



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

INFLUENCIA DEL TIPO DE CULTIVO EN ALGUNAS PROPIEDADES
FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN INCEPTISOL DE LA PROVINCIA DE EL
ORO

CARRILLO LOJA ROY LEONARDO
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

INFLUENCIA DEL TIPO DE CULTIVO EN ALGUNAS
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN INCEPTISOL DE LA
PROVINCIA DE EL ORO

CARRILLO LOJA ROY LEONARDO
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

INFLUENCIA DEL TIPO DE CULTIVO EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
QUÍMICAS DE UN INCEPTISOL DE LA PROVINCIA DE EL ORO

CARRILLO LOJA ROY LEONARDO
INGENIERO AGRÓNOMO

PEREZ IGLESIAS HIPOLITO ISRAEL

MACHALA, 27 DE ABRIL DE 2021

MACHALA
2021

INFLUENCIA DEL TIPO DE CULTIVO EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN INCEPTISOL DE LA PROVINCIA DE EL ORO

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	smonteverde.blogspot.com Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	1%
3	rus.ucf.edu.cu Fuente de Internet	1%
4	gredos.usal.es Fuente de Internet	1%
5	Edgar-Javier González-Gaudiano, Ana-Lucía Maldonado-González, Gloria-Elena Cruz-Sánchez. "The vision of high school students regarding their vulnerability and social resilience to the major adverse effects of climate change in municipalities with a high risk of flooding / La visión de los jóvenes de bachillerato a su vulnerabilidad y resiliencia social frente a los embates del cambio	1%

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

El que suscribe, CARRILLO LOJA ROY LEONARDO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado INFLUENCIA DEL TIPO DE CULTIVO EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN INCEPTISOL DE LA PROVINCIA DE EL ORO, 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 disposiciones 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, 27 de abril de 2021



CARRILLO LOJA ROY LEONARDO
0750175408

DEDICATORIA

A Dios por enseñarme que día a día con humildad y perseverancia todo es posible, a él que con su infinito amor nos ha dado la sabiduría suficiente para culminar nuestra carrera.

A la memoria de mi abuela Perpetua Quezada en su deseo de que logre culminar mi carrera, por inculcarme valores y enseñanzas que los mantendré conmigo el resto de mi vida.

A mis padres Manuel Carrillo y Jenny Loja, por darme la vida, por estar siempre conmigo y demostrarme que nada es imposible en la vida.

A mis hermanos Fernando y Bryan que siempre me han apoyado en todas las decisiones que he tomado.

A mi familia, amigos, compañeros y docentes que son las personas que me han ayudado a formarme como persona y profesional.

Roy Leonardo Carrillo Loja

AGRADECIMIENTO

Agradezco muy eternamente al Dr. Hipólito Pérez Iglesias e Ing. Irán Rodríguez por la acogida en este trabajo de titulación y forjar conocimientos que me han de servir para actuar de forma profesional en la vida.

A Susana Quezada, Maura Quezada quienes me brindaron sus consejos para no desmayar en los momentos más difíciles que pase en el transcurso de la carrera.

A mis amigos Cristian Arias, Michael Amaya, Víctor Tinoco quienes compartieron su apoyo y su amistad dentro y fuera de las aulas.

INFLUENCIA DEL TIPO DE CULTIVO EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN INCEPTISOL DE LA PROVINCIA DE EL ORO.

Autor

Roy Leonardo Carrillo Loja

Tutor

Dr. Hipólito Israel Pérez Iglesias

RESÚMEN

El suelo es considerado un medio natural indispensable para la vida, según investigaciones realizadas por varios científicos, se pueden desarrollar diversos cultivos con estándares de productividad adecuados. Los problemas actuales de producción agrícola mundial, se deben a que las funciones del suelo se encuentran bajo constantes amenazas, debido a la erosión, la pérdida de carbono orgánico del suelo, el desequilibrio de nutrientes, la acidificación, la contaminación del suelo, el anegamiento, la compactación, el sellado del suelo, salinización y pérdida de la biodiversidad del suelo. La realidad agrícola en el Ecuador busca constantemente incrementar la productividad de los cultivos para obtener mayores ganancias, gran parte del suelo de nuestro país debido a la mala gestión y al uso de tecnologías inadecuadas, los cultivos se han deteriorado, lo que ha provocado una disminución de la productividad de varios sistemas de producción. En la provincia de El Oro la base fundamental de la producción agrícola se concentra en el cultivo de banano, cacao, café, arroz, maíz, limón, caña de azúcar, mango y otros cultivos de ciclo corto. El objetivo de esta investigación fue determinar la influencia del cultivo de maíz y cacao en algunas propiedades físicas y químicas de un Inceptisol, mediante análisis de suelo. El desarrollo de la investigación se realizó en el área experimental de la granja Santa Inés, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, ubicada en el km 5,5 de la vía Machala-Pasaje. El estudio es de tipo observacional, transversal, prospectivo y analítico. Se seleccionaron los agroecosistemas de maíz y cacao, donde se tomaron muestras de suelos aleatoriamente, los cuales fueron georreferenciados. En ambos cultivos se realizaron mini calicatas hasta 60 cm de profundidad, en las cuales se tomaron las muestras de suelo a las profundidades de 0-15, 15-30 y 30-45 cm; posteriormente las muestras fueron homogeneizadas para garantizar su representatividad y después se enviaron al laboratorio de suelos, foliares y aguas, perteneciente a la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD), ubicada en la vía interoceánica Km 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco-Quito; acreditado por el SAE con acreditación N°

SAE-LEN-16-006 para realizarse las determinaciones analíticas correspondientes. Para conocer si se presentan o no diferencias estadísticas significativas entre las medias de las variables densidad real, arcilla, limo y arena, pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y conductividad eléctrica (CE) en función de los agroecosistemas maíz y cacao a las profundidades del suelo antes mencionadas, se realizó una prueba t de Student para grupos independientes, previo cumplimiento de los requisitos de normalidad de datos, independencia de observaciones y homogeneidad de varianzas. Cuando no se cumplió uno de estos requisitos se ejecutó la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney con la finalidad de determinar si existen o no diferencias entre los agroecosistemas maíz y cacao. La verificación del supuesto de normalidad de datos se realizó con el test de Shapiro-Wilk ya que se presentan menos de 30 observaciones en cada agroecosistema objeto de estudio. La verificación del supuesto de homogeneidad de varianzas se realizó con el test de Levene. La representación de los resultados se realizó mediante gráficos de barras que representan en el eje de las **X** a los agroecosistemas y en el eje de las **Y** a las variables medidas. El procesamiento de los datos se realizó con el programa estadístico SPSS versión 25 de prueba para Windows 10 con una confiabilidad de 95%, o sea, un nivel de significación $\alpha=0,05$. Los resultados obtenidos muestran que dentro de las propiedades físicas para la variable arena se presentaron diferencias significativas entre ambos agroecosistemas presentándose un elevado contenido para maíz de 34,67% con relación al valor de cacao que fue de 16,50%, dándose principalmente por la acción aluvial formado de material fluvial y marino del suelo en esta zona que ocasionan una baja cohesión, lo que resulta en una alta separabilidad de los agregados, lo cual se manifiesta con más intensidad en el agroecosistema de maíz, al tratarse de un cultivo de ciclo corto y una alta frecuencia de labranza del suelo que favorece la aceleración del proceso de degradación y disminución de la fertilidad del suelo. La variable arcilla mostró un mayor valor en el área de cacao de 46,50% en comparación con maíz de 24%, lo que confirma la influencia del tipo de cultivo en el deterioro de las propiedades físicas del suelo, presentándose diferencias muy altas debido precisamente a la perturbación originada en el suelo del área de maíz por el exceso de labranza, con relación al suelo del área de cacao donde la labranza es cero. El contenido de materia orgánica (MO) presentó un mayor valor en cacao 3,71%; debido a que en este agroecosistema el suelo permanece sin labrarse y que este cultivo genera una alta cantidad de residuos vegetales como hojarasca, ramas y tallos que al ser descompuestos por los microorganismos elevan esta variable. En los elementos primarios

nitrógeno y fósforo, el cultivo de cacao presentó valores mayores debido a que en este sistema de producción, el suelo no se labra con frecuencia y además este cultivo genera gran cantidad de biomasa vegetal que al descomponerse mejora la fertilidad del suelo; a diferencia del cultivo de maíz, donde el suelo está sometido a una labranza frecuente y una explotación intensiva que origina la disminución estos nutrientes del suelo. Con relación al magnesio también se encontró diferencia significativa entre los dos agroecosistemas con valores de 3,58 y 2,77 cmol/kg de suelo en los cultivos de maíz y cacao respectivamente, de igual forma se detectó diferencia altamente significativa en la CIC con valores de 13,28 y 30,68 cmol/kg de suelo para el cultivo de maíz y cacao, esto se debe a que este último sistema presentó elevados porcentajes de arcillas y MO que están vinculadas para que se den altos valores en esta variable. En el caso de las variables limo, densidad real, pH, potasio, calcio y conductividad eléctrica no se evidenciaron diferencias significativas presentándose homogeneidad dentro de estos parámetros.

Palabras clave: Suelo, agroecosistemas, inceptisol, propiedades físicas y químicas.

INFLUENCE OF THE TYPE OF CROP ON SOME PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF AN INCEPTISOL FROM THE PROVINCE OF EL ORO.

Author

Roy Leonardo Carrillo Loja

Tutor

Dr. Hipólito Israel Pérez Iglesias

ABSTRACT

The soil is considered an essential natural environment for life, according to research carried out by several scientists, various crops can be developed with adequate productivity standards. The current problems of world agricultural production are due to the fact that the functions of the soil are under constant threat, due to erosion, loss of soil organic carbon, nutrient imbalance, acidification, soil contamination, waterlogging, compaction, soil sealing, salinization and loss of soil biodiversity. The agricultural reality in Ecuador constantly seeks to increase the productivity of crops to obtain greater profits, much of the soil in our country due to mismanagement and the use of inadequate technologies, crops have deteriorated, which has caused a decrease of the productivity of various production systems. In the province of El Oro, the fundamental base of agricultural production is concentrated in the cultivation of bananas, cocoa, coffee, rice, corn, lemon, sugar cane, mango and other short-cycle crops. The objective of this research was to determine the influence of the cultivation of corn and cocoa in some physical and chemical properties of an Inceptisol, through soil analysis. The research was carried out in the experimental area of the Santa Inés farm, belonging to the Faculty of Agricultural Sciences of the Technical University of Machala, located at km 5,5 of the Machala-Pasaje road. The study is observational, cross-sectional, prospective and analytical. The corn and cocoa agroecosystems were selected, where soil samples were randomly taken, which were georeferenced. In both crops, mini pits were made up to 60 cm deep, in which soil samples were taken at depths of 0-15, 15-30 and 30-45 cm; later the samples were homogenized to guarantee their representativeness and then they were sent to the soil, foliar and water laboratory, belonging to the Ecuadorian Agency for the Assurance of Agricultural Quality (AGROCALIDAD), located in the interoceanic highway Km 14½ and Eloy Alfaro, Granja from MAGAP, Tumbaco-Quito; Accredited by the SAE with accreditation No. SAE-LEN-16-006 to perform the corresponding analytical determinations. To know whether or not there are significant statistical differences

between the means of the variables real density, clay, silt and sand, pH, organic matter (MO), cation exchange capacity (CIC) and electrical conductivity (CE) as a function of the Maize and cocoa agroecosystems at the aforementioned depths of the soil, a Student's t test was performed for independent groups, after fulfilling the requirements of data normality, independence of observations and homogeneity of variances. When one of these requirements was not met, the non-parametric Mann-Whitney U test was run in order to determine whether or not there were differences between the corn and cocoa agroecosystems. The verification of the assumption of normality of data was carried out with the Shapiro-Wilk test since less than 30 observations are presented in each agroecosystem under study. Verification of the assumption of homogeneity of variances was carried out with the Levene test. The representation of the results was carried out by means of bar graphs that represent the agroecosystems on the **X** axis and the measured variables on the **Y** axis. The data processing was carried out with the statistical program SPSS version 25 of test for Windows 10 with a reliability of 95%, that is, a level of significance $\alpha = 0.05$. The results obtained show that within the physical properties for the sand variable there were significant differences between both agroecosystems, presenting a high content for corn of 34,67% in relation to the value of cocoa that was 16.50%, mainly due to the alluvial action formed by fluvial and marine material from the soil in this area that causes low cohesion, which results in a high separability of the aggregates, which is manifested with more intensity in the maize agroecosystem, as it is a cycle crop short and a high frequency of soil tillage that favors the acceleration of the degradation process and decrease of soil fertility. The clay variable showed a higher value in the cocoa area of 46,50% compared to 24% corn, which confirms the influence of the type of crop in the deterioration of the physical properties of the soil, presenting very high differences precisely due to to the disturbance originated in the soil of the corn area due to excess tillage, in relation to the soil of the cocoa area where tillage is zero. The content of organic matter (MO) presented a higher value in cocoa 3,71%; because in this agroecosystem the soil remains uncultivated and that this crop generates a high amount of plant residues such as litter, branches and stems than being decomposed by microorganisms raise this variable. In the primary elements nitrogen and phosphorus, cocoa cultivation presented higher values due to the fact that in this production system, the soil is not tilled frequently and also this crop generates a large amount of plant biomass which, when decomposed, improves soil fertility; Unlike the cultivation of corn, where the soil is subjected to frequent tillage and intensive exploitation that causes the reduction

of these soil nutrients. In relation to magnesium, a significant difference was also found between the two agroecosystems with values of 3,58 and 2,77 cmol / kg of soil in the corn and cocoa crops respectively, in the same way, a highly significant difference was detected in the CIC with values of 13,28 and 30,68 cmol / kg of soil for the cultivation of corn and cocoa, this is due to the fact that this last system presented high percentages of clays and MO that are linked to give high values in this variable. In the case of the variables silt, real density, pH, potassium, calcium and electrical conductivity, no significant differences were evidenced, presenting homogeneity within these parameters.

Keywords: Soil, agroecosystems, inceptisol, physical and chemical properties.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	17
1.1 Objetivo general.....	18
1.2 Objetivos específicos	18
II. REVISIÓN DE LITERATURA	19
2.1 Suelo	19
2.2 Taxonomía de suelos	19
2.3 Órdenes según la Soil Taxonomy	20
2.4 Inceptisol.....	21
2.5 Degradación del suelo.....	22
2.5.1 Degradación física.....	22
2.5.2 Degradación química.....	22
2.5.3 Consecuencias de la degradación del suelo.....	23
2.6 Propiedades del suelo.....	24
2.6.1 Propiedades físicas	24
2.6.1.1 Estructura	24
2.6.1.2 Color	24
2.6.1.3 Densidad aparente (Da)	24
2.6.1.4 Densidad real (Dr)	25
2.6.1.5 Porosidad	25
2.6.2 Propiedades químicas	25
2.6.2.1 pH.....	26
2.6.2.2 Conductividad eléctrica (CE).....	27
2.6.2.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	28
2.6.2.4 Materia orgánica (MO)	28
2.6.2.5 Nitrógeno	29
2.6.2.6 Fósforo	29

2.6.2.7	Potasio.....	30
2.6.2.8	Calcio	30
2.6.2.9	Magnesio.....	31
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1	Materiales.....	32
3.1.1	Ubicación del lugar	32
3.1.2	Tipo de estudio	33
3.1.3	Clima y ecología.....	33
3.1.4	Materiales, equipos y reactivos utilizados en la investigación.....	33
3.1.4.1	Materiales y equipos de campo.....	33
3.1.4.2	Materiales y equipos de laboratorio.....	33
3.1.4.3	Materiales de oficina y equipos	33
3.1.5	Variables analizadas.....	33
3.1.5.1	Variables físicas	33
3.1.5.2	Variables químicas.....	34
3.2	Métodos	34
3.2.1	Procedimiento de toma de muestras.....	34
3.2.2	Procedimiento de laboratorio	34
3.2.2.1	Determinación de la textura del suelo.....	34
3.2.2.2	Densidad real (Dr)	35
3.2.2.3	pH.....	35
3.2.2.4	Materia orgánica (MO)	35
3.2.2.5	Macronutrientes primarios (N, P, K) y secundarios (Mg, Ca).....	36
3.2.2.6	Conductividad eléctrica (CE).....	36
3.2.2.7	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	36
3.2.3	Procedimiento estadístico.....	37
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38

4.1	Propiedades físicas.....	38
4.1.1	Textura	38
4.1.1.1	Porcentaje de Arena.....	38
4.1.1.2	Limo	41
4.1.1.3	Arcilla.....	44
4.1.2	Densidad real (Dr).....	47
4.2	Propiedades químicas	49
4.2.1	pH.....	49
4.2.2	Materia Orgánica (MO).....	52
4.2.3	Nitrógeno.....	55
4.2.4	Fósforo	58
4.2.5	Potasio	62
4.2.6	Magnesio	64
4.2.7	Calcio	67
4.2.8	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	70
4.2.9	Conductividad eléctrica (CE).....	73
V.	CONCLUSIONES.....	76
VI.	RECOMENDACIONES	77
VII.	BIBLIOGRAFIA	78
VIII.	ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características básicas de las órdenes de suelos.....	20
Tabla 2. Clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH.	27
Tabla 3. Clasificación de la salinidad de los suelos.....	28
Tabla 4. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable arena (%) en los agroecosistemas de maíz y cacao.	38
Tabla 5. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable limo (%) en los agroecosistemas de maíz y cacao.....	41
Tabla 6. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable arcilla (%) en los agroecosistemas de maíz y cacao.	44
Tabla 7. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable densidad real (g/ml) en los agroecosistemas de maíz y cacao.....	47
Tabla 8. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable pH en los agroecosistemas de maíz y cacao.	50
Tabla 9. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable materia orgánica (%) en los agroecosistemas de maíz y cacao.	53
Tabla 10. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable nitrógeno (%) en los agroecosistemas de maíz y cacao.....	56
Tabla 11. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable fósforo (mg/kg) en los agroecosistemas de maíz y cacao.....	59
Tabla 12. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable potasio (cmol/kg de suelo) en los agroecosistemas de maíz y cacao.	62
Tabla 13. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable magnesio (cmol/kg de suelo) en los agroecosistemas de maíz y cacao.....	65
Tabla 14. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable calcio (cmol/kg de suelo) en los agroecosistemas de maíz y cacao.	67
Tabla 15. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable capacidad de intercambio catiónico (cmol/kg de suelo) en los agroecosistemas de maíz y cacao.....	70
Tabla 16. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable conductividad eléctrica (dS/m) en los agroecosistemas de maíz y cacao.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los órdenes de suelo (%) en Ecuador.	21
Figura 2. Plano de la Granja Experimental Santa Inés (ubicación del área de estudio de los agroecosistemas maíz y cacao).	32
Figura 3. Valores promedio de arena (%) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	39
Figura 4. Valores promedio de arena (%) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	39
Figura 5. Valores promedio de arena (%) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	40
Figura 6. Valores promedio de limo (%) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	42
Figura 7. Valores promedio de limo (%) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	43
Figura 8. Valores promedio de limo (%) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	44
Figura 9. Valores promedio de arcilla (%) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	45
Figura 10. Valores promedio de arcilla (%) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	46
Figura 11. Valores promedio de arcilla (%) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	46
Figura 12. Valores promedios de la Dr (g/ml) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	48
Figura 13. Valores promedios de la Dr (g/ml) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	48
Figura 14. Valores promedios de la Dr (g/ml) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	49
Figura 15. Valores promedios de pH en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	50
Figura 16. Valores promedios de pH en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	51

Figura 17. Valores promedios de pH en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	52
Figura 18. Valores promedios de MO (%) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	53
Figura 19. Valores promedios de MO (%) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	54
Figura 20. Valores promedios de MO (%) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	55
Figura 21. Valores promedios de N (%) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	57
Figura 22. Valores promedios de N (%) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	57
Figura 23. Valores promedios de N (%) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	58
Figura 24. Valores promedios de P (m/kg) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	60
Figura 25. Valores promedios de P (m/kg) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	61
Figura 26. Valores promedios de P (m/kg) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	61
Figura 27. Valores promedios de K (cmol/kg) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	63
Figura 28. Valores promedios de K (cmol/kg) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	63
Figura 29. Valores promedios de K (cmol/kg) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	64
Figura 30. Valores promedios de Mg (cmol/kg) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	65
Figura 31. Valores promedios de Mg (cmol/kg) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	66
Figura 32. Valores promedios de Mg (cmol/kg) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	67
Figura 33. Valores promedios de Ca (cmol/kg) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	68

Figura 34. Valores promedios de Ca (cmol/kg) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	69
Figura 35. Valores promedios de Ca (cmol/kg) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	69
Figura 36. Valores promedios de la CIC (cmol/kg) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	71
Figura 37. Valores promedios de la CIC (cmol/kg) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	72
Figura 38. Valores promedios de la CIC (cmol/kg) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	72
Figura 39. Valores promedios de la CE (dS/m) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	74
Figura 40. Valores promedios de la CE (dS/m) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	74
Figura 41. Valores promedios de la CE (dS/m) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Realización de minicalicatas en el agroecosistema de maíz.....	85
Anexo 2. Perfil de suelo para muestro.	85
Anexo 3. Proceso de toma de muestras, embalaje y identificación de la misma.	86
Anexo 4. Realización de minicalicatas en el sistema de producción de cacao.	86
Anexo 5. Se efectuó la medición de las profundidades a evaluarse (0-15, 15-30 y 30-45) en el perfil.....	87
Anexo 6. Se realizó la toma de las muestras de suelo, embalaje y etiquetado para ser llevadas al laboratorio de suelos.....	87
Anexo 7. Matriz de datos con las variables de medición.....	88

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es considerado un medio natural indispensable para la vida, según investigaciones realizadas por varios científicos, se pueden desarrollar diversos cultivos con estándares de productividad adecuados. Las investigaciones sobre el suelo tienen como fin evitar la degradación y la sobreexplotación de este recurso (Castillo, 2015).

En el ecosistema, el suelo no puede entenderse aisladamente de los factores que interactúan en él, teniendo influencia la participación del hombre o ausencia de este, siendo un conjunto complejo que en circunstancias naturales realizan variaciones en la capa terrestre causada por la degradación química en la roca madre y la interrelación activa de los organismos permitiendo que se desarrolle la estructura en estratos, dando como resultado diferentes tipos de suelo (Geo Ecuador, 2008).

Los problemas actuales de producción agrícola mundial, se deben a que las funciones del suelo se encuentran bajo constantes amenazas, debido a la erosión, la pérdida de carbono orgánico del suelo, el desequilibrio de nutrientes, la acidificación, la contaminación del suelo, el anegamiento, la compactación, el sellado del suelo, salinización y pérdida de la biodiversidad del suelo (FAO, 2016).

La realidad agrícola en el Ecuador busca constantemente incrementar la productividad de los cultivos para obtener mayores ganancias, gran parte del suelo de nuestro país debido a la mala gestión y al uso de tecnologías inadecuadas, los cultivos se han deteriorado, lo que ha provocado una disminución de la productividad de varios sistemas de producción (Romero, 2017).

La provincia de El Oro se caracteriza por ser una zona netamente agrícola involucrada en el desarrollo productivo en los cultivos de banano, cacao, café, arroz, maíz, limón, caña de azúcar, mango, entre otras especies. En los cantones de Machala, Pasaje, El Guabo, Santa Rosa y Arenillas nos encontramos con monocultivos como el banano con una superficie sembrada de 57,000 hectáreas y cacao 18,000 hectáreas aproximadamente. El cantón de Arenillas cuenta con 3,300 hectáreas destinadas al cultivo de arroz. El cultivo de café para los cantones Arenillas, Piñas, Zaruma, Portovelo, Atahualpa, Balsas, Marcabelí, Las Lajas, Chilla, Pasaje existen 3000 hectáreas en conjunto con cultivos menores (MAGAP, 2016).

El interés del estudio realizado se basó en comprender la repercusión del estado actual de la degradación del suelo, debido a que este problema está aumentando de manera sistemática; siendo las investigaciones y respuestas a este problema hoy en día limitadas

(Geo Ecuador, 2008), por tanto, es necesario realizar investigaciones para conocer el estado actual del manejo agrícola, objetivo basado en la implementación de prácticas agronómicas orientadas a proteger y mejorar este recurso natural no renovable (Dalurzo et al., 2006).

1.1 Objetivo general

- Determinar la influencia del cultivo de maíz y cacao en algunas propiedades físicas y químicas de un Inceptisol, mediante análisis de suelo.

1.2 Objetivos específicos

- Establecer la situación actual de las condiciones físicas y químicas del suelo de los agroecosistemas de maíz y cacao sometidos a explotación continua.
- Evidenciar perturbaciones en las propiedades físicas y químicas del suelo dedicado al cultivo de maíz y cacao.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Suelo

El suelo es uno de los recursos esenciales para el desarrollo de la vida, porque se ha convertido en un elemento clave del ciclo natural de la materia y la energía. Cuando se habla de suelo agrícola, se deben cumplir ciertas condiciones de producción vegetal, es decir, "suelo fértil". Esta definición se centra no solo en las condiciones físicas, químicas y biológicas ideales, sino también en los nutrientes que proporciona el suelo para el pleno desarrollo de las especies vegetales cultivadas (Brito et al., 2019).

El suelo se define como la capa más externa de la corteza terrestre y está compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos. Cada vez se reconoce más que el suelo es una parte importante de la biosfera, no solo para la producción de alimentos, sino también para mantener la calidad ambiental (Moreno, 2016).

El suelo es responsable de la nutrición de las plantas, porque contiene los elementos básicos requeridos para el crecimiento de éstas, dependiendo de sus características físicas y químicas, proporcionándole fijación y anclaje a las plantas, lo que facilita que las especies cultivadas logren captar los nutrimentos esenciales para su normal crecimiento y desarrollo (Caiminagua, 2014).

2.2 Taxonomía de suelos

La Clasificación Taxonómica del suelo es una parte elemental en el estudio de los recursos del suelo, la cual actúa como un modelo estructurado y descriptivo de las propiedades del suelo, la taxonomía de los suelos es el resultado de la investigación de métodos para planificar una producción agrícola, posibilitando nuevas técnicas de producción, utilizando el uso del suelo de forma racional y ecológica (Shi et al., 2006).

La clasificación del suelo ayuda a comprender la relación entre los suelos y los factores que afectan las propiedades de este recurso, la taxonomía fue creada para realizar investigaciones de suelos y proporcionar un medio de comunicación para las disciplinas de las ciencias del suelo, el sistema de clasificación del suelo se obtiene utilizando una terminología para grupos y subgrupos para una explicación en particular (USDA, 1999).

2.3 Órdenes según la Soil Taxonomy

A continuación, se describen las órdenes de suelos y las respectivas características para cada uno, siendo objeto de estudio el orden Inceptisol que son generalmente suelos jóvenes que están en proceso de desarrollo (Tabla 1).

Tabla 1. Características básicas de las órdenes de suelos.

ÓRDEN	DESCRIPCIÓN
Gelisol	Suelo permanentemente helados.
Histosol	Suelos con alto contenido de MO (20-30 %) en los primeros 80 cm.
Espodosol	Suelos ácidos de clima húmedo con procesos de iluviación de materia orgánica con Fe y Al.
Andisol	Suelos oscuros y desarrollados a partir de materiales volcánicos y otros ricos en materiales amorfos.
Oxisol	Suelos extremadamente intemperizados y ácidos, ricos en óxidos de Fe y Al, pobres en bases, escasa cantidad de minerales alterables. Son característicos de regiones tropicales y subtropicales muy lluviosas.
Vertisol	Suelos muy fértiles, con alto contenido de arcillas expandibles que forman grietas que se abren y cierran con cambios de humedad.
Aridisol	Suelos típicos de zonas áridas, con limitada disponibilidad de agua.
Ultisol	Suelos subtropicales y tropicales muy evolucionados y pobres en bases, con iluviación de arcillas. Últimas etapas de meteorización y evolución.
Mollisol	Suelos ricos en materia orgánica, altamente productivos. Se encuentran en estepas o praderas de Europa, Asia, Norteamérica y Sudamérica.
Alfisol	Suelos con procesos de translocación de minerales arcillosos (iluviación de arcilla), sin pérdida de bases (sodio, potasio, calcio o magnesio).
Inceptisol	Suelos jóvenes con un desarrollo incipiente. Presentan agua disponible para las plantas por más de medio año o por más de tres meses consecutivos durante la estación seca.
Entisol	Son los suelos más jóvenes de esta clasificación, principalmente de composición mineral.

Fuente. USDA (2014).

2.4 Inceptisol

Los inceptisoles son aquellos suelos que están comenzando a mostrar el desarrollo de estratos, son muy jóvenes, pero en evolución. Por ello, el suelo aparecerá en este orden en uno o más niveles de diagnóstico, la formación de estos niveles es rápida, con traslocación de material o meteorización extrema. En ciertas regiones, los inceptisoles son los suelos con menor desarrollo de perfil (en sí, más desarrollados que un entisol), mientras que en otras zonas son suelos con horizontes de diagnóstico y no pueden cumplir los requisitos de otras secuencias de suelos (Ibáñez et al., 2011).

Los suelos inceptisoles presentan una superioridad con el 41% sobre las demás órdenes de suelo que se encuentran distribuidos por todo el Ecuador (Figura 1) y generalmente son muy ricos en nutrientes permitiendo un acrecentamiento más fácil de la agricultura. Estos tipos de terrenos son muy jóvenes y presentan un importante desarrollo. Son suelos que no tienen propiedades de almacenamiento de agua, lo que permite tener una variedad de cultivos de ciclo largo como corto (MAGAP, 2015).

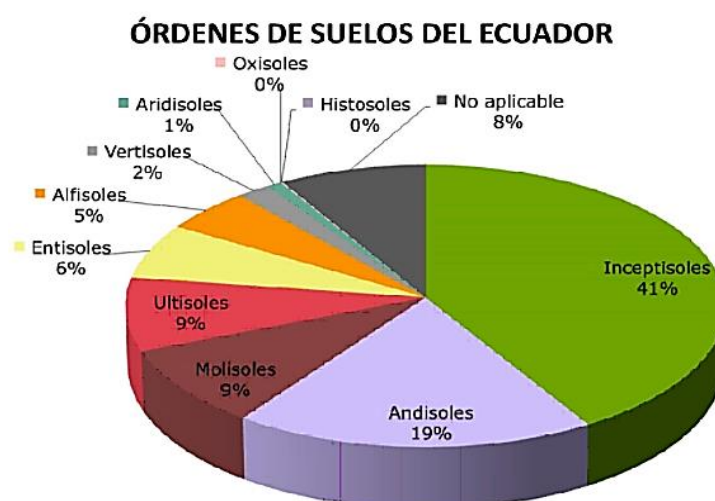


Figura 1. Distribución de los órdenes de suelo (%) en Ecuador.

Fuente. MAGAP (2015).

Villaseñor et al. (2015) mencionan que, desde un punto de vista taxonómico en las llanuras aluviales de la provincia de El Oro predominan los suelos Inceptisoles de fuentes de sedimentos no consolidados, lo cual es causado por la frecuente sedimentación de los ríos, mientras que en el piedemonte costero se pueden encontrar una variedad de órdenes de suelo, como inceptisoles, alfisoles y entisoles formados por material parental sedimentario consolidado carbónico.

2.5 Degradación del suelo

La degradación es el producto de interacciones complejas de muchas variables químicas, físicas y biológicas que ocurre en una superficie árida, semiárida, subhúmeda o húmeda hasta un ambiente con vida reducida, lo que conduce a la destrucción de ecosistemas causando una reducción en la productividad potencial del suelo (Cairo et al., 2017).

La degradación del suelo no puede evaluarse mediante mediciones, por lo tanto, es necesario utilizar indicadores que den a conocer que está ocurriendo o que se ha producido, considerando el manejo agrícola en los sistemas de explotación agropecuaria como un factor influyente en el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, y por consiguiente una disminución de la productividad en los cultivos (Rodríguez et al., 2020).

2.5.1 Degradación física

El deterioro de las propiedades físicas del suelo tiene un impacto directo, dificultando el crecimiento de las raíces de las plantas e indirectamente reduce el contenido de oxígeno, por lo que la flora microbiana estará en un proceso de transformación y corrección debido al manejo de las diferentes prácticas agrícolas que se realizan y consecuentemente esto afectará las características del entorno del suelo (Díaz et al., 2009).

El desgaste del suelo se puede analizar desde dos perspectivas: primero, se forma una costra dura a ciertas profundidades de un perfil, que en casos extremos está compuesta por afloramientos de estratos poco profundos. El encostramiento es el resultado de la reducción de la cobertura vegetal y la erosión hídrica, ocasionando que los horizontes queden descubiertos. La segunda se refiere a cambios adversos en las propiedades físicas del suelo, como porosidad, permeabilidad, densidad aparente y estabilidad estructural. La formación de costras y compactación del suelo son producidos por el paso constante de la maquinaria, ganado, o por efecto del golpe de la gota de lluvia. Otro factor importante a tener en cuenta es la falta de materia orgánica en el suelo, lo que hace que el espacio poroso se reduzca al máximo, por lo que el suelo presenta una apariencia compacta (Zavala et al., 2011; Lozano et al., 2011).

2.5.2 Degradación química

La degradación química puede ser ocasionada por la concentración de sustancias tóxicas o pérdida de bases intercambiables en el suelo; en gran parte las actividades industriales

son las causantes de producir diversos desechos que en su mayoría son vertidos a los ríos, y de esta forma provocan perjuicios tanto para el ser humano, la vegetación, el agua y el suelo, siendo este último afectado en su fertilidad y provocando disminución de la productividad de los cultivos (Zavala et al., 2011).

Puede ser degradación química, la causada por las siguientes razones: carencia de macro y microelementos, suelos extremadamente ácidos, pérdida de MO, acumulación excesiva de sales, altos contenidos de sodio y almacenamiento de compuestos tóxicos en el suelo (Suquilanda, 2008).

2.5.3 Consecuencias de la degradación del suelo

Los principales problemas en el deterioro del recurso suelo son ocasionado por los múltiples efectos que mencionaremos a continuación:

- **Disminución de macroelementos primarios y secundarios:** directamente, es eliminado por el agua que se filtra en el suelo o erosionado por el agua de escorrentía como también indirectamente, erosionado por elementos que los abarca o pueden adherirlos.
- **Alteraciones en las características físicas y químicas:** pH ácidos, desbasificación e inmovilización de microelementos en el suelo cambiando a estado no asimilable.
- **Erosión en la estructura:** causada por un incremento en la densidad y disminución de macro-porosidad del suelo afectando el drenaje interno, pérdida de estabilidad, formación de costras en la superficie y aumento de la escorrentía.
- **Disminución del ciclo del agua y la capacidad de retención debido a la degradación estructural o la pérdida del suelo:** Esto es especialmente importante para suelos con poca lluvia anual.
- **Eliminación de partículas edáficas:** causada por erosión selectiva (parcialmente en las fracciones inestables de partículas limosas) y erosión intensiva (eliminación de horizontes superficiales e incluso todo el suelo).
- **Incremento de la toxicidad:** Se da cuando se alteran las características del suelo, es decir se liberan sustancias nocivas, lo que causa contaminación (Suquilanda, 2008).

2.6 Propiedades del suelo

2.6.1 Propiedades físicas

Las características físicas del suelo son importantes para el desarrollo de las plantas, la evaluación de sus cualidades es esencial para una correcta descripción, además de ser fáciles de visualizar y a su vez reflejan el proceso de formación de horizontes. Los indicadores físicos del suelo determinan el desarrollo radicular, suministro de oxígeno, circulación y almacenamiento del agua, retención de elementos esenciales, además de favorecer al soporte de las plantas. En las propiedades físicas del suelo se encuentran la estructura, textura, clase textural, color (húmedo y seco), densidad real, densidad aparente y porosidad total (Porta et al., 2003).

2.6.1.1 Estructura

Las fracciones minerales que se encuentran naturalmente en el suelo: arena, limo y arcilla, que juntas forman agregados o aglomeraciones de diferentes formas y tamaños. Esta asociación de partículas es posible debido a la cementación de sustancias coloidales como arcilla, humus y óxidos. El nombre técnico utilizado para identificar los agregados del suelo es Ped (Vélez, 2010). Generalmente, la forma, tamaño y disposición de los agregados en el perfil del suelo describen la estructura del suelo (Villaseñor, 2016).

2.6.1.2 Color

Es la cualidad física que determina las características de la textura de arena, limo y arcilla en distintas muestras del suelo, permitiendo evaluar de una manera indirecta las secuencias de horizontes edáficos que conforman el perfil del suelo (Pila, 2017).

El color del suelo depende de su composición y cambia con el contenido de humedad, el grado de oxidación de la materia orgánica y los minerales presentes. Se determina la tonalidad de la muestra de suelo comparando en la tabla Munsell con las placas de colores, teniendo en cuenta la luminosidad y saturación hasta encontrar el que más se ajuste al color del suelo (FAO, 2009).

2.6.1.3 Densidad aparente (Da)

La Da es un parámetro que se utiliza para medir el grado de compactación del suelo, la resistencia a la penetración de las raíces y las áreas porosas, evaluando directamente, las valoraciones cuantitativas de la capacidad de retención de agua del suelo en el área de las

raíces y el aire, diagnosticando la calidad física del suelo para aumentar el rendimiento de los cultivos (Ferrerías et al., 2007).

2.6.1.4 Densidad real (Dr)

Villaseñor (2016) menciona que la Dr de los suelos se expresa como la relación entre la masa de las partículas y su volumen, descartando el espacio poroso. Se determina mediante el método del picnómetro, que calcula el volumen de la muestra en función del desplazamiento del líquido. La Dr en los suelos varía entre 2,6 y 2,7 Mg/m³, encontrándose sujeta a cambios debido al porcentaje de materia orgánica y componentes minerales.

2.6.1.5 Porosidad

Es el espacio poroso que ocupa el aire y/o el agua en estado natural; su capacidad está influenciada por la manera que se encuentren distribuidas las partículas sólidas en el suelo. La porosidad del suelo representa una gran importancia en el sistema agrario, en donde sus características dependen de la textura, estructura, porcentaje de MOS, la especie y sistemas continuados en plantaciones en conjunto con las prácticas de manejo. Cuando se presenta una disminución de la parte porosa del suelo esta influye en las características físicas, causando reducción de la aireación del suelo, disminución de la permeabilidad de líquidos, el impedimento del desarrollo radicular. Las causas de un suelo compactado en el perfil puede deberse a un proceso posicional, maquinaria obsoleta, la labranza realizada en condiciones de humedad insuficiente o la compactación producida por la máquina labradora repetidamente hasta cierto punto, estableciéndose un estrato de laboreo (arado) en la parte inferior del horizonte A, conocido como piso de arado (Flores & Alcalá, 2010).

2.6.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas del suelo corresponden al contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno (pH), capacidad de intercambio catiónico y los nutrientes básicos que las plantas absorben del suelo (Navarro & Navarro, 2013), siendo estas características muy influyentes en el desarrollo y productividad de los cultivos (Orozco & Muñoz, 2012).

Las ventajas nutricionales que proporcionan los desechos de plantaciones y cultivos de cobertura dependerán de la especie utilizada encontrándose vinculados al aumento de nutrientes para las plantas, incrementando los niveles de MO y mejorando la capacidad de intercambio catiónico en el suelo. Los residuos de cultivos y los sistemas agrícolas pueden provocar cambios relevantes en la distribución de nutrientes del perfil de suelo. La implementación de la labranza de conservación durante un largo período de tiempo en los suelos favoreció al incremento del contenido de MO. El suelo reacciona de manera diferente y puede restaurar su capacidad amortiguadora natural y aumentar el valor del pH (Castillo, 2015).

2.6.2.1 pH

El pH es un componente químico que corresponde a un índice para medir la acidez o alcalinidad del suelo, y se puede utilizar para estudiar la situación actual, la disponibilidad de nutrientes y determinar los puntos clave del tipo de suelo como sistema de producción y recursos naturales importantes para la biodiversidad (Romero et al., 2009).

Para garantizar un buen rendimiento de los cultivos es recomendable que los rangos de pH oscilen entre 6,5 a 7,0 permitiendo mayor facilidad de absorción de nutrientes por parte de las plantas. Cuando el pH es cercano a 7, esto causa que los elementos sean más solubles, lo que conduce a un alto porcentaje de saturación alcalina (Rivera et al., 2018). Los cultivos desarrollados en suelos con una tendencia a la acidez se ven afectados por la toxicidad que generan los elementos como el caso del aluminio, hidrógeno y el manganeso, ocasionando carencias de los nutrientes de calcio y magnesio (Aguilar, 2020).

Posteriormente se mencionan los rangos de pH en suelo que pueden ser extremadamente ácidos de 3,5 a 4,5 como llegar a ser muy fuertemente alcalino mayores a 9,0 que serían difíciles de cultivar para la agricultura debido a su estructura pobre, disminución en su capacidad de infiltración; como también suelos con pH neutro de 6,6 a 7,3 siendo óptimos para el desarrollo de los cultivos.

Tabla 2. Clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH.

Denominación	Rango de pH
Ultra ácido	< 3,5
Extremadamente ácido	3,5 – 4,4
Muy fuertemente ácido	4,5 – 5,0
Fuertemente ácido	5,1 – 5,5
Moderadamente ácido	5,6 – 6,0
Ligeramente ácido	6,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Ligeramente alcalino	7,4 – 7,8
Moderadamente alcalino	7,9 – 8,4
Fuertemente alcalino	8,5 – 9,0
Muy fuertemente alcalino	> 9,0

Fuente. USDA (2000).

2.6.2.2 Conductividad eléctrica (CE)

Su medición se basa en el hecho de que la velocidad de la corriente eléctrica que atraviesa la solución salina es directamente proporcional a la concentración de sal en la solución. Al principio, se propuso definir el suelo salino como suelo que contiene más de 0,1% de sal soluble, pero esta afirmación no es del todo correcta porque no considera la textura del suelo. Cuanto mayor sea la concentración de sal (CE) de la solución, mayor será el grado de conductividad. La unidad de medida para soluciones se utiliza el dS/m. Dado que la conductividad varía con la temperatura, el valor medido a 25°C se suele utilizar como regla general. Este método implica agregar agua destilada a la muestra de suelo a dicha temperatura hasta que se alcance la saturación y luego se extrae el agua de la pasta a través de un filtro (Soto & Desamparados, 2018).

A continuación, se detallan los rangos de salinidad que presentan los suelos para el manejo de los cultivos que pueden ser desde suelos no salinos menores a 0,75 dS/m, incluso llegar a ser extremadamente salinos que son mayores a 15 dS/m y lo moderado en salinidad que varía entre 2 a 4 dS/m.

Tabla 3. Clasificación de la salinidad de los suelos.

Id	Descripción	CE_{SE}=dS m⁻¹ (25 °C)
N	No salino	< 0,75
SL	Ligeramente salino	0,75 – 2
MO	Moderadamente salino	2 – 4
ST	Fuertemente salino	4 – 8
VST	Muy fuertemente salino	8 – 15
EX	Extremadamente salino	> 15

Fuente. FAO (2009).

2.6.2.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La CIC es la propiedad química encargada de la fertilidad de los suelos, siendo el lugar donde se almacenan los macronutrientes primarios (N, P, K) y secundarios (Mg, Ca) indispensables en el crecimiento de los cultivos que en solución con el agua se vuelve más factible su absorción; la descomposición de la materia orgánica en asociación con las partículas de arcilla influye al aumento de la CIC en suelos (Bueno & Fernández, 2019). Pérez et al. (2017) se refieren a la CIC como un indicador indirecto de la capacidad amortiguadora de los suelos, encontrándose en función de la cantidad y tipo de arcilla, considerando los puntos de carga de las arcillas, tanto las cargas permanentes, como las cargas dependientes de pH.

2.6.2.4 Materia orgánica (MO)

La materia orgánica del suelo (MOS) está compuesta de sustancias biológicas que generan los organismos (incluidas plantas y animales) y sus residuos finales. Las propiedades químicas de la MOS consisten en una serie de compuestos de diferente complejidad en estado de transformación continua, desde los residuos de cultivos y animales recientemente incorporados hasta la estructura compleja del humus obtenido tras un largo tiempo de transformación (Céspedes & Millas, 2017).

Durante el proceso de descomposición de la materia orgánica los microorganismos la transforman en dióxido de carbono y los restos más sólidos en humus, y capturan el

nitrógeno del suelo. Tanto la materia orgánica como el humus acumulan abundantes nutrientes del suelo, mejorando la estructura, desligan suelos arcillosos, ayudando a prevenir la erosión y garantizando una buena retención de nutrientes y agua en los suelos arenosos (Pascual & Venegas, 2014).

Los porcentajes de materia orgánica en suelos continuamente cultivados en condiciones tropicales pierden de un 30% a 60% en unos pocos años en relación a los valores encontrados de praderas vírgenes que están constituidos por un alto contenido de MO. Estos cambios dependerán de la vegetación, el clima, la textura del suelo, el drenaje y las prácticas de explotación que se realicen (Pulido et al., 2010).

Un mayor contenido de MOS ayuda a mantener una mayor porosidad, pero si estos valores son bajos provocaría la disminución del área porosa en el suelo lo que conllevaría a un aumento de la densidad aparente, causando la compactación del suelo (Muñoz et al., 2013).

2.6.2.5 Nitrógeno

Carvajal & Mera (2010) mencionan que los fertilizantes biológicos nitrogenados son considerados como una fase clave en la biosfera y un componente básico de la agricultura sostenible. Esto permite la conversión de nitrógeno gaseoso en la forma de nitrógeno más ampliamente disponible (p. ej. nitrito, nitrato, amonio) para el desarrollo de procesos metabólicos en las plantas.

Domínguez et al. (2001) declaran al nitrógeno como un elemento indispensable en la producción vegetal debido a la cantidad requerida por los cultivos y la frecuencia de la deficiencia de nitrógeno. El contenido de nitrógeno mineral en los suelos sembrados directamente es generalmente más bajo que el del suelo cultivado, debido a una baja temperatura y el contenido alto de humedad de la superficie del suelo, más la disposición de los residuos en el terreno, crean un entorno desfavorable para la asimilación del nitrógeno en las plantas, generalmente la causa de estos problemas son la reducción de la mineralización, altas pérdidas por desnitrificación, volatilización, lavado y la inmovilización.

2.6.2.6 Fósforo

El fósforo es el segundo elemento más importante en los nutrientes de las plantas después del nitrógeno, en la actualidad la agricultura se basa en el fósforo para efectuar un

crecimiento fundamental de los cultivos. Se estima que el fósforo utilizado como fertilizante para los diferentes cultivos solo es asimilado el 10-20% (Lozano et al., 2012). Grant et al. (2001), mencionan que el fósforo es muy importante en el metabolismo de las plantas y juega un papel fundamental en la transferencia de energía, la respiración y la fotosíntesis. El suministro limitado de fósforo al principio del ciclo del cultivo conducirá a una restricción del crecimiento, incluso si el fósforo se suplementa a un nivel más apropiado, la planta nunca podrá reanudar el crecimiento óptimo. Una adecuada aplicación del contenido de fósforo es esencial en los ciclos iniciales de desarrollo en las plantas.

2.6.2.7 Potasio

La fertilidad del suelo simboliza un factor importante en la producción de cultivos, la sustitución de nutrientes de parte del suelo a la planta estará limitada por factores como la baja reserva o la falta de nutrientes. El contenido de potasio en el suelo se lo encuentra entre 0,3 y 3% estando casi en su totalidad en forma inorgánica, participa en el metabolismo vegetal ayudando a dinamizar las enzimas (Borges et al., 2012), considerándose al potasio un elemento móvil dentro de la planta si las condiciones son favorables (Barrera et al., 2010).

El potasio regula las funciones de las plantas, consolidándose abundantemente en los tejidos jóvenes en su etapa específica de desarrollo, encontrándose niveles muy bajos en las hojas viejas, también interviene en el proceso de fotosíntesis y asimilación de carbohidratos o hidratos de carbono (Palma, 2015).

2.6.2.8 Calcio

El elemento calcio desempeña un papel fundamental en la estructura del suelo, es el catión dominante en el complejo adsorbente de suelo no ácido o cuando el aluminio sea el elemento predominante. En presencia de suelo ácido, su recuperación se resolverá mediante la aplicación de cal agrícola, que implica la aplicación de una enmienda de calcio, que reduce la acidez del suelo al enriquecer el contenido de calcio intercambiable en partículas coloidales. Las principales fuentes de calcio para los cultivos es el calcio intercambiable y el calcio en minerales que se degradan fácilmente (como los carbonatos) (Castillo, 2015).

El calcio es un nutriente importante y esencial para mantener la permeabilidad de la membrana celular, y también es un cofactor para ciertas reacciones enzimáticas, que solo puede ser proporcionado por el xilema. Las sales de calcio actúan como un agente solidificante, debido a que los iones de calcio ejercen sobre las cadenas de pectina para formar puentes entre ellos, aumentando la fuerza de la pared celular en las plantas (Rincón & Martínez, 2015).

2.6.2.9 Magnesio

El elemento magnesio se puede encontrar en el suelo en diferentes fracciones como: no intercambiable que está fijado en minerales y rocas representando entre el 90 y 99% de la reserva total, estando presente en valores muchos más elevados que los asimilados por las plantas. El magnesio intercambiable usualmente alcanza un 5 % del magnesio total, siendo absorbido por la superficie cargada negativamente de minerales arcillosos y materia orgánica, por lo tanto, es fácilmente liberado por otros cationes como K^+ y Ca^{2+} . En esta fracción la liberación del magnesio es lenta y deficiente para satisfacer las necesidades de los cultivos en su etapa de desarrollo, y los valores disponibles que se suministran a la planta depende en gran medida de la CIC y del potencial del suelo para absorber y liberar magnesio, teniendo en cuenta la textura y el tipo de suelo. Las plantas solo absorben magnesio de la solución del suelo y este proviene de la parte intercambiable (Ross, 2004).

3.1.2 Tipo de estudio

El estudio es de tipo observacional, no se modifican las variables por parte del investigador, sino que estas son observadas como se presentan, prospectivo ya que se planificó la medición de las variables y transversal ya que se efectuó una sola medición de las variables objeto de estudio.

3.1.3 Clima y ecología

Los parámetros climatológicos que presenta la zona donde se realizó el estudio según datos proporcionados por el INAMHI (2017), la estación meteorológica Granja Santa Inés (UTM), registra una temperatura media anual de 24,4 °C, precipitación media anual de 382,5 mm, heliofanía de 2 a 3 horas diarias y una humedad relativa del 83 %. De acuerdo a la zona de vida natural de Holdridge (1947) se clasifica dentro de la formación de bosque muy seco-Tropical (bms-T).

3.1.4 Materiales, equipos y reactivos utilizados en la investigación

3.1.4.1 Materiales y equipos de campo

- Cinta métrica.
- Pala.
- Fundas plásticas.
- Etiquetas.
- Espátula.

3.1.4.2 Materiales y equipos de laboratorio

- Equipos para determinaciones físicas de suelos.
- Reactivos y equipos especializados para determinación de parámetros químicos.

3.1.4.3 Materiales de oficina y equipos

- Programa IBM SPSS Statistics versión 25.
- Software Google Earth.

3.1.5 Variables analizadas

3.1.5.1 Variables físicas

- Textura arena, arcilla, limo (%).

- Densidad Real.

3.1.5.2 Variables químicas

- Materia orgánica (%).
- Reacción del suelo (pH).
- Conductividad eléctrica (CE) (dSm^{-1}).
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC).
- Macronutrientes primarios (N, P, K) y secundarios (Ca, Mg).

3.2 Métodos

3.2.1 Procedimiento de toma de muestras

La toma de muestras de suelo se realizó a tres profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm a los sistemas de producción de maíz y cacao seleccionados para realizar el estudio.

Se realizaron minicalicatas en cada agroecosistema hasta 60 cm de profundidad, donde se dividió el perfil en las tres profundidades mencionadas anteriormente, en las cuales se tomó 1 kg de suelo colocando una pala en la parte inferior de la lámina y con una espátula se extrajo el suelo, luego este material se lo colocó en fundas las cuales fueron identificadas con los siguientes datos: agroecosistema, profundidad, punto, fecha; para luego ser trasladadas al laboratorio de suelos, foliares y aguas, perteneciente a la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD), ubicada en la vía interoceánica Km 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco-Quito; acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-006.

3.2.2 Procedimiento de laboratorio

3.2.2.1 Determinación de la textura del suelo

La textura es una de las propiedades físicas más importantes del suelo mostrando gran influencia sobre otras propiedades, su determinación se realiza mediante el Método de Bouyoucos que se encarga de medir los porcentajes de arcilla, limo y arena. La muestra de suelo luego de ser pesada y tamizada es colocada en un vaso de vidrio adicionándole agua destilada hasta la mitad, seguidamente se agrega oxalato de sodio saturado y con ayuda de una varilla de vidrio se mezcla para lograr homogenización de la muestra y se deja en reposo 24 horas. Una vez logrado este paso se agrega la suspensión en una probeta de 1000 ml adicionándole agua destilada hasta la línea de aforo, por consiguiente, se agita

la muestra para remover las partículas situadas en el fondo de la probeta procediendo a introducir lentamente el hidrómetro para las lecturas correspondientes (Barbeito & Bono, 2006; Villaseñor, 2016).

3.2.2.2 Densidad real (Dr)

Según Sandoval et al. (2011) nos menciona que la densidad real de los suelos corresponde a la densidad de la totalidad de las partículas sólidas y su determinación permite el cálculo del volumen y masa de las muestras de suelo, en donde se excluye los espacios porosos existentes en la misma, se la realiza por el método del picnómetro siendo fácil de usarse y su buena precisión. En el Sistema Internacional la unidad que expresa esta variable es el Megagramo por metro cúbico (Mg/m^3).

3.2.2.3 pH

El pH es una propiedad del suelo de mayor importancia en la agricultura que indica si tiende a ser ácido o básico. indica la cantidad de iones hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. Su medición se realiza mediante el uso de un equipo especializado conocido como potenciómetro; el potencial hidrógeno presenta una gran importancia en la disponibilidad de los macro y microelementos en el suelo y tiene una influencia indirecta en el desarrollo de las plantaciones. Este método se encuentra basado con la interacción suelo-planta, sin embargo, la proporción más utilizada es suelo-agua. En este parámetro se emplean las relaciones suelo-agua 1:1 ó 1:2,5 (Paneque et al., 2010).

3.2.2.4 Materia orgánica (MO)

La MO es una propiedad que interviene en la formación de la estructura del suelo influyendo en la fertilidad del mismo, además es importante en la retención de nutrientes como el nitrógeno, fósforo, azufre y otros micronutrientes evitando que se pierdan por lavado y que sean aprovechados por las plantas (García & Ballesteros, 2005).

Para su determinación se utilizó el método de combustión húmeda, el cual consiste en colocar la muestra de suelo en un enlenmeyer adicionándole un volumen de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) que ejerce como agente oxidante, seguidamente con ayuda de una pipeta volumétrica se añade ácido sulfúrico (H_2SO_4 concentrado), se mezcla para luego dejarlo en reposo en un tiempo determinado. El desprendimiento de calor ocasionado por la reacción del H_2SO_4 al disolverse facilita la acción del dicromato de potasio para que se

oxide la MO. Por último, se determina el exceso del oxidante titulando con una solución de sulfato ferroso (FeSO_4) actuando como agente reductor para luego darse el paso de color azul a verde brillante. (Paneque et al., 2010).

3.2.2.5 Macronutrientes primarios (N, P, K) y secundarios (Mg, Ca)

El manejo de la nutrición del suelo se viene dando tradicionalmente basada en la composición media de nutrientes medida por análisis de suelo. Este procedimiento de diagnóstico intenta definir el manejo de la nutrición referente a la premisa de la variabilidad inherente del suelo que esté bien cubierta al momento de tomar muestras para obtener la tasa de fertilidad promedio del lote (Farfán & Sánchez, 2018). Para la determinación de los elementos de N, P, K, Mg y Ca se la realiza mediante el protocolo del espectrofotómetro de absorción atómica que garantiza una correcta lectura de estos elementos.

3.2.2.6 Conductividad eléctrica (CE)

Para determinar el contenido de sales en el suelo se procedió a utilizar un conductímetro, realizando la debida calibración con soluciones salinas standard y posteriormente se hicieron las lecturas de CE con una relación 1:2,5 suelo: agua, expresándose su resultado en (dS/m^{-1}) (Gutiérrez & Cáceres, 2018).

3.2.2.7 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Según Abrego (2012) menciona la CIC como la suma total de los cationes intercambiables de un suelo y se expresa en la unidad de medida cmol/kg de suelo. La fórmula que se emplea para el cálculo de la CIC es la que describimos a continuación:

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

Donde;

Volumen muestra: ml de titulante consumido por la muestra.

Volumen blanco: ml de titulante consumido para titular.

NH_2SO_4 : normalidad del titulante.

3.2.3 Procedimiento estadístico

Ante la necesidad de saber si se presentan o no diferencias estadísticamente significativas para las propiedades físicas que integran los porcentajes de (arena, limo y arcilla), densidad real (g/ml) y químicas conformadas por el pH, MO (%), N (%), P (mg/kg), los contenidos de K, Mg, Ca, CIC expresadas en cmol/kg de suelo y CE (dS/m) entre los agroecosistemas maíz y cacao a diferentes profundidades del suelo (0-15, 15-30 y 30-45 cm) se realizó una prueba t de Student para grupos independientes, previo cumplimiento de los requisitos de normalidad de datos, independencia de observaciones y homogeneidad de varianzas. Cuando no se cumplió uno de estos requisitos se ejecutó la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney con la finalidad de determinar si existen o no diferencias entre los agroecosistemas maíz y cacao. La verificación del supuesto de normalidad de datos se realizó con el test de Shapiro-Wilk ya que se presentan menos de 30 observaciones en cada agroecosistema objeto de estudio. La verificación del supuesto de homocedasticidad se aplicó el test de Levene.

La representación de los resultados se realizó mediante gráficos de barras que representan en el eje de las **X** a los agroecosistemas y en el eje de las **Y** a las variables medidas.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics versión 25.0 gratuito para Windows 10 con un intervalo de confianza de 95%, o sea, un nivel de significación $\alpha=0,05$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades físicas

4.1.1 Textura

4.1.1.1 Arena

El análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes demuestra la presencia de diferencias significativas respecto a un valor de $p < 0,05$ en los agroecosistemas evaluados en función de la variable arena para las tres profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm, indicando que el tipo de cultivo y las prácticas de manejo inciden en la variación de esta variable (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable arena (%) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	6,372	5	0,001	18,16667	10,83813	25,49520
15-30	9,630	5	0,000	31,83333	23,33571	40,33095
30-45	9,350	5	0,000	45,50000	32,99013	58,00987

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

El porcentaje de arena en la profundidad de 0-15 cm, muestra un p-valor de 0,001 menor a 0,05, presentando para el cultivo de maíz una media de 34,67%, mientras en cultivo de cacao este valor es de 16,50% (Figura 3).

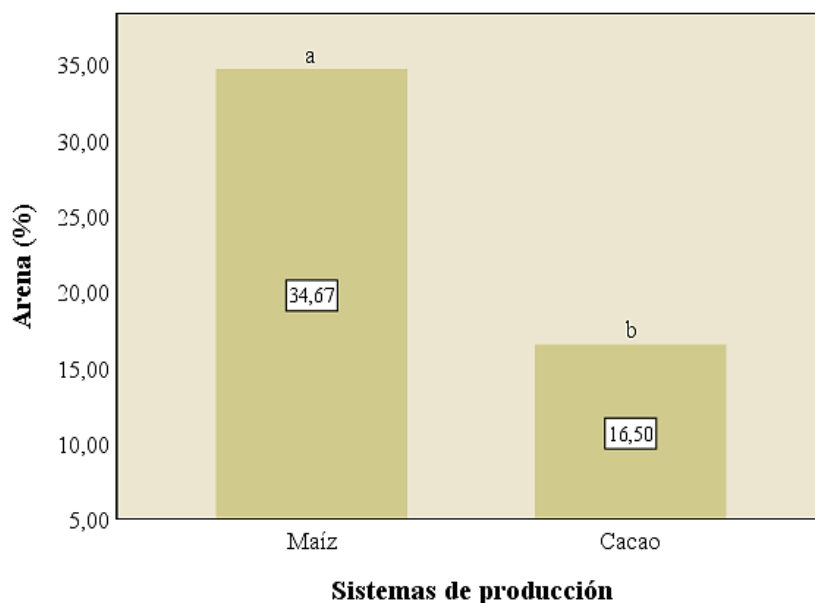


Figura 3. Valores promedio de arena (%) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la profundidad de 15-30 cm se muestra p-valor de 0,00 en el contenido de arena (%) menor que 0,05, con una media de 51,33% para maíz y en cacao de 19,50% (Figura 4).

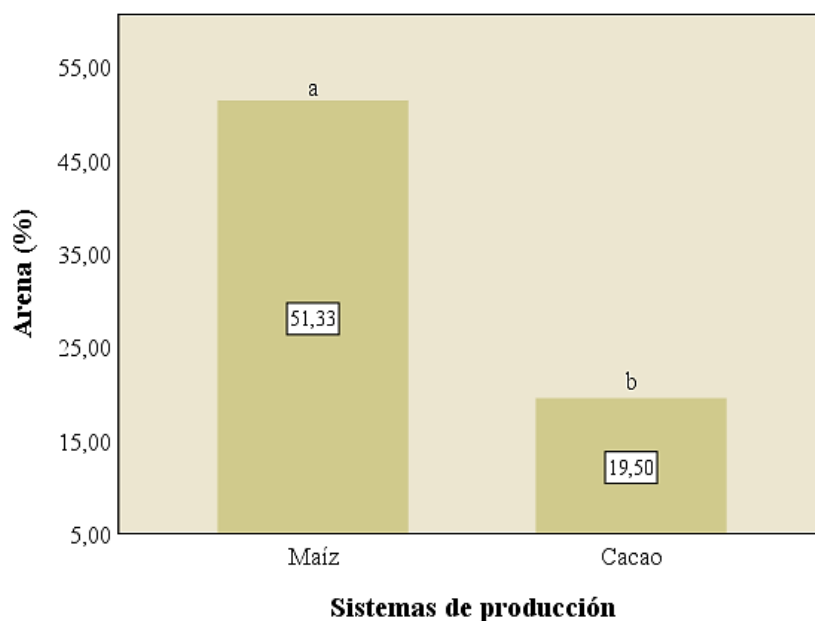


Figura 4. Valores promedio de arena (%) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las diferencias presentes en la fracción arenosa del suelo para una profundidad de 30-45 cm, muestra un p-valor menor a 0,05 en los resultados obtenidos, alcanzando una media de 60% para maíz y en el cultivo de cacao una cantidad menor de 14,50% (Figura 5).

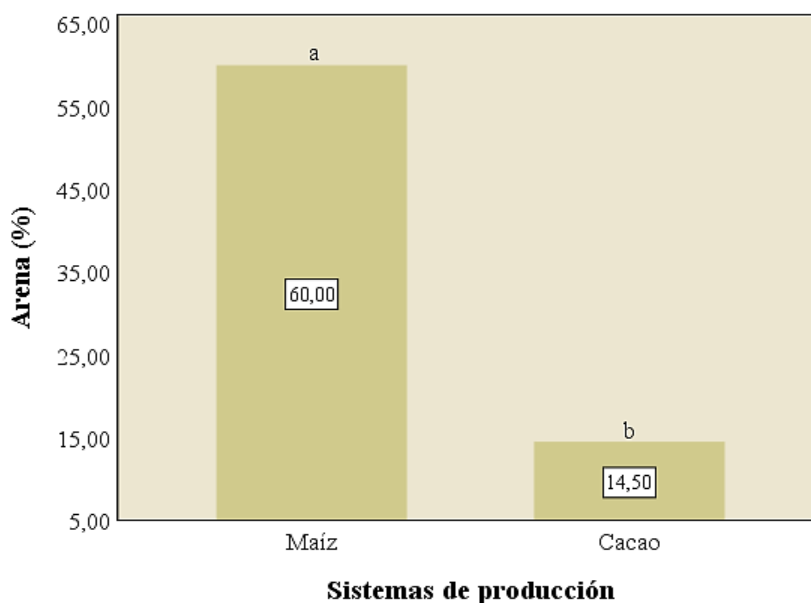


Figura 5. Valores promedio de arena (%) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Independientemente del predominio de la fracción arena en los inceptisoles, producto de la formación de estos suelos por depósitos aluviales, el hecho de que el porcentaje de arena en el suelo del agroecosistema de maíz presente una diferencia altamente significativa con respecto al suelo del agroecosistema de cacao se debe, en este caso, al exceso de labranza a que es sometido el suelo en el cultivo de maíz, al tratarse el maíz de un cultivo de ciclo corto, lo cual no sucede en el cultivo de cacao donde prácticamente la labranza es cero y los restos de ramas y hojas que se despenden de forma natural o por las podas se depositan y descomponen en el suelo, mejorando la fertilidad de mismo.

Coincidiendo estos resultados con las investigaciones en suelo realizadas en la provincia de El Oro por (Villaseñor et al., 2015; Barrera et al., 2018) que existe un predominio de las fracciones mineralógicas de arena en el suelo sobre las partículas de arcilla, dándose principalmente por la acción aluvial formado de material fluvial y marino en esta zona. Lozano et al., (2000) mencionan que los altos contenidos de las partículas de limo y arena en suelos, ocasionan una baja cohesión, lo que resulta en una alta separabilidad de los agregados.

Sin embargo, como aspecto fundamental de lo que ocurre en el agroecosistema de maíz, Navarro et al. (2000) manifiestan que los diferentes tipos de labranzas realizadas al suelo de algún modo afectan la estructura del mismo, ocasionando resistencia a la penetración y al corte de la capa arable del suelo por causas de la sobreexplotación, la erradicación de la cobertura vegetal y el exceso de laboreo del suelo, influyendo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Antúnez et al. (2015) confirman que en suelos donde prevalecen las partículas de arena, se presentará una baja retención de humedad y permeabilidad excesiva, limitada cohesión y plasticidad, debido a la alta cantidad de macroporos que estas poseen, reduciéndose la facultad de retener el agua, asimismo de insuficientes reservas de nutrientes presentándose esta situación en el cultivo de maíz, viéndose en la necesidad de mejorar la estructura de la capa superficial del suelo para evitar los problemas severos de pérdida de fertilidad.

4.1.1.2 Limo

El análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes realizada en la variable limo en los agroecosistemas estudiados no presentan diferencias significativas entre las profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm de acuerdo estadísticamente a un valor de $p > 0,05$; lo que indica homogeneidad en las profundidades analizadas. (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable limo (%) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	,866	5	0,426	4,33333	-8,53100	17,19766
15-30	-2,161	5	0,083	-7,33333	-16,05481	1,38814
30-45	-3,435	2,268	0,063	-13,16667	-27,92480	1,59146

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

Los resultados del contenido de limo (%) en los cultivos antes mencionados para la profundidad de 0-15 cm se muestra un p-valor de 0,426 mayor a 0,05 indicando que no

hay diferencia estadísticamente significativa entre los dos, presentando para el cultivo de maíz una media de (41,33%) y en cacao una media de (37%) (Figura 6).

Barrezueta & Paz (2017) en su investigación realizada en el cultivo de cacao en la provincia de El Oro obtienen como resultado una media del contenido de limo de (34,02%), indicando que ese porcentaje es idóneo para la producción de cacao en los primeros 30 cm del suelo.



Figura 6. Valores promedio de limo (%) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la profundidad de suelo de 15-30 cm se muestra un p-valor de 0,083 mayor que 0,05 indicando que no se presenta diferencia estadística entre los dos agroecosistemas evaluados con relación al contenido de limo en el suelo, presentando un valor mayor de (38%) en el cultivo de cacao y en maíz con un valor menor de (30,67%) (Figura 7).

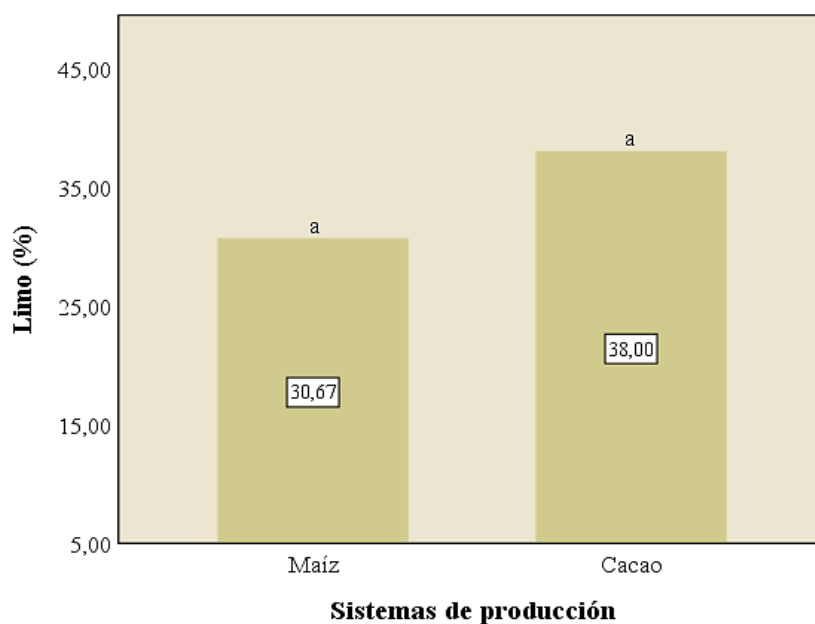


Figura 7. Valores promedio de limo (%) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la profundidad de suelo de 30-45 cm se obtuvo como resultado un p-valor de 0,063 mayor a 0,05 demostrando que no se presentan diferencias significativas entre los cultivos analizados en función al porcentaje de limo del suelo, sin embargo, se alcanzó un mayor porcentaje en cacao de (40,50%) y en maíz un porcentaje menor de (27,33%) (Figura 8). Barrezueta et al. (2018) en su investigación realizada en los cantones de la provincia de El Oro determinaron un predominio del contenido de arena (38,32%), seguido del limo (34,01%) teniendo una aproximación con los resultados debido a que las zonas pertenecen a la parte baja lo cual son generadas por la formación aluvial.

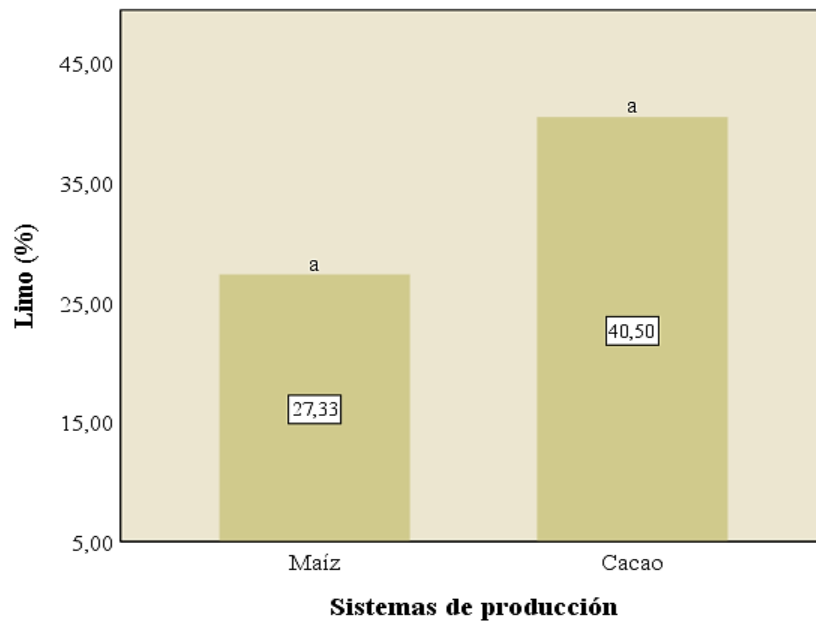


Figura 8. Valores promedio de limo (%) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.1.1.3 Arcilla

El análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes demuestra diferencias estadísticas entre los dos cultivos respecto a un valor de $p < 0,05$ en función de la variable arcilla para las tres profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm, indicando heterogeneidad en las características del suelo de los sistemas de producción (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable arcilla (%) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	-4,158	5	0,009	-22,50000	-36,41047	-8,58953
15-30	-7,000	3,695	0,003	-24,50000	-34,54234	-14,45766
30-45	-9,729	5	0,000	-32,33333	-40,87619	-23,79047

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

Los resultados del contenido de arcilla (%) en los cultivos antes mencionados para la profundidad de 0-15 cm se muestra un p-valor de 0,009 menor a 0,05, presentando para

el cultivo de cacao una media de 46,50% y en maíz una media de 24% (Figura 9). Ávila et al. (2016) expresan que las partículas de arcilla y la materia orgánica son propiedades que influyen en la estructura del suelo; además las arcillas integran un control permanente y en unión con la MO ejercen como material de enlace entre las partículas minerales en la formación de la estructura. Ante la presencia de altos porcentajes de arcilla en el suelo existirán niveles altos de MO la cual es absorbida por esta fracción mineral, teniendo relación con los resultados alcanzados en el cultivo de cacao como se muestra más adelante.



Figura 9. Valores promedio de arcilla (%) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la profundidad de suelo de 15-30 cm se muestra un p-valor de 0,003 en el contenido de arcilla (%) menor que 0,05, con una media de (42,50%) para cacao y en maíz de 18% (Figura 10).

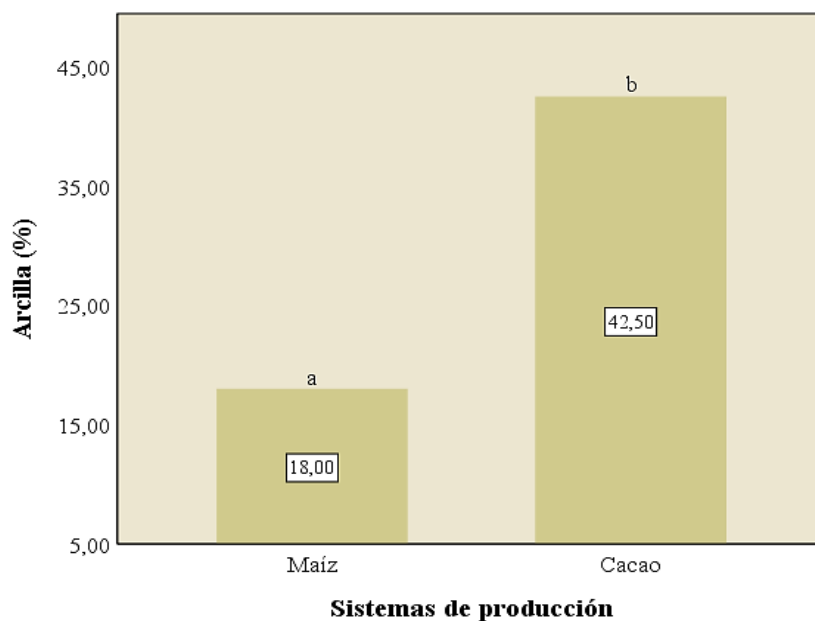


Figura 10. Valores promedio de arcilla (%) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las diferencias estadísticas presentes en el contenido arcilla para la profundidad de suelo de 30-45 cm, muestra un valor de p inferior al nivel de significancia (0,05) entre los dos cultivos, alcanzando un porcentaje de 45% para cacao y en maíz un porcentaje menor de 12,67% (Figura 11).

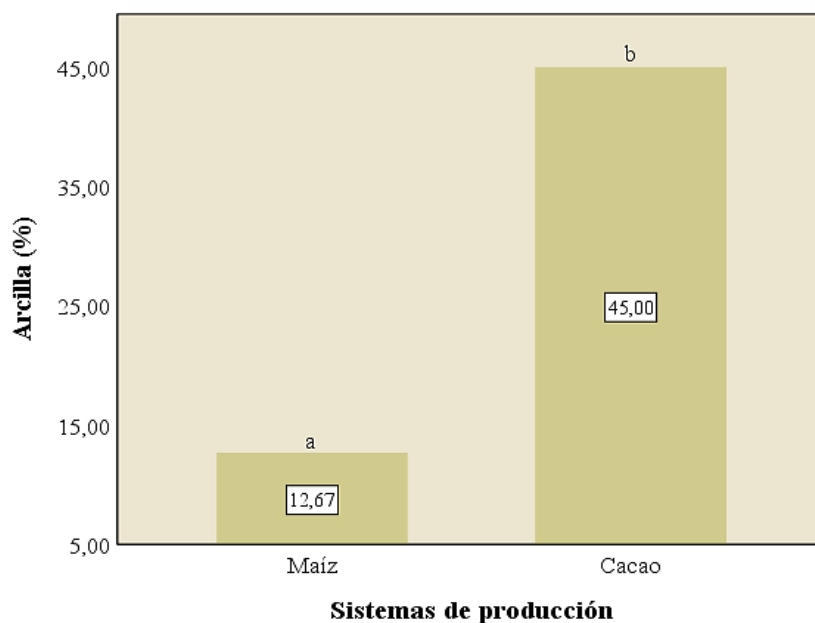


Figura 11. Valores promedio de arcilla (%) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Novillo et al. (2018) mencionan en su investigación realizada en suelos en diferentes sistemas agrícolas obtuvieron un incremento en los porcentajes de arcilla, conllevando a tener un efecto negativo en el movimiento vertical del agua.

4.1.2 Densidad real (Dr)

El análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes no presenta diferencias estadísticas entre los dos cultivos respecto a un valor de $p < 0,05$ en función de la variable densidad real para las tres profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm, indicando homogeneidad en las características del suelo de los sistemas de producción. (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable densidad real (g/ml) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	1,645	5	0,161	0,13750	-0,07735	0,35235
15-30	1,341	5	0,238	0,19333	-0,17738	0,56405
30-45	1,722	5	0,146	0,16500	-0,08132	0,41132

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

Los resultados de la densidad real (g/ml) en el suelo de los cultivos antes mencionados para la profundidad de 0-15 cm se muestra un valor de p (0,161) mayor al nivel de significancia (0,05) indicando que no hay diferencia estadísticamente significativa entre los dos, presentando para el cultivo de maíz una media de 2,34 g/ml y en cacao una media de 2,20 g/ml (Figura 12).



Figura 12. Valores promedios de la Dr (g/ml) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la profundidad de suelo de 15-30 cm se muestra un valor de p (0,238) superior al nivel de significancia (0,05) indicando que no existen diferencias estadísticas entre los dos agroecosistemas objeto de estudio en función a la densidad real, presentando un valor de 2,45 g/ml en el suelo de la plantación de maíz y en el cultivo de cacao un valor de 2,26 g/ml (Figura 13).



Figura 13. Valores promedios de la Dr (g/ml) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

No se evidenciaron diferencias estadísticas entre los cultivos evaluados para la propiedad densidad real respecto a la profundidad de suelo 30-45 cm, obteniendo un valor de p (0,146) superior al nivel de significancia (0,05), indicando un porcentaje de maíz (2,45 g/ml) y para el cacao (2,29 g/ml) como se representan en la Figura 14.



Figura 14. Valores promedios de la Dr (g/ml) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Ceballos & Enriquez (2014) mencionan que la densidad real es una propiedad difícil de alterar, y se encuentra vinculada con la fracción mineral de los suelos y del contenido de materia orgánica, presentando una variación entre 2,6 y 2,75 g/cc en todos los suelos agrícolas; sin embargo, ante la presencia de niveles bajos a los anteriormente descritos se deberá a un porcentaje alto de MO del suelo.

4.2 Propiedades químicas

4.2.1 pH

En la propiedad pH del suelo mediante el análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes demuestra que no existen diferencias estadísticas para las profundidades 0-15 y 30-45 cm indicando homogeneidad entre los agroecosistemas; sin embargo, de 15-30 cm si hay diferencias significativas entre ellos, respecto a un valor de $p < 0,05$ (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable pH en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	2,507	2,359	0,110	0,63333	-0,30947	1,57613
15-30	2,733	5	0,041	0,46833	0,02777	0,90889
30-45	1,416	5	0,216	0,25583	-0,20856	0,72022

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

No se presentan diferencias estadísticas entre los cultivos evaluados para la propiedad pH respecto a la profundidad de suelo 0-15 cm, obteniendo un valor de p (0,110) superior al nivel de significancia (0,05), evidenciándose en el maíz un valor de 7,83 en cambio para el cacao se obtuvo un valor menor de 7,20 (Figura 15).



Figura 15. Valores promedios de pH en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El pH del suelo en la profundidad 15-30 cm se muestra un valor de p (0,041) menor al nivel de significancia (0,05), lo que indica diferencias estadísticas entre los dos sistemas

de producción, con un valor de pH de 8,04 para maíz y en cacao un valor menor de 7,58 (Figura 16).

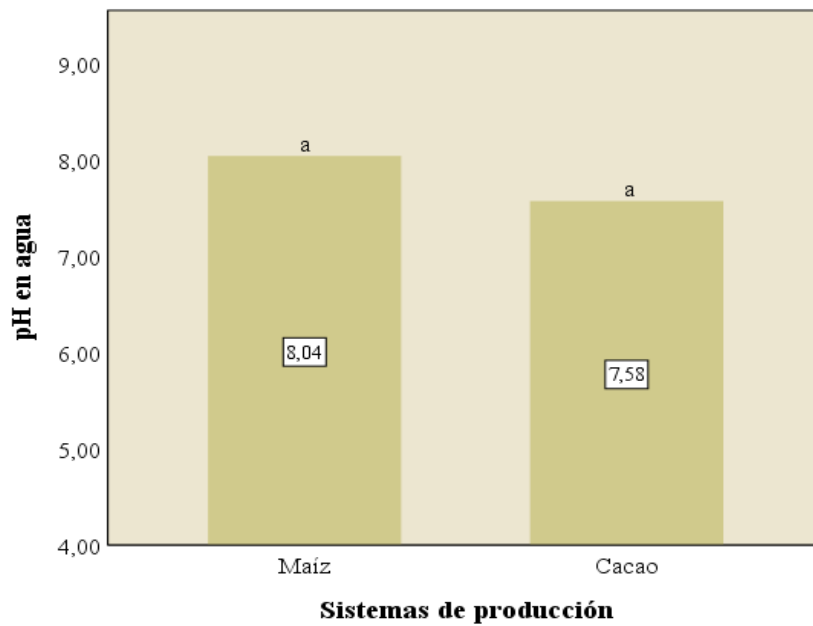


Figura 16. Valores promedios de pH en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la profundidad de suelo de 30-45cm se obtuvo como resultado un p-valor de 0,216 mayor a 0,05 demostrando que no se presentan diferencias significativas entre los cultivos analizados en función al pH del suelo, sin embargo, se alcanzó un valor superior de 8,13 en el cultivo de maíz y en cacao se presentó un valor menor de 7,88 (Figura 17).

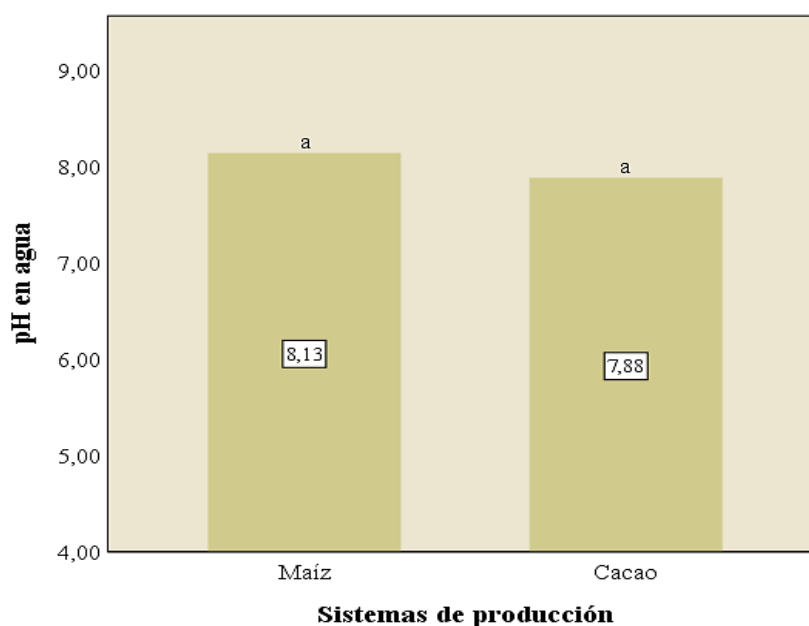


Figura 17. Valores promedios de pH en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Barrezueta (2019) menciona en su investigación realizada en suelos de plantaciones cacaoteras en la provincia de El Oro que los valores de pH alcanzaron un promedio de rango óptimo 5,1 a 7,0 en el desarrollo del cultivo, sin embargo, nos da a conocer que para la zona de Machala estos rangos presentan una tendencia a la alcalinidad.

4.2.2 Materia Orgánica (MO)

La prueba t de Student para grupos independientes realizada en la variable materia orgánica se aprecian diferencias significativas en los agroecosistemas maíz y cacao para las tres profundidades analizadas 0-15, 15-30 y 30-45 cm, conforme a un valor de $p < 0,05$; lo que indica que el tipo de cultivo y manejo agronómico que se realice influirá en esta propiedad del suelo (Tabla 9).

Tabla 9. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable materia orgánica (%) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	-6,514	5	0,001	-3,07000	-4,28148	-1,85852
15-30	-14,516	5	0,000	-1,79417	-2,11189	-1,47645
30-45	-8,229	3,000	0,004	-0,55750	-0,77310	-0,34190

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

Las variaciones en el contenido de materia orgánica del suelo en los cultivos de maíz y cacao en la profundidad de 0-15 cm muestra un p-valor de 0,001 menor a 0,05 indicando que se presenta diferencia estadísticamente significativa entre ambos, presentándose un alto contenido de MO para el cultivo de cacao 3,71%, dándose por la constante producción de hojarascas, tallos y ramas que genera este sistema de producción que se incorporan al suelo, además en este agroecosistema el suelo no se labra, lo que favorece el contenido de materia orgánica; mientras el suelo del área de maíz presenta un contenido medio de MO de 0,64% (Figura 18).



Figura 18. Valores promedios de MO (%) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la profundidad de suelo de 15-30 cm se muestra p-valor de 0,00 en el contenido de materia orgánica (%) menor que 0,05 indicando que, si se presentan diferencias estadísticamente significativas entre los dos agroecosistemas objeto de estudio, presentándose un valor mayor en cacao de 1,87% y muy bajo en maíz de 0,07% con tendencia a disminuir estos porcentajes a mayor profundidad (Figura 19).

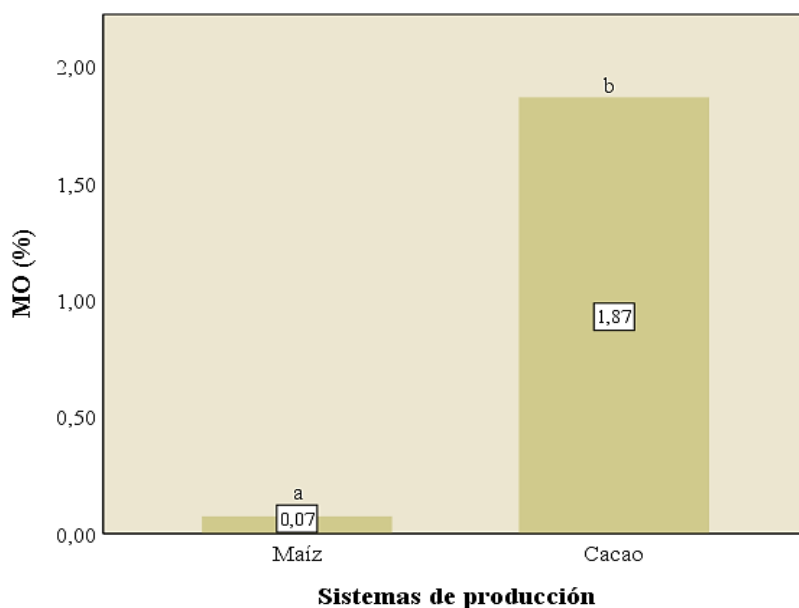


Figura 19. Valores promedios de MO (%) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las variaciones encontradas en el porcentaje MO en la profundidad de suelo de 30-45 cm, se muestra el valor de p inferior al nivel de significancia (0,05) presentándose diferencias estadísticas entre los dos cultivos, alcanzando un porcentaje de 0,58 para cacao y en maíz un porcentaje menor de 0,02 (Figura 20).

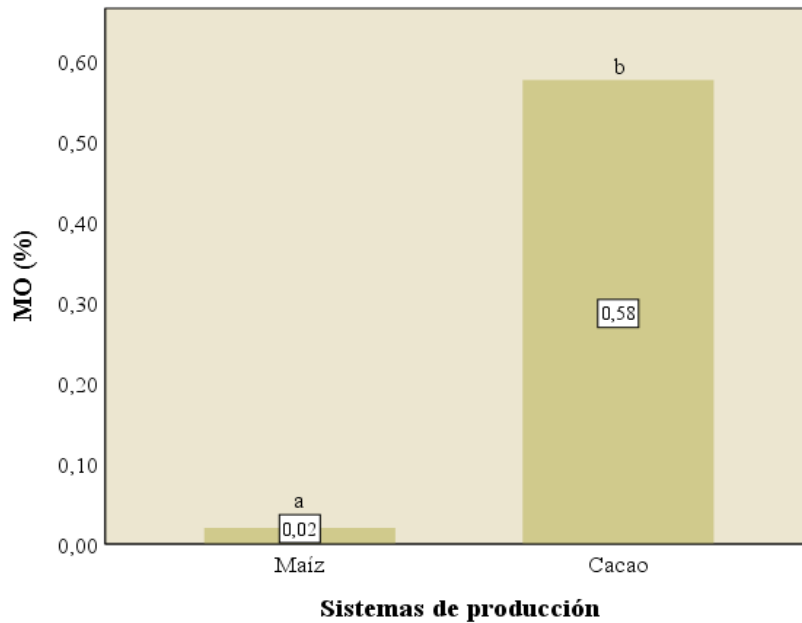


Figura 20. Valores promedios de MO (%) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La MO se ve afectada cuando estos suelos están bajo un sistema de producción intensivo como es el caso del maíz, en la cual se retira continuamente material vegetal para el consumo humano o animal, y a su vez encontrándose pocos medios de regresarlo al suelo siendo más propenso de lograr problemas de degradación. Además, el suelo cultivado ayuda a la aireación y separación de los residuos orgánicos, haciéndolos más susceptibles a la descomposición microbiana y propicios para su mineralización (Moreno et al., 2015). La remoción constante del suelo en el cultivo de maíz puede ocasionar cambios en las propiedades físicas y químicas teniendo un impacto negativo en sus rendimientos, debido a la destrucción de los poros, afectándose el movimiento del agua, gases, elementos esenciales y además oxida la materia orgánica (Boada & Espinosa, 2016).

4.2.3 Nitrógeno

El análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes presenta diferencias estadísticas entre los sistemas agrícolas con relación al valor de $p < 0,05$ en función del contenido de nitrógeno para las tres profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm, indicando una alta heterogeneidad en esta propiedad condicionada por el tipo de cultivo y producción intensiva (Tabla 10).

Tabla 10. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable nitrógeno (%) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	-6,555	5	0,001	-0,154167	-0,214627	-0,093706
15-30	-14,123	5	0,000	-0,089167	-0,105396	-0,072937
30-45	-6,211	5	0,002	-0,030000	-0,042417	-0,017583

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

Las variaciones en el porcentaje de nitrógeno de los cultivos antes mencionados para la profundidad de 0-15 cm se muestra un valor de p (0,001) inferior al nivel de significancia (0,05) demostrando diferencias significativas entre los sistemas agrícolas, presentándose un porcentaje mayor de nitrógeno en el cultivo de cacao de 0,188% (Figura 21) debido al aporte de las primeras capas de biomasa de este sistema que dan como resultado que el N presente una alta mineralización en el horizonte superficial y en el caso del sistema de producción de maíz muestra un menor porcentaje (0,033%) por la alta extracción de N que ocurre en este cultivo más que en cualquier otro nutriente adicionándole los efectos negativos por el labrado continuado del suelo, evidenciándose que la mineralización en los diferentes horizontes de un perfil de suelo generan diferencias importantes debido a que el contenido de N del suelo disminuye con la profundidad (Benintende et al., 2008).

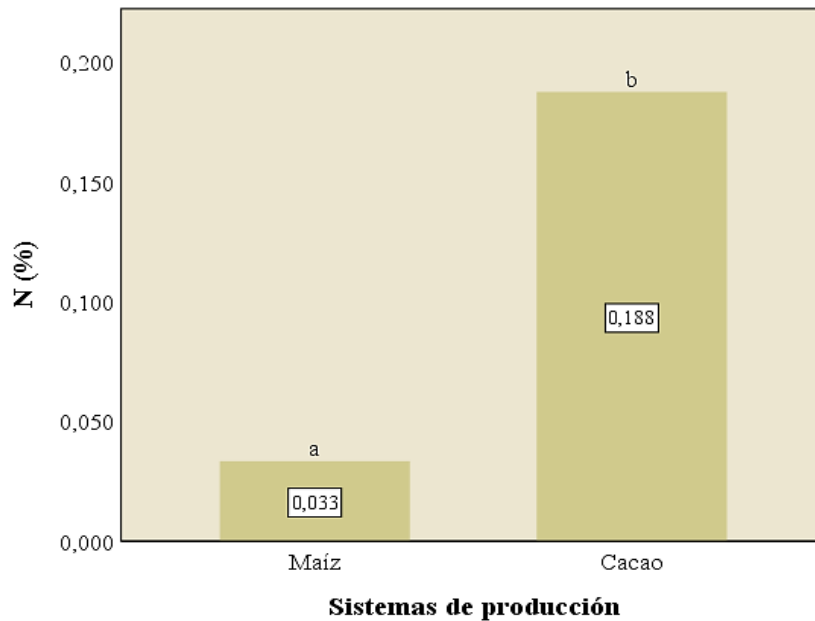


Figura 21. Valores promedios de N (%) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El porcentaje de nitrógeno para la profundidad de suelo a 15-30 cm se muestra un p-valor de 0,00 menor que 0,05 indicando que, si se presentan diferencias estadísticamente significativas entre los dos cultivos, indicando un valor mayor en cacao (0,093%) y un valor menor en maíz (0,003%) con tendencia a disminuir estos porcentajes a mayor profundidad (Figura 22).

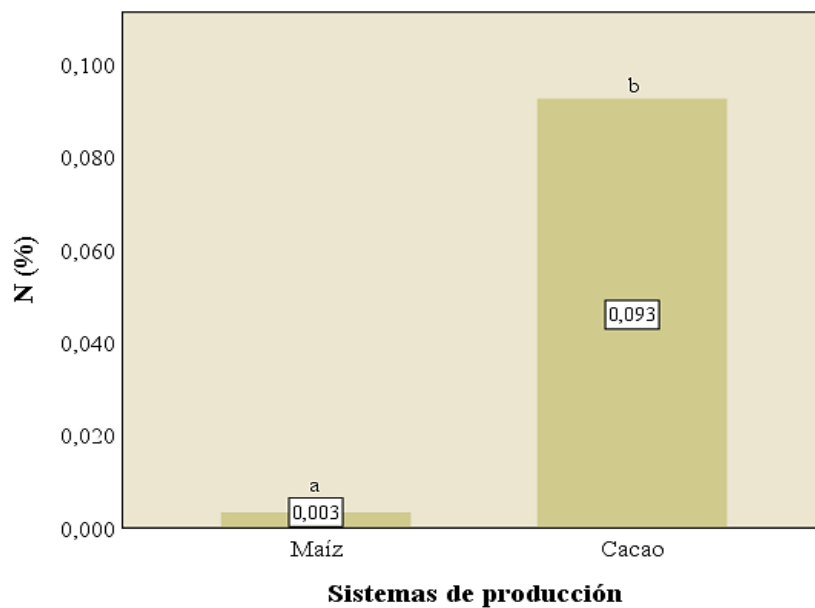


Figura 22. Valores promedios de N (%) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los contenidos bajos de N están relacionados a la acelerada mineralización de este elemento en las zonas tropicales por consecuencia de la temperatura y humedad (Barrezueta, 2019). Hartemink (2005) menciona que el N representa una gran influencia en el ecosistema del cacao y está altamente relacionado con el potasio en la función fisiológica del llenado de las mazorcas.

Los resultados encontrados en el porcentaje de nitrógeno en la profundidad de suelo a 30-45 cm, se evidencia el valor de p inferior al nivel de significancia (0,05) confirmándose diferencias estadísticas entre los dos sistemas de producción, alcanzando un porcentaje de 0,030 para cacao; sin embargo, el cultivo de maíz un porcentaje de cero (Figura 23).

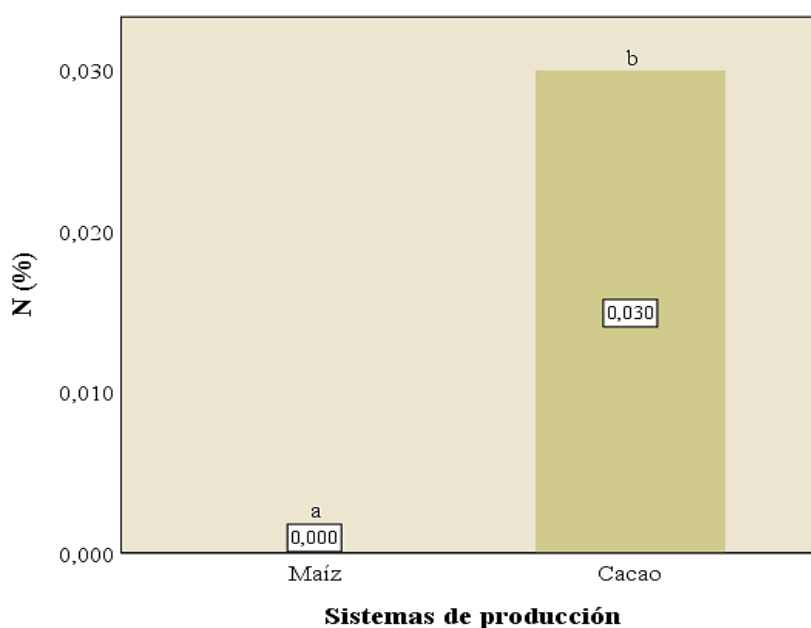


Figura 23. Valores promedios de N (%) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Por otra parte Castillo (2015), reporta que los porcentajes bajos de materia orgánica son ocasionados por la actividad principal del cultivo de maíz que se encarga de absorber la mayor cantidad de nutrientes en el suelo, influyendo en la disminución de la CIC y un contenido bajo de nitrógeno en el suelo.

4.2.4 Fósforo

El análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes presenta diferencias estadísticas entre los sistemas agrícolas para las profundidades 0-15 y 15-30 cm con relación al valor de $p < 0,05$ en función de las proporciones de fósforo; sin

embargo, para la profundidad 30-45 cm no existen diferencias significativas, indicando homogeneidad entre ellos (Tabla 11).

Tabla 11. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable fósforo (mg/kg) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	-8,692	3,009	0,003	-20,116667	-27,470399	-12,762935
15-30	-15,303	5	0,000	-2,995000	-3,498084	-2,491916
30-45	0,072	5	0,945	0,008333	-0,288337	0,305004

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

Las diferencias evidentes de la proporción de fósforo en las profundidades 0-15 cm en el suelo de los cultivos analizados se muestra un valor de p (0,003) inferior al nivel de significancia (0,05) demostrándose diferencia significativa entre los agroecosistemas, alcanzando un valor mayor de fósforo en el cultivo de cacao de 23,350 mg/kg de suelo y en el caso de maíz un menor valor de 3,233 mg/kg de suelo (Figura 24). Roveda & Polo (2007) manifiestan que en las zonas tropicales se caracterizan por estrictas limitaciones en el desenvolvimiento agrario, como la baja reserva de nutrientes básicos en el suelo, demostrando que un contenido insuficiente de fósforo en el suelo puede reducir el área foliar en plantas de maíz.

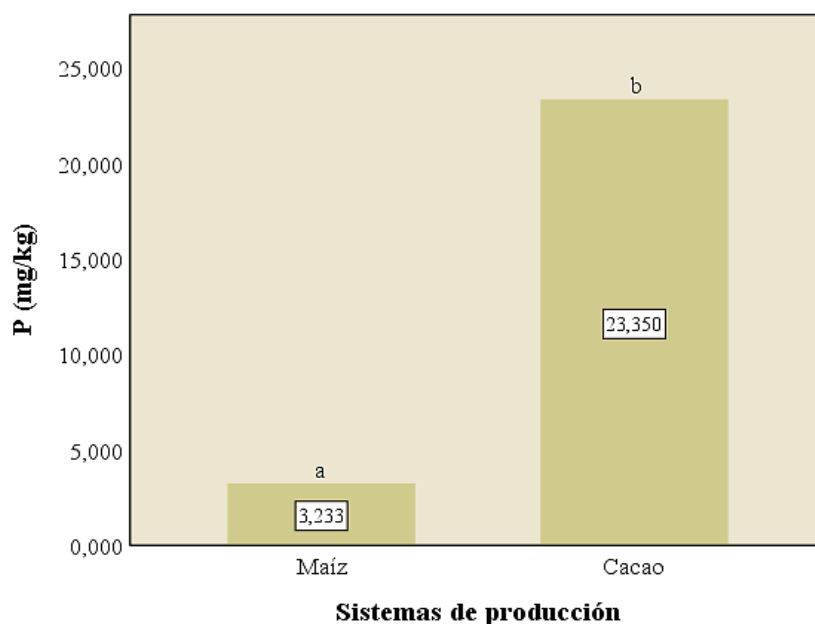


Figura 24. Valores promedios de P (m/kg) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Núñez et al. (2018) mencionan que los suelos con mayor contenido de arcilla muestran una tendencia a adsorber una gran cantidad de P; mientras que para (Bravo et al., 2013) la influencia de la materia orgánica presenta un rol importante en la disponibilidad de P en el suelo.

El contenido de fósforo del suelo en la profundidad de 15-30 cm muestra un valor de p (0,00) menor al nivel de significancia (0,05) indicando la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los dos cultivos, con un valor mayor en cacao de 6,425 mg/kg de suelo y una menor cantidad para maíz de 3,430 mg/kg de suelo (Figura 25).

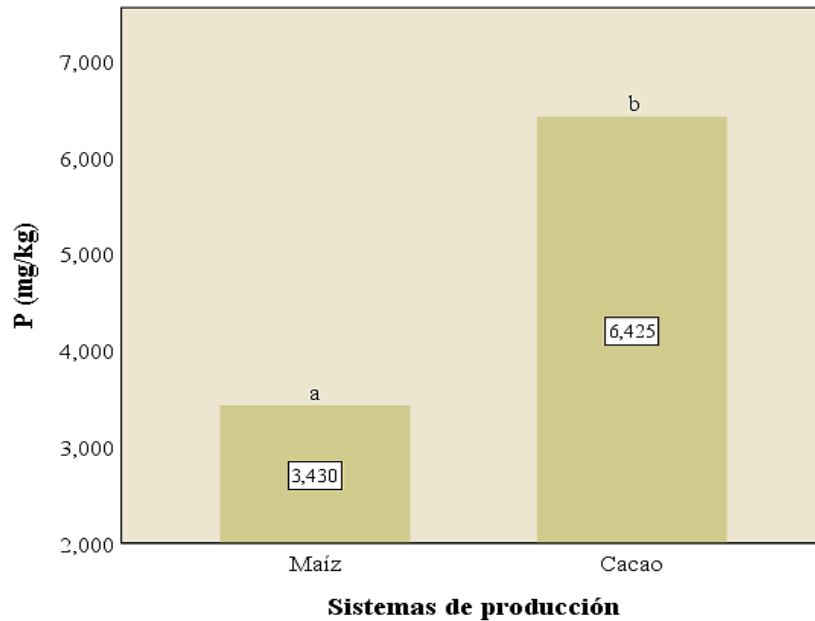


Figura 25. Valores promedios de P (m/kg) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El contenido de fósforo del suelo en la profundidad de 30-45 cm, muestra un valor de p superior al nivel de significancia (0,05) demostrando ninguna diferencia estadística es significativa entre los sistemas de producción, mostrándose un promedio de 3,325 mg/kg de suelo para cacao y en el cultivo de maíz 3,333 mg/kg de suelo (Figura 26).



Figura 26. Valores promedios de P (m/kg) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2.5 Potasio

El análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes realizado en las proporciones de potasio (cmol/kg) de suelo no presenta diferencia estadística entre los sistemas agrícolas para las profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm con relación al valor de $p < 0,05$ indicando homogeneidad entre ellos (Tabla 12).

Tabla 12. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable potasio (cmol/kg de suelo) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	-1,186	5	0,289	-0,066667	-0,211118	0,077785
15-30	-0,039	2,061	0,972	-0,004167	-0,453047	0,444714
30-45	-0,660	5	0,538	-0,035000	-0,171305	0,101305

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

Las proporciones de potasio en la profundidad 0-15 cm en el suelo de los cultivos antes mencionados se muestra un valor de p (0,289) mayor a 0,05 indicando que no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellos, evidenciando un promedio de potasio en el cultivo de cacao de 0,690 cmol/kg de suelo y en el caso de maíz una media de 0,623 cmol/kg de suelo (Figura 27). Bugarín et al. (2007) afirma que la disponibilidad del contenido de potasio en el suelo está íntimamente relacionada con la CIC, las fracciones orgánicas, el porcentaje y tipo de arcilla dominante.



Figura 27. Valores promedios de K (cmol/kg) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el caso del potasio para las profundidades de suelo a 15-30 cm se muestra un valor de p (0,972) mayor que 0,05 demostrando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos cultivos, dando a conocer cantidades homogéneas siendo para el cultivo de cacao (0,438 cmol/kg) y en el caso del maíz (0,433 cmol/kg) (Figura 28).



Figura 28. Valores promedios de K (cmol/kg) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El contenido de potasio del suelo en la profundidad de 30-45 cm, presenta un valor de p superior al nivel de significancia (0,05) indicando que no existe diferencia significativa entre los dos sistemas de producción; sin embargo, el cacao obtuvo una media de 0,265 cmol/kg de suelo en comparación al cultivo de maíz un valor menor 0,230 cmol/kg de suelo (Figura 29).



Figura 29. Valores promedios de K (cmol/kg) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2.6 Magnesio

Las proporciones de magnesio (cmol/kg) de suelo mediante un análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes muestra en los resultados diferencias significativas entre los sistemas agrícolas para las profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm con relación al valor de $p < 0,05$ indicando heterogeneidad entre ellos (Tabla 13).

Tabla 13. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable magnesio (cmol/kg de suelo) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	3,958	5	0,011	0,81000	0,28392	1,33608
15-30	10,520	5	0,000	1,21833	0,92063	1,51604
30-45	3,939	5	0,011	1,48833	0,51695	2,45971

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

Los valores de magnesio en el suelo a una profundidad 0-15 cm para los cultivos maíz y cacao se muestra un valor de p (0,011) menor a 0,05 indicando la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre ambos, evidenciando un promedio de magnesio en el cultivo de maíz de 3,58 cmol/kg de suelo y en el caso de cacao un valor de 2,77 cmol/kg de suelo (Figura 30), vinculando este último sistema de producción con la variable arena indicándose para la misma profundidad un contenido de arena (16,50%), lo que concuerda con la afirmación de (Ololade et al., 2010; Barrezueta, 2019) quienes mencionan que el contenido de magnesio del suelo presenta una relación inversa con el porcentaje de arena.



Figura 30. Valores promedios de Mg (cmol/kg) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el caso del magnesio para las profundidades de suelo a 15-30 cm se muestra un valor de p inferior al nivel de significancia (0,05) comprobándose importantes diferencias estadísticas entre los sistemas evaluados, dando a conocer un valor de 3,78 cmol/kg de suelo para el cultivo de maíz y en el caso del cacao este valor es de 2,57 cmol/kg de suelo (Figura 31).



Figura 31. Valores promedios de Mg (cmol/kg) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El contenido de magnesio en las profundidades de suelo a 30-45 cm, se muestra un valor de p inferior al nivel de significancia (0,05) evidenciándose una importante diferencia significativa entre los dos sistemas de producción, dándose a conocer un promedio de 4,23 cmol/kg de suelo para maíz mientras en el cultivo de cacao es de 2,75 cmol/kg de suelo (Figura 32).



Figura 32. Valores promedios de Mg (cmol/kg) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2.7 Calcio

El análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes realizado en las proporciones de calcio (cmol/kg) de suelo no presenta diferencia estadística entre los sistemas agrícolas para las profundidades 0-15 y 30-45 cm, indicando homogeneidad entre ambos; sin embargo, para la profundidad de 15-30 cm si se muestra diferencia significativa con relación al valor de $p < 0,05$ (Tabla 14).

Tabla 14. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable calcio (cmol/kg de suelo) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	-2,029	5	0,098	-1,40750	-3,19083	0,37583
15-30	-3,654	5	0,015	-2,52917	-4,30853	-0,74981
30-45	-1,481	5	0,199	-1,05000	-2,87218	0,77218

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

Las variaciones en el contenido Ca en profundidad 0-15 cm del suelo para los cultivos maíz y cacao se muestra un valor de p (0,098) mayor a 0,05 indicando que no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellos, evidenciando un promedio de calcio en el cultivo de cacao de 16,88 cmol/kg de suelo y en el caso de maíz un valor de 15,47 cmol/kg de suelo (Figura 33). Arévalo et al. (2016) menciona dentro de su investigación realizada en plantaciones de cacao, el Ca varía entre 2,99 y 38,69 cmol/kg de suelo en la provincia de San Martín, Perú; alegando que el alto contenido de calcio en el suelo se encuentra enlazado con las altas cantidades de pH en áreas semejantes destinadas a la producción de cacao.

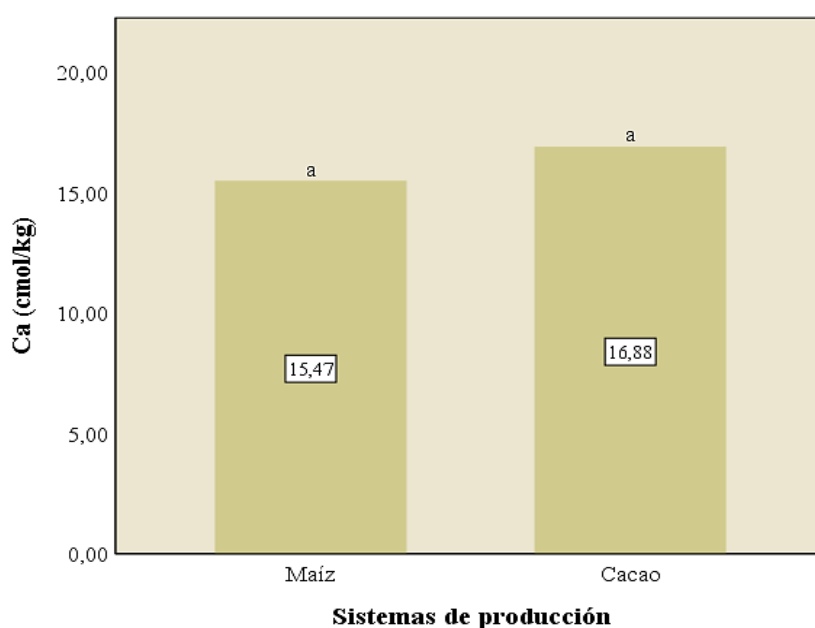


Figura 33. Valores promedios de Ca (cmol/kg) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la profundidad de 15-30 cm el contenido de calcio del suelo muestra un p-valor de 0,015 menor que 0,05 considerando que, si se presentan diferencias estadísticamente significativas entre los dos cultivos, dando a conocer un valor de 16,77 cmol/kg para el cultivo de cacao y en el caso del maíz de 14,24 cmol/kg (Figura 34).

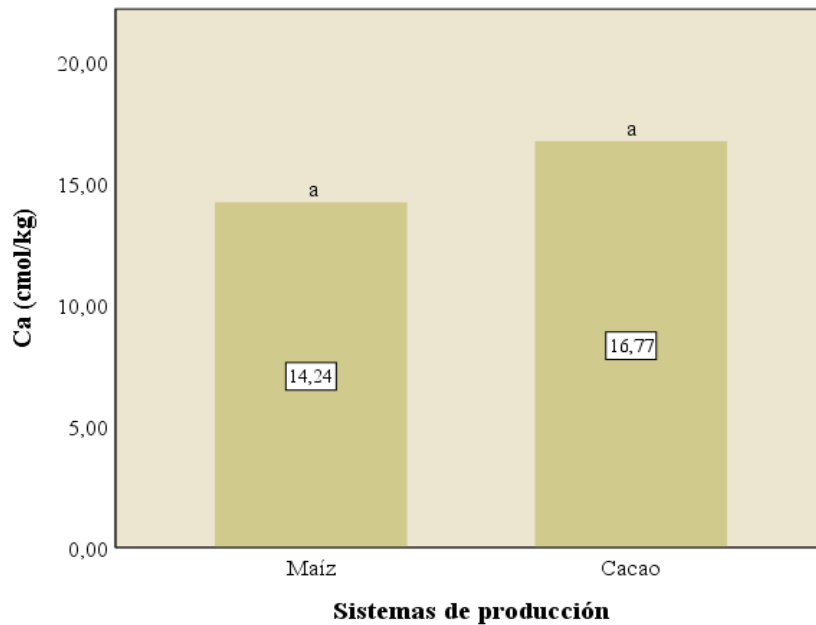


Figura 34. Valores promedios de Ca (cmol/kg) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El contenido de calcio en la profundidad de 30-45 cm, muestra un p-valor 0,199 mayor al nivel de significancia (0,05) dado que, no existen diferencias significativas entre los sistemas de producción, con un valor medio de 16,34 cmol/kg de suelo para cacao y en el cultivo de maíz 15,29 cmol/kg de suelo (Figura 35).

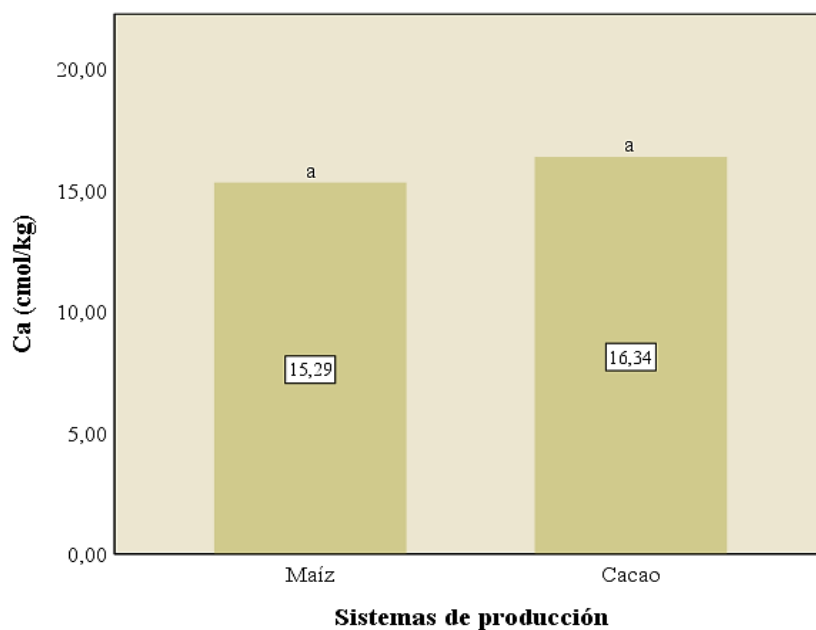


Figura 35. Valores promedios de Ca (cmol/kg) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2.8 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

El análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes realizado en la propiedad CIC (cmol/kg) de suelo muestra diferencias estadísticas entre los sistemas agrícolas para las profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm, indicando heterogeneidad con relación al valor de $p < 0,05$ (Tabla 15).

Tabla 15. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable capacidad de intercambio catiónico (cmol/kg de suelo) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15	-5,912	5	0,002	-17,40583	-24,97393	-9,83773
15-30	-8,252	5	0,000	-15,83583	-20,76902	-10,90264
30-45	-10,761	4,050	0,000	-17,78417	-22,35055	-13,21778

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

Los resultados de capacidad de intercambio catiónico para la profundidad 0-15 cm de los sistemas maíz y cacao corresponden a un valor de p (0,002) inferior al nivel de significancia (0,05) indicándose diferencias significativas entre ellos, evidenciando un promedio superior de CIC en el cultivo de cacao (30,68 cmol/kg) y en el caso de maíz un valor menor (13,28 cmol/kg) (Figura 36). (Bueno & Fernández, 2019) mencionan que la CIC es el lugar de almacenaje de nutrientes esenciales como potasio, magnesio, calcio y nitrógeno que al solubilizarse con el agua del suelo dan paso a la formación de la solución del suelo para que las plantas puedan asimilarlos, haciendo hincapié que entre más sitios de intercambio catiónicos existan en el suelo será mayor la capacidad de almacenamiento del catión y por ende una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas.



Figura 36. Valores promedios de la CIC (cmol/kg) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la propiedad del suelo CIC para las profundidades de suelo a 15-30 cm se evidencia el valor de p inferior que 0,05 demostrando una importante diferencia estadística entre los dos cultivos, dando a conocer un valor de 24,98 cmol/kg para el cultivo de cacao y en el caso del maíz de 9,15 cmol/kg (Figura 37). Los altos valores de CIC en el suelo están relacionados potencialmente con los elevados porcentajes de arcilla y materia orgánica en el agroecosistema de cacao (Ololade et al., 2010).



Figura 37. Valores promedios de la CIC (cmol/kg) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las variaciones de la CIC en las profundidades de suelo a 30-45 cm, se muestra el valor de p inferior con relación al nivel de significancia (0,05) demostrando que, si se presentan diferencias significativas entre los dos sistemas de producción, obteniéndose un mayor promedio en el cacao de 24,16 cmol/kg de suelo y en el cultivo de maíz d 6,37 cmol/kg de suelo (Figura 38).



Figura 38. Valores promedios de la CIC (cmol/kg) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2.9 Conductividad eléctrica (CE)

El análisis estadístico de la prueba t de Student para grupos independientes realizado en las proporciones de CE (dS/m) del suelo, no se evidencia diferencias estadísticas entre los sistemas agrícolas para las profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm con relación al valor de $p > 0,05$ indicando homogeneidad entre los grupos respecto a esta propiedad. (Tabla 16).

Tabla 16. Resultados de la Prueba t de Student para grupos independientes para la variable conductividad eléctrica (dS/m) en los agroecosistemas de maíz y cacao.

Profundidad del suelo (cm)	Prueba t de Student para grupos independientes					
	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	95% de IC de la diferencia	
					LI	LS
0-15 cm	0,216	5	0,837	0,009750	-0,106198	0,125698
15-30 cm	-0,099	5	0,925	-0,003083	-0,083207	0,077040
30-45 cm	0,415	5	0,695	0,015000	-0,077913	0,107913

Nota: IC=Intervalo de confianza. LI=Límite inferior. LS=Límite superior.

Los resultados de conductividad eléctrica para las profundidades del suelo a 0-15 en el cultivo de maíz es de 0,319 dS/m (Figura 39). Barrezueta (2019) en su investigación realizada en cultivos de cacao en la provincia El Oro, reporta que la CE del suelo se encuentra en un nivel óptimo cuando esta es < 1 dS/m, lo cual concuerda con el valor obtenido en esta investigación, en el sistema de producción de cacao de 0,309 dS/m.

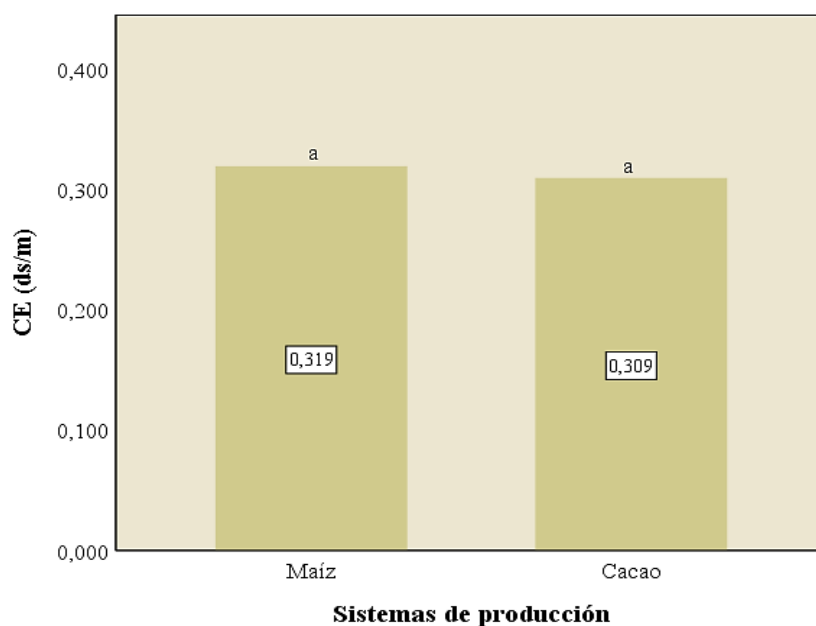


Figura 39. Valores promedios de la CE (dS/m) en profundidad (0-15 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La CE para las profundidades de suelo a 15-30 cm se evidencia un valor de p (0,925) mayor que 0,05 demostrando que, no existe diferencias estadísticamente significativas entre los dos cultivos, dándose a conocer promedios homogéneos con un valor de 0,208 dS/m en cacao y para el cultivo de maíz la CE es de 0,205 dS/m (Figura 40).



Figura 40. Valores promedios de la CE (dS/m) en profundidad (15-30 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La conductividad eléctrica del suelo en la profundidad de 30-45 cm, muestra el valor de p superior al nivel de significancia (0,05) dado que, no existen diferencias significativas, entre sistemas agrícolas, teniendo como resultados en el agroecosistema de maíz un promedio de 0,194 dS/m y en el cultivo de cacao es de 0,179 dS/m (Figura 41).

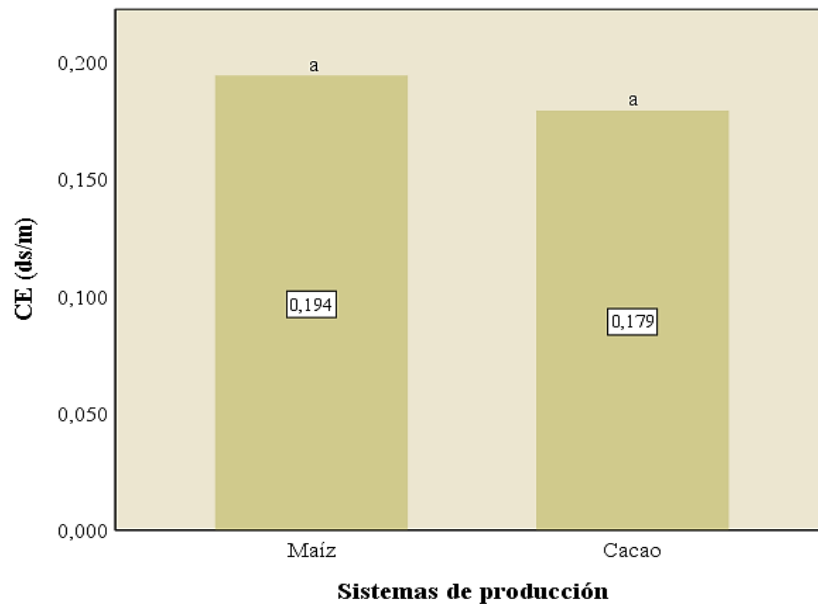


Figura 41. Valores promedios de la CE (dS/m) en profundidad (30-45 cm) para los agroecosistemas maíz y cacao.

*Letras distintas entre los agroecosistemas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

V. CONCLUSIONES

- De forma general se concluye que en el sistema de maíz las propiedades físicas y químicas presentan un deterioro en el suelo y en comparación con el sistema de cacao que mantiene un mejor soporte por la alta producción de hojarascas, ramas y tallos, adicionándole la intervención de la actividad de los microorganismos para ser incorporadas al suelo.
- El suelo del agroecosistema de maíz presenta un contenido mayor de arena, el cual se incrementa a medida que se profundiza en el perfil (34,67; 51,33; 60,00 %) en las tres profundidades estudiadas; mientras en el cultivo de cacao el porcentaje de arena en las tres profundidades estudiadas es de 16,50; 19,50 y 14,50. Con respecto al contenido de arcilla la situación es inversa; lo que pone de manifiesto la influencia notable del potencial productivo, la acción continuada de laboreo que se realiza al suelo.
- Se presentaron diferencias estadísticas entre los sistemas de maíz y cacao en las propiedades químicas como la materia orgánica, nitrógeno y fósforo se obtuvo en cacao altos valores, mientras que en el contenido de magnesio fueron bajos; siendo el caso de la MO en la profundidad 0-15 cm consiguió 3,71% en comparación al cultivo de maíz que fue baja 0,64%, debido a la constante generación de biomasa que produce el sistema de cacao y a la existencia de cero labranzas del suelo.
- La capacidad de intercambio catiónico presentó diferencias significativas entre los dos cultivos, en maíz se obtuvieron valores muy bajos de 13,28 cmol/kg de suelo, en comparación con el cultivo de cacao los valores fueron altos de 30,68 cmol/kg de suelo, indicando para el sistema de maíz que la producción agrícola intensiva y labranza continua afectan esta propiedad.
- No se presentaron diferencias significativas en las propiedades físicas tales como limo y densidad real, mientras que en las propiedades químicas como el pH, potasio, calcio y conductividad eléctrica; sin embargo, no se descarta que más adelante puedan presentarse cambios en estas variables.

VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere evitar las maquinarias con implementos de arados de discos o de vertederas en el laboreo del suelo para el cultivo de maíz ya que estos se encuentran en estados obsoletos siendo causa de la erosión, compactación y pérdida de humedad cuando se usan con exceso, por lo que existen otros implementos como los subsoladores que rompen los pisos de arados sin que se invierta el prisma de suelo.
- Se recomienda el uso de otras alternativas de producción en el caso del cultivo del maíz como: rotación de cultivos, uso de abonos verdes, disminución de las labores de labranza, cultivos asociados, que mejoren el contenido de MOS con la finalidad de mantener los niveles de fertilidad del suelo y evitar la degradación física y química de los mismos, lo que traería como consecuencia la disminución de su potencial productivo.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Abrego, F. (2012). Calidad ambiental de suelos. In Capacidad De Intercambio Catiónico. https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos//002012_Ronda 2012/000300_Lic. Fabio L. Abrego - UNNOBA/000300_Determinación de CIC.pdf
- Aguilar, M. J. (2020). Variabilidad espacial de la humedad y las fracciones granulométricas en un suelo inceptisol en Machala, provincia de El Oro. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15166>
- Antúnez, A., Felmer, S., Vidal, M., Morales, R., Caz, E., & Fuentes, F. (2015). Propiedades Físico-Hídricas del suelo en el cultivo del maíz grano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2, 31–50.
- Arévalo, E., Obando, M., Zúñiga, L., Arévalo, C., Baligar, V., & He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 81. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>
- Ávila, E. A., Darghan, A. E., & Leiva, F. R. (2016). Influencia de la mineralogía de arcillas, textura y contenido de carbono orgánico sobre el índice de friabilidad de suelos cultivados con caña de azúcar. *Agronomía Costarricense*, 40(2), 19–31. <https://doi.org/10.15517/rac.v40i2.27354>
- Barbeito, V., & Bono, A. (2006). Determinación de fracciones texturales para suelos de la región semiárida Pampeana usando variaciones al Método de Bouyoucos. Aspectos de La Evaluación y El Manejo de Los Suelos En La Región Semiárida Pampeana, 1–14. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-publi66.pdf>
- Barrera, Jaime, Cruz, M., & Melgarejo, L. M. (2010). Nutrición mineral. In Experimentos en fisiología vegetal (Primera ed, pp. 79–106).
- Barrera, Jenner, Ramón, O., Dominguez, C., & Barrezueta, S. (2018). Variabilidad del almacenamiento del carbono en suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro. 2(1), 188–195. <https://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/337>
- Barrezueta, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*, 14(1), 155. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210>
- Barrezueta, S., Luna, E., & Barrera, J. (2018). Almacenamiento de carbono en varios suelos cultivados con cacao en la provincia de El Oro-Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 147–154. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/177>
- Barrezueta, S., & Paz, A. (2017). Estudio comparativo de la estructura elemental de materia orgánica de suelo y mantillo cultivados de cacao en El Oro, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5, 54–62. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/141>
- Benintende, M., De Battista, J., Benintende, S., Saluzzio, M., Muller, C., & Sterren, M. (2008). Estimación del aporte de nitrógeno del suelo para la fertilización racional

- de cultivos. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 19(37), 141–174.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14511370007>
- Boada, R., & Espinosa, J. (2016). Factores que limitan el potencial de rendimiento del maíz de polinización abierta en campos de pequeños productores de la Sierra de Ecuador. *Siembra*, 3(1), 67–82. <https://doi.org/10.29166/siembra.v3i1.262>
- Borges, J., Barrios, M., Sandoval, E., Bastardo, Y., & Márquez, O. (2012). Características físico-químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo. *Bioagro*, 24(1316–3361), 121–126.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85723473006>
- Bravo, I., Montoya, J. C., & Menjivar, J. C. (2013). Retención y disponibilidad de fósforo asociado a la materia orgánica en un typic melanudands del departamento del cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 62(3), 261–267.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169929773010>
- Brito, M., Carrera, L., & Santillán, L. (2019). Influencia de la Fertilización en la Calidad del Suelo de Cultivo de Maiz - Caso Loreto. *European Scientific Journal*, 15(9), 51–61. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n9p51>
- Bueno, R., & Fernández, J. (2019). La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos. *Ámbito Investigativo*, 4(1), 7–12. <https://ciencia.lasalle.edu.co/ai/vol4/iss1/2/>
- Bugarín, R., Galvis, A., Hernández, T., & García, D. (2007). Capacidad amortiguadora y cinética de liberación de potasio en suelos. *Agricultura Técnica En México*, 33(1), 73–81. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000100008#:~:text=La capacidad amortiguadora y cinética,este nutrimento para los cultivos.&text=El Potasio agregado incrementó significativamente,Pr%3EF%3D 0.0001
- Caiminagua, S. (2014). Mapificación del grado de fertilidad de suelos, mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) del cantón Chilla, provincia de El Oro. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/900/7/CD286_TESIS.pdf
- Cairo, P., Reyes, A., & Aro, R. (2017). Efecto de las coberturas en algunas propiedades del suelo. Finca La Morrocuya, Barinas, Venezuela. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 127–134. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942017000200006
- Carvajal, J., & Mera, A. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia*, 5(2), 77–96.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3875676>
- Castillo, B. (2015). Caracterización de las propiedades y fertilidad de los suelos del cantón Marcabelí, provincia de El Oro.
http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1118/7/CD333_TESIS.pdf
- Ceballos, H., & Enriquez, S. (2014). Efecto de la acumulación de sedimentos sobre los suelos de la microcuena La Hidráulica ubicados en el municipio de Sibundoy, departamento del Putumayo. In Instituto Tecnológico del Putumayo.
[http://www.itp.edu.co/web2016/phocadownload/Investigacion/Semilleros/Conservemos_nuestros_suelos/EFECTOS DE LA ACUMULACION DE SEDIMENTOS HIDRAULICA ING AMBIENTAL \(2014\).pdf](http://www.itp.edu.co/web2016/phocadownload/Investigacion/Semilleros/Conservemos_nuestros_suelos/EFECTOS DE LA ACUMULACION DE SEDIMENTOS HIDRAULICA ING AMBIENTAL (2014).pdf)

- Céspedes, C., & Millas, P. (2017). Relevancia de la materia orgánica del suelo. Biblioteca INIA, 30–47.
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40198.pdf>
- Dalurzo, H., Toledo, M., & Vázquez, S. (2006). Calidad del suelo. Universidad Nacional del Nordeste.
- Díaz, G., Cabrera, J., & Ruiz, M. (2009). Modificaciones a las propiedades físicas del suelo por la acción de diferentes prácticas productivas para cultivar arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 30(3), 40–46.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215048008>
- Domínguez, G., Studdert, G., Echeverría, H., & Andrade, F. (2001). Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia Del Suelo*, 19(1).
http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_19n1/19_1_dominguez_47_56.pdf
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación, 100.
<http://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- FAO. (2016). Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS). <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Farfán, F., & Sánchez, P. M. (2018). Distribución de nutrientes en el suelo y producción de café en sistemas agroforestales. *Revista Cenicafe*, 69(2), 17–27.
<https://www.cenicafe.org/es/publications/arc069%2802%29017-027.pdf>
- Ferreras, L., Magra, G., Besson, P., Kovalevski, E., & García, F. (2007). Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. *Revista Ciencia Del Suelo*, 1(2), 159–172.
https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_25n2/25_2_ferreras_159_172.pdf
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos. Instituto de Geología (UNAM), 56.
[https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL DEL LABORATORIO DE FISICA DE SUELOS1.pdf](https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf)
- García, J., & Ballesteros, M. I. (2005). Evaluación De Parámetros De Calidad Para La Determinación De Carbono Orgánico En Suelos. *Revista Colombiana de Química*, 34(2), 201–209.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042005000200009
- Geo Ecuador. (2008). Informe sobre el estado del medio ambiente. In *Geo Ecuador 2008* (Vol. 1). <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf>
- Grant, C. A., Flaten, D. N., Tomasiewicz, D. J., & Sheppard, S. C. (2001). The importance of early season phosphorus nutrition. *Canadian Journal of Plant Science*, 81(2), 211–224. <https://doi.org/10.4141/P00-093>
- Gutiérrez, E., & Cáceres, A. (2018). Correlación entre la conductividad eléctrica medida en el extracto de saturación del suelo y en extractos con cinco relaciones suelo-agua. *Revista Alfa*, 2(6), 144–156. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v2i6.46>
- Hartemink, A. E. (2005). Nutrient Stocks, Nutrient Cycling, and Soil Changes in Cocoa Ecosystems: A Review. *Advances in Agronomy*, 86, 227–253.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)86005-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)86005-5)

- Holdridge, L. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105(2727), 367–368. <https://doi.org/10.1126/science.105.2727.367>
- Ibáñez, S., Gisbert, J. M., & Moreno, H. (2011). *Inceptisoles*. Editorial Universidad Politecnica de Valencia, 8.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12884/inceptisoles.pdf>
- INAMHI. (2017). Anuario meteorológico. In Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Issue 53).
http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf
- Lozano, Z., Cabrera, S., Peña, J., & Adams, M. (2011). Efecto de los sistemas de labranza sobre dos Inceptisoles de los Llanos Occidentales De Venezuela. II. Propiedades Físicas De Los Suelos. *Venesuelos*, 5(1 y 2), 25–33.
http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/viewFile/1077/1006
- Lozano, Z., Hernández, R. M., Bravo, C., Rivero, C., Toro, M., & Delgado, M. (2012). Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas Y tipos de fertilización. *Interciencia*, 37(11), 820–827.
<https://www.redalyc.org/pdf/339/33925550005.pdf>
- Lozano, Z., Lobo, D., & Pla, I. (2000). Diagnóstico de limitaciones físicas en inceptisoles de los Llanos Occidentales Venezolanos. *Bioagro*, 12(1), 15–24.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85712103>
- MAGAP. (2015). Mapa de Órdenes de Suelos del Ecuador. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. <http://www.sigtierras.gob.ec/mapa-de-ordenes-de-suelos/>
- MAGAP. (2016). La Política Agropecuaria Ecuatoriana. Hacia el desarrollo territorial rural sostenible 2015-2025 II Parte. [http://servicios.agricultura.gob.ec/politicas/La Política Agropecuaria al 2025 II parte.pdf](http://servicios.agricultura.gob.ec/politicas/La%20Política%20Agropecuaria%20al%202025%20II%20parte.pdf)
- Moreno, C., González, M., & Egido, José. (2015). Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. *Revista Científica Ecuador Es Calidad*, 2(1), 1–8.
<https://doi.org/10.36331/revista.v2i1.8>
- Moreno, N. (2016). La agricultura sostenible un reto para la microbiología del suelo. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 5.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57828>
- Muñoz, D., Ferreira, M., Escalante, I., & López, J. (2013). Relación entre la cobertura Región, terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una semiárida. *Terra Latinoamericana*, 31(3), 201–210.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v31n3/2395-8030-tl-31-03-00201.pdf>
- Navarro, A., Figueroa, B., Ordaz, V., & González, F. (2000). Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. *Terra Latinoamericana*, 18(1), 61–69. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318107>
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). *Química Agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas* (Tercera ed). Mundi-Prensa.
- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Moreira, V., Albán, K., & Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177–187.

- <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>
- Núñez, J. I., Villarreal, J. E., Gordón, R., Franco, J. E., Jaén, J. E., & Sáez, A. E. (2018). Retención de fósforo en suelos dedicados al cultivo de maíz en la Región de Azuero. *Ciencia Agropecuaria*, 29, 65–78.
<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/download/153/118/>
- Ololade, I. A., Ajayi, I. R., Gbadamosi, E. A., Mohammed, M. Z., & Sunday, A. G. (2010). A Study on Effects of Soil Physico-Chemical Properties on Cocoa Production in Ondo State. *Modern Applied Science*, 4(5), 35–43.
<https://doi.org/10.5539/mas.v4n5p35>
- Orozco, R., & Muñoz, R. (2012). Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 25(1), 16–31.
<https://doi.org/10.18845/tm.v25i1.173>
- Palma, B. (2015). Efecto de la fertilización con NPK sobre el rendimiento de dos híbridos experimentales de maíz (*Zea mays* L.) [Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2145/1/T-UTEQ-0024.pdf>
- Panque, V., Calaña, J., Calderon, M., Borges, Y., Hernández, T., & Caruncho, M. (2010). Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos.
http://ediciones.inca.edu.cu/files/folleto/folleto_suelos.pdf
- Pascual, R., & Venegas, S. (2014). La materia orgánica del suelo. Papel de los microorganismos. *Ciencias Ambientales*, 1–11. <http://www.ugr.es/~cjl/MO en suelos.pdf>
- 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>
- Pila, R. (2017). Determinación de propiedades físico químicas del suelo en la granja Chacras'' Universidad Técnica de Machala, provincia de El Oro.
http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11349%0Ahttp://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13852/3/DE00006_TRABAJODETITULACION2.pdf
- Porta, J., López, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (Tercera ed). Mundi-Prensa.
- Pulido, M., Flores, B., Rondón, T., Hernandez, R., & Lozano, Z. (2010). Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos, inceptisol y ultisol, por el uso con cultivo de cítricas. *Bioagro*, 22(3), 201–210.
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/dcart?info=link&codigo=3710059&orden=309622>
- Rincón, A., & Martínez, E. (2015). Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas : una revisión. *Revista Alimentos Hoy*, 24(34), 13–25.
https://acta.org.co/acta_sites/alimentoshoy/index.php/hoy/article/viewFile/301/276
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en

- plantas. *Revista de Iniciación Científica*, 4, 101–105. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829>
- Rodríguez Delgado, I., Pérez Iglesias, H., García Batista, R., & Quezada Mosquera, A. (2020). Efecto del manejo agrícola en propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes agroecosistemas. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(5), 389–398. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1724>
- Romero, D. (2017). Evaluación del estado actual de degradación del suelo en agroecosistemas de cacao y pasto en la Granja Santa Inés. http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11349%0Ahttp://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13852/3/DE00006_TRABAJODETITULACION2.pdf
- Romero, M., Santamaría, D., & Zafra, C. (2009). Bioingeniería y Suelo: Abundancia microbiológica, ph y conductividad eléctrica bajo tres estratos de erosión. *Umbral Científico*, 15, 67–74. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30415144008>
- Ross, M. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *Revista Palmas*, 25, 98–104. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1071/1071>
- Roveda, G., & Polo, C. (2007). Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. en suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 349–356. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/14140>
- Sandoval, M., Dörner, J., Seguel, O., Cuevas, J., & Rivera, D. (2011). Métodos de análisis físico de suelos. *Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales*, 5, 1–75. http://www.trapananda.uach.cl/proyectos/desarrollo/lib/exe/fetch.php?media=proyectos:metodos_analisis_fisico_suelos.pdf
- Shi, X. Z., Yu, D. S., Warner, E. D., Sun, W. X., Petersen, G. W., Gong, Z. T., & Lin, H. (2006). Cross-Reference System for Translating Between Genetic Soil Classification of China and Soil Taxonomy. *Soil Science Society of America Journal*, 70(1), 78–83. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0318>
- Soto, S., & Desamparados, M. (2018). Conductividad eléctrica del suelo. *Universidad Politécnica de Valencia*, 1, 1–10. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105110/Soriano - Conductividad eléctrica del suelo.pdf?sequence=1>
- Suquilanda, M. (2008). El Deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola. *Sociedad Ecuatoriana de La Ciencia Del Suelo*, 1–12. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/3.-Ing.-Manuel-Suquilanda.-Suelos.pdf>
- USDA. (1999). *A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, 886.
- USDA. (2000). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*.
- USDA. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos*. In Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Décima Seg). <https://www.uv.mx/iif/files/2014/10/Tesis-Elba-Pinus-teocote-MC.pdf>

- Vélez, J. (2010). Curso de Edafología. Universidad Técnica de Machala.
- Villaseñor, D. (2016). Fundamentos y procedimientos para análisis físico y morfológicos del suelo (Primera ed). UTMACH.
[http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS Y PROCEDIMIENTOS.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS_Y_PROCEDIMIENTOS.pdf)
- Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia de El Oro. Cumbres, 1, 28–34.
<http://investigacion.utmachala.edu.ec/cumbres/index.php/Cumbres/article/view/15>
- Zavala, J., Palma, D., Fernández, C., López, A., & Shirma, E. (2011). Degradación y conservación de suelos en la Cuenca del río Grijalva, Tabasco. In Problemática geoambiental y desarrollo (Primera ed).

VIII. ANEXOS



Anexo 1. Realización de minicalcatas en el agroecosistema de maíz.



Anexo 2. Perfil de suelo para muestro.



Anexo 3. Proceso de toma de muestras, embalaje e identificación de la misma.



Anexo 4. Realización de minicalicatas en el sistema de producción de cacao.



Anexo 5. Se efectuó la medición de las profundidades a evaluarse (0-15, 15-30 y 30-45) en el perfil.



Anexo 6. Se realizó la toma de las muestras de suelo, embalaje y etiquetado para ser llevadas al laboratorio de suelos.

MATRIZ DE DATOS Roi Carrillo (1).sav [ConjuntoDatos] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Visible: 17 de 17 variables

	ID	Sistemas	Muestra	Profundidad	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	CE	CIC	DensidadReal	Arena
1	7	Maiz	19	0-15 cm	8,05	,36	,020	3,400	,570	16,53	3,67	,296	8,72	2,31	32,00
2	8	Maiz	22	0-15 cm	8,10	,52	,030	3,200	,610	14,45	3,16	,308	15,04	2,20	34,00
3	9	Maiz	26	0-15 cm	7,35	1,04	,050	3,100	,690	15,43	3,91	,353	16,07	2,51	38,00
4	23	Maiz	20	15-30 cm	8,12	,02	,000	3,450	,230	13,44	3,64	,197	9,04	2,51	50,00
5	24	Maiz	23	15-30 cm	8,32	,01	,000	3,430	,480	14,50	3,93	,167	8,02	2,48	58,00
6	25	Maiz	27	15-30 cm	7,69	,19	,010	3,410	,590	14,79	3,78	,250	10,38	2,37	46,00
7	39	Maiz	21	30-45 cm	8,13	,02	,000	3,400	,120	15,63	4,82	,214	7,04	2,29	54,00
8	40	Maiz	24	30-45 cm	8,38	,02	,000	3,200	,250	15,40	4,46	,220	7,04	2,55	56,00
9	41	Maiz	271	30-45 cm	7,89	,02	,000	3,400	,320	14,84	3,42	,148	5,04	2,51	70,00
10	13	Cacao	37	0-15 cm	7,02	3,12	,160	21,400	,680	15,96	2,99	,302	26,24	2,26	20,00
11	14	Cacao	40	0-15 cm	7,34	3,73	,190	25,400	,740	17,49	2,71	,409	35,46	2,12	12,00
12	15	Cacao	43	0-15 cm	7,29	3,24	,160	18,000	,580	17,62	2,67	,289	30,47	2,21	14,00
13	16	Cacao	46	0-15 cm	7,15	4,75	,240	28,600	,760	16,44	2,71	,237	30,56	2,22	20,00
14	29	Cacao	38	15-30 cm	7,52	1,59	,080	6,400	,400	15,53	2,61	,161	26,18	2,29	20,00
15	30	Cacao	41	15-30 cm	7,69	1,89	,090	6,800	,460	17,85	2,70	,227	28,77	2,20	16,00
16	31	Cacao	44	15-30 cm	7,43	2,01	,100	6,000	,440	17,29	2,34	,191	23,02	1,99	20,00
17	32	Cacao	47	15-30 cm	7,66	1,98	,100	6,500	,450	16,42	2,61	,252	21,96	2,56	22,00
18	45	Cacao	39	30-45 cm	7,76	,40	,020	3,500	,250	16,62	2,92	,118	21,80	2,23	18,00
19	46	Cacao	42	30-45 cm	8,17	,55	,030	3,400	,310	17,06	2,75	,198	27,10	2,27	10,00
20	47	Cacao	45	30-45 cm	7,64	,65	,030	3,300	,230	14,64	2,41	,239	21,31	2,45	18,00
21	48	Cacao	48	30-45 cm	7,94	,71	,040	3,100	,270	17,04	2,90	,161	26,42	2,19	12,00
22															
23															

Anexo 7. Matriz de datos con las variables de medición.