perdida de suelo por factores físicos como lluvia, escorrentía, hielo, viento, variaciones de temperatura entre otros fenómenos naturales o antropogénicos que remueven y trasladan el sustrato de un punto a otro punto (Soil Science Society of America., 1997). El proceso de erosión implica su desprendimiento, transporte y posterior deposición (Meyer & Wischmeier, 1969).

La actividad antrópica del hombre en la producción agropecuaria ha conducido no solamente a la explotación de áreas agrícolas, sino también al empleo de suelos vírgenes y terrenos vacíos, en los cuales ha utilizado de forma intensiva recursos técnicos, tales como la mecanización, el riego y la quimización, condicionados, además, por el desconocimiento y la necesidad social (Ramírez et al., 2015). Esta situación, ha propiciado el aumento de la degradación del suelo en diversas regiones del mundo (FAO, 2008); más del 20 % de las tierras agrícolas, el 30 % de los bosques y el 10 % de los pastizales se han afectado, lo que dificulta la adaptación y mitigación al cambio climático,

ya que por la pérdida de biomasa y materia orgánica (MO) del suelo se desprende carbono a la atmósfera y esto afecta la calidad del suelo y su capacidad de mantener el agua y los nutrientes (Steduto, Hsiao, Fereres, & Raes, 2012).

El manejo agrícola de sistemas de producción agropecuaria, puede constituir un factor que afecta la degradación física y química de los suelos, de no realizarse adecuadamente y bajo los lineamientos de una agricultura sostenible, en la cual la máxima prioridad constituya la obtención de la producción en armonía con la naturaleza.

1.1. Objetivo general

• Evidenciar la influencia del sistema de manejo agrícola en propiedades físicas y químicas del suelo en agroecosistemas de la granja Santa Inés.

1.2. Objetivos específicos

- Demostrar la incidencia del manejo del sistema productivo en parámetros físicos y químicos de suelos sometidos a diferentes condiciones a diferentes profundidades del suelo (0-15, 15-30 y 30-45 cm).
- Conocer la presencia de relación entre las propiedades físicas (densidad real y porcentaje de arcilla) y las propiedades químicas (pH, materia orgánica, elementos primarios (N, P, K), elementos secundarios (Ca, Mg), capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica) a 0-15, 15-30 y 30-45 cm de profundidad del suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SUELO

Según Atlas & Corozo (2002) y Nannipieri (2017), el suelo es un sistema estructurado y heterogéneo, esencial e ineludible para la vida, formado por la mezcla de nutrientes y materia orgánica, capaz de sustentar el desarrollo de organismos y microorganismos. Es decir, suelo es la capa superficial de la corteza terrestre, compuesta por minerales derivados de la descomposición fisicoquímica de la roca madre y agregados orgánicos en proceso de transformación, delicadamente mezclados y con poros de distintos tamaños.

2.1.1. Composición y fases del suelo

El suelo se origina por el desgaste de miles de año de la roca madre. La disgregación física ocurre por casusa de factores naturales como sol, viento, agua y raíces. La descomposición química es provocada por el ácido carbónico diluido formado por la disolución del dióxido de carbono del aire en el agua lluvia, y por ácidos orgánicos. Las fracciones de roca descompuestos son los minerales. El suelo contiene, organismos vivos, materia orgánica, aire y agua. La distribución de cada uno de los elementos se observan en el Tabla 1 (Dalzell, Biddlestone, Gray, & Thurairajan, 1991).

Tabla 1. Composición del suelo.

Commonanto	Volumen del suelo	Peso seco (estufa) del
Componente	(%)	suelo (%)
Minerales	40	95-99
Materia orgánica (incluyendo	10	1-5
organismos vivos)		
Aire	15-35	No aplicable
Agua	15-35	No aplicable

Fuente. Dalzell et al. (1991).

Según Brissio (2005) el suelo consta de tres fases, una sólida, la que comprende la fracción mineral y orgánica; la fase líquida; y la fase gaseosa, que ocupa el espacio poroso libre que deja la fase líquida. En porcentaje la materia orgánica constituye un 5% del suelo, el aire 25%, el agua 25%, la fracción solida está representada el 45% (Figura 1).

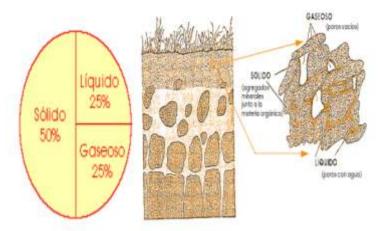


Figura 1. Composición porcentual de las fases del suelo. **Fuente.** Brissio (2005).

2.1.1.1. Fase sólida

Esta fase está formada por materia orgánica y mineral y es considerada como la matriz del suelo. La fracción mineral la componen partículas de distinto tamaño, forma y composición química. La porción mineral es la más preponderante en el suelo conformado por productos de intemperización de a roca madre, el cual se mezcla y da origen a materiales de diferentes propiedades como se aprecia en el Tabla 2, estas características son proporcionales con su tamaño (Navarro & Navarro, 2013).

Tabla 2. Principales minerales del suelo componentes de la fase solida inorgánica.

Óxidos/Hidróxidos:	
Óxidos-Si	Cuarzo, tridimita
Óxidos/ Hidróxidos/Fe	Goetita, hematita, limonita
Óxidos/ Hidróxidos/Al	Gibsita, bohemita
Silicatos:	
Nesosilicatos	Olivino (Mg), turmalina (c), Zircón (Zr)
Inosilicatos	Augita (Ca, Mg), Hornblenda (Na, Ca, Mg, Ti)
Filosilicatos	Talco (Mg), biotita (K, Mg, F), moscovita (K, F), ilita (K), caolinita, montmorillonita, vermiculita (Mg)
Tectosilicatos	Albita (Na), anortita (Ca), ortoclase (K), zeolitas (Ca, Na, K, Ba)
Carbonatos:	Calcita (CaCO ₃), dolomita (MgCa(Co ₃) ₂)
Sulfatos:	Yeso (CaSO ₄ -2H ₂ 0)
Halogenuros:	Halita (NaCl), silvina (KCl), carnalita (KMgCl ₃ -6H ₂ O), (CaCl ₂ -6H ₂ O)
Sulfuros:	Pirita (FeS ₂)
Fosfatos:	Apatito $(Ca_5(F, Cl, OH)(PO_4)_3)$
Nitratos:	Sódico (NaNO ₃), potásico (KNO ₃)

Fuente. Navarro & Navarro (2013).

- **Fracción mineral.** Dentro de esta fracción el grupo mineral más importante son los silicatos. Estos están formados por un tetraedro de coordinación Si-O. El silicio se encuentra en el centro de la estructura rodeado de cuatro oxígenos ubicado en cada vértice. Este grupo se encuentra desequilibrado eléctricamente (SiO₄)⁴⁻ por lo que los O₂ se coordinan a otros cationes para equilibrar sus cargas (Montalvo, 2013).

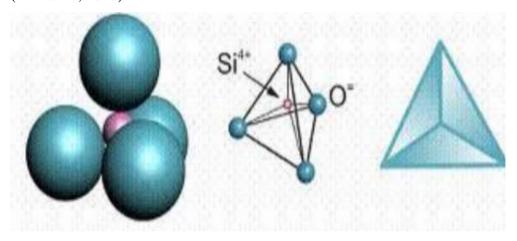


Figura 2. Composición básica de la fracción mineral en el suelo.

Fuente. Brissio (2005).

Fracción Orgánica. Esta fracción es la precursora de la fertilidad del suelo y otorga las distintas propiedades al suelo. En suelos destinados a la agricultura la materia orgánica representa menos de 3% de la composición del suelo. Por lo general el primer horizonte de suelo es el que contiene mayor porcentaje de materia orgánica, a mayor profundidad se reduce el contenido de materia orgánica (Montalvo, 2013).

La materia orgánica posee una serie de propiedades físicas, químicas y biológicas, que limitan a su vez las propiedades del suelo. Algunos de los beneficios del uso de la materia orgánica sobre el suelo y las plantas se destacan a continuación (Cobertera, 1993).

- Es capaz de retener un gran volumen de agua lo que facilita el establecimiento de la vegetación, disminuyendo el impacto de los agentes erosivos.
- Protege al suelo de la erosión hídrica y eólica.
- La materia orgánica es capaz de absorber plaguicidas.
- La materia orgánica absorbe plaguicidas y otros agentes contaminantes, lo que evita que se infiltren hacia los acuíferos.

Intervienen en el pH ya que posee compuestos orgánicos que acidifican el suelo.
 los altos contenidos de materia orgánica en el suelo poseen una capacidad amortiguadora del pH, ya que entre los múltiples cationes fijados por el complejo adsorbente está el catión hidrógeno.

2.1.2. Fase líquida

Fase conformada por el agua que retienen los poros a distintas presiones. Cumple varias funciones como los de estabilidad estructural y formación de los suelos, otorga la turgidez óptima para tener las condiciones necesarias para la recepción solar, es el principal componente del protoplasma 85-95% indispensable para la fotosíntesis, es el disolvente de los nutrientes y el medio por el cual se mueven (Navarro & Navarro, 2013).

En el suelo existen diversos tipos de agua tales como (Brissio, 2005):

- Agua higroscópica: Extraída desde la humedad atmosférica, crea una muy delgada película que envuelve a las partículas del suelo. No es asimilables por las plantas ya que se encuentra retenida a 31 atmósferas.
- Agua capilar: contenida en los tubos capilares del suelo. Se diferencian dos tipos de agua capilar no absorbible y la absorbible:
 - a) Agua capilar no absorbible: se introduce en los tubos capilares más pequeños.
 - b) Agua capilar absorbible: es la que se encuentra en tubos capilares de
 0.2-8 micras. Conforma la reserva durante los períodos secos. Su fuerza de retención esta entre 15 a 1 atmósfera.
- Agua gravitacional: No es retenida por el suelo. Al igual que el agua capilar se diferencian dos tipos de agua gravitacional las de flujo lento y de flujo rápido con respecto a la velocidad en que circulan (Brissio, 2005).

2.1.3. Fase gaseosa

Es la fusión de gases llena los espacios libres, dejado por la fase liquida en los poros del suelo. La atmosfera del suelo está limitada a la actividad biológica que se da en ella, definidos por el empleo de oxígeno y por la producción de CO₂ que realizan los microorganismos y las plantas durante sus procesos de oxidación. La fase atmosférica en

condiciones óptimas es de un 25 % del volumen del suelo y es deficiente al 10% (Brissio, 2005).

2.2. Etapas de la degradación del suelo agrícola

Las etapas de la degradación del suelo de un agroecosistema son:

Etapa 1.- Destrucción gradual de la materia orgánica y estructura del suelo que no son detectable por los bajos niveles de erosión y rendimientos normales por la fertilización.

Etapa 2.- Disminuye el rendimiento por unidad productiva, perdida de materia orgánica, perdida del primer horizonte y estructura, la erosión es más visible por el agricultor.

Etapa 3.- El suelo se vuelve improductivo o se reduce drásticamente su productividad por lo cual, son abandonados por los agricultores. Esa etapa se alcanza por la aplicación de malas prácticas agrícolas (E. Rodríguez, 2016).

Suelos que presenten una degradación o erosión muy avanzada se reduce su capacidad productiva a un 50%, lo que origina problemas en el aseguramiento de la alimentación en los poblados o lugares afectados (C. Rodríguez, Acevedo, Álvarez, & Uribe, 2016).

2.2.1. Consecuencia de la degradación de los suelos agrícolas

A continuación, se destacan algunas de las consecuencias de la degradación del suelo.

- La erosión, escorrentía e infiltración son causantes de la perdida de elementos minerales como N, P, S, K, Ca y Mg.
- genera alteraciones en el suelo como la acidificación, alcalinidad y bloqueo de elementos (alteraciones físico-químicas).
- desmejoramiento de la estructura, provocada por la compactación que reduce la porosidad total comprometiendo el drenaje interno, encostramiento, perdida de estabilidad e incremento de la escorrentía superficial.
- Pérdida física de materiales: erosión masiva (merma de la lámina superficial del suelo, o de la totalidad del suelo) o selectiva (parcial, de los fragmentos lábiles, como limos)
- Aumento de la toxicidad. Al cambiar las propiedades del suelo se liberan sustancias nocivas que provocan contaminación (Suquilanda, 2008).

2.3. Propiedades físicas y químicas

El suelo está conformado por materiales sólidos, líquidos y gaseosos, la relación de estos

define la capacidad de proveer nutrientes necesarios para la subsistencia de las plantas.

El porcentaje de cada uno de los componentes establece las propiedades físicas y químicas

del suelo (Orellana, 2010).

2.4. Indicadores físicos

En la evaluación de la calidad de suelos las características de las propiedades físicas son

necesarias ya que son utilizados como indicadores que manifiestan como el suelo adsorbe,

detiene y trasmite agua de igual forma las restricciones en el crecimiento de las raíces, el

movimiento o transporte de agua dentro del perfil y la infiltración que se encuentran

ligadas con la porosidad (Navarro & Navarro, 2013). Por su parte López & Estrada (2015)

las definen como las propiedades cuya observación y medición no altera la composición

química del suelo entre ellas encontramos densidad real, textura, porosidad, color (López

& Estrada, 2015).

2.4.1. Textura

A través de la textura se puede determinar el comportamiento físico del suelo, por medio

de deducciones del movimiento de agua en el perfil, cantidad y disponibilidad de

nutrientes. La textura muestra los porcentajes en que se agrupan la arcilla, limo y arena

dando texturas finas, medias y gruesas (Flores & Alcalá, 2010).

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA), fija los

siguientes tipos de partículas menores a 2 mm de diámetro.

Arena muy gruesa: 2 mm - 1 mm.

Arena gruesa: 1 mm - 0.5 mm.

Arena mediana: 0.5 mm - 0.25 mm.

Arena fina: 0.25 mm - 0.10 mm.

Arena muy fina: 0.10 mm - 0.05 mm.

Limo: 0.05 mm - 0.002 mm.

Arcilla: menos de 0.002 mm.

11

De acuerdo a la concentración de arcilla, limo y arena se establecen 12 clases texturales (Figura 3), para identificar la clase textural perteneciente a un suelo es necesario utilizar el diagrama triangular que refleja distintos valores para cada fracción, se consideran suelos francos a los que tienen una distribución equilibrada en cada uno de las partículas, las clases texturales arcillo-limosas y arcillosas contienen gran cantidad de partículas finas lo que lo hacen susceptible a la compactación (Bravo et al., 2017).

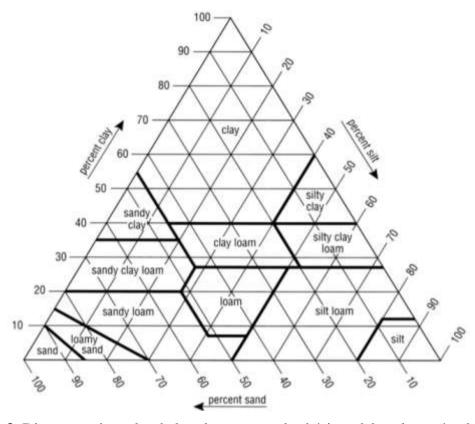


Figura 3. Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas.

Fuente. Nagatani & Seno (1994).

Los suelos arenosos carecen de pegajosidad, plasticidad y capacidad de retención de agua en contraposición a los suelos arcillosos que si posen dichas cualidades, la clase textural puede afectar el desarrollo de las plantas debido al agua retenida en ella y su suministro ya que la capacidad retención de agua depende de la textura del suelo (Minase, Masafu, Geda, & Wolde, 2016).

2.4.2. Densidad Aparente (Da)

La Da es igual relación entre la masa (peso del suelo seco) y el volumen total incluyendo espacio poroso. Dicha propiedad nos da noción de la capacidad de penetración de las raíces, además influye en la conversión de agua gravimétrica a volumétrica que permite determinar la lámina de agua contenida en el suelo así mismo nos permite estimar la porosidad total y la masa de capa arable (Flores & Alcalá, 2010).

Cuando la Da es muy alta provoca la reducción del tamaño de los poros ocasionando compactación (Bustamante, Chabla, & Barrezueta, 2018). Romero, García & Hernández (2015) afirman que la compactación reduce los espacios porosos alterando el desarrollo radicular y rendimiento de los cultivos. Como resultado de la compactación de los suelos se reduce la capacidad de emergencia de las plántulas e infiltración del agua (W. López, Reynoso, López, Camas, & Tasistro, 2018).

2.4.3. Densidad real (Dr)

La Dr es igual a la relación entre la unidad de peso y la unidad de volumen con un valor casi constante debido a la composición química del suelo (Andrades, Moliner, & Masaguer, 2015). La densidad real refleja la constitución mineralógica del suelo, así como del contenido de material orgánico (López & Estrada, 2015).

Para entender las propiedades físicas y químicas del suelo es necesario saber las densidades de las partículas, ya que revela los valores relativos de Na de la materia orgánica y partículas minerales del suelo. La estructura mineral y constitución química del suelo puede determinar la densidad de las partículas (Tabla 3), con densidades ya conocidas tales como la del feldespato, magnetita, zircón, cuarzo, micas o granate (Ye, Guo, Cai, Wang, & Deng, 2016).

Tabla 3. Valores de densidad real según el tipo de suelo.

Tipo de suelo	Rango de densidad real (Mg/m³)
Arenoso	2.63 - 2.67
Limoso	2.65 - 2.70
Arcilloso	2.67 - 2.90
Orgánico	< 2.00
Volcánico	2.00 - 2.50

Fuente. Villaseñor (2016).

2.4.4. Porcentaje de porosidad

El porcentaje de porosidad refleja el volumen del suelo no ocupado por sólidos. Este volumen varía de acuerdo de acuerdo a la disposición de las partículas sólidas. Sus características dependen de algunos factores como la materia orgánica contenida, estructura y clase textural del suelo, labranza, intensidad de cultivos y su manejo (Flores & Alcalá, 2010). Los poros de acuerdo a su tamaño, volumen y distribución, determinan la retención y movimiento del agua, la resistencia mecánica a la penetración de las raíces y las reservas de oxígeno (Bottinelli, Hallaire, Goutal, Bonnaud, & Ranger, 2014).

El espacio poroso (Tabla 4) sufre alteraciones por el movimiento o transporte de aire, agua, productos químicos (Calonego, Raphael, Rigon, Oliveira, & Rosolem, 2017). El cambio de suelos no agrícola a agrícolas provoca que la porosidad disminuya a lo largo del tiempo de uso del suelo (Salamanca & Amézquita, 2015).

Tabla 4. Clasificación de la porosidad del suelo en porcentajes.

Porosidad Total	%
Muy Baja	< 2
Baja	2-5
Media	5-15
Alta	15-40
Muy Alta	> 40

Fuente. FAO (2009).

2.4.5. Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración otorga valores que evidencia los niveles de compactación que tiene el suelo de acuerdo a sus propiedades físicas y cultivo establecido (Zerpa, Sosa, Berardi, & Bolatti, 2013). Flores & Alcalá (2010) considera esta propiedad útil para el estudio de la compactación, densidad y traficabilidad del suelo y su relación al rendimiento de los cultivos y del desarrollo radicular de los mismos

2.5. Indicadores químicos

Los indicadores químicos se refieren a las condiciones que alteran la calidad y disponibilidad del agua, relación suelo planta, poder amortiguador del suelo y nutrientes necesarios para las plantas y microorganismos Algunos indicadores son, carbono

orgánico lábil y total, disponibilidad de nutrientes, conductividad eléctrica, pH, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno mineralizable y total (Navarro & Navarro, 2013).

2.5.1. pH

"La acidez del suelo calcula la concentración en hidrogeniones, matemáticamente se expresa como el logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrógeno en la solución suelo" (Montalvo, 2013).

$$pH = -\log [H^+]$$

Tanto en la solución, como el complejo de intercambio del suelo se encuentran los hidrogeniones, es decir existen dos tipos de acidez real (en solución) y de reserva (para los adsorbidos), las que se encuentran equilibradas dinámicamente. Si se excluyen H⁺ de la solución se agregan otros tantos H⁺ adsorbidos (Tabla 5). Por ende, el suelo es afectado por las modificaciones que produzcan en el pH, lo que significa que se encuentra tamponado (Montalvo, 2013).

Tabla 5. pH para la mayoría de los suelos minerales de regiones húmedas y áridas.

Condición del suelo		pН	Efecto en el suelo	
Alcalinidad	Fuerte	> 10	Cuando el Na ⁺ de cambio supera el 15%. Poca actividad microbiana. MO muy disponible	
	Moderada	9-10	El responsable es el carbono sódico; provoca que el Na ⁺ del complejo de cambio sea alto.	
	Ligera	8.5-9	La alcalinidad puede ser debido a la presencia importante de MgCO ₃ si no hay Na ⁺ en complejo de cambio	
Basicidad	Fuerte	8-8.5	pH común para la mayoría de los suelos minerales de	
	Moderada	7.5-8	regiones áridas. Poca disponibilidad de P y B deficiencia de micronutrientes: Fe, Mn, Cu y Zn.	
Neutralidad		6.5-7.5	No hay toxicidad de nutrientes.	
Acidez	Débil	6-6.5	pH considerado idóneo para la máxima disponibilidad de nutrientes esenciales.	
	Moderada	5.5-6	Sus características lo hacen apropiado para muchos cultivos. Nutrición vegetal equilibrada.	
	Fuerte	5-5.5	El bajo pH origina deficiencia de N, P, K, S, Ca, Mg y Mo; y exceso de Fe, Mn, Cu y Zn	
	Muy Fuerte	4.5-5	Se consideran pH extremos para suelos minerales ácidos. Toxicidad por el exceso de Al ³⁺ y Mn ²⁺	
	Extrema	< 4.5	pH alcanzado por suelos turbosos. Uso problemático. Poca actividad microbiana.	

Fuente. Navarro & Navarro (2013).

2.5.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) es la medida de la concentración de sales en suelo o agua, se expresa en dSiemens/m (dS m⁻¹) o mmhos/cm. Se determina mediante el método del conductímetro aplicada a una muestra de suelo (Fernandèz et al., 2006). Mcneill (1992) la define como la capacidad del suelo de conducir corriente eléctrica (Mcneill, 1992). La degradación de suelos por sales es un problema grave a nivel mundial (Rojas, Guerra, Arévalo, Guerrero, & Leiva, 2015).

2.5.3. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Las partículas de arcilla por su estructura química poseen una carga negativa lo que hace que los cationes sean atraídos y retenidos por dichas partículas, es decir CIC cuantifica los cationes que pueden ser absorbidos (Cruz, Barra, Castillo, & Gutiérrez, 2004). Pérez et al. (2017) afirman que el CIC estima los lugares de carga de las arcillas, tanto las cargas dependientes, como permanentes de pH.

2.5.4. Materia orgánica (MO)

La materia orgánica aporta al suelo alrededor del 5% del N total así como varios macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas (Graetz, 1990). Los beneficios de incorporar MO. al suelo es el aumento del K, Ca y Mg disponible e incrementa la capacidad de retención de humedad del suelo (D. Ramos & Terry, 2014). Obalum, Chibuike, Peth & Ouyang (2017) mencionan que el manejo de la materia organica define el éxito o fracaso de un suelo. "Los suelos agrícolas presentan capacidad para el secuestro de CO₂ en forma de materia orgánica" (Visconti & De Paz, 2017).

En el proceso de degradación de la MO. Se distinguen dos fases la mineralización y la humificación, esta última es rápida ya que intervienen los microrganismos del suelo apenas se entierra la MO, lo que da origen a dos tipos de humus el joven y estable ambos conforman la materia orgánica total del suelo. El humus joven o lábil no se encuentra adherido a las partículas del suelo, está libre y mezclado con las mismas, su relación C/N es superior a 15 y existe una gran actividad microbiana lo que lo convierte en un componente indispensable para la fertilidad del suelo.

El humus estable o estabilizado si se encuentran adherido a las partículas del suelo está compuesta por ácidos fúlvicos, húmicos y húminas, las que tienen una relación C/N casi

estable de 9 a 10 y conforman alrededor del 75-80% del humus total. La mineralización de la MO es lenta ya que el humus estable es degradado gradualmente por microorganismos en un promedio de 1 a 2% por año, dejando minerales disponibles o asimilables por las plantas. esta fase consta de dos etapas la nitrificación (paso del amonio a nitrato) y la amonificación (paso del N orgánico a amonio) (Gros & Domínguez, 1981).

2.6. Degradación física

Existen varios procesos que modifican el espacio poroso, provocando alteraciones físicas vinculadas con el desplazamiento de agua, nutrientes y aire. Dichos procesos suelen suceder en la superficie del suelo o subsuperficialmente, las consecuencias más usuales son capas compactadas, sellamiento superficial del suelo y encostramiento. Además la erosión hídrica o eólica que afectan los suelos agrícolas (Piscitelli, 2015).

2.7. Degradación química

El manejo inadecuado de insumos y residuos agrícolas, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas han provocado la degradación química de los suelos agotando los nutrientes y materia orgánica contenidos en el mismo. Otro causante de dicha degradación es el aumento de sales en el suelo inducido por el agua de riego y los deficientes sistemas de drenajes (Piscitelli, 2015).

2.8. Calidad de suelos

Karlen et al. (1997) definen la calidad de suelos como la capacidad funcional de un tipo determinado de suelo, para sostener la producción vegetal o animal, conservar o aumentar la calidad del aire y agua, y sustentar el establecimiento y salud humana, con términos ecosistemáticos naturales o definitivos por el manejo.

2.9. Indicadores de la calidad del suelo

Para evaluar la calidad del suelo se requiere indicadores que expresen los cambios en las funciones del suelo. Los indicadores mayormente usados son correspondiente a las propiedades físicas y químicas deben cumplir las siguientes condiciones (Navarro & Navarro, 2013).

- Detallar los procesos de los ecosistemas.
- Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

- Expresar los beneficios de sostenibilidad que se quieran medir.
- Ser sensitivas a variaciones de clima y manejo.
- Ser asequibles a numerosos usuarios y aplicables a condiciones de campo.
- Ser reproducibles.
- Ser fáciles de entender.
- Ser sensitivas a las alteraciones en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica.
- Cuando sea posible ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

Al existir numerosas propiedades para diagnosticar la calidad del suelo, se establecen un número mínimo de indicadores o propiedades para medir los cambios ocurridos en el suelo con respecto al tiempo a continuación se los detalla en el Tabla 6 (Navarro & Navarro, 2013).

Tabla 6. Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo.

Propiedad	Relación con las funciones y condiciones del suelo			
	Indicadores físicos			
Textura	Retención y transporte de agua y nutrientes.			
	Erosión del suelo.			
Profundidad del suelo superficial.	Estimación del potencial productivo y de la erosión.			
Infiltración y densidad aparente.	Potencial de lixiviación, productividad y erosión			
Capacidad de retención de agua.	Relacionado con el contenido de humedad, transporte y erosión			
	humedad aprovechable, textura y materia orgánica.			
	Indicadores químicos			
Materia orgánica (N y C total).	Fertilidad del suelo, estabilidad y erosión.			
	Potencial productivo.			
pH.	Límites para la actividad química y biológica, para el			
	crecimiento de plantas y actividad microbiana.			
Conductividad eléctrica.	Define la actividad vegetal y microbiana.			
P, N y K extraíbles	Disponibilidad de nutrientes para la planta.			
	Indicadores de calidad ambiental.			

Fuente. Navarro & Navarro (2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Localización del estudio

El presente trabajo experimental se realizó en la Granja Experimental Santa Inés, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, ubicada en 5,5 km, vía Machala-Pasaje, parroquia El Cambio, cantón Machala, de la provincia de El Oro (Figura 4).

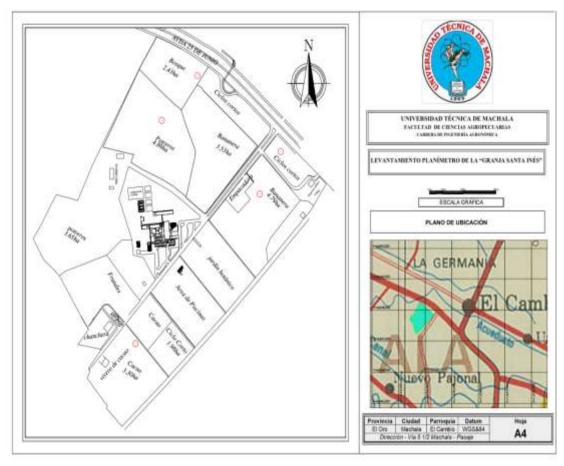


Figura 4. Levantamiento planímetro de la Granja Experimental Santa Inés.

Ubicación geográfica

Longitud oeste: 9636128 UTM

Latitud sur: 620701 UTM

Altitud: 5 msnm

Datum: WGS 84; Zona: 17 Sur.

3.1.2. Clima y ecología

La zona en estudio según los registros del INAMHI (2012) presenta una temperatura media anual de 25 °C, precipitación media anual de 427 mm y una heliofanía promedio anual de 2 a 3 horas diarias. De acuerdo a la zona de vida natural de Holdridge (1947) se clasifica dentro de la formación bosque muy seco –Tropical (bms-T). Según Bustamante (2016) se encuentra en elevaciones comprendidas entre los 0 y los 300 msnm, con un clima tropical mega térmico seco, con una temperatura media anual que oscila entre los 25 y 26°C, y entre 500 y 750 mm de precipitaciones (Tabla 7).

Tabla 7. Condiciones climatológicas del predio.

Índice	Variación de la	Régimen	Tipo de	Zona de	Tempe-	Precipit
hídrico	humedad	térmico	clima	vida	ratura	ación
Sub húmedo	Gran déficit hídrico en Época seca	Cálido	Tropical mega térmico seco	Bosque muy seco tropical	25- 26°C	500-750 mm

Fuente. Bustamante (2016).

3.1.3. Materiales, equipos y reactivos utilizados en la investigación

Materiales

- Navaja.
- Regla.
- Fundas plásticas, plástico de embalaje y etiquetas
- Espátula, Pala, Machete.
- balones aforados 100 ml.
- Pipetas 10 y 20 ml.
- Probetas tipo Bouyoucos de 1205 ml
- Pizzetas.
- Bandejas.
- Tamiz de 2 mm.

Reactivos

- Dicromato de potasio al 1N.
- Agua destilada.
- Ácido sulfúrico y ácido fosfórico.
- Sulfato ferroso amoniacal 0.2 N.
- Difenilamina.

Equipos

- Balanza Electrónica Analítica de 300 g.
- Hidrómetro de 5 a 60GR/LT (Bouyoucus scale).
- Termómetro (escala -20 °C a 100 °C).
- Estufa.
- Batidora Eléctrica H-4260^a.
- GPS.
- Vaso plástico 50 ml.
- Potenciómetro.
- Conductímetro.

3.1.4. Variables analizadas

Para cumplir con los objetivos planteados en la investigación se tomaron tres muestras de suelo en cada sistema de producción seleccionado a tres profundidades de suelo diferentes:

- Porcentaje de arcilla, limo y arena.
- Densidad real.
- pH.
- Contenido de materia orgánica (MOS).
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC).
- Conductividad eléctrica.
- Elementos primarios (N, P, K).
- Elementos secundarios (Ca, Mg).

3.2. Diseño de la investigación

El estudio es de tipo observacional; por lo que no se intervienen o modifican las unidades de estudio, transversal, ya que solamente se realiza una medición en la unidad de estudio, prospectivo, ya que se realizó planeación de la recolección de datos con lo cual se evita los sesgos de medición y analítico, debido a que se consideran un grupo de variables en la investigación. Para su desarrollo se seleccionaron cinco agrosistemas objeto de estudio que corresponden a áreas productivas de banano, bosque, cultivos de ciclo corto, potreros y cacao. Posteriormente se realizó el levantamiento del perímetro de la franja experimental y de los respectivos agroecosistemas, en los cuales se establecieron de forma

completamente al azar puntos permanentes de muestreo (PPM). La toma de muestra se realizó en las distintas áreas de estudio donde se georreferenciaron con GPS, los cinco PPM donde se procedió a realizar calicatas con un diámetro de 60 x 60 cm, a tres profundidades del suelo (0-15 cm, 15-30 cm y de 30-45 cm) (Figura 5).

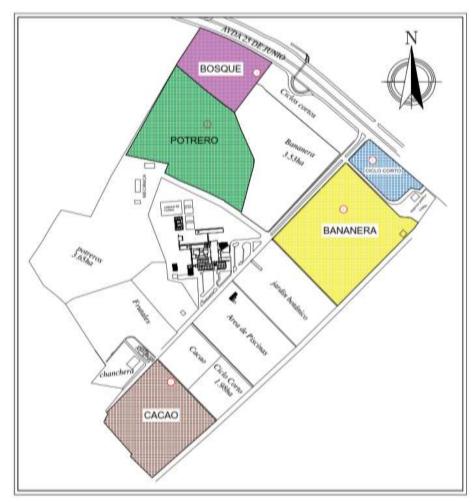


Figura 5. Puntos permanentes de muestreo utilizados para la toma de muestras de suelo en los sistemas de producción seleccionados.

La granja santa Inés cuenta con varios agroecosistemas entre los que destacan y son parte del estudio el área dedicada a bosque, cultivos de ciclo corto, banano, pastos y cacao que a continuación se caracterizan:

Bosque: cuenta con un área total de 2.43 ha, es considerado un bosque secundario, posee una gran variedad de árboles locales que generan una elevada cantidad de biomasa que se descompone y se integra al suelo, el mismo que no ha sufrido una intervención agrícola durante 40 años aproximadamente. Entre las especies forestales se destacan Caoba, Guachapelí, Sauces y Samanes.

Ciclo corto: cuenta con un área de 1.74 ha en el cual se siembra distintas variedades de ciclo corto donde destaca el maíz, soya, melón, maní, etc. se encuentra bajo constante actividad agrícola, posee un sistema de riego por gravedad, y la preparación del terreno se realiza con maquinaria agrícola, además de lampas y azadones.

Banano: cuenta con un área de 8.32 ha y se divide en dos lotes separados por la vía de ingreso a la facultad de ciencias agropecuarias, el lote considerado para el estudio se encuentra al lado izquierdo entrando a la facultad de 4.79 ha. Posee una producción de 40-60 cajas por semana, está dotado de drenajes, sistema de riego, empacadora, plantilla experimental, su sistema de producción es convencional. Además, destaca una colección de banano única en el país que se describe en la siguiente tabla.

Tabla 8. Colección de especies de banano presentes en la granja Santa Ines.

Especie	Grupos	Subgrupos	Clones
	_	Sucrier	Baby Banana
	Diploida		Gross Michel
	Diploide	Gross Michel	Gran Naine
			Dwarf
Musa acuminata			Cavendish
			Valery
	Triploides	Cavendish	Lacatan
			Willians, Rojo
			y Rojo-verde

Pastos: cuenta con un área de 4.89 ha y se encuentra a 8 msnm, el cual se distribuyen en pastizales, establos, potreros y un módulo de ordeño. Los potreros se dividen en varios lotes destinados a la alimentación bovina entre los pastos predominante tenemos a: pasto alemán, tenner y pasto estrella.

Cacao: cuenta con un área de 5.98 ha, posee un sistema de riego por gravedad, cuenta con un aula al aire libre, vivero para la propagación de material vegetal, instalaciones para la fermentación y secado de la almendra de cacao. Aquí se encuentra una importante colección de cacao entre las más importantes podemos mencionar a: EET 48, EET 111, EET 113, ICS95, CCN51 (F1), AMAZONAS1 y NACIONAL.

3.2.1. Análisis de laboratorio

La muestra estuvo conformada por 1 kg de suelo homogéneo, tomada en todo el diámetro de cada profundidad del perfil, mediante el empleo de una pala (Figura 6), se depositó en

funda con su respectiva identificación, la cual fue ubicada dos veces, una dentro de la funda y otra fuera de la funda, para prevenir cualquier perdida que pueda ocurrir en su traslado.



Figura 6. Toma de muestra de suelo en cada profundidad con el empleo de la pala.

Posteriormente se procedió a realizar el embalaje de las muestras de suelo (Figura 7) para su respectivo envío al laboratorio de suelos, foliares y aguas, perteneciente a la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD), vía interoceánica Km 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco–Quito.



Figura 7. Embalaje y etiquetado de las muestras de suelo para su envío al laboratorio de suelos, foliares y aguas de AGROCALIDAD.

En la Tabla 9 se detallas las variables estudiadas y los métodos utilizados para su determinación en el laboratorio.

Tabla 9. Métodos utilizados para la determinación de las variables.

Variable analizada	Método	Unidad de medida
pН	Potenciómetro	<u></u>
Materia Orgánica	Volumétrico	%
N	Volumétrico	%
P	Colorimétrico	mg/kg
K, Ca, Mg	Absorción atómica	cmol/kg
Conductividad eléctrica	Conductímetro	ds/m
CIC	Mediante calculo	cmol/kg
Densidad real	Picnómetro	g/ml
Arena, limo y arcilla	Bouyoucos	%

La capacidad de intercambio catiónico equivale a la sumatoria de los cationes intercambiables es decir a mayor CIC mayor es la capacidad de retener cationes. Por lo cual la cantidad y tipo de materia orgánica y arcilla influyen en el CIC de los suelos. La fórmula utilizada para la determinación de la CIC se explica a continuación (Abrego, 2012).

$$CIC = \frac{(Volumen\ muestra - Volumen\ blanco)*NH_2SO_4*100}{gramos\ de\ muestra}$$

Donde:

Volumen muestra: ml de titulante gastado en la muestra.

Volumen blanco: ml de titulante gastado para titular

NH₂SO₄: normalidad del titulante

AGROCALIDAD establece distintas categorías y rangos para la interpretación de resultados de materia orgánica (MO), elementos primarios (nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), elementos secundarios (calcio (Ca) y magnesio (Mg), en la región costa (Tabla 9).

Tabla 10. Interpretación de resultados de MO, N, P, K, Ca y Mg para la región Costa.

	Parámetro	MO	N	P	K	Ca	Mg
		(%)	(%)	(mg/kg)	(cmol/kg)	(cmol/kg)	(cmol/kg)
	Bajo	<3.1	0-0.15	0-10.0	< 0.2	< 5.0	<1.6
	Medio	3.1-5.0	0.16-0.3	11.0-20.0	0.2-0.38	5.0-9.0	1.6-2.3
	Alto	>5.0	>0.31	>21.0	>0.4	>9.0	>2.3

Fuente. AGROCALIDAD (2019).

Categorías y valores de pH del suelo, a tener en cuenta para la interpretación de los resultados, según AGROCALIDAD, para las regiones costa y sierra (Tabla 10).

Tabla 11. Interpretación de resultados del pH para la región costa y sierra.

Darámetro	Ácido	Ligeramente	Prácticamente	Ligeramente	Alcalino
Parámetro	Acido	Ácido	Neutro	Alcalino	Alcanno
рН	5.5	5.6 - 6.4	6.5 - 7.5	7.6 - 8.0	8.1

Fuente. AGROCALIDAD (2019).

Categorías y valores de conductividad eléctrica (CE) a tener en cuenta para la interpretación de los resultados, según AGROCALIDAD, para las regiones costa y sierra (Tabla 11).

Tabla 12. Interpretación de resultados – región costa y sierra.

Parámetro	No solino (NC)	Ligeramente	Salino (S)	Muy Salino
rarametro	No salino (NS)	Salino (LS)	Saimo (S)	(MS)
CE (ds/m)	< 2.0	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0	4.0 - 8.0

Fuente. AGROCALIDAD (2019).

3.2.2. Procedimiento estadístico

Para conocer si se presentan o no diferencias estadísticas significativas entre las medias de las variables numéricas medidas en escala de razón, densidad real (g/ml), arcilla (%), limo (%) y arena (%) y químicas (pH, MO (%), N (%), P (mg/kg), K (cmol/kg), Ca (cmol/kg), Mg(cmol/kg), CIC (cmol/kg) y CE (ds/m) se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) de un factor intergrupos, previa verificación de los requisitos de la distribución de datos para realizar pruebas paramétricas, dentro de los que se encuentran, la independencia de las observaciones, garantizada mediante la aleatorización de los PPM y la homogeneidad de la muestra de suelo tomada; normalidad de datos, verificada con el test de Shapiro-Wilk, por tener un valor menor de 50 observaciones por cada sistema agrícola, así como la homogeneidad de varianzas, la cual fue verificada mediante el test de Levene.

Supuestas k poblaciones independientes, las hipótesis del contraste son siguientes (Bakieva, González, & Jornet, 2010):

- H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = ... = \mu_k$. Las medias poblacionales son iguales
- H₁: Al menos dos medias poblacionales son distintas

Previamente, y con la finalidad de realizar el análisis estadístico de forma independiente para cada profundidad del suelo se efectuó segmentación de datos en el software estadístico.

En caso de presentarse diferencias estadísticas significativas entre los distintos sistemas agrícolas para cada una de las profundidades evaluadas (0-15 cm, 15-30 cm y 30-45 cm) en función de las medias de densidad real, arcilla, limo y arena; así como las químicas (pH, MO, CIC, CE, N, P, K, Ca y Mg) se aplicaron pruebas post hoc, de rangos y comparaciones múltiples (Duncan, 1955), con la finalidad de establecer entre que tratamientos se encuentran las diferencias o similitudes.

La prueba de Duncan permite cotejar los valores de los t niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de la técnica ANOVA. El Test de Duncan se asemeja al Test HSD de Tukey, ya que trabaja con un umbral cambiante, el mismo que dependerá del total de medidas analizadas en las comparaciones (Llopis, 2013).

$$R_P = r_p \sqrt{\frac{S^2}{n}}$$

Donde:

r_p: son los rangos studentizados de menor significancia y dependen del nivel de significancia y del número de grados de libertad.

s²: es el cuadrado medio del error y se toma de la tabla de análisis de varianza.

n: es el número de elementos para un tratamiento específico.

p: representa el tamaño del conjunto de medias.

Rp puede entenderse como la diferencia mínima que debe existir entre la media más grande y la más pequeña de un conjunto de tamaño p.

Para establecer si las propiedades físicas del suelo se encuentran relacionadas de forma lineal con las propiedades químicas del suelo, se aplicó la prueba de hipótesis para el contraste. Cuando se presentó correlación significativa (p-valor<0.05) se interpretaron el tipo y la fuerza de la correlación entre las dos variables, para los cual se efectuó el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (r).

Los datos primarios obtenidos fueron procesados estadísticamente con el paquete estadístico SPSS versión 24 de prueba para Windows (IBM Corp, 2016) y se utilizó una confiabilidad en la estimación del 95% (α =0.05).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comportamiento de las propiedades físicas y químicas del suelo por cada sistema de producción

4.1.1 Propiedades físicas

4.1.1.1 Densidad real

El análisis de varianza de un factor intergrupos evidencia que se presenta diferencia estadística significativa entre los diferentes sistemas de producción en función de la densidad real, en las profundidades del suelo de 0-15 y 15-30 cm, lo que indica que el cultivo que se utilice y el manejo que se realice incide en los parámetros de densidad real en el suelo (Cuadro 1); sin embargo, no se presenta diferencias entre los sistemas de producción a los 30-45 cm del suelo.

Cuadro 1. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la densidad real (g/ml) en los diferentes sistemas de producción.

Profun	Profundidad del suelo		gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	0,578	4	0,144	2,359	0,017
0-15 cm	Dentro de grupos	0,673	11	0,061		
	Total	1,251	15			
	Entre grupos	0,730	4	0,183	8,046	0,003
15-30 cm	Dentro de grupos	0,250	11	0,023		
	Total	0,980	15			
	Entre grupos	0,079	4	0,020	0,788	0,557
30-45 cm	Dentro de grupos	0,275	11	0,025		
	Total	0,354	15			

Las variaciones encontradas en la densidad real en relación con los diferentes cultivos evidencian que en el cultivo de maíz (2,34 g/ml) se alcanzan valores mayores y diferentes estadísticamente al sistema pastos (1,76 g/ml), donde se evidencia la menor compactacion del suelo, e iguales al resto de agroecosistemas estudiados bosque (2,02 g/m), banano, (2,05 g/m) y cacao (2,20 g/m), lo que demuestra que la intensificación de las labores es una condicionante para el incremento de la compactación del suelo, ya que en el sistema pastos no se realiza una explotación intensiva, al igual que en el resto de los agroecosistemas, no así, en maíz, donde se efectúan en el año hasta dos siembras de cultivos de ciclo corto; estos resultados que se contradicen con lo obtenido por Lal (1996),

investigador que demostró que la variabilidad en el uso del suelo, causan cambios drásticos en las propiedades fisicas al comparar un sistema boscoso con uno de pastos, en este último se incrementó debido al pisoteo del ganado. Sin embargo, Pinzón y Amézquita (1991) definieron que la intensidad de los cambios dependen de la zona de cultivo y la especie de plantas cultivada.

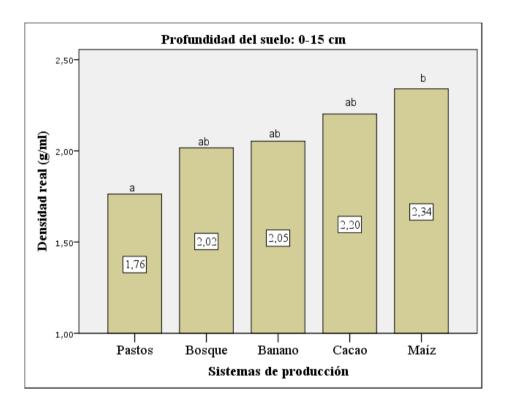


Figura 8. Promedio de densidad real (g/ml) a 0-15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

En la profundidad de 15-30 cm se observa diferencia estadística entre pastos (1,78 g/ml) y el resto de los agroecosistemas estudiados (se obtuvieron valores por encima de 2,17 g/ml) (Figura 9). Porta, Acevedo, & Poch (2014) menciona que suelos con alto contenido de materia orgánica la densidad real varía entre 1,10 a 1,40 g/cm³, mientras que Herrera y otros (1989) citado por Zambrano, Apráez, & Navia (2014) los suelos con mínima labranza poseen una densidad de 2,31 g/cm³, así mismo afirman que los valores de densidad real son difíciles de alterar puesto que están relacionados con la fracción mineral del suelo, sin embargo puede ser afectado a largo plazo por la compactación y degradación del suelo.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

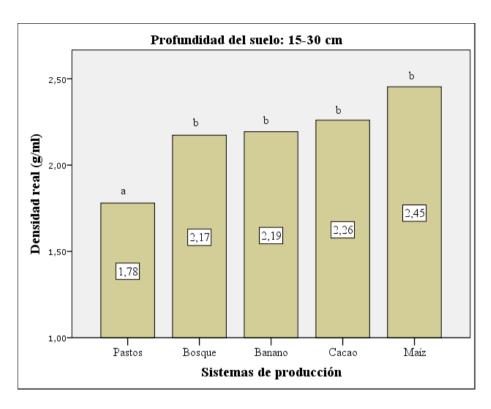


Figura 9. Promedio de densidad real (g/ml) a 15-30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

En la profundidad de suelo de 30-45 cm no se presenta diferencia estadística entre los agroecosistenas objeto de estudio en función de la densidad real del suelo, sin embargo, en el maíz (2,45 g/ml) se alcanzó el mayor valor, lo que ofrece un indicio que a esta profundidad el suelo se encuentra con una ligera compactación en el suelo (Figura 10). Guerra & Mendieta (2011) al analizar la densidad real en distintas profundidades determinaron que dicha propiedad no varia significativamente ya que no es influenciada por la actividad agricola o por el efecto del tiempo. Mientras que Volverás, Amézquita, & Campo (2016) mencionan que la labranza exesiva genera perdida de materia organica y el desprendimiento de material fino de la superficie, lo que aporta al incremento de la densidad en las primeras capas de suelo.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

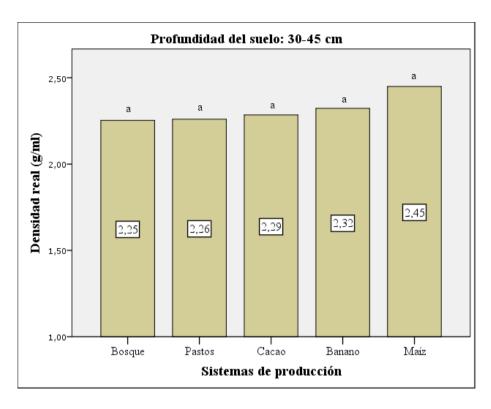


Figura 10. Promedio de densidad real (g/ml) a 30-45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

4.1.1.1 Arcilla

El contenido de arcilla (%), en las profundidades del suelo de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, en los diferentes agroecosistemas estudiados es estadísticamente diferente, lo cual se comprobó con el análisis de varianza de un factor intergrupos aplicado, ya que se alcanzó para cada profundidad un p-valor menor a 0,05; lo que demuestra la heterogeneidad en las características de los suelos en los diferentes cultivos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la variable contenido de Arcilla (%) en los diferentes sistemas de producción a 0-15, 15-30 y 30-45 cm de profundidad.

Profu	Profundidad del suelo		gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	1634,750	4	408,688	7,263	0,004
0-15 cm	Dentro de grupos	619,000	11	56,273		
	Total	2253,750	15			
	Entre grupos	1880,083	4	470,021	26,156	0,000
15-30 cm	Dentro de grupos	197,667	11	17,970		
	Total	2077,750	15			
	Entre grupos	2424,333	4	606,083	36,498	0,000
30-45 cm	Dentro de grupos	182,667	11	16,606		
	Total	2607,000	15			

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

Las variaciones encontradas en el porcentaje de arcilla en relación con los diferentes cultivos evidencian que en el cultivo de Pastos (50,67 %) se alcanzan valores mayores y diferentes estadísticamente al sistema maiz (24%), donde se evidencia el menor porcentaje de arcilla del suelo, banano (28,67 %), bosque, (40,67%), mientras que en el cultivo de cacao no presenta diferencia significativas (46,50%) (Figura 11). Veen & Kuikman (1990) afirman que los suelos con altos contenidos de arcilla contienen mayor cantidad de materia orgánica ya que esta es absorbida por las partícula de arcilla.

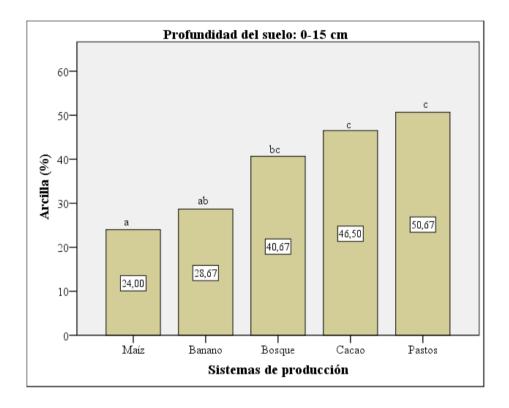


Figura 11. Promedio de arcilla (%) a 0-15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

Las variaciones encontradas en el porcentaje de arcilla de 15-30cm en relación con los diferentes cultivos evidencian que en el cultivo de Pasto (52 %) se alcanzan valores mayores y diferentes estadísticamente al sistema maiz (18%), donde se evidencia el menor porcentaje de arcilla del suelo, e iguales al resto de agroecosistemas estudiados banano (36,67%), bosque, (36%) y cacao (42,50%) (Figura12).

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

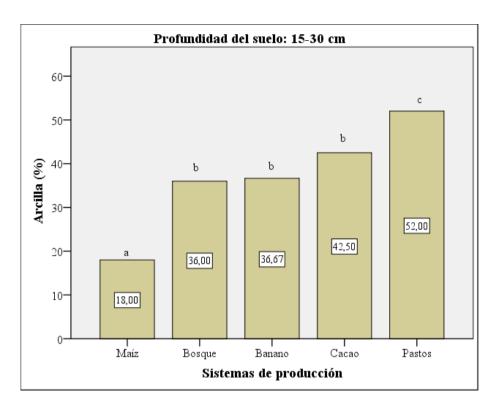


Figura 12. Promedio de arcilla (%) a 15 - 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

Las variaciones encontradas en el porcentaje de arcilla de 30-45cm en relación con los diferentes cultivos evidencian que en el cultivo de cacao (45%) se alcanzan valores mayores y diferentes estadísticamente al sistema maiz (12,67%), donde se evidencia el menor porcentaje de arcilla del suelo, pastos (20%), bosque, (34%) y banano (40%). Solano, Barrezueta, & Chabla (2018) en su investigación realizada en la granja Santa Inés obtuvieron porcentajes de arcilla de 0-40 cm en el cultivo de pasto de 38.33% a 40.67% y en el bosque de 28-33% (Figura 13).

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

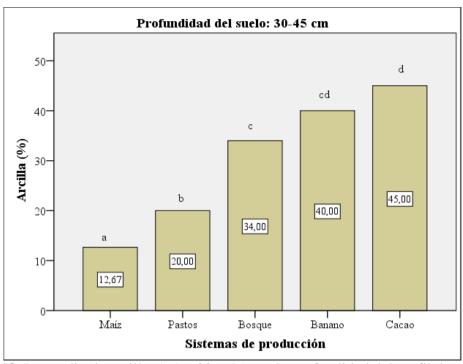


Figura 13. Promedio de arcilla (%) a 30 – 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

4.1.1.1 Limo

El contenido de limo (%), en las profundidades del suelo de 15-30 y 30-45 cm, en los diferentes agroecosistemas estudiados es estadísticamente diferente, lo cual se comprobó con el análisis de varianza de un factor intergrupos aplicado, ya que se alcanzó para cada profundidad un p-valor menor a 0,05; sin embargo, a 0-15 cm, no se presentaron diferencias estadísticas, lo que indica homogeneidad en la profundidad analizada (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la variable contenido de Limo (%) en los diferentes sistemas de producción a 0-15, 15-30 y 30-45 cm de profundidad.

1						
Profur	ndidad del suelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	193,333	4	48,333	2,088	0,151
0-15 cm	Dentro de grupos	254,667	11	23,152		
	Total	448,000	15			
	Entre grupos	677,083	4	169,271	11,447	0,001
15-30 cm	Dentro de grupos	162,667	11	14,788		
	Total	839,750	15			
	Entre grupos	1120,750	4	280,188	16,482	0,000
30-45 cm	Dentro de grupos	187,000	11	17,000		
	Total	1307,750	15			

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

En la profundidad de suelo de 0-15cm no se presentan diferencia estadística entre los agroecosistenas objeto de estudio en función al porcentaje de limo del suelo, sin embargo, en el bosque (46%) alcanzó el mayor porcentaje y el menor en el cultivo de cacao (37%) (Figura 14)

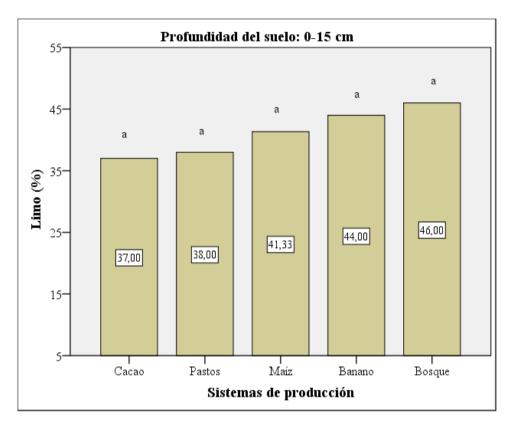


Figura 14. Promedio de limo (%) a 0-15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

Las variaciones encontradas en el porcentaje de limo de 15-30cm en relación con los diferentes cultivos evidencian que en el bosque (50%) alcanzan valores mayores diferentes estadísticamente al sistema maiz (30,67%), donde se evidencia el menor porcentaje de limo del suelo, cacao (38%), Pastos, (42%), y banano (46%) (Figura 15). Barrezueta, Paz, & Chabla (2017) en su investigación en varios sectores de la provincia de El Oro determinaron que los suelos cultivados con cacao poseen una media de 34.2% de limo.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

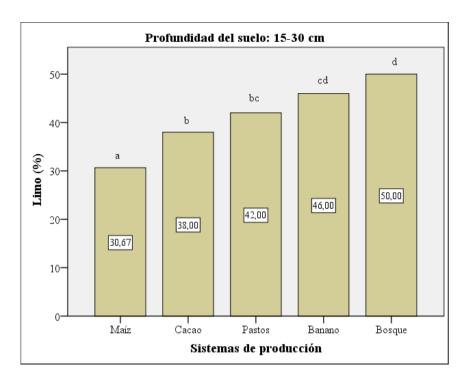


Figura 15. Promedio de limo (%) a 15-30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

Las variaciones encontradas en el porcentaje de limo en relación con los diferentes cultivos evidencian que en el bosque (54%) se alcanzan valores mayores diferentes estadísticamente al sistema maiz (27,33%), donde se evidencia el menor porcentaje de arcilla del suelo e iguales a cacao (40,50 %), banano, (42,67%) y pasto (45,33%) (Figura 16). Solano, Barrezueta, & Chabla (2018) en su investigación realizada en la Granja Santa Inés coinciden que el mayor porcentaje de limo se encuentra en el último estrato en el sector del bosque.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

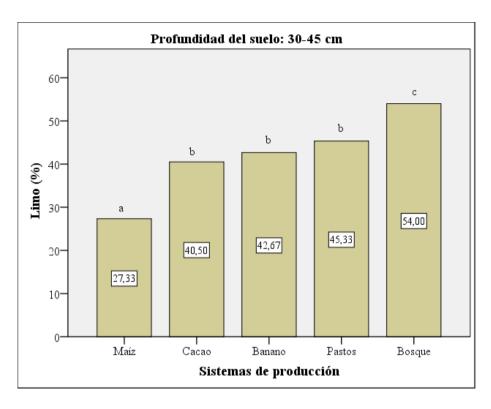


Figura 16. Promedio de limo (%) a 30-45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

4.1.1.1 Arena

El contenido de arena (%), en las profundidades del suelo de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, en los diferentes agroecosistemas estudiados es estadísticamente diferente, lo cual se comprobó con el análisis de varianza de un factor intergrupos aplicado, ya que se alcanzó para cada profundidad un p-valor menor a 0,05; lo que demuestra la heterogeneidad en las características de los suelos en los diferentes cultivos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la variable contenido de Arena (%) en los diferentes sistemas de producción a 0-15, 15-30 y 30-45 cm de profundidad.

Profundidad del suelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	1212,083	4	303,021	5,503	0,011
0-15 cm	Dentro de grupos	605,667	11	55,061		
	Total	1817,750	15			
	Entre grupos	3627,667	4	906,917	77,736	0,000
15-30 cm	Dentro de grupos	128,333	11	11,667		
	Total	3756,000	15			
	Entre grupos	5023,417	4	1255,854	32,556	0,000
30-45 cm	Dentro de grupos	424,333	11	38,576		
	Total	5447,750	15			

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

Las variaciones encontradas en el porcentaje de Arena en relación con los diferentes cultivos evidencian que en el maiz (34,67%) se alcanzan valores mayores y diferentes estadísticamente al sistema de cultivo de pasto (11,33%), donde se evidencia el menor porcentaje de arena del suelo e igual al cultivo de cacao (13,33%), así mismo mantiene diferencias significativas con el cultivo de cacao, (16,50%) y banano (34,67%) (Figura 17). Bravo & Florentino (1997) aseguran que la presencia de materiales finos (limo y arena fina) en la superficie del suelo provoca que aumente el riesgo de escurrimiento como se observa en el cultivo de maíz, de ahí la necesidad de proteger el horizonte superficial y a que si el mismo se erosiona puede emerger un horizonte de menor estabilidad estructural

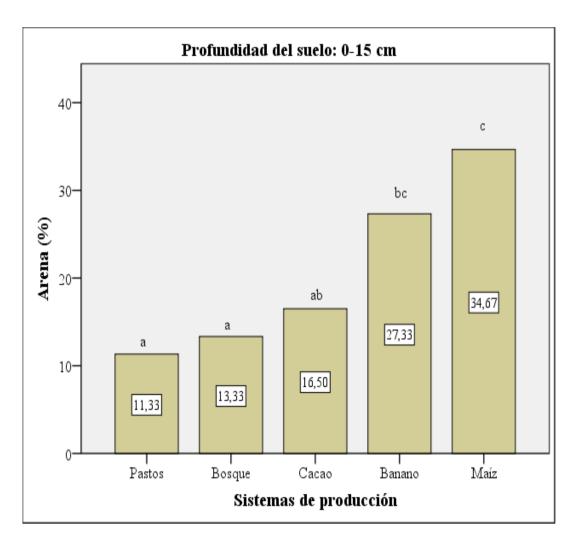


Figura 17. Promedio de arena (%) a 0-15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de producción.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

Las variaciones encontradas en el porcentaje de Arena de 15-30cm en relación con los diferentes cultivos evidencian que en el maiz (51.33%) se alcanzan valores mayores y diferentes estadísticamente al sistema de cultivo de pasto (6%), donde se evidencia el menor porcentaje de arena del suelo, asi mismo presenta diferencia significativa con el bosque (14%) e igual al cultivo de banano (17,33) y cacao (19,50%) (Figura 18).

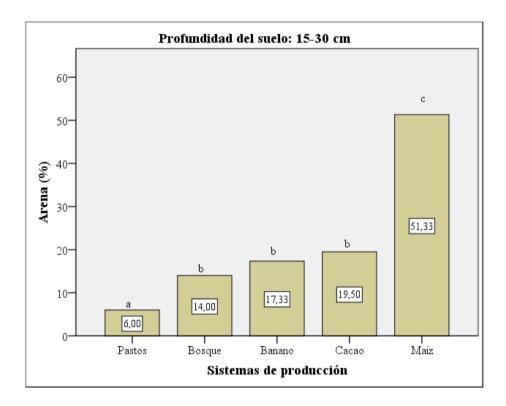


Figura 18. Promedio de arena (%) a 15-30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

Las variaciones encontradas en el porcentaje de Arena de 30-45cm en relación con los diferentes cultivos evidencian que en el maiz (60.00%) se alcanzan valores mayores y diferentes estadísticamente al sistema de cultivo de bosque (12%), donde se evidencia el menor porcentaje de arena del suelo y similares a cacao (14%), Bosque (17.33) asi mismo presenta diferencia significativa con pastos (34.67) (Figura 19). Barrezueta & Paz (2017) afirman los suelos de origen aluvial acumulan arena en los primeros 30 cm del suelo

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

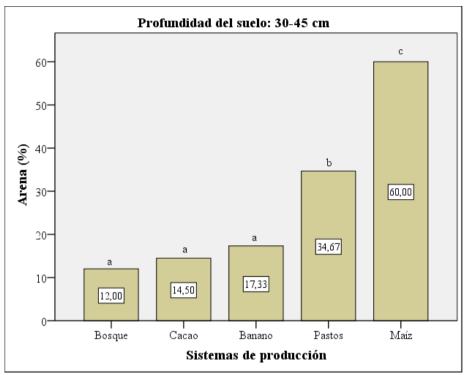


Figura 19. Promedio de arena (%) a 30 - 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de producción.

4.1.2 Propiedades químicas **4.1.2.1** pH

El análisis de varianza de un factor intergrupos evidencia que se presenta diferencia estadística significativa entre los diferentes sistemas de producción en función del pH del suelo en las profundidades del suelo de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, lo que indica que utilizar diferentes cultivos y efectuar un manejo diferente influye en las variaciones de esta variable en el suelo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para pH en los diferentes sistemas de producción.

Profu	ndidad del suelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	1,105	4	0,276	2,966	0,049
0-15 cm	Dentro de grupos	1,024	11	0,093		
	Total	2,129	15			
	Entre grupos	0,792	4	0,198	3,669	0,039
15-30 cm	Dentro de grupos	0,593	11	0,054		
	Total	1,385	15			
	Entre grupos	0,799	4	0,200	2,713	0,046
30-45 cm	Dentro de grupos	0,810	11	0,074		
	Total	1,608	15			

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

Para el caso del pH del suelo a 0-15 cm de profundidad, se obtuvieron, en todos los sistemas, valores por encima de 7, aunque en cacao (7,20 g/ml) se obtuvo el menor valor, igual estadísticamente a bosque y banano, pero diferente estadísticamente a pasto (7,81 g/ml) y maíz (7,83 g/ml), lo que puede encontrarse asociado, con la incorporación de residuos orgánicos en el suelo (Figura 20). De igual forma se comportan los estratos de 15-30cm (Figura 21) y 30-45cm (Figura 22). Vásquez & Macías (2016) pH alcalinos superiores a 8 se asocia con una alta saturación de bases, donde el Ca es el catión dominante y está condicionado a numerosos procesos fisicoquímicos, también mencionan que suelos con cultivo de banano presentan un pH de 7,5 por una concentración menos de carbono total. Romero en el (2017) menciona rangos óptimos de pH para el cultivo de cacao entre 7,24 – 7,41

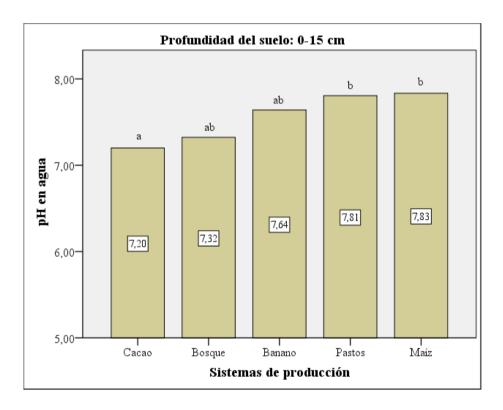


Figura 20. Promedio de pH a 0 - 15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de producción.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

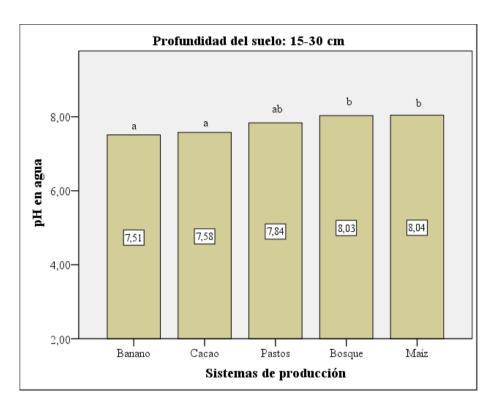


Figura 21. Promedio de pH a 15 - 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de producción.

*Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

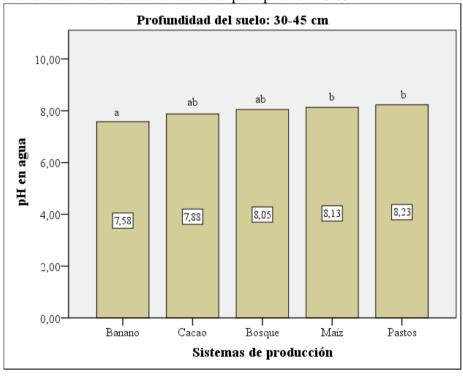


Figura 22. Promedio de pH a 30 - 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

4.1.2.2 Materia orgánica

En relación con la materia orgánica del suelo, el ANOVA de un factor intergrupos muestra que se presenta diferencia estadística significativa entre los diferentes sistemas de producción en las profundidades del suelo de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, lo que indica que el cultivo que se utilice y el manejo que se realice es un factor condicionante del porcentaje de materia orgánica del suelo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para Materia orgánica (%) en los diferentes sistemas de producción.

Profu	ndidad del suelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	18,204	4	4,551	12,330	0,000
0-15 cm	Dentro de grupos	4,060	11	0,369		
	Total	22,264	15			
	Entre grupos	6,979	4	1,745	44,617	0,000
15-30 cm	Dentro de grupos	0,430	11	0,039		
	Total	7,409	15			
	Entre grupos	0,714	4	0,178	8,153	0,003
30-45 cm	Dentro de grupos	0,241	11	0,022		
	Total	0,954	15			

El comportamiento de la materia orgánica del suelo mostró que en cacao (3,71%) y bosque (2,92%), se alcanzaron los mayores valores, diferentes estadísticamente a maíz (0,64%) y pastos (1,80), lo que se atribuye a la gran cantidad de hojas, ramas y tallos que se generan que se incorporan al suelo por la actividad de los microorganismos. (Palma, Salgado, Zavala, & Lagunes (2015) menciona que la materia orgánica se reduce en cuanto aumenta la profundidad tal como se puede observar en las distintas profundidades de todos los agroecosistemas estudiados

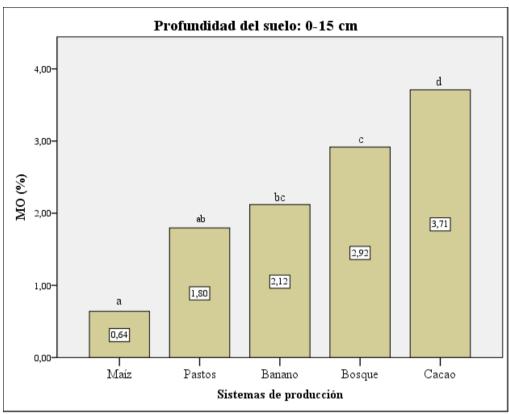


Figura 23. Promedio de materia orgánica (%) a 0 - 15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

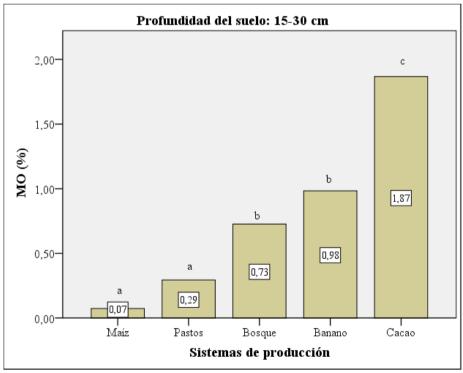


Figura 24. Promedio de materia orgánica (%) a 15 - 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

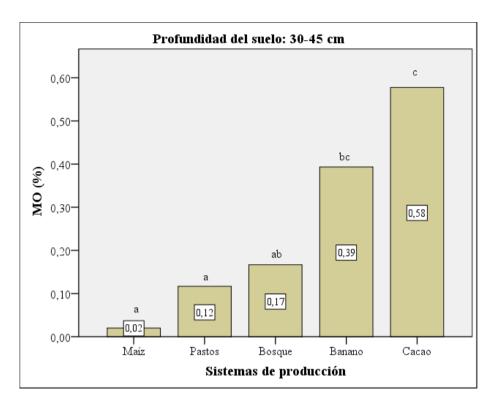


Figura 25. Promedio de materia orgánica (%) a 30 - 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

4.1.2.3 Nitrógeno

El análisis de varianza de un factor intergrupos evidencia que se presenta diferencia estadística significativa entre los diferentes sistemas de producción en función del porcentaje de nitrógeno, en las profundidades del suelo de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, condición que evidencia que el cultivo utilizado y el manejo que se realice afecta los valores obtenidos en esta variable (Cuadro 7).

Cuadro 7. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para Nitrógeno (%) en los diferentes sistemas de producción.

Profu	Profundidad del suelo		gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	0,046	4	0,011	11,760	0,001
0-15 cm	Dentro de grupos	0,011	11	0,001		
	Total	0,056	15			
	Entre grupos	0,017	4	0,004	12,646	0,000
15-30 cm	Dentro de grupos	0,004	11	0,000		
	Total	0,021	15			
	Entre grupos	0,002	4	0,001	8,289	0,002
30-45 cm	Dentro de grupos	0,001	11	0,000		
	Total	0,003	15			

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

El comportamiento del N en el suelo mostró que en cacao (0,19%) y bosque (0,14%), se alcanzaron los mayores valores, diferentes estadísticamente a maíz (0,03%) y pastos (0,09) e igual a banano (0,11%) (Figura 26). Se observa que en las profundidades de 15-30cm (Figura 27) y 30-45 cm (Figura 28) va disminuyendo el porcentaje del nitrógeno en el suelo esto es propio de la génesis del suelo así lo afirma Palma y otros (2015) que de igual forma mencionan que los sectores con mayor cantidad de materia orgánica presentan altos niveles de N en comparación a los demás ecosistema esto se evidencia en el cultivo de cacao y el bosque que obtuvieron los porcentaje de materia orgánica más alto y de igual forma el porcentaje de N.

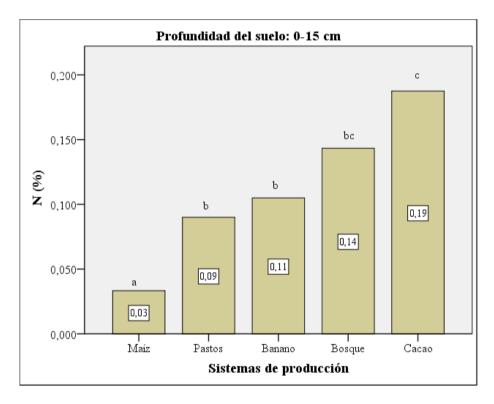


Figura 26. Promedio de nitrógeno (%) a 0-15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

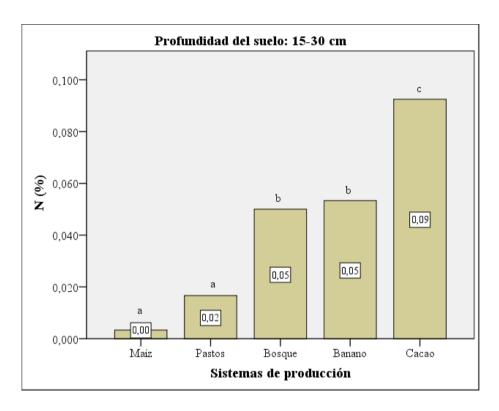


Figura 27. Promedio de nitrógeno (%) a 15 - 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

*Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

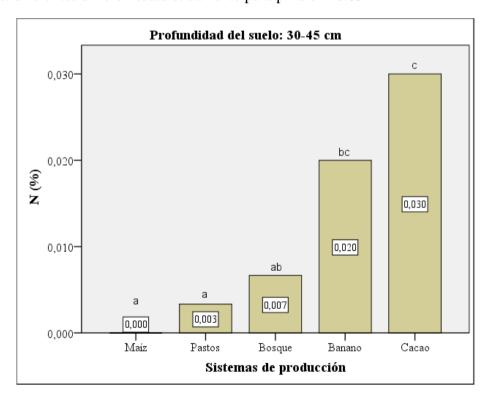


Figura 28. Promedio de nitrógeno (%) a 30-45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

4.1.2.4 Fósforo

En relación con el contenido de fósforo en el suelo (mg/kg), el ANOVA de un factor intergrupos muestra que se presenta diferencia estadística significativa entre los diferentes sistemas de producción en las profundidades del suelo de 0-15 y 15-30 cm, lo que indica que el cultivo y el manejo utilizado influye en el contenido de fósforo del suelo (Cuadro 8), sin embargo, a los 30-45 cm no se presentan diferencias estadísticas significativas entre los sistemas de producción.

Cuadro 8. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para el contenido de fósforo del suelo (mg/kg) en los diferentes sistemas de producción.

Profundidad del suelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
0-15 cm	Entre grupos	1122,146	4	280,537	41,491	0,000
	Dentro de grupos	74,375	11	6,761		
	Total	1196,521	15			
	Entre grupos	64,427	4	16,107	399,31	0,000
15-30 cm	Dentro de grupos	0,444	11	0,040		
	Total	64,871	15			
30-45 cm	Entre grupos	0,043	4	0,011	0,599	0,671
	Dentro de grupos	0,196	11	0,018		
	Total	0,239	15			

El comportamiento del P en el suelo mostró que en cacao (23,35mg/kg), se alcanzaron los mayores valores, diferentes estadísticamente a maíz (3,23mg/kg) e iguales a banano (3,45) bosque (4.13mg/kg) y pastos (5,57mg/kg) (Figura 29). Fassbender & Bornemiza (1994) Afirman que el P es muy variable en áreas tropicales, de igual forma el contenido de este mineral depende de la textura del suelo ya que cuando más fina es su textura mayor es el contenido de P, otro factor influyente es la profundidad a mayor profundidad menor concentración de P esto por la reducción de la materia orgánica y de fosfatos orgánicos en el suelo tal como se observa en el cultivo de cacao

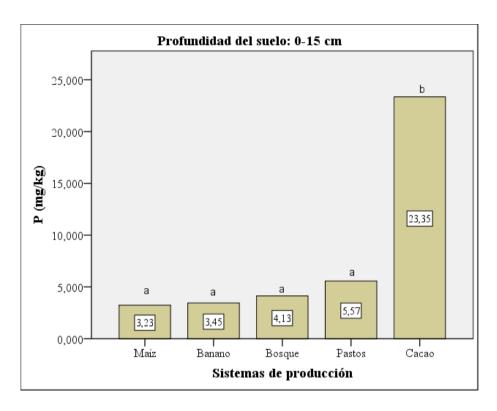


Figura 29. Promedio de fósforo (mg/kg) a 0 - 15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

*Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

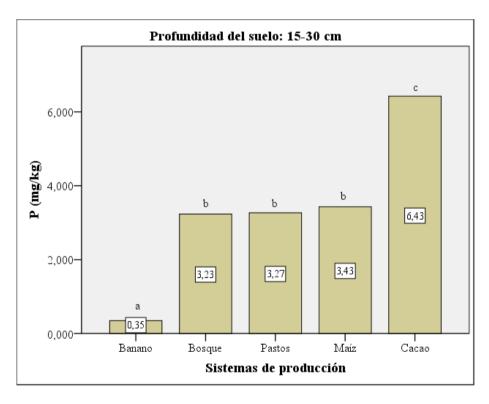


Figura 30. Promedio de fósforo (mg/kg) a 15–30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

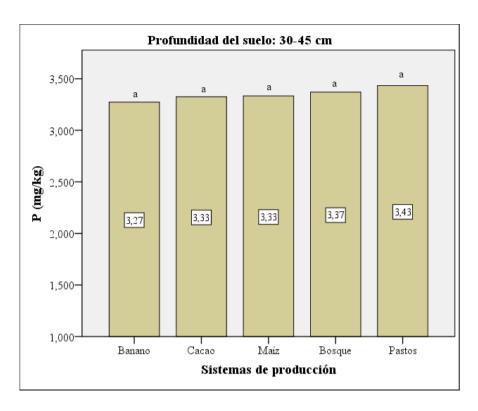


Figura 31. Promedio de fósforo (mg/kg) a 30-45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

4.1.2.5 Potasio

En relación con el contenido de potasio del suelo (mg/kg), el ANOVA de un factor intergrupos muestra que se presentan diferencias estadísticas significativas entre los diferentes sistemas de producción en las profundidades del suelo de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, lo que indica que el cultivo y el manejo utilizado influye en el contenido de potasio del suelo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para el contenido de potasio del suelo (cmol/kg) en los diferentes sistemas de producción.

Profundidad del suelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
0-15 cm	Entre grupos	2,432	4	0,608	21,621	0,000
	Dentro de grupos	0,309	11	0,028		
	Total	2,742	15			
	Entre grupos	1,246	4	0,311	17,449	0,000
15-30 cm	Dentro de grupos	0,196	11	0,018		
	Total	1,442	15			
	Entre grupos	0,327	4	0,082	10,184	0,001
30-45 cm	Dentro de grupos	0,088	11	0,008		
	Total	0,415	15			

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

El comportamiento del K en el suelo mostró que en pasto (1,59 cmol/kg) y bosque (1,19 cmol/kg), se alcanzaron los mayores valores, diferentes estadísticamente a banano (0,56 cmol/kg), maiz (0,62cmos/kg), cacao (0,69 cmol/kg) (Figura 32). Conti en (1992) afirma que la disponibilidad de K depende del contenido y calidad de arcilla esto lo corrobora Ramos, Durango, Grandett, Díaz, & Barrera (2006) que además menciona al CIC, contenido de materia orgánica, calcio y magnesio afectan la disponibilidad del mismo por ende se puede observar la reducción de contenido de K en el estrato de 0-15cm y 30-45cm donde los porcentajes de arena aumentan y se reduce el contenido de materia orgánica.

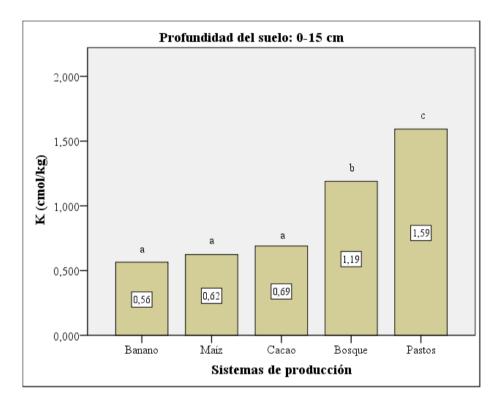


Figura 32. Promedio de potasio (cmol/kg) a 0 - 15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

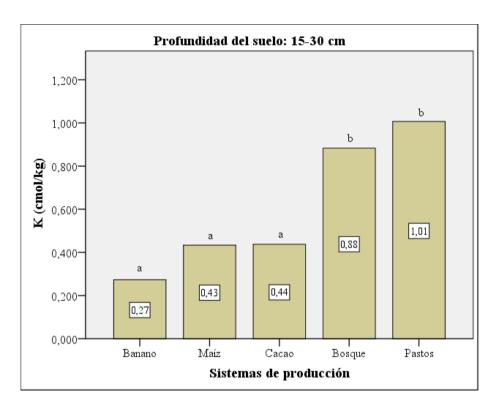


Figura 33. Promedio de potasio (cmol/kg) a 15 - 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

*Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

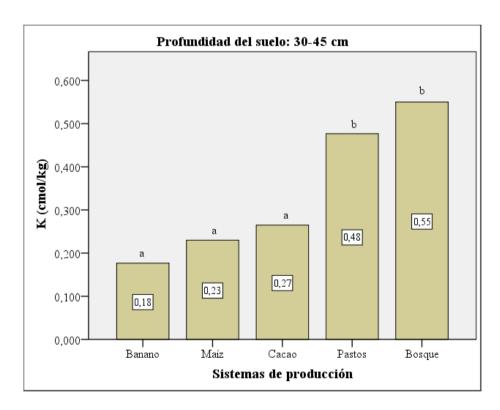


Figura 34. Promedio de potasio (cmol/kg) a 30-45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

4.1.2.6 Calcio

En relación con el contenido de calcio del suelo (cmol/kg), el ANOVA de un factor intergrupos evidencia que se presentan diferencias estadísticas significativas entre los diferentes sistemas de producción en las profundidades del suelo de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, lo que indica que el cultivo y el manejo utilizado influye en el contenido de calcio del suelo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para el contenido de calcio del suelo (cmol/kg) en los diferentes sistemas de producción.

Profundidad del suelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
0-15 cm	Entre grupos	8,399	4	2,100	3,057	0,044
	Dentro de grupos	7,556	11	0,687		
	Total	15,955	15			
15-30 cm	Entre grupos	11,339	4	2,835	1,664	0,042
	Dentro de grupos	18,743	11	1,704		
	Total	30,082	15			
30-45 cm	Entre grupos	78,074	4	19,518	4,398	0,023
	Dentro de grupos	48,814	11	4,438		
	Total	126,888	15			

El comportamiento del Ca en el suelo mostró que en cacao (16,88 cmol/kg), se alcanzaron los mayores valores, diferentes estadísticamente a banano (14,97cmol/kg) de igual forma con pastos (15,35cmos/kg) e iguales a maíz (15,47cmol/kg), bosque (16,32cmol/kg) (Figura 35). Fassbender & Bornemisza (1994) mencionan que en suelos no muy ácidos el Ca es el catión principal en el complejo de cambio, a su vez cuando el lavado es moderado el calcio no sale del perfil pues se acumula y se profundiza con las precipitaciones por lo cual se observan contenidos de Ca altos en el último estrato de estudio en relación a los demás nutrientes estudiados

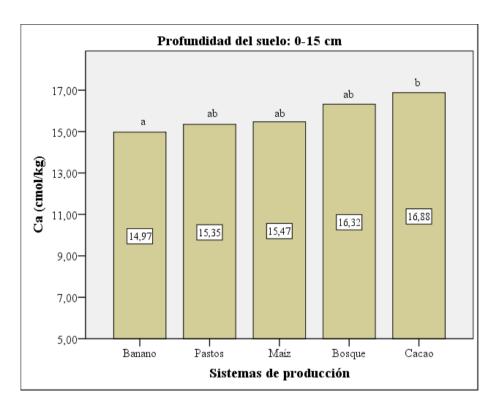


Figura 35. Promedio de calcio (cmol/kg) a 0 - 15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

*Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

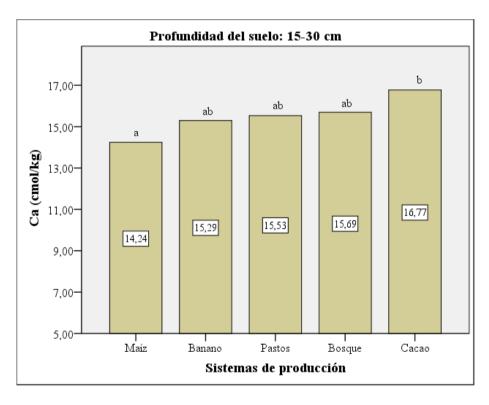


Figura 36. Promedio de calcio (cmol/kg) a 15 - 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

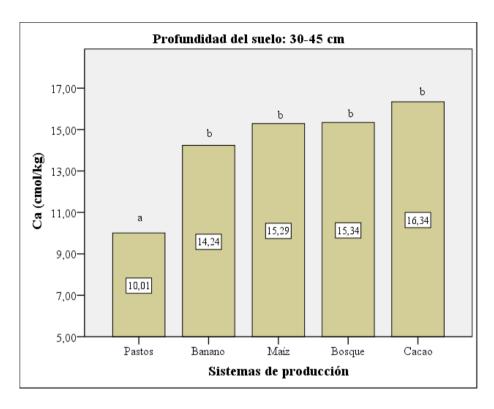


Figura 37. Promedio de calcio (cmol/kg) a 30 - 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

4.1.2.7 Magnesio

El contenido de magnesio del suelo (cmol/kg), muestra diferencias estadísticas significativas entre los diferentes sistemas de producción en las profundidades del suelo de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, lo que indica que el cultivo y el manejo utilizado influye en el contenido de magnesio del suelo (Cuadro 11).

Cuadro 11. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para el contenido de magnesio del suelo (cmol/kg) en los diferentes sistemas de producción.

Profundidad del suelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	14,012	4	3,503	36,268	0,000
0-15 cm	Dentro de grupos	1,062	11	0,097		
	Total	15,075	15			
	Entre grupos	15,704	4	3,926	24,818	0,000
15-30 cm	Dentro de grupos	1,740	11	0,158		
	Total	17,444	15			
	Entre grupos	17,015	4	4,254	25,159	0,000
30-45 cm	Dentro de grupos	1,860	11	0,169		
	Total	18,875	15			

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

El comportamiento del Mg en el suelo mostró que en banano (5,24 cmol/kg) y bosque (4,93 cmol/kg), se alcanzaron los mayores valores, diferentes estadísticamente a cacao (2,77 cmol/kg), maíz (3,58 cmol/kg) y pasto (3,72 cmol/kg) (Figura 38). Arteaga, Navia, & Castillo (2016) en su estudio determinaron que los sistemas productivos que involucran menor taza de incorporación de residuos orgánicos generan una reducción progresiva del Mg, de igual forma obtuvieron 5,0 cmol/mg en el sector de bosque asemejándose a los datos obtenidos en el sector.

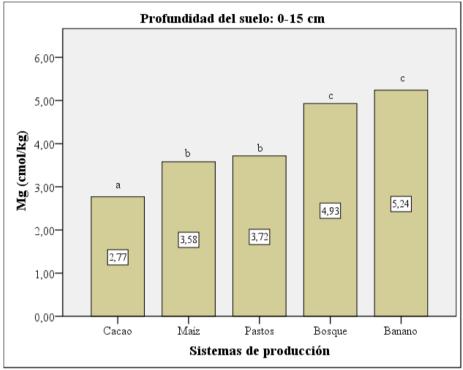


Figura 38. Promedio de magnesio (cmol/kg) a 0 - 15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

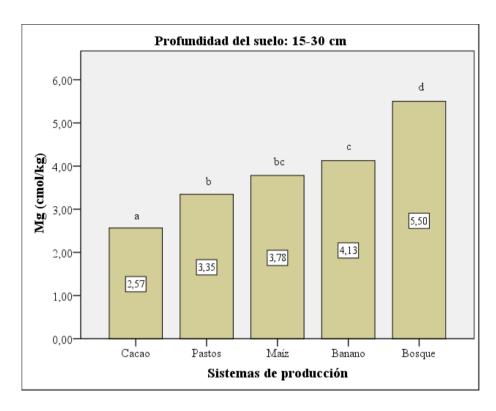


Figura 39. Promedio de magnesio (cmol/kg) a 15 - 30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

*Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

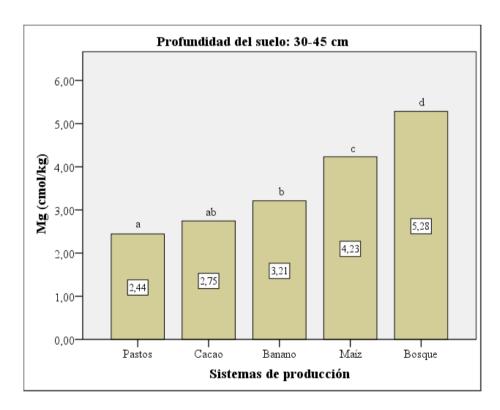


Figura 40. Promedio de magnesio (cmol/kg) a 30-45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

4.1.2.8 Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico del suelo (cmol/kg), muestra diferencias estadísticas significativas entre los diferentes sistemas de producción en las profundidades del suelo de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, lo que indica que el cultivo y el manejo utilizado influye en la fertilidad del suelo (Cuadro 12).

Cuadro 12. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la capacidad de intercambio catiónico (cmol/kg) en los diferentes sistemas de producción.

Profundidad del suelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
0-15 cm	Entre grupos	610,999	4	152,750	18,999	0,000
	Dentro de grupos	88,438	11	8,040		
	Total	699,437	15			
15-30 cm	Entre grupos	578,768	4	144,692	27,083	0,000
	Dentro de grupos	58,768	11	5,343		
	Total	637,536	15			
30-45 cm	Entre grupos	716,807	4	179,202	35,800	0,000
	Dentro de grupos	55,061	11	5,006		
	Total	771,868	15			

La capacidad de intercambio catiónico evidencia que en maíz (13,28 cmol/kg) se alcanzan los valores más bajos, inclusive por debajo de 20, diferente estadísticamente al resto de los sistemas productivos, lo cual indica que un manejo del suelo de forma continuada e intensiva provoca una disminución del secuestro de carbono, acompañado de un poco incorporación de residuos orgánicos y una baja fertilidad en el área. Torres, Yendis, Florentino, & Zamora (2006) establece que la materia orgánica contribuye a un incremento de las cargas negativas y promueve el aumento de la CIC. No obstante los valores bajos pueden hacer referencia a suelos franco arenosa o similares. Entre sus resultados se destaca que el CIC, Ca y Mg obtuvieron valores bajos para sistemas convencionales.

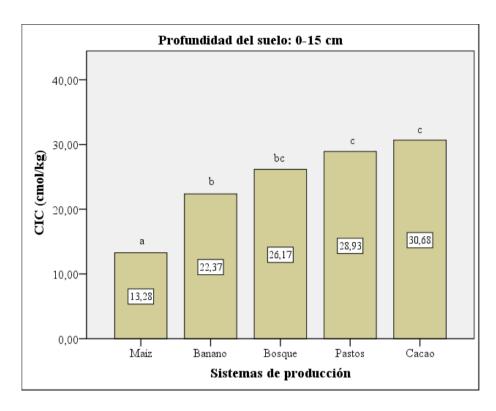


Figura 41. Promedio de capacidad de intercambio cationico (cmol/kg) a 0-15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion. *Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

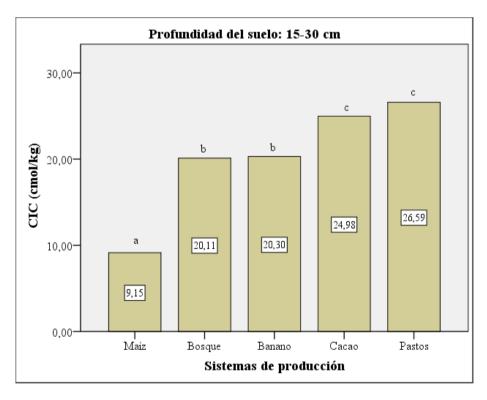


Figura 42. Promedio de capacidad de intercambio cationico (cmol/kg) a 15-30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion. *Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor < 0.05.

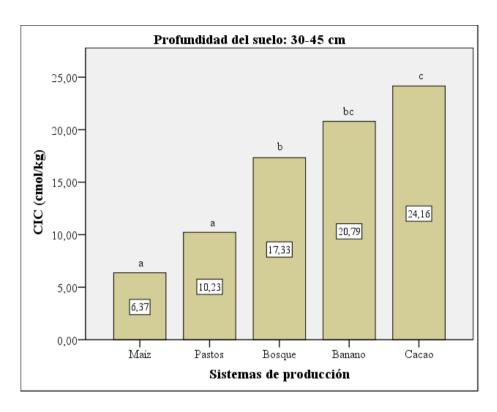


Figura 43. Promedio de capacidad de intercambio cationico (cmol/kg) a 30-45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion. *Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

4.1.2.9 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del suelo (ds/m) muestra diferencias estadísticas altamente significativas entre los diferentes sistemas de producción en las profundidades del suelo de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, lo que indica la utilización de un cultivo y manejo diferente influye en el contenido de sales en el suelo (Cuadro 13).

Cuadro 13. Resultados del ANOVA de un factor intergrupos para la conductividad eléctrica (ds/m) en los diferentes sistemas de producción.

Profundidad del suelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	75,434	4	18,859	696,498	0,000
0-15 cm	Dentro de grupos	0,298	11	0,027		
	Total	75,732	15			
	Entre grupos	103,834	4	25,959	176,043	0,000
15-30 cm	Dentro de grupos	1,622	11	0,147		
	Total	105,456	15			
	Entre grupos	18,829	4	4,707	37,735	0,000
30-45 cm	Dentro de grupos	1,372	11	0,125		
	Total	20,201	15			

La conductividad eléctrica evidencia que en cacao (0,31ds/m) se alcanzan los valores más bajos, y diferente estadísticamente al resto de los sistemas productivos. García (2002) menciona que Los suelos salinos se desarrollan preferentemente en aquellas regiones en donde las lluvias son insuficientes para compensar las pérdidas de agua causadas por la evapotranspiración. Esta condición favorece los procesos de concentración y precipitación de minerales por ausencia de un régimen de lavado. La presencia de sales en el agua de riego es una de las principales causas de salinización de los suelos. Po r esta razón la irrigación se debe planear y manejar de modo que se pueda mantener un óptimo balance de sales en la zona radical.

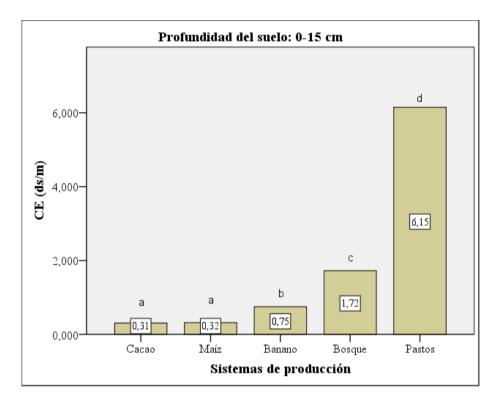


Figura 44. Promedio conductividad eléctrica (ds/m) a 0-15 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

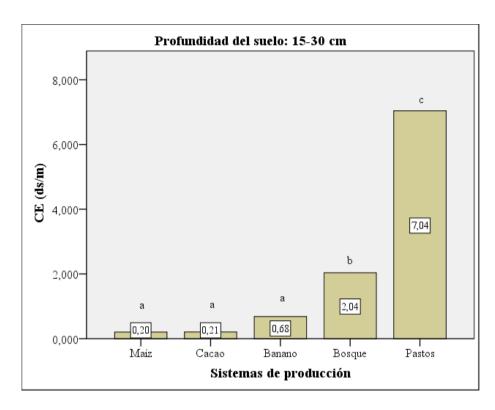


Figura 45. Promedio conductividad eléctrica (ds/m) a 15–30 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

*Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

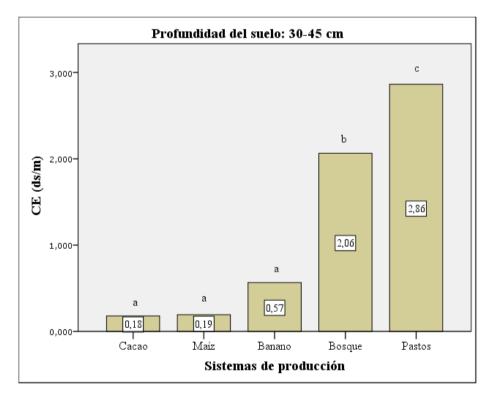


Figura 46. Promedio conductividad eléctrica (ds/m) a 30 - 45 cm de profundidad del perfil de suelo en los diferentes sistemas de produccion.

^{*}Letras diferentes difieren estadisticamente para p-valor <0.05.

4.2 Correlación entre los valores de las propiedades físicas y químicas del suelo a tres profundidades en sistema de producción.

Las pruebas de correlación realizadas entre las propiedades físicas y químicas del suelo en las 48 muestras de suelo tomadas en los sistemas de producción objeto de estudio evidencian correlación altamente significativa negativa fuerte entre la densidad real y el contenido de potasio del suelo (p-valor=0,000 y r=-0,648), al igual que entre la densidad real y la conductividad eléctrica (p-valor=0,000 y r=-0,60), así como entre el contenido de arena y la capacidad de intercambio catiónico (p-valor=0,000 y r=-0,79). Para el caso del contenido de arcilla y la capacidad de intercambio catiónico se evidencia una correlación altamente significativa positiva muy fuerte (p-valor=0,000 y r=0,91) (Tabla 12).

Tabla 13. Matriz de correlación para las propiedades físicas y químicas del suelo determinadas en las 48 muestras de suelo analizadas en la investigación.

Parám	etros													
físico	s y	3.0	Are	Llm	Arc	рН	мо	N	Р	к	Ca	Mg	CIC	CE
quími	icos													
Densidad	г	1	,501**	-,198	-,504**	,026	-,202	-,206	,006	-,64"	-,043	-,156	-,50**	-,60
real (g/ml)	p-valor		,000	,178	,000	,863	,168	,160	,967	,000	,774	,290	,000	,00
Arena (%)	г	,501"	1	-,603"	-,882**	,304*	-,32	-,33	-,134	-,37**	-,29"	-,017	-,79"	-,40
	p-valor	,000		,000	,000	,035	,025	,020	,364	,009	,043	,907	,000	,00
Limo (%)	г	-,198	-,603**	1	,155	,035	-,040	-,035	-,226	,097	-,098	,358*	,115	,186
	p-valor	,178	,000		,291	,813	,785	,813	,122	,511	,508	,013	,436	,207
Arcilla (%)	г	-,504**	-,882**	,155	1	-,39**	,42**	,43**	,300	,40**	,42**	-,190	,91"	,38
	p-valor	,000	,000	,291		,005	,003	,002	,038	,004	,003	,195	,000	,006
pH en	г	,026	,304*	,035	-,398"	1	-,69**	-,70**	-,46**	-,118	-,46**	,151	-,56**	,140
agua	p-valor	,863	,035	,813	,005		,000	,000	,001	,424	,001	,304	,000	,343
MO (%)	г	-,202	-,324	-,040	,425**	-,69**	1	,99**	,73"	,38"	,37**	-,043	,69**	-,11
	p-valor	,168	,025	,785	,003	,000		,000	,000	,007	,008	,769	,000	,44
N (%)	г	-,206	-,334	-,035	,435**	-,70**	,99**	1	,72"	,39**	,39**	-,025	,70**	-,1
	p-valor	,160	,020	,813	,002	,000	,000		,000	,006	,005	,869	,000	,49
P (mg/kg)	г	,006	-,134	-,226	,300°	-,46**	,73**	,72**	1	,148	,267	-,32	,46**	-,1
	p-valor	,967	,364	,122	,038	,001	,000	,000		,316	,067	,022	,001	,33
к	г	-,648**	-,374"	,097	,406**	-,118	,38"	,39**	,148	1	,157	,268	,45**	,69
(cmol/kg)	p-valor	,000	,009	,511	,004	,424	,007	,006	,316		,288	,066	,001	,000
Ca	г	-,043	-,293	-,098	,421**	-,46**	,37**	,39**	,267	,157	1	,063	,47**	-,10
(cmol/kg)	p-valor	,774	,043	,508	,003	,001	,008	,005	,067	,288		,671	,001	,479
Mg	г	-,156	-,017	,358*	-,190	.151	-,043	-,025	-,32	,268	,063	1	-,123	,050
(cmol/kg)	p-valor	,290	,907	,013	,195	,304	,769	,869	,022	,066	,671		,406	,736
CIC	г	-,504**	-,797**	,115	,918**	-,56**	,69**	,70**	,46"	,45**	,47**	-,123	1	,275
(cmol/kg)	p-valor	,000	,000	,436	,000	.000	,000	,000	,001	,001	,001	.406		,058
CE (ds/m)	г	-,631**	-,403**	,186	,389**	,140	-,113	-,102	-,143	,69**	-,105	,050	,275	1
	p-valor	,000	,005	,207	,006	,343	,445	,490	,332	,000	,479	,736	,058	
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).														
*. La correl					-									

4.2.1 Densidad real-potasio del suelo

Tabla 14. Resumen del modelo que muestra el tipo y fuerza de correlación entre el

contenido de Potasio y Densidad real.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación			
1	$0,648^{a}$	0,420	0,408	0,303755			
a. Predictores: (Constante), Densidad real (g/ml)							

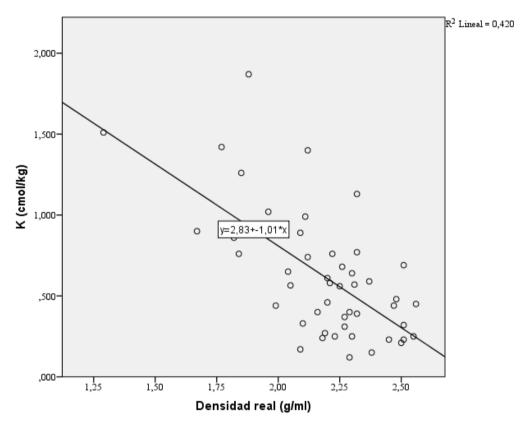


Figura 47. Gráfico de dispersión que muestra el coeficiente de determinación y la ecuación que mejor ajusta al modelo de regresión propuesto para la relacion entre la densidad real del suelo y el contenido de potasio.

4.2.2 Densidad aparente-conductividad eléctrica del suelo

Tabla 15. Resumen del modelo que muestra el tipo y fuerza de correlación entre la Densidad real y la conductividad eléctrica.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación			
1	0,631ª	0,398	0,385	1,647155			
a. Predictores: (Constante), Densidad real (g/ml)							

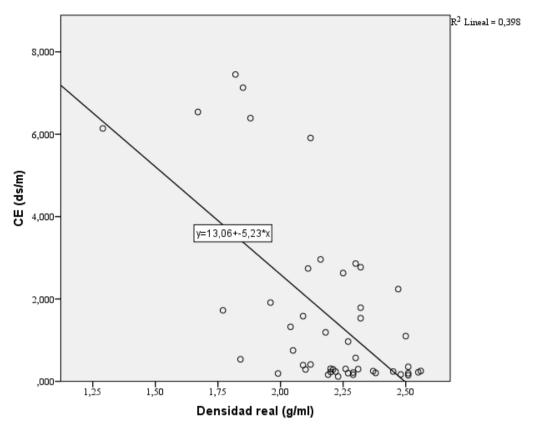


Figura 48. Gráfico de dispersión que muestra el coeficiente de determinación lineal y la ecuación que mejor ajusta al modelo de regresión propuesto para la relacion entre la densidad real y la conductividad eléctrica del suelo.

4.2.3 Contenido de arena-capacidad de intercambio catiónico

Tabla 16. Resumen del modelo que muestra el tipo y fuerza de correlación entre el contenido de arena y la capacidad de intercambio catiónico.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación			
1	0,797a	0,634	0,627	4,60736			
a. Predictores: (Constante), Arena (%)							

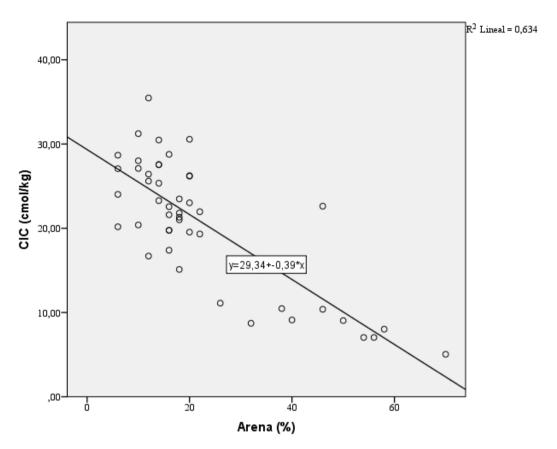


Figura 49. Gráfico de dispersión que muestra el coeficiente de determinación lineal y la ecuación que mejor ajusta al modelo de regresión propuesto para la relacion entre el contenido de arena y la capacidad de intercambio cationico del suelo.

4.2.4 Contenido de arcilla-capacidad de intercambio catiónico

Tabla 17. Resumen del modelo que muestra el tipo y fuerza de correlación entre el contenido de arcilla y la capacidad de intercambio catiónico.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación			
1	$0,918^{a}$	0,843	0,840	3,01489			
a. Predictores: (Constante), Arcilla (%)							

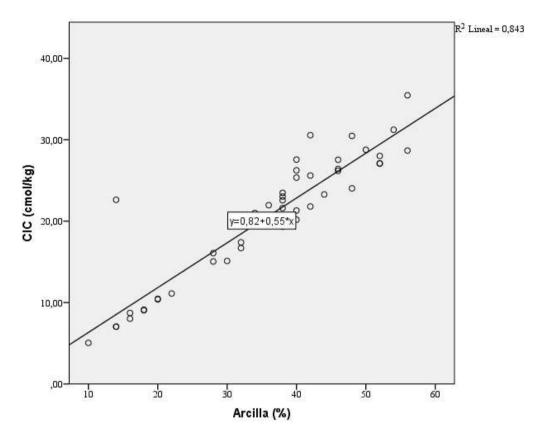


Figura 50. Gráfico de dispersión que muestra el coeficiente de determinación lineal y la ecuación que mejor ajusta al modelo de regresión propuesto para la relacion entre el contenido de arcilla y la capacidad de intercambio cationico del suelo.

V. CONCLUSIONES

- De forma general se evidencia una influencia del manejo agrícola y del tipo de cultivo utilizado en las propiedades físicas y químicas del suelo.
- En la variable densidad real del suelo a 0-15 cm de profundidad, en pastos (1,76 g/ml) se obtuvo el menor valor, igual estadísticamente a bosque, cacao y banano, pero diferente estadísticamente a maíz (2,34 g/m), lo que demuestra que la intensificación de las labores es una condicionante para el incremento de la compactación del suelo.
- Para el caso del pH del suelo a 0-15 cm de profundidad, se obtuvieron, en todos los sistemas, valores por encima de 7, aunque en cacao (7,20 g/ml) se obtuvo el menor valor, igual estadísticamente a bosque y banano, pero diferente estadísticamente a pasto (7,81 g/ml) y maíz (7,83 g/ml), lo que puede encontrarse asociado, con la incorporación de residuos orgánicos en el suelo.
- El comportamiento de la materia orgánica del suelo mostró que en cacao (3,71%) y bosque (2,91%), se alcanzaron los mayores valores, diferentes estadísticamente a maíz (0,64%) y pastos (1,80), lo que se atribuye a la gran cantidad de hojas, ramas y tallos que se generan que se incorporan al suelo por la actividad de los microorganismos.
- La capacidad de intercambio catiónico evidencia que en maíz (13,28 cmol/kg) se alcanzan los valores más bajos, inclusive por debajo de 20, diferente estadísticamente al resto de los sistemas productivos, lo cual indica que un manejo del suelo de forma continuada e intensiva provoca una disminución del secuestro de carbono, acompañado de un poco incorporación de residuos orgánicos y una baja fertilidad en el área.
- Las pruebas de correlación realizadas evidencias correlación significativa entre la densidad real y la capacidad de intercambio catiónico negativa fuerte (pvalor=0,008 y r=-0,64).

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abrego, F. (2012). Calidad Ambiental de Suelos Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico. *Capacidad De Intercambio Catiónico Cic*. Retrieved from https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos//002012_ Ronda 2012/000300_Lic. Fabio L. Abrego UNNOBA/000300_Determinación de CIC.pdf
- Alston, J., & Pardey, P. (2014). Agriculture in the Global Economy. *Journal of Economic Perspectives*, 28(1), 121–146. https://doi.org/10.1257/jep.28.1.121
- Andrades, M., Moliner, A., & Masaguer, A. (2015). *Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos*. Logroño: Universidad de la Riojia, Servicio de publicaciones.
- Arteaga, J. C., Navia, J. F., & Castillo, J. A. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 62. https://doi.org/10.22267/rcia.163302.53
- Atlas, R. M., & Corzo, A. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Pearson Educación.
- Bakieva, M., González, J., & Jornet, J. (2010). SPSS: ANOVA de un factor. *Universidad de Valencia: Grupo de Innovación Educativa*.
- Barrezueta, Salomon, & Paz, A. (2017). Estudio comparativo de la estructura elemental de materia orgánica de suelo y mantillo cultivados de cacao en El Oro, Ecuador. *Agroecosistemas*, 5(1), 55–60.
- Barrezueta, Salomón, Paz, A., & Chabla, J. (2017). Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en provincia de El Oro-Ecuador Determination of indicators for quality of soils cultivated with cocoa in the province El Oro-Ecuador. *Cumbres*, *3*(1), 17–24.
- Bottinelli, N., Hallaire, V., Goutal, N., Bonnaud, P., & Ranger, J. (2014). Impact of heavy traf fi c on soil macroporosity of two silty forest soils: Initial effect and short-term recovery. *Geoderma*, 217–218, 10–17. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.10.025
- Bravo, C., & Florentino, A. (1997). Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia sobre el rendimiento del algodón. *Bioagro*, 9(3), 67–75.
- Bravo, C., Torres, B., Alemán, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., ... Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografia de La Universidad Complutense*, 37(2), 247–264.

- Budhu, M. (2008). Foundations and earth retaining structures. John Wiley & Sons.
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *33*(2), 117. https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58
- Bustamante, Maximo. (2016). Efecto De Mejoradores Físico Y Químico De La Compactación En Suelos Bananeros, Bajo Sistema De Riegos Presurizados. Universidad Tecnica de Machala. Retrieved from http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7701/1/DE00054_TRABAJO DETITULACION.pdf
- Bustamante, Miguel, Chabla, J., & Barrezueta, S. (2018). LA DENSIDAD Y HUMEDAD CRÍTICA COMO INDICADORES DE LA COMPACTACIÓN DE SUELOS CULTIVADOS CON BANANO. *Agroecosistemas*, 6(1), 170–174.
- Calonego, J., Raphael, J., Rigon, J., Oliveira, L., & Rosolem, C. (2017). Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. *European Journal of Agronomy*, 85, 31–37. https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.02.001
- Cobertera, E. (1993). Edafología aplicada: suelos, producción agraria, planificación territorial e impactos ambientales. Geografia menor. Madrid: Cátedra.
- Conti, M. E. (1992). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. *Revista Proceder*, 2(3), 1–14. Retrieved from http://lacs.ipni.net/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/\$FILE/AA 4.pdf
- Cruz, A. B., Barra, J. E., Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores, 13(2), 90–97.
- Dalzell, H., Biddlestone, A., Gray, K., & Thurairajan, K. (1991). Manejo del suelo: produccion y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. In *Manejo del suelo: produccion y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales* (pp. 6–100). Retrieved from https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=WgZ47ud_bpoC&oi=fnd&pg=PR3&dq=composición++del+suelo&ots=fSY4It6LeB&sig=z1eSPWEpN863fp5A OhqXQ_ecN8Y&redir_esc=y#v=onepage&q=composición del suelo&f=false
- Díaz-Zorita, M., Barraco, M., & Alvarez, C. (2004). Efectos de doce años de labranzas en un hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia Del Suelo*, 22(1), 11–18.
- Duncan, D. (1955). Multiple Range and Multiple F Tests. *International Biometric Society*, 11(1), 1–42.
- FAO. (2005). La importancia de la agricultura en la actualidad. Retrieved January 25, 2020, from http://www.fao.org/3/a0015s/a0015s04.htm
- FAO. (2008). Aumenta la degradación del suelo. Retrieved February 25, 2020, from

- http://www.fao.org/newsroom/es/news/2008/1000874/index.html
- Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1994). Química de los Suelos con enfasis en America Latina. San José.
- Fernandèz, L., Rojas, N., Roldàn, T., Ramirez, M., Martinez, H., Uribe, R., ... Arce, J. (2006). Manual de Tècnicas de Analisis de Suelos Aplicados a la Remediación de Sitios Contaminados. *Universidad Nacional Agraria "La Molina."* Mexico. Retrieved from https://es.scribd.com/doc/121876082/Manual-de-Analisis-de-Suelos
- Ferreras, L., Toresani, S., Faggioli, V., & Galarza, C. (2015). Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana argentina. *Spanish Jorurnal of Soil Science*, *5*(3), 220–235. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3601.2249
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos. Retrieved from http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL DEL LABORATORIO DE FISICA DE SUELOS1.pdf
- García, A. (2002). Manejo de suelos con acumulacion de sales. Manabi: VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
- Graetz, H. (1990). *Suelos y fertilización*. (T.: S. de E. Pública, Ed.). Suelos y fertilización SIBE. Retrieved from c
- Gros, A., & Domínguez, A. (1981). *Abonos Guía práctica de la fertilización*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Guerra, J., & Mendieta, J. (2011). Subsoleo en suelos arcillosos masivos y fertilización con magnesio en el cultivo de pasto Tobiatá (Panicum maximum). Zamorano.
- Hernández, A., Vera, L., Naveda, C., Guzmán, Á., Vivar, M., Zambrano, T., ... López, G. (2017). VARIACIONES EN ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO POR EL CAMBIO DE USO DE LA TIERRA, EN LAS PARTES MEDIA Y BAJA DE LA MICROCUENCA MEMBRILLO, MANABÍ, ECUADOR. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 50–56. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000100006&lng=en&nrm=iso.com&tlng=es
- Holdridge, L. (1947). Determination Of World plant formations from simple climatic data. *Science*, *105*(2727), 367–368.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, I. (2012). Anuario Meteorológico 2012. *Servicio Meteorologico*, (52), 134. https://doi.org/http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., Schuman, G. E., & Soil Science Society of America. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 4–10. Retrieved from http://naldc.nal.usda.gov/catalog/16713

- Lal, R. (1996). Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in Western Nigeria. I. soil physical and hydrological properties. *Land Degradation and Development*, 7(2), 99–119. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199606)7:2<99::AID-LDR220>3.0.CO;2-F
- Llopis, J. (2013). Test de Duncan. Retrieved February 25, 2020, from https://estadisticaorquestainstrumento.wordpress.com/2013/01/28/test-de-duncan/
- López, M., & Estrada, H. (2015). Propiedades físicas,químicas y biológicas del suelo. *Bioagrociencias*, 8, 3–11. Retrieved from http://www.ccba.uady.mx/bioagro/V8N1/BC 8.1 Propiedades del suelo.pdf
- López, W., Reynoso, R., López, J., Camas, R., & Tasistro, A. (2018). Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Fraylesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *9*(1), 65–79. https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.848
- Mcneill, D. (1992). Rapid, Accurate Mapping of Soil Salinity by Electromagnetic Ground Conductivity Meters. *SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA*, (30), 209–229.
- Minase, N., Masafu, M., Geda, E., & Wolde, A. (2016). Impact of tillage type and soil texture to soil organic carbon storage: The case of Ethiopian smallholder farms. *African Journal of Agricultural Research*, 11(13), 1126–1133. https://doi.org/10.5897/ajar2014.9233
- Montalvo, C. (2013). EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO EN LA PRODUCTIVIDAD DE CINCO SECTORES AGRÍCOLAS DE LA PARROQUIA DE TUMBACO.
- Nagatani, T., & Seno, T. (1994). Soil Survey Manual. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 207(4), 574–583. https://doi.org/10.1016/0378-4371(94)90211-9
- Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M., Landi, L., Pietramellara, G., & Renella, G. (2017). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 12–26.
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). QUIMICA AGRICOLA QUIMICA DEL SUELO Y DE NUTRIENTES ESENCIALES PARA LAS PLANTAS. Retrieved November 6, 2019, from https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=RSs6AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP18&dq=fase+solida+del+suelo++concepto&ots=UPHejhTsHZ&sig=1XI2nMvqI8LqOaeAJ8Sguzyo5wQ&redir_esc=y#v=onepage&q=fase solida del suelo concepto&f=false
- Obalum, S., Chibuike, G., Peth, S., & Ouyang. (2017). Soil organic matter as sole indicator of soil degradation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(4), 1–19. https://doi.org/10.1007/s10661-017-5881-y
- Orellana, T. (2010). VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA EN

SUELOS. UNIVERSIDAD DE CUENCA.

- Palacios, O., & Escobar, B. (2016). La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos. *Tecnologia y Ciencias Del Agua*, 7(2), 5–16.
- Palma, J., Salgado, S., Zavala, J., & Lagunes, L. (2015). Cambios en las propiedades del suelo con plantaciones de Eucalipto de Tabasco, Mexico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5), 163–172.
- Pérez, A., Galvis, A., Bugarín, R., Hernández, T., Vázquez, M., & Rodríguez, A. (2017). Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU+n). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 171–177. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.80
- Pinzón, A., & Amézquita, É. (1991). Compactación de suelos por e pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. *Pasturas TROPICALES*, 13(2), 21–25.
- Piscitelli, M. (2015). Degradación de suelos. Retrieved November 6, 2019, from https://www.unicen.edu.ar/content/degradación-de-suelos
- Porta, J., Acevedo, M., & Poch, R. (2014). *Edafología: uso y protección de suelos*. España: Mundi-prensa libros. Retrieved from https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767503/edafologia--uso-y-proteccion-de-suelos
- Pulido, M. (2014). Indicadores de calidad del suelo en áreas de pastoreo. https://doi.org/10.1174/021435502753511268
- Ramírez, J., Fernandez, Y., González, P., Salazar, X., Iglesisas, J., & Olivera, Y. (2015). Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de Megathyrsus maximus. *Pastos y Forrajes*, 38(4), 393–402.
- Ramos, A., Durango, J., Grandett, G., Díaz, B., & Barrera, J. (2006). Evaluación de las diferentes formas de potasio en suelos de la zona platanera de Córdova (Colombia), 24(2), 334–339.
- Ramos, D., & Terry, E. (2014). Revisión bibliográfica GENERALIDADES DE LOS ABONOS ORGÁNICOS: IMPORTANCIA DEL BOCASHI COMO ALTERNATIVA NUTRICIONAL PARA SUELOS Y PLANTAS Review Generalities of the organic manures: Bocashi's importance like nutritional alternative for soil and plants, 35(4), 52–59. Retrieved from http://ediciones.inca.edu.cu
- Rodríguez, C., Acevedo, D., Álvarez, E., & Uribe, M. (2016). Indicadores de calidad de un suelo para la producción de maíz bajo sistemas agroforestal y monocultivo * Indicators of soil quality for maize production under agroforestry systems and monoculture Resumen Introducción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3263–3275.
- Rodríguez, E. (2016). LA AGRICULTURA CONVENCIONAL DEL CULTIVO DE DE

- CACAO Y SU EFECTO EN LA EROSIÓN DEL SUELO AGRÍCOLA VERSUS BOSQUE PRIMARIO EN JAUNECHE ECUADOR.
- Rojas, J., Guerra, A., Arévalo, J., Guerrero, L., & Leiva, F. (2015). Sensor de conductividad eléctrica aparente para definir zonas homogéneas de manejo en suelos salinos. *Revista Colombiana de Ciencias Horticulas*, 9(1), 86–96.
- Romero, C., García, E., & Hernández, E. (2015). Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de La Malinche, Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(5), 63–70.
- Romero, D. (2017). Evaluación del estado actual de degradacion del suelo en agroecosistemas de cacao y pasto en la grnaja Santa Inés. Universidad Técnica de Machala.
- Salamanca, A., & Amézquita, E. (2015). Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia Influence. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6, 43–51. Retrieved from http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1262/1598
- Soil Science Society of America. (1997). *Glossary of soil science terms*. Madison: Soil Science Society of America.
- Solano, M., Barrezueta, S., & Chabla, J. (2018). Secuestro de carbono en dos usos de suelo en la provincia de El Oro. Machala.
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., & Raes, D. (2012). Crop yield response to water.
- Suquilanda, V. (2008). EL DETERIORO DE LOS SUELOS EN EL ECUADOR Y LA PRODUCCION AGRICOLA. Quito.
- Toledo, D. M., Galantini, J. A., Ferreccio, E., Arzuaga, S., Gimenez, L., & Vázquez, S. (2013). Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. *Ciencia Del Suelo*, *31*(2), 201–212.
- Torres, D., Yendis, H., Florentino, A., & Zamora, F. (2006). Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tiera, en el sector el Cebollal, Estado de Falcón, Venezuela. *Bioagro*, 18(2), 123–127.
- Universidad Técnica del Norte. (2017). La Importancia de la Agricultura en nuestro país. Retrieved January 25, 2020, from https://www.utn.edu.ec/ficaya/carreras/agropecuaria/?p=1091
- Vásquez, J., & Macías, M. (2016). Fraccionamiento químico del carbono en suelos con diferentes usos en el departamento de Magdalena, Colombia. *Terra Latinoamericana*, (35), 7–17.
- Veen, J. A. V. A. N., & Kuikman, P. J. (1990). Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro-organisms. *Biogeochemistry*, 213–233.
- Villaseñor, D. (2016). Fundamentos y procedimientos. Machala: Universidad Técnica de Machala.

- Visconti, F., & De Paz, J. (2017). Estimación de la capacidad potencial de secuestro y emisión de CO2 de los suelos agrícolas de la Comunidad Valenciana. *Ecosistemas*, 26(1), 91–100. https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-1.15
- Volverás, B., Amézquita, É., & Campo, J. (2016). Indicadores de calidad fisica del suelo de la zona corealera andina del departamento de Nariño, Colombia. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria Mosquera (Colombia)*, 17(3), 361–377. https://doi.org/10.21930/rcta.vol17 num3 art:513
- Ye, C., Guo, Z., Cai, C., Wang, J., & Deng, J. (2016). Effect of water content, bulk density, and aggregate size on mechanical characteristics of Aquults soil blocks and aggregates from subtropical China. *Journal of Soils and Sediments*, *17*(1), 210–219. https://doi.org/10.1007/s11368-016-1480-8
- Zambrano, G., Apráez, J., & Navia, J. (2014). Relación de las propiedades del suelo con variables bromatológicas de pastos, en un sistema lechero de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(2), 106–121.
- Zerpa, G., Sosa, O., Berardi, J., & Bolatti, J. (2013). La resistencia mecánica a la penetración en pasturas. *AGROMENSAJES*, (Figura 1), 64–68.
- Zertuche, V., Badii, J. I., Guillen, A., & Zepeda, M. S. A. (2015). Causas e Impactos Socio-Económico y Ambientales de la Erosión Causes and Socio-Economic and Environmental Impacts of Erosion. *International Journal of Good Conscience*. *Abril*, *10*(1), 76–87.