

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
USFQ**

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo de la Granja
Experimental de la Universidad San Francisco en Quito, Puembo - Pichincha.**

Cristina Alexandra Cando Salazar

Ingeniería de Agroempresas

Trabajo de integración curricular presentado como requisito para la obtención del título
de: Ingeniería de Agroempresas

Quito, 20 de febrero de 2020

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
USFQ**

COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**HOJA DE CALIFICACION DE
TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR**

**Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo de la Granja
Experimental de la Universidad San Francisco en Quito, Puembo - Pichincha.**

Cristina Alexandra Cando Salazar

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico:

Diego Gangotena; MSc.

Firma del profesor:

Quito, 20 de febrero de 2020

© Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

Nombres y apellidos:

Cristina Alexandra Cando Salazar

Código:

00107229

Cédula de identidad:

1715485635

Lugar y fecha:

Quito, 20 de febrero de 2020

Agradecimientos

Agradezco a Dios por estar presente en mí vida y llenar de bendiciones a mí y a mi familia. A mis padres por confiar y creer en mí, al darme la oportunidad de ser una mejor persona cada día, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos difíciles. A mis hermanas por brindarme su apoyo y a mi novio Francisco Salguero por haber estado incondicionalmente durante este proceso.

Agradezco a Mario Caviedes decano de la carrera de ingeniería de Agroempresas por su ayuda y colaboración, a Diego Gangotena y David Egas por su apoyo y colaboración, a Víctor Hugo y todas aquellas personas que aportaron en este trabajo que ha sido muy gratificante.

RESUMEN

Se realizó el levantamiento de información para el uso del suelo, a través del trabajo de campo realizado en la Granja Experimental de la Universidad San Francisco de Quito, basándonos en el mapa base de la Granja de los 8 lotes existentes, con el propósito de conocer su fertilidad, para esto se tomó tres muestras de cada uno de los 8 lotes y se realizó la caracterización físico - química del suelo. Para este estudio se usó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) y se analizaron 14 variables. Los análisis estadísticos no manifestaron ninguna diferencia estadística para bloques, a excepción del calcio que si presentó diferencia con una probabilidad de ($P>0,05$), el lote 1 presenta el mayor contenido de Ca (2052 ppm). El pH en los lotes 5 y 8 es neutro a diferencia de los lotes 1, 2, 4, 6, 7 y 9 que su pH es ligeramente ácido. Los lotes 4 y 8 presentan el mayor porcentaje de materia orgánica 1.53 y 1.57% respectivamente.

Palabras clave: Suelo, pH, conductividad eléctrica, densidad real, materia orgánica, potasio, calcio, magnesio, cadmio, plomo, boro, nitrógeno amoniacal, fósforo

ABSTRACT

The information was collected for the use of the land, through the field work carried out in the Experimental Farm of the Universidad San Francisco de Quito, on the map of the farm of the 8 lots, with the purpose of knowing the fertility, for this, three samples were taken from each of the 8 lots and the physical - chemical characterization of the soil is carried out. For this study a completely randomized block design (DBCA) was used and 14 variables were analyzed. The statistical analysis did not show statistical differences for the blocks, an exception of calcium that it presents a difference with a probability of ($P > 0, 05$), lot 1 has the highest Ca content (2052 ppm). The pH in lots 5 and 8 is neutral, unlike lots 1, 2, 4, 6, 7 and 9, that its pH is slightly acidic. Lots 4 and 8 have the highest percentage of organic matter 1.53 and 1.57% respectively.

Key words: soil, pH, electrical conductivity, real density, organic matter, potassium, calcium, magnesium, cadmium, lead, boron, ammonia nitrogen, phosphorus.

Tabla de Contenido

Introducción.....	13
1. Antecedentes.....	13
1.1 Aspectos General.....	13
1.2 El Suelo.....	13
1.3 Conductividad Eléctrica del Suelo.....	14
1.4 El pH del Suelo.....	14
1.5 Materia Orgánica.....	15
1.6 Textura del Suelo.....	16
1.7 Estructura del Suelo.....	17
1.8 Densidad Real del Suelo.....	17
1.9 Macro y micro nutrientes del Suelo.....	18
2. Justificación.....	21
3.1.1 Objetivo General.....	22
3.1.2 Objetivos Específicos.....	22
3.2 Hipótesis.....	22
4. Materiales y Métodos.....	23
4.1 Materiales.....	23
4.2 Métodos.....	24
4.2.1 Área de Trabajo.....	24
4.2.2 Recolección de las Muestras de Suelo.....	24
4.3 Métodos de Laboratorio.....	25
4.3.1 Determinación del pH del Suelo.....	25
4.3.2 Densidad Real por el Método del Picnómetro.....	26
4.3.3 Conductividad Eléctrica (CE).....	27
4.3.4 Materia Orgánica por el Método de Calcinación.....	28
4.3.5 Determinación de la Textura del Suelo por el Método de Bouyoucos.....	28
4.3.6 Caracterización de la Estructura del Suelo.....	31
4.3.7 Espectrometría de Absorción Atómica.....	31
4.3.8 Determinación de N-NH ₄ ⁺ y P con un Kit para Análisis de Suelos.....	31
4.4 Método Estadístico.....	33
5. RESULTADOS.....	34
5.1 Variable pH.....	34
5.2 Densidad Real del Suelo.....	36
5.3 Conductividad Eléctrica del Suelo.....	37

5.4 Materia Orgánica (MO).....	40
5.5 Textura del Suelo	41
5.6 Estructura del Suelo	41
5.7 Elementos K, Ca, Mg, Cd, Pb y B	42
5.7.1 Potasio (K)	42
5.7.2 Calcio (Ca)	44
5.7.3 Magnesio (Mg).....	46
5.7.4 Cadmio (Cd)	48
5.7.5 Plomo (Pb)	50
5.7.6 Boro (B)	52
5.8 Elementos N y P	54
5.8.1 Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺)	54
5.8.2 Fósforo (P)	56
6. DISCUSION.....	59
7. CONCLUSIONES.....	63
9. BIBLIOGRAFÍA	64
10. ANEXOS	70

Índice de Tablas

Tabla 1. Rango e interpretación de la conductividad eléctrica.....	27
Tabla 2 Interpretación del contenido de materia orgánica	28
Tabla 3. Factores de Corrección para Textura.....	29
Tabla 4 Rango de variación de los contenidos de arena, limo y arcilla en las diferentes clases texturales de suelos.	30
Tabla 5. Aleatorización de los tratamientos.	33
Tabla 6. Análisis de variancia para el pH de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019).....	34
Tabla 7. Promedios y prueba de Tukey para el pH de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	35
Tabla 8. Análisis de variancia para la Densidad Real del Suelo de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	36
Tabla 9, Promedios y prueba de Tukey para la Densidad Real (kg/m^3) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	37
Tabla 10. Análisis de variancia para la Conductividad Eléctrica del Suelo de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	38
Tabla 11. Promedios y prueba de Tukey para la Conductividad Eléctrica (ds/m) del Suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	39
Tabla 12. Análisis de variancia para el contenido de Materia Orgánica de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	40
Tabla 13. . Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Materia Orgánica (%) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	41
Tabla 14. Análisis de variancia para el contenido de Potasio (K) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019).....	42
Tabla 15. . Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Potasio (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	43
Tabla 16. Análisis de variancia para el contenido de Calcio (Ca) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	44
Tabla 17. Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Calcio (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	45

Tabla 18. Análisis de variancia para el contenido de Magnesio (Mg) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	46
Tabla 19. Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Magnesio (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019).....	47
Tabla 20. Análisis de variancia para el contenido de Cadmio (Cd) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	48
Tabla 21. Promedios para el contenido de Cadmio (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	49
Tabla 22. Análisis de variancia para el contenido de Plomo (Pb) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	50
Tabla 23. Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Plomo (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	51
Tabla 24. Análisis de variancia para el contenido de Boro (B) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	52
Tabla 25. . Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Boro (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	53
Tabla 26. Análisis de variancia para el contenido de N-NH ₄ ⁺ de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	54
Tabla 27. Promedios y prueba de Tukey para el contenido de N-NH ₄ ⁺ (kg/ha) de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)	55
Tabla 28. Análisis de variancia para el contenido de Fósforo (P) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019).....	56
Tabla 29. Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Fósforo (kg/ha) de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)	57
Tabla 30. Promedios y prueba de Tukey al 5% para lotes en cada una de las variables en estudios.	58

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Rango de pH.....	26
Gráfico 2. Promedios de pH de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	35
Gráfico 3. Promedios de la Conductividad Eléctrica (ds/m) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019).....	39
Gráfico 4. Promedios del contenido de Potasio (ppm) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	43
Gráfico 5. Promedios del contenido de Calcio (ppm) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019).....	45
Gráfico 6. Promedios del contenido de Magnesio (ppm) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	47
Gráfico 7. Promedio del contenido de Cadmio (ppm) de los lotes en estudio y de Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	49
Gráfico 8. Promedios del contenido de Plomo (ppm) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	51
Gráfico 9. Promedios del contenido de Boro (ppm) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019).....	53
Gráfico 10. Promedios del contenido de Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₄ ⁺) (kg/ha) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	55
Gráfico 11. Promedios del contenido de Fósforo (kg/ha) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).....	57

Índice de Anexos

TABLA1. Interpretación de nitrógeno amoniacal.....	70
TABLA 2. Interpretación de fósforo.....	70
TABLA 3. Rango de pH.....	71
Mapa de la Granja.....	72

Introducción

1. Antecedentes

1.1 Aspectos General

La base fundamental en la agricultura es obtener conocimiento de las diferentes características del suelo y la relación que tiene con la producción, con la finalidad de establecer sistemas de producción sostenibles y con mayor eficiencia (Cortez y otros 2013). El suelo es el principal recurso que sustenta la vida del planeta, es por ello que es de gran utilidad la caracterización físico - química del mismo, debido a que permite predecir los procesos de degradación natural del suelo, y sus cambios derivados por efectos del uso en la agricultura (Vargas, 2012).

Mediante su caracterización podemos establecer proyectos agrícolas, pecuarios o forestales en razón de que una vez detectadas las limitaciones y fortalezas, se puede determinar el uso adecuado del mismo. En la actualidad, los suelos agrícolas afrontan serios problemas relacionados con el contenido de sales, acidez y la cantidad disponible de nutrientes, que afectan directamente el desarrollo de los cultivos (FAO, 2016).

1.2 El Suelo

En él, se desarrolla el sistema radicular de las plantas y de esta manera se logra obtener los nutrientes necesarios para la misma, tomando en cuenta la composición del suelo, la misma que se divide en física, química y biológica (Jordán, 2006). Para evitar la degradación del suelo, se necesita registros edáficos del mismo y a partir de ellos

diseñar un sistema agrícola para el uso y manejo apropiado del suelo, acompañado de prácticas que sean amigables con el medio ambiente (FAO, 2009).

La fertilidad del suelo se reduce si no existen microorganismos y las plantas no crecen con normalidad, debido a que no existe un intercambio gaseoso y los nutrientes son mínimos, de manera que es necesario adicionar cantidades grandes de fertilizante al suelo ya sea orgánico o químico (Acosta, 2006).

1.3 Conductividad Eléctrica del Suelo

La conductividad eléctrica (CE) del suelo está influenciada por el contenido de arcilla, agua e iones intercambiables que se encuentran en él, y que afectan sus características nutritivas. La CE sirve para determinar la cantidad de sales solubles presentes en el suelo. Las unidades que se usan para medir la CE son ds/m (decisiemens por metro) (Cortez y otros, 2013).

Es importante determinar la conductividad eléctrica del suelo, dado que, se puede obtener una referencia de la cantidad de sales que se encuentran en solución. La salinidad del suelo es un factor limitante para el desarrollo radicular de las plantas, por lo que se dice que un incremento en la CE da como consecuencia la disminución del rendimiento con respecto al desarrollo de la planta (Paz y otros, 2018).

Mientras mayor sea la concentración de sales disueltas, la conductividad será más alta, esto sucede hasta que la solución esté saturada de iones e impide el movimiento, provocando la disminución de la conductividad (Aguirre, 2009).

1.4 El pH del Suelo

El pH es una propiedad química que mide la acidez o alcalinidad del suelo, por el cual se determina la disponibilidad de los nutrientes para la planta, debido a esto, los

problemas nutritivos que presentan las plantas son la consecuencia de que el pH se encuentre fuera del rango óptimo, este también va a depender del tipo de cultivo (FAO, 2019). La lectura de pH hace referencia a la concentración de iones hidrógeno activo (H^+) presentes en la solución líquida del suelo. La acidez del suelo es característica de las zonas lluviosas, debido a que se pierden bases por defecto de la dilución de las mismas. En los suelos ácidos varios nutrientes son altamente insolubles, especialmente el fósforo. (Ángel, 2016).

El pH determina el crecimiento de los cultivos, por lo tanto, al tener un rango de pH adecuado (5.5 – 7.5), los nutrientes del suelo van a estar disponibles para la planta, y si se encuentran fuera del rango se pueden originar problemas de asimilación de los nutrientes, es decir, los nutrientes se quedan bloqueados en el suelo (Ibáñez 2006).

1.5 Materia Orgánica

El porcentaje de materia orgánica (MO) en el suelo es importante para la nutrición de la planta, esta también ayuda a mejorar la estructura del suelo. El suelo obtiene MO de diferentes orígenes, entre estos están: las hojas, frutos, flores, ramas, entre otros, estos se descomponen en la superficie del suelo, otro aporte como materia orgánica son las raíces que quedan al morir la planta, también es importante saber que la fauna que se encuentra en el suelo produce MO (Meléndez y Soto, 2003).

El contenido de MO es beneficioso para las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y esta se encuentra entre el 3 y 6% en suelos agrícolas productivos. La MO influye en el mejoramiento de la estabilidad de agregados, la capacidad del suelo para resistir cambios de pH, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, reduce la plasticidad de los suelos arcillosos, baja la formación de costras superficiales, mejorando la retención de agua, ayuda a acelerar la descomposición de los minerales,

suministra alimento a los organismos que se encuentran en el suelo, promueve la biodiversidad microbiana y ayuda en el mejoramiento del espacio de poros, a través de la acción de los microorganismos (García, 2008).

La agricultura orgánica se basa en el uso de la materia orgánica. A pesar de ello, es fundamental considerar las características físico – químicas del suelo, el manejo ecológico y nutrición del mismo (Julca y otros, 2006). Puesto que en base a estas características se realiza un programa de fertilización orgánica que favorezcan las propiedades físicas y químicas del suelo, mejora su estructura, retención de agua, su porosidad, aumenta la disponibilidades de macro y micro elementos estimula el crecimiento de las plantas (Naranjo, 2019).

1.6 Textura del Suelo

La textura hace referencia a la combinación y distribución de los diferentes tamaños de partículas elementales del suelo. En base al tamaño, porosidad o absorción del agua en la partícula del sustrato o suelo se los puede clasificar en tres grupos limo, arena y arcilla. Se considera que un suelo tiene una buena textura cuando el porcentaje de los elementos que lo integran ayudan a las plantas a que tenga una mejor fijación del sistema radicular y a su correcta nutrición (Rucks y otros, 2004).

La determinación de la textura del suelo es uno de los análisis más importantes a realizar, dado que, con esta se puede determinar las características físicas del suelo, las cuales hacen relación al porcentaje de retención de humedad y cantidad de retención de nutrientes. Este es un parámetro inmodificable o difícil de modificar económicamente (Sierra, 2019).

Para determinar la capacidad productiva de un suelo se debe tomar en cuenta la textura del mismo (Cantú y otros, 2018). Debido a que de la textura va a depender de la

capacidad de drenaje, contenido de materia orgánica, aireación del suelo y la susceptibilidad a la erosión, y de esta manera se puede realizar un manejo correcto que corresponda a la textura del suelo (Monje, 2019).

1.7 Estructura del Suelo

La estructura del suelo es importante para realizar un manejo adecuado del mismo, debido a que tiene relación directa con el movimiento gravitacional, la capilaridad del agua a través del perfil, la aireación y la permeabilidad del mismo (Trejos, 2015). Sin embargo las propiedades físicas son más difíciles de manejar con respecto a las propiedades químicas, por lo que se debe tomar en cuenta el tipo de estructura del suelo para un correcto manejo de la fertilidad del mismo (Pulido, 2008).

La estructura del suelo es la disposición y el estado de agregación de las partículas del suelo. Por lo general las partículas finas están unidas entre sí formando agregados, y con la presencia de MO se forman espacios entre ellas, a esto se le conoce como poros y a través de estos circula el agua y el aire. Los poros grandes se encargan de la circulación del aire y de la rápida evacuación del exceso del agua, mientras que los poros más pequeños se encargan del almacenamiento del agua. (Jaramillo, 2014).

1.8 Densidad Real del Suelo

La densidad real del suelo (D_r) es la relación que existe entre el peso de las partículas sólidas y el volumen que ocupan, sin tomar en cuenta los espacios ocupados por los poros. La D_r tiene una dependencia con la composición mineralógica y MO (Jaramillo, 2014). La densidad de la porción mineralógica va a ser mayor que la de la porción de la materia orgánica, debido a que tiene cuarzo, feldespato, óxidos de hierro y mica (Ángeles y otros, 2015).

Mediante este análisis se obtiene el peso total de las partículas sólidas del suelo. La Dr va a depender del porcentaje de MO, inorgánica y cantidad de minerales que están presentes en el suelo (Jaramillo, 2014).

1.9 Macro y micro nutrientes del Suelo

El contenido de los macro y micro elementos del suelo determina el potencial que tiene para proveer alimento a los cultivos. Los mismos que provocan que estos nutrientes se agoten, debido a que pasan a alimentar a la planta, por esta razón es importante fertilizar el suelo para así reponer los nutrientes que han sido extraídos y de esta manera lograr mantener un equilibrio en el suelo. La clasificación de los macro y micronutrientes se da bajo un criterio de las necesidades que requieren los cultivos, por lo tanto, de micronutrientes se necesitan pequeñas cantidades puesto que el exceso puede causar toxicidad, por otro lado, su insuficiencia da lugar a carencias, mientras que los macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) se necesitan en mayor cantidad para la planta (Ulloa y otros., 2001).

Los macro y micronutrientes del suelo son importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo que es necesario realizar un análisis de estos para tener conocimiento de la cantidad y el porcentaje de la disponibilidad que existe de cada uno de ellos en el suelo, y con esta información realizar una correcta fertilización corrigiendo las deficiencias que se hayan obtenido en el análisis.

Es importante tener conocimiento de la cantidad de N disponible en el suelo, porque es considerado el macronutriente más importante, debido a que las plantas lo necesitan en grandes cantidades. Estudios demuestran que es un factor limitante en el crecimiento de las plantas. La deficiencia y el exceso de este elemento en los suelos producen un efecto en la producción de los cultivos, por ejemplo su exceso puede

resultar un retraso en la producción, mientras que la deficiencia de este nutriente puede producir hojas cloróticas y un rendimiento reducido (Benimeli y otros, 2019). El nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+) que se encuentra en el suelo puede ser absorbido por la planta en la fotosíntesis, pero antes debe transformarse a nitrato (NO_3^-), sin embargo la planta puede asimilarlo directamente por la raíz y transformarla dentro de la planta (Gat, 2018).

El fósforo (P) es un macro nutriente que ayuda en la estimulación del crecimiento radicular de la planta. Este elemento está relacionado con el pH del suelo, considerando que, en un pH ácido, este nutriente se bloquea. El análisis de este elemento da un índice de fósforo que se encuentra disponible para las plantas, y con esto se puede realizar una fertilización de acuerdo a la necesidad del cultivo. (Sierra, 2017).

El potasio (K) es otro macro nutriente esencial, el cual tiene funciones importantes en la fisiología vegetal tales como síntesis de proteínas, formación de azúcares, mejora la resistencia a sequías y enfermedades, etc. Por ende, su deficiencia afecta el rendimiento y la calidad de los cultivos. Mediante el análisis de este elemento se puede diseñar una estrategia de fertilización sustentable (Torres, 2016).

La determinación de los niveles de calcio (Ca), a través del análisis de suelo, establece la cantidad de iones de Ca intercambiables. Existen otros factores que determinan la disponibilidad del Ca, uno de estos es que a un pH entre 6 y 8 va a existir una mayor cantidad de Ca disponible, otro factor es la capacidad de intercambio catiónico (CIC), puesto que a mayor CIC aumenta la capacidad del suelo para adsorber y retener Ca y de esta manera se obtiene mayor disponibilidad de este elemento (FAO, 2013).

Otro elemento esencial para el desarrollo de las plantas es el magnesio (Mg), debido a que es importante en la fotosíntesis. Al ser un componente básico de la clorofila y su deficiencia puede limitar la producción de los cultivos. Al igual que el calcio su disponibilidad va a depender del pH que va alrededor de 6 a 8 (FAO, 2013).

El boro (B) es un micronutriente esencial para el desarrollo normal de las plantas, también es importante en el sistema hormonal de las mismas, sin embargo, el rango de exceso (tóxico) 10-100 ppm y deficiencia es muy pequeño <10 ppm, por lo que el manejo de este elemento se lo debe realizar con sumo cuidado. El B cumple funciones importantes como promover la división celular, la elongación de las células, la producción de semillas, etc. (Malavé, 2005).

Es importante tener conocimiento de los niveles de cadmio (Cd) existentes en el suelo, teniendo en cuenta que, este es un metal pesado de fácil absorción para las plantas y un exceso de este elemento puede provocar toxicidad en los cultivos provocando así daños en la salud humana. (Herrera, s/f). El Cd tiene relación con el pH, debido a que, mientras mayor es el pH mayor será la movilidad del Cd en el suelo (Charrupi y Martínez, 2017). Químicamente el Cd se comporta de manera similar al zinc (Zn), pero este es mucho más afín al azufre (S). En el suelo, el Cd se encuentra naturalmente con valencia 2+, debido a esto en solución forma compuestos químicos como cloruro de cadmio(II) (CdCl_2), hidróxido de cadmio(II) ($\text{Cd}(\text{OH})_2$), hidrógeno carbonato de cadmio(II) ($\text{Cd}(\text{HCO}_3)_2$) e hidróxido de cadmio(III) ($\text{Cd}(\text{OH})_3$) y quelatos orgánicos. En suelos con alto contenido de MO la fijación del Cd es mayor (Sánchez, 2016).

Con el análisis del suelo se puede identificar también los niveles de plomo (Pb), es un metal pesado que se encuentra presente en el mismo, para tener conocimiento si su presencia resulta en una amenaza para los cultivos debido a su

toxicidad (Angima, 2008). El contenido de Pb reduce significativamente el crecimiento de las plantas y ocasiona una inhibición en el desarrollo de las raíces (Peláez y otros, 2016).

2. Justificación

Los análisis físicos y químicos de los suelos agrícolas son una herramienta importante para un correcto programa de fertilización y manejo del suelo, ya que, por medio de los diferentes métodos analíticos se puede determinar el estado nutricional y físico del suelo. Mediante este análisis se puede formular una fertilización que vaya de acuerdo a las necesidades del cultivo y con esto poder evitar pérdidas de fertilizantes (Zapata, 2006).

Con el conocimiento de estos parámetros se puede establecer un manejo adecuado del suelo, es decir, realizar planes de fertilización más eficientes y rentables económicamente, también nos permite conocer los parámetros para ser más cuidadosos con el medio ambiente a la hora de su manejo. Existen tres factores que están relacionados con la fertilidad del suelo los cuales son factores físicos, químicos y biológicos (Torres, 2016).

En la Granja Experimental de la Universidad San Francisco de Quito no se ha realizado un análisis reciente del suelo, por lo cual se desconoce su potencial agrícola, para esto se tomó en cuenta que no todos los suelos tienen las mismas características, por esta razón, en la presente investigación, se plantea realizar una caracterización físico - química para tener conocimiento del estado del suelo.

Para esto se realizó el análisis de los siguientes parámetros físico – químicos del suelo: pH, densidad real (Dr), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO),

textura, estructura, potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), boro (B), fósforo (P), nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺), cadmio (Cd) y plomo (Pb).

3. Objetivos e Hipótesis

3.1.1 Objetivo General

1. Determinar las características físicas y químicas del suelo de ocho lotes de la Granja Experimental de la Universidad San Francisco de Quito.

3.1.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar la estructura y textura de ocho diferentes lotes.
2. Cuantificar los contenidos de diez características físico - químicas de los ocho diferentes lotes.
3. Establecer las deficiencias del suelo de la Granja Experimental de la U.S.F.Q para determinar el uso y manejo adecuado del mismo.

3.2 Hipótesis

Los diferentes suelos de la Granja Experimental de la Universidad San Francisco de Quito presentan similares contenidos nutricionales.

4. Materiales y Métodos

4.1 Materiales

4.1.1 Materiales para el Campo

- Fundas plásticas
- Marcador permanente
- Membretes
- Pala plana
- Balde

4.1.2 Materiales de laboratorio

- Picnómetro. Se utiliza para determinar la densidad de un líquido, este instrumento tiene un volumen específico que tiene un termómetro para indicar la temperatura en la que se encuentre el líquido a ensayar.
- Medidor de pH. Es un instrumento que sirve para medir la acidez o la alcalinidad de una solución.
- Medidor de conductividad eléctrica. Permite medir la salinidad que contiene el suelo.
- Hidrómetro. Este instrumento nos permite medir la densidad real del suelo.
- Espectrómetro de Absorción Atómica. Permite determinar la concentración de diferentes elementos que contiene el suelo.
- Kit de análisis de suelos. Se utiliza para medir el nitrógeno amoniacal y fósforo del suelo.

4.2 Métodos

4.2.1 Ubicación Geográfica

La zona de estudio se encuentra localizada en la parroquia rural de Puembo, ubicada en la región sierra al nororiente de la ciudad de Quito, provincia Pichincha, en el valle de Tumbaco.

- Provincia: Pichincha
- Cantón: Quito
- Parroquia: Puembo
- Distancia de Quito: 32.0 km
- Altitud: 2415 msnm
- Latitud: -0.183333
- Longitud: -78.35
- Tipo de suelo: franco arenoso

4.2.1 Área de Trabajo

Este análisis de suelo se llevó a cabo en los Laboratorios del Departamento de Ingeniería Química de la U.S.F.Q, en el campus de Cumbayá – Quito.

4.2.2 Recolección de las Muestras de Suelo

Las muestras de suelo se obtuvieron de la Granja Experimental de la U.S.F.Q, de ocho lotes debidamente identificados, con tres sub-muestras (repeticiones) cada uno. Se realizó un muestreo en zigzag en cada lote, cuyos vértices están a una distancia de 3 m, situándose así los puntos del mismo. Para la recolección de las muestras de suelo se tomaron de 4 a 6 sub-muestras por lote a una profundidad de 25 cm, teniendo como

resultado tres muestra por tratamiento, claramente identificada para su caracterización físico - química.

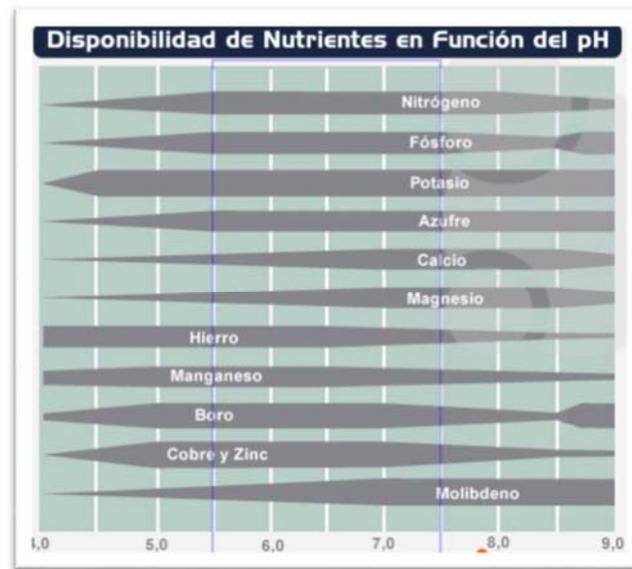
4.3 Métodos de Laboratorio

Se realizaron los siguientes análisis en el laboratorio para conocer el estado físico y químico del suelo:

4.3.1 Determinación del pH del Suelo

Se utilizó un medidor de pH y para la interpretación del mismo se usó una tabla de rango de pH con la finalidad de comparar los resultados obtenidos. Para este análisis, primero se realizó la calibración del medidor de pH, a continuación se pasó el suelo por un tamiz de 2 mm, se pesó 20 g de suelo seco, se lo colocó en un vaso de precipitación, a continuación se añadió 20 ml de agua destilada y se agitó con una varilla de vidrio para que se homogenice, se dejó en reposo por 30 minutos y luego se midió el pH de cada una de las muestras.

Gráfico 1. Rango de pH



(Sola, 2006).

En el gráfico 1 se puede observar los rangos de pH para cada uno de los elementos, para así identificar la disponibilidad de los diferentes nutrientes que se encuentren en el suelo.

4.3.2 Densidad Real por el Método del Picnómetro

Con el método del picnómetro se logró medir la densidad real de la fase sólida del suelo. Por lo general se encuentran en valores alrededor de 2.65 g/cm^3 . Las variaciones más importantes se dan por el contenido de MO de cada tipo de suelo (FAO, 2019).

Primero se pesó el picnómetro limpio y seco en la balanza analítica, después se pesó 5 gr de suelo seco y se los introdujo en el picnómetro, a continuación se pesó el picnómetro con el suelo y la tapa y se adicionó agua destilada al picnómetro hasta la mitad de su volumen, para remover el aire se calentó suavemente hasta llegar a ebullición, se dejó enfriar, después se agregó agua destilada hasta llenar el picnómetro, posteriormente se colocó su tapa y se pesó nuevamente, por último se removió todo su contenido, se lo

lavó, seco y se llenó con agua destilada, se pesó el picnómetro y se tomó la temperatura del agua.

Para calcular la densidad del suelo se usó la siguiente fórmula.

$$D_r = \frac{d_w(W_s - W_a)}{(W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w)}$$

Donde D_r es la densidad real, D_w es la densidad del agua a la temperatura observada, W_s es el peso del picnómetro más el suelo, W_a es el peso del picnómetro vacío, W_{sw} es el peso del picnómetro más suelo y más agua, y W_w es el peso del picnómetro más agua (Manual de laboratorio de Suelos USFQ, 2018).

4.3.3 Conductividad Eléctrica (CE)

Para este análisis se utilizó el medidor portátil de conductividad eléctrica, realizando así las mediciones directas. En primer lugar se calibró el medidor de CE, después se pesó 10 g de suelo en un vaso de precipitación, a continuación se colocó 10 ml de agua destilada, se agitó y se dejó reposar por 30 minutos, por último se determinó la conductividad de la muestra del suelo.

Tabla 1. Rango e interpretación de la conductividad eléctrica

CE (ds/m)	Interpretación	Nivel
< 2.00	No Salino	1
2.00-4.00	Ligeramente salino	2
4.00-8.00	Salino	3
> 8.00	Muy Salino	4

Fuente: (Andrades y Martínez, 2014).

Con el uso de la tabla 1 se puede interpretar la conductividad eléctrica del suelo, de acuerdo a los valores obtenidos en el análisis.

4.3.4 Materia Orgánica por el Método de Calcinación

Para determinar el contenido de materia orgánica en el suelo se utilizó el método de calcinación. Primero se pesó el crisol en la balanza analítica, a continuación se pasó el suelo por un tamiz de 2 mm y se pesó de 6 a 7 g de suelo seco, después se colocó el crisol con el suelo en el horno a 110 °C durante 24 horas, posteriormente al sacar las muestras de suelo del horno se dejó enfriar y se pesó nuevamente en la balanza analítica, por último se colocó las muestras de suelo en la mufla a 600 °C durante 24 horas y al sacar las muestras de la mufla se dejó enfriar y luego se pesó nuevamente. Se calculó la diferencia de peso antes y después de calcinar la muestra; esta diferencia de peso es la cantidad de MO que se perdió de la muestra por efecto de la calcinación.

Tabla 2 Interpretación del contenido de materia orgánica

MO (%)	Interpretación	Valor
<3,00	Bajo	1
3,00-6,00	Medio	2
> 6,00	Alto	3

Fuente: (Lechón, 2014).

Con el uso de la tabla 2 se puede interpretar el contenido de MO de cada uno de los lotes.

4.3.5 Determinación de la Textura del Suelo por el Método de Bouyoucos

Para la determinación de la textura del suelo, se realizó la medición de la velocidad de sedimentación de las partículas que se encuentran dispersas en el agua, puesto que, de esta manera las partículas más grandes se sedimentan más rápido que las partículas más pequeñas.

Se colocó 10 ml del agente dispersante en un vaso de precipitación de 100 ml y se lo dejó reposar por 5 minutos, a continuación se sometió a ultrasonido por 5 minutos.

Después se tamizó el suelo en un tamiz de 2 mm, se pesó 50 g del mismo y se lo colocó en una probeta de 500 ml agregando 10 ml de la solución del agente dispersante y se aforó con agua de la llave hasta los 500 ml, luego con la ayuda de un émbolo se mezcló la muestra y al terminar se tomó el tiempo de 40 segundos, pasado ese tiempo se sumergió cuidadosamente el hidrómetro en la suspensión, se anotó la lectura del hidrómetro y la temperatura del ambiente, a continuación se dejó reposar durante dos horas para medir nuevamente los datos del hidrómetro y la temperatura.

Para realizar los cálculos de las lecturas del hidrómetro se corrigió en base a la temperatura la que se tomó la lectura de acuerdo a la tabla 3 y se utilizó la fórmula para establecer los contenidos de los separados del suelo.

Tabla 3. Factores de Corrección para Textura

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA TEXTURA	
Temperatura	Factor de corrección
20	0
21	0.2
22	0.4
23	0.7
24	1
25	1.2
26	1.65
27	2
28	2.5
29	3.05
30	3.8

Fuente: (Manual de Laboratorio de Suelos USFQ, 2018).

Fórmula para establecer los contenidos de los separados del Suelo

$$\% \text{ Arena} = 100 - \frac{\text{Lectura corregida a los 40 seg.}}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{\text{lectura corregida a las 2 h} \times 100}{\text{peso de la muestra (g)}}$$

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arcilla} + \% \text{ Arena})$$

Fuente: (Jaramillo, 2014)

Tabla 4 Rango de variación de los contenidos de arena, limo y arcilla en las diferentes clases texturales de suelos.

CLASES TEXTURALES	ARENA	LIMO	ARCILLA
ARENOSA	100-85	15-0	10-0
ARENOSA FRANCA	90-70	30-0	15-0
FRANCO ARENOSA	85-43	50-0	20-0
FRANCA	52-23	50-32	27-7
FRANCO LIMOSA	50-0	87-50	27-0
LIMOSA	20-0	100-80	12-0
FRANCO ARCILLO ARENOSA	80-5	28-0	35-20
FRANCO ARCILLOSA	45-20	53-15	40-27
FRANCO ARCILLO LIMOSA	20-0	73-40	40-27
ARCILLO ARENOSA	67-45	20-0	55-35
ARCILLO LIMOSA	20-0	60-40	60-40
ARCILLOSA	45-0	40-0	100-40

Fuente: (Jaramillo, 2014).

La tabla 4 contiene los rangos y variación de las clases texturales, con la cual se clasificó la textura del suelo.

4.3.6 Caracterización de la Estructura del Suelo

Para determinar la estructura, primero se pesó 120 g de suelo y se pasó a través de varios tamices de: 2 mm, 1 mm, 710 μm , 500 μm , 355 μm , 250 μm , < a 250 μm de diámetro y se le sometió a movimientos helicoidales durante 5 minutos, a continuación se pesó el suelo retenido en cada uno de los tamices y se secó al horno durante 24 horas, después se pesó y se calculó el porcentaje de agregados en cada uno de los tamices con respecto al peso de la muestra utilizada.

4.3.7 Espectrometría de Absorción Atómica

Se determinaron los siguientes elementos K, Ca, Mg, Cd, Pb y B por medio de absorción atómica. Para esto, el primer paso fue pasar el suelo por un tamiz de 2 mm y pesar de 5 a 6 g de suelo y se lo colocó en un vaso de precipitación de 250 ml, a continuación se aforó hasta 50 ml con una solución al 50% de ácido nítrico y se lo llevó a ebullición durante 30 minutos, después se filtró la solución con la ayuda de una jeringa de 20 ml y un filtro de jeringa, posteriormente se colocó la dilución en un matraz de 100 ml y se aforó el balón. Después se realizó una solución madre para cada uno de los elementos que se analizaron, a continuación se realizó una curva de calibración con 5 estándares para cada uno de los elementos, después se fue colocando una a una las muestras en el equipo de absorción atómica y se anotó los 3 datos obtenidos por cada una. Por último se realizaron los cálculos y gráficos respectivos para cada una de las muestras.

4.3.8 Determinación de N-NH₄⁺ y P con un Kit para Análisis de Suelos

Para determinar el contenido de N-NH₄⁺ y P en el suelo, se utilizó un Kit para análisis de suelos. En el caso de nitrógeno se identificó el porcentaje del nitrógeno

amoniacal y se colocó 5 ml de solución de ácido (6361 del Kit) y se aforó hasta 70 ml en una probeta de 100 ml, después se pesó 15 g de suelo, se colocó en la probeta y se agitó durante 5 minutos, a continuación se filtró en un embudo con papel filtro, seguido de esto se tomó 2 ml de la solución filtrada, se colocó en un tubo del Kit y se aforó hasta 15 ml, se puso en el equipo y se seleccionó la longitud de onda en 1 y se ajustó al 100%, posteriormente se retiró del equipo y se colocó 12 gotas del reactivo # 2. Se mezcló y se esperó nuevamente para luego medir el porcentaje del nitrógeno amoniacal y después se interpretó con la ayuda de la tabla 1 de Anexos (La Motte, 1985).

Los resultados se obtuvieron en libras/acre (lb/acr), por lo que se transformó a kilogramos/hectárea (kg/ha).

Para la determinación del P, lo primero que se hizo fue pesar 3 g de suelo y ponerlos en el tubo (# 0967), se aforó hasta 10 ml, después se agitó durante 5 minutos y a continuación se filtró, se tomó 1 ml de la solución y se colocó en el tubo del Kit, después se aforó el tubo hasta 15 ml, posteriormente se calibró el equipo seleccionando la longitud de onda en el #4 y se ajustó al 100%, todo esto con el tubo en el equipo, después se colocó 1 ml de ácido fosfórico y 1 g del reactivo reductor de fosfato, se mezcló y se dejó reposar, se tornó de un color azul claro. A continuación se colocó nuevamente en el equipo y se midió el porcentaje de fósforo, por último se comparó con la tabla de calibración de fósforo (La Motte, 1985).

Los resultados se obtuvieron en libras/acre (lb/acr), por lo que se transformó a kilogramos/hectárea (kg/ha).

4.4 Método Estadístico

4.4.1 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 8 tratamientos y 3 repeticiones o bloques, con un total de 24 unidades experimentales. Se utilizó la prueba de significación de Tukey y se analizaron 14 variables: conductividad eléctrica, pH, materia orgánica, textura, estructura, densidad, macro y micro elementos (N, P, K, Ca, Mg y B) y metales pesados (Pb y Cd). Se obtuvieron registros de manera individual, es decir, por cada uno de las variables.

Tabla 5. Aleatorización de los tratamientos.

# Número de Lotes	Repeticiones		
	I	II	II
1	4	8	6
2	6	2	9
3	8	6	8
4	1	9	4
5	2	7	5
6	9	1	7
7	5	4	1
8	7	5	2

5. RESULTADOS

5.1 Variable pH

El análisis de variancia para el pH de los 8 lotes dentro del análisis físico-químico no presentó diferencias estadísticas para bloques ($P>0,05$) mientras que los tratamientos se diferenciaron con una $P<0,01$ (Tabla 6).

El promedio general de pH de los 8 lotes fue de 6.41, con un coeficiente de variación de 3,34%

Tabla 6. Análisis de variancia para el pH de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puenbo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	DE	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL		23			
BLOQUES		2	0,01	0,18 ns	3,75
LOTES		7	0,25	5,42 **	2,77
ERROR		14	0,05		
$\bar{X}(\text{pH})$	6,41				
C.V. (%)	3,34				

ns: no significativo; **: altamente significativo ($P\leq 0,01$)

La prueba de Tukey al 5% estableció dos rangos de significación, ocupando los primeros rangos con el mayor pH se encuentran los lotes 5 y 8 con un promedio de 6,81

y 6.81 mientras que ocupando el último lugar del rango 2 se encuentra el lote 4 con un promedio de 6.03 (Tabla 7)

Tabla 7. Promedios y prueba de Tukey para el pH de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	6,36	ab
LOTE 2	6,51	ab
LOTE 4	6,03	b
LOTE 5	6,81	a
LOTE 6	6,16	b
LOTE 7	6,20	ab
LOTE 8	6,81	a
LOTE 9	6,38	ab

Tukey: 0,61608

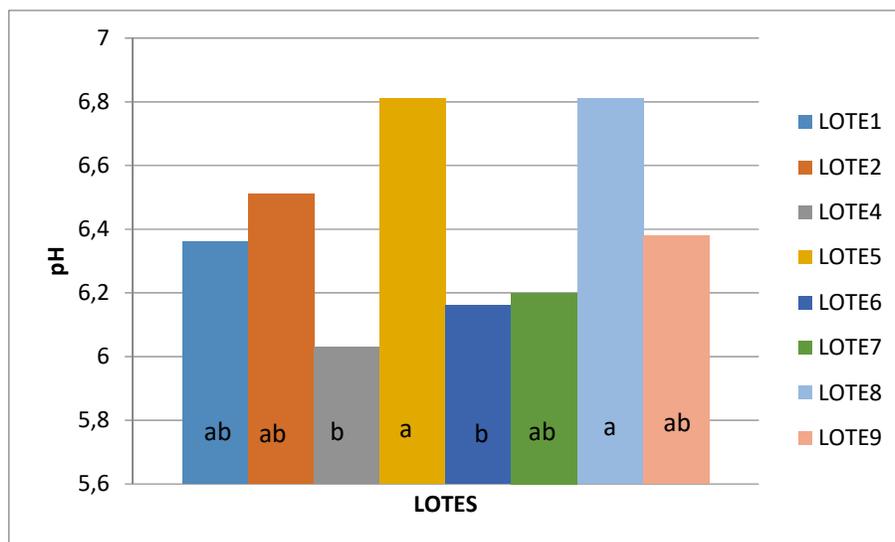


Gráfico 2. Promedios de pH de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).

5.2 Densidad Real del Suelo

Al establecer el análisis de variancia para la densidad real del suelo, no se encontró diferencias estadísticas para bloques con una probabilidad ($P > 0,05$), con la misma probabilidad no se diferenciaron los tratamientos (Tabla 8).

El promedio general de la densidad real del suelo fue de $2,32 \text{ kg/m}^3$, con un coeficiente de variación de $9,40\%$

Tabla 8. Análisis de variancia para la Densidad Real del Suelo de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	DE	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL		23			
BLOQUES		2	0,04	0,84 ns	3,75
LOTES		7	0,01	0,19 ns	2,77
ERROR		14	0,05		
$\bar{X}(\text{kg/m}^3)$			2,32		
C.V. (%)			9,40		

ns: no significativo

Los promedios generales de la densidad real de los 8 lotes bajo estudio en la Granja Experimental de la U.S.F.Q. se encuentra en un rango muy estrecho de $2,19$ a $2,36 \text{ kg/m}^3$ (Tabla 9) ocupando un solo rango de significación.

Tabla 9, Promedios y prueba de Tukey para la Densidad Real (kg/m^3) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	2,33	a
LOTE 2	2,19	a
LOTE 4	2,33	a
LOTE 5	2,36	a
LOTE 6	2,33	a
LOTE 7	2,36	a
LOTE 8	2,36	a
LOTE 9	2,30	a

Tukey: 0,6289

5.3 Conductividad Eléctrica del Suelo

Al establecer el análisis de variancia para la conductividad eléctrica del Suelo de 8 lotes dentro del análisis físico-químico de muestreos de la Granja Experimental de la U.S.F.Q, se determinó que no se diferenciaron los bloques con una probabilidad de ($P>0,05$), mientras que los lotes en estudio correspondientes a la Granja Experimental de la U.S.F.Q se diferenciaron estadísticamente con una probabilidad ($P<0.01$) (Tabla 10).

El promedio general de la conductividad eléctrica fue de 0.55 ds/m, con un coeficiente de variación de 7,63%.

Tabla 10. Análisis de variancia para la Conductividad Eléctrica del Suelo de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	DE	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL		23			
BLOQUES		2	0,0021	1,22 ns	3,75
LOTES		7	0,15	87,01 **	2,77
ERROR		14	0,0018		
\bar{X} (ds/m)			0,55		
C.V. (%)			7,63		

ns: no significativo; **: altamente significativo ($P \leq 0,01$)

Al establecer la prueba de Tukey al 5% para lotes con respecto a la conductividad eléctrica se establecieron cuatro rangos de significación ocupando el primer rango se encuentran los lotes 1 y 4, con promedios de 0,83 y 0,81 ds/m, respectivamente; mientras que con los menores promedios se encuentran los lotes 2, 5 y 6, con promedios de 0,35; 0,32; y, 0,23 ds/m respectivamente (Tabla 11)

Tabla 11. Promedios y prueba de Tukey para la Conductividad Eléctrica (ds/m) del Suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Pueumbo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	0,83	a
LOTE 2	0,35	d
LOTE 4	0,81	a
LOTE 5	0,32	d
LOTE 6	0,23	d
LOTE 7	0,68	b
LOTE 8	0,62	bc
LOTE 9	0,55	c

Tukey: 0,12079

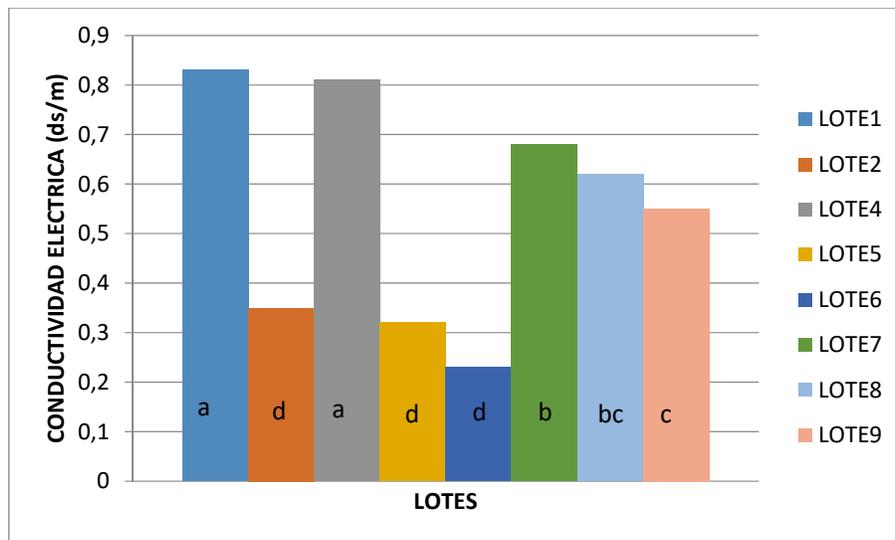


Gráfico 3. Promedios de la Conductividad Eléctrica (ds/m) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q (Pueumbo, 2019).

5.4 Materia Orgánica (MO)

El análisis de variancia para el contenido de Materia Orgánica de 8 lotes de muestras de suelo de la Granja Experimental de la U.S.F.Q, no presentó diferencias estadísticas para bloques y para lotes con una probabilidad ($P > 0,05$) (Tabla 12)

El promedio general del contenido de materia orgánica fue de 1,39%, con un coeficiente de variación de 13,75%

Tabla 12. Análisis de variancia para el contenido de Materia Orgánica de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	DE	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL		23			
BLOQUES		2	0,02	0,45 ns	3,75
LOTES		7	0,07	1,80 ns	2,77
ERROR		14	0,04		
$\bar{X}(\%)$	1,39				
C.V. (%)	13,75				

ns: no significativo

Los promedios del contenido de materia orgánica en los lotes en estudio se encuentran en el rango de 1,21 a 1,57% (Tabla 13).

Tabla 13. . Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Materia Orgánica (%) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	1,29	a
LOTE 2	1,21	a
LOTE 4	1,53	a
LOTE 5	1,50	a
LOTE 6	1,50	a
LOTE 7	1,28	a
LOTE 8	1,57	a
LOTE 9	1,26	a

Tukey: 0,55175

5.5 Textura del Suelo

La textura de los suelos de los diferentes Lotes en estudio y sus repeticiones no tuvo variación, pues todas las muestras determinaron que corresponden a un suelo franco arenoso.

5.6 Estructura del Suelo

La estructura de los diferentes suelos no presentó variación, puesto que todas las muestras determinaron que corresponden a un grado de estructura débil, debida a que sus agregados son débiles y solo se los distingue cuando el suelo está húmedo. Por consecuencia posee una estructura granular, que son partículas de arena, limo y arcilla agrupadas en granos pequeños casi esféricos (FAO, 2019).

5.7 Elementos K, Ca, Mg, Cd, Pb y B

5.7.1 Potasio (K)

Al establecer el análisis de variancia para el contenido de K, no se encontró diferencias estadísticas para bloques ($P>0,05$), mientras, que los lotes se diferenciaron estadísticamente en el contenido de este elemento ($P<0,001$) (Tabla 14).

En los lotes, el promedio general del contenido de K fue de 184,46 ppm en la Granja Experimental de U.S.F.Q, con un coeficiente de variación de 9,09%

Tabla 14. Análisis de variancia para el contenido de Potasio (K) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL	23			
BLOQUES	2	22,16	0,08 ns	3,75
LOTES	7	3045,58	10,82 **	2,77
ERROR	14	281,44		
\bar{X} (ppm)	184,46			
C.V. (%)	9,09			

ns: no significativo; **: altamente significativo ($P\leq 0,01$)

La prueba de Tukey al 5% estableció tres rangos de significación en el contenido de K en los lotes en estudio, ocupando el primer rango se encuentran los lotes 7 y 8 con promedios de 228,95 y 210,87 ppm respectivamente; ocupando el tercer y último rango se encuentran los lotes 5 y 6 con los menores contenidos de K con promedios de 140,27 y 136,40 ppm respectivamente. (Tabla 15)

Tabla 15. . Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Potasio (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	187,35	a
LOTE 2	193,31	a
LOTE 4	185,35	ab
LOTE 5	140,27	bc
LOTE 6	136,40	c
LOTE 7	228,95	a
LOTE 8	210,87	a
LOTE 9	193,40	a

Tukey: 48,33450

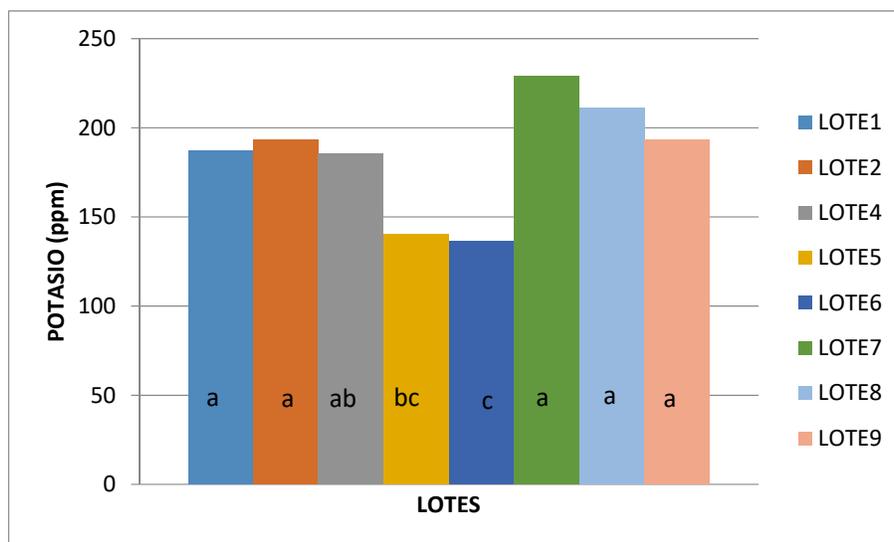


Gráfico 4. Promedios del contenido de Potasio (ppm) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

5.7.2 Calcio (Ca)

El análisis de variancia para el contenido de Ca en los lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q, presentó diferencias estadísticas ($P < 0,05$), tanto para lotes como para bloques (Tabla 16).

El promedio general del contenido de Ca fue de 1742 ppm, con un coeficiente de variación de 7,65%

Tabla 16. Análisis de variancia para el contenido de Calcio (Ca) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	DE	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL		23			
BLOQUES		2	75193,6	4,22 *	3,75
LOTES		7	160597,69	9,03 **	2,77
ERROR		14	17752,88		
\bar{X} (ppm)	1742				
C.V. (%)	7,65				

*: significativo ($P \leq 0,05$); **: altamente significativo ($P \leq 0,01$)

La prueba de Tukey al 5% para el contenido de Ca en los tratamientos estableció tres rangos ocupando los primeros lugares del primer rango se encuentran los tratamientos 1 y 2 con promedios de 2049,3 y 1927,1 ppm, respectivamente, mientras que del último rango se encontró el tratamiento 5 con un promedio de 1280,1 ppm. (Tabla 17).

Tabla 17. Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Calcio (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	2049,3	a
LOTE 2	1927,1	ab
LOTE 4	1624,9	bc
LOTE 5	1280,1	c
LOTE 6	1799,5	ab
LOTE 7	1853,1	ab
LOTE 8	1700,1	ab
LOTE 9	1701,9	ab

Tukey: 1,91972

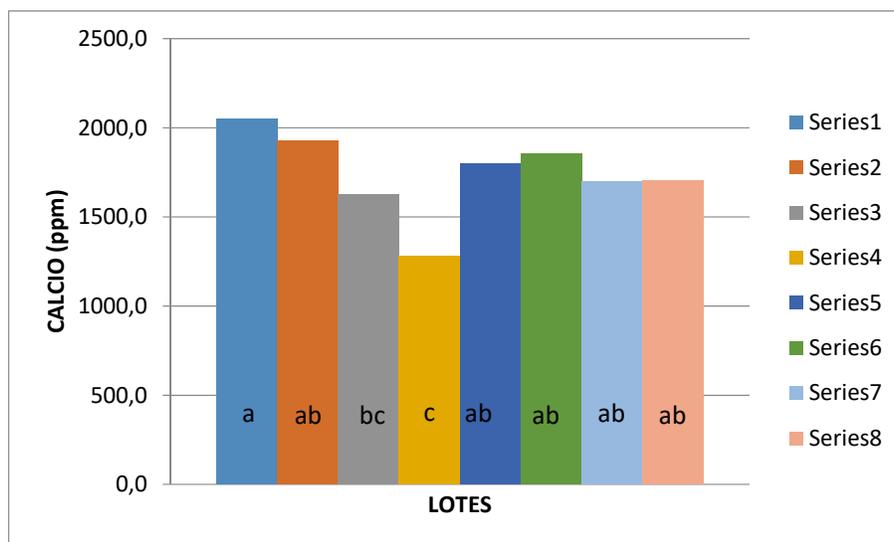


Gráfico 5. Promedios del contenido de Calcio (ppm) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019).

5.7.3 Magnesio (Mg)

El análisis de variancia para el contenido de Mg no detectó diferencias estadísticas entre bloques ($P>0,05$), mientras que los lotes que conforman la Granja Experimental de la U.S.F.Q. se diferenciaron estadísticamente ($P<0,01$) (Tabla 18).

El promedio general del contenido de Mg fue de 115,00 ppm., con un coeficiente de variación de 3.97%

Tabla 18. Análisis de variancia para el contenido de Magnesio (Mg) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	DE	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL		23			
BLOQUES		2	5,95	0,29 ns	3,75
LOTES		7	274,83	13,20 **	2,77
ERROR		14	20,82		
\bar{X} (ppm)	115,00				
C.V. (%)	3,97				

ns: no significativo; **: altamente significativo ($P\leq 0,01$)

La prueba de Tukey al 5% estableció 4 rangos de significación ocupando el primer rango el lote 1 con el mayor promedio del contenido de Mg, de 131,13 ppm. Mientras que el menor contenido correspondió al lote 5 con un promedio del 101,75 ppm, ocupando el último rango (Tabla 19).

Tabla 19. Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Magnesio (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	131,13	a
LOTE 2	124,45	ab
LOTE 4	118,97	abc
LOTE 5	101,75	d
LOTE 6	107,09	cd
LOTE 7	109,11	cd
LOTE 8	113,71	bcd
LOTE 9	113,80	bcd

Tukey: 13,14769

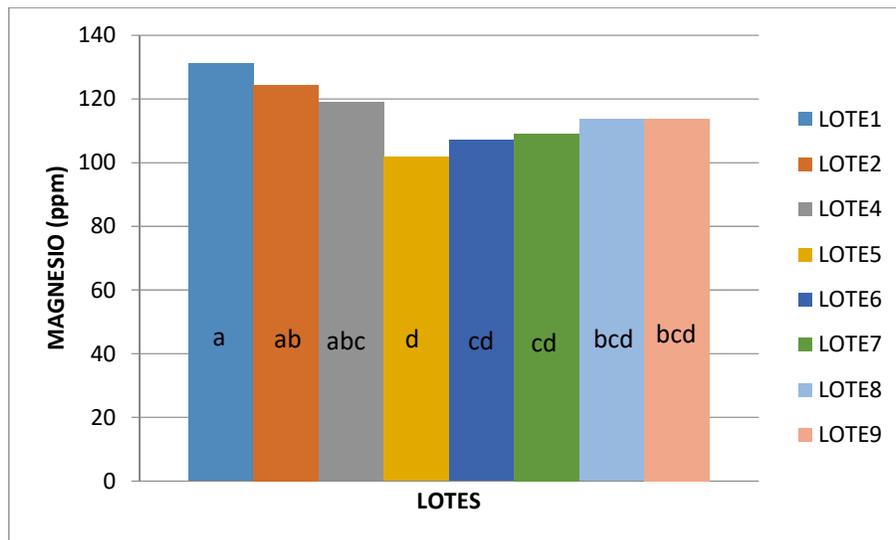


Gráfico 6. Promedios del contenido de Magnesio (ppm) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

5.7.4 Cadmio (Cd)

El análisis de variancia para el contenido de Cd no detectó diferencias estadísticas entre bloques ni entre lotes ($P > 0,05$) (Tabla 20).

El promedio general del contenido de Cd fue de 2,11 ppm. Con un coeficiente de variación de 23,30%.

Tabla 20. Análisis de variancia para el contenido de Cadmio (Cd) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	DE	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL		23			
BLOQUES		2	0,0031	0,01 ns	3,75
LOTES		7	0,20	0,81 ns	2,77
ERROR		14	0,23		
\bar{X} (ppm)	2,11				
C.V. (%)	23,30				

ns: no significativo;

Los promedios generales del contenido de Cd, se encuentran en un rango de 1,82 a 2,66 ppm (Tabla 21).

Tabla 21. Promedios para el contenido de Cadmio (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puebo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	2,32	a
LOTE 2	1,85	a
LOTE 4	1,82	a
LOTE 5	1,99	a
LOTE 6	2,66	a
LOTE 7	2,10	a
LOTE 8	1,93	a
LOTE 9	2,30	a

Tukey: 3,29984

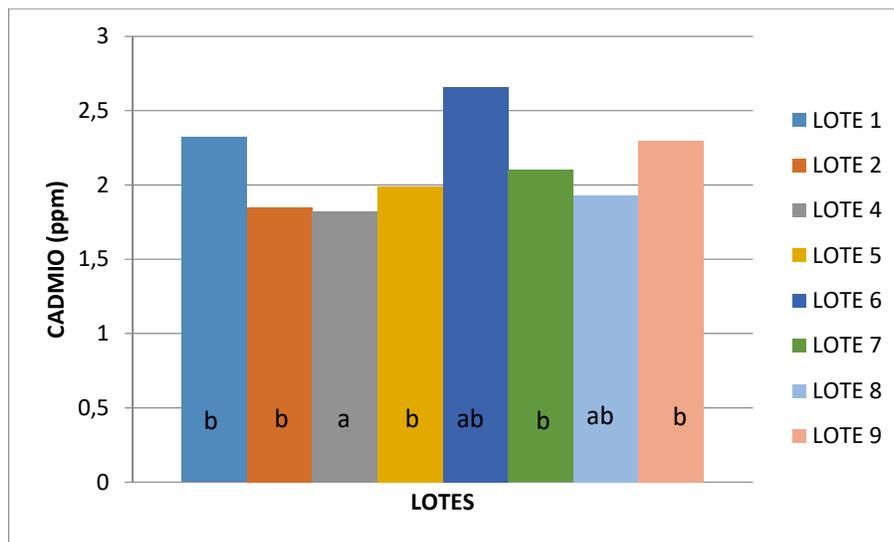


Gráfico 7. Promedio del contenido de Cadmio (ppm) de los lotes en estudio y de Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puebo, 2019)

5.7.5 Plomo (Pb)

Al establecer el análisis de variancia para el contenido de Pb no se detectó diferencias estadísticas entre bloques ($P > 0,05$), mientras que los lotes del terreno que conforman la Granja Experimental de la U.S.F.Q se diferenciaron estadísticamente ($P < 0,01$) (Tabla 22).

El promedio general del contenido de Pb fue de 12,55 ppm. Con un coeficiente de variación de 10,30%

Tabla 22. Análisis de variancia para el contenido de Plomo (Pb) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	DE	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL		23			
BLOQUES		2	0,47	0,28 ns	3,75
LOTES		7	38,71	23,16 **	2,77
ERROR		14	1,67		
\bar{X} (ppm)	12,55				
C.V. (%)	10,30				

ns: no significativo; **: altamente significativo ($P \leq 0,01$)

Al establecer la prueba de Tukey al 5% para lotes en el contenido de Pb, se establecieron 4 rangos ocupando el primer rango se encuentra el tratamiento 1 con un promedio de contenido de Pb de 19,91 ppm., mientras que el de menor contenido se presentó en el tratamiento 6 con un promedio de 7,80 ppm, (Tabla 23)

Tabla 23. Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Plomo (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	19,91	a
LOTE 2	13,92	bc
LOTE 4	14,10	b
LOTE 5	10,27	cd
LOTE 6	7,80	d
LOTE 7	12,09	bc
LOTE 8	11,30	bcd
LOTE 9	11,00	bcd

Tukey: 3,72468

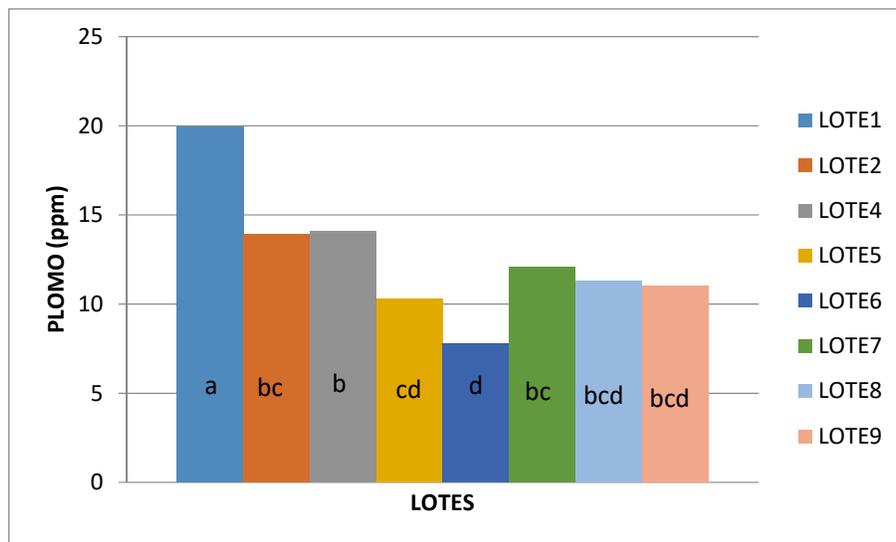


Gráfico 8. Promedios del contenido de Plomo (ppm) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019).

5.7.6 Boro (B)

En el análisis de variancia para el contenido de B no se encontró diferencias estadísticas entre bloques ($P>0,05$), mientras que los tratamientos que conforman la Granja Experimental de la U.S.F.Q se diferenciaron estadísticamente ($P<0,01$) (Tabla 24).

El promedio general del contenido de B fue de 0,20 ppm. con un coeficiente de variación de 9,96%.

Tabla 24. Análisis de variancia para el contenido de Boro (B) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	DE	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL		23			
BLOQUES		2	0,000045	0,11 ns	3,75
LOTES		7	0,01	17,32 **	2,77
ERROR		14	0,0004		
\bar{X} (ppm)	0,20				
C.V. (%)	9,69				

ns: no significativo; **: altamente significativo ($P\leq 0,01$)

Al establecer la prueba de Tukey al 5% para tratamientos, se establecieron 4 rangos, ocupando el primer rango se encuentran los lotes 6 y 9 que con promedios de 0,27 y 0,24 ppm de B, respectivamente; mientras que el lote cuatro manifiesta el menor contenido de este elemento (0.13 ppm) y se encuentra ocupando el último rango (Tabla 25).

Tabla 25. . Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Boro (ppm) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	0,17	cd
LOTE 2	0,18	bc
LOTE 4	0,13	d
LOTE 5	0,23	ab
LOTE 6	0,27	a
LOTE 7	0,19	bc
LOTE 8	0,16	cd
LOTE 9	0,24	a

Tukey: 0,04873

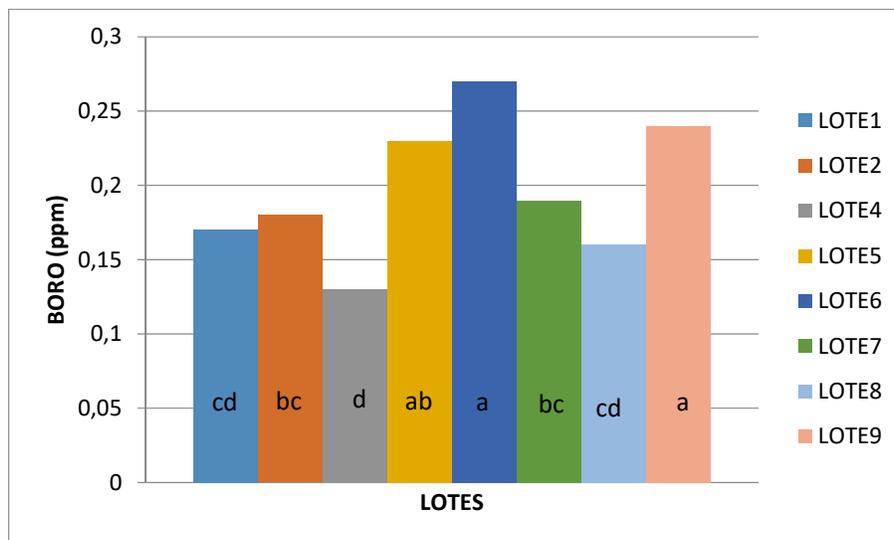


Gráfico 9. Promedios del contenido de Boro (ppm) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019).

5.8 Elementos N y P

5.8.1 Nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺)

En el análisis de variancia para el contenido de N-NH₄⁺ no se encontró diferencias estadísticas entre bloques (P>0,05), mientras que los lotes que conforman la Granja Experimental de la U.S.F.Q se diferenciaron estadísticamente (P<0,01) (Tabla 26).

El promedio general del contenido de NH₄⁺ fue de 62,01 kg/ha. con un coeficiente de variación de 6,09%.

Tabla 26. Análisis de variancia para el contenido de N-NH₄⁺ de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	DE	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL		23			
BLOQUES		2	22,86	1,60 ns	3,75
LOTES		7	67,94	4,76 **	2,77
ERROR		14	14,26		
\bar{X} (kg/ha)	62,01				
C.V. (%)	6,09				

ns: no significativo; **: altamente significativo (P≤0,01)

La prueba de Tukey al 5% para Lotes estableció dos rangos ocupando el primer rango se encuentran los tratamientos 6, 4 y 8 con contenidos de 71,11, 66,61 y 63,25 kg/ha de N-NH₄⁺, respectivamente. Mientras que los menores contenidos de N-NH₄⁺ se

encuentran en los tratamientos 1, 2, 5,7 y 9 con promedios inferiores a 60 kg/ha (Tabla 27)

Tabla 27. Promedios y prueba de Tukey para el contenido de $N-NH_4^+$ (kg/ha) de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	58,01	b
LOTE 2	57,82	b
LOTE 4	66,61	ab
LOTE 5	51,4	b
LOTE 6	71,11	a
LOTE 7	58,57	b
LOTE 8	63,25	ab
LOTE 9	59,32	b

Tukey: 10,59846

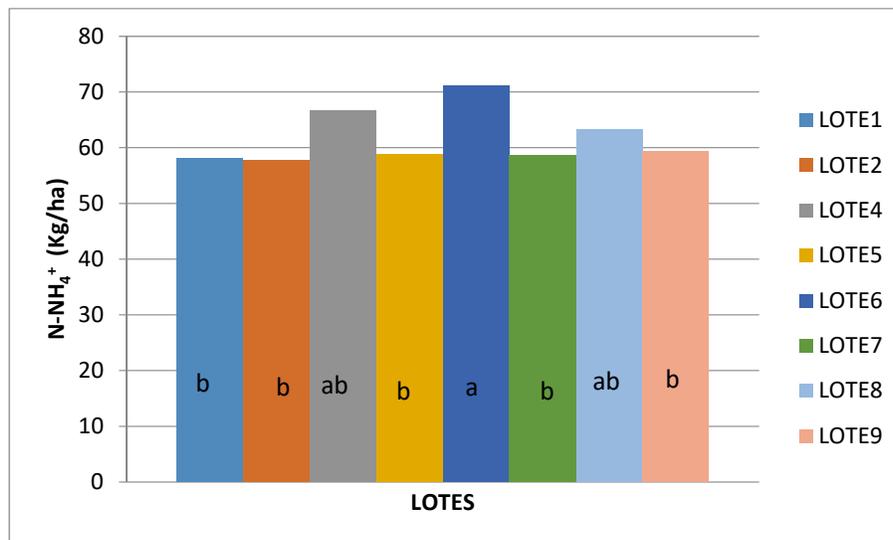


Gráfico 10. Promedios del contenido de Nitrógeno Amoniacal ($N-NH_4^+$) (kg/ha) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

5.8.2 Fósforo (P)

Al establecer el análisis de variancia para el contenido de P no se encontró diferencias estadísticas entre bloques ($P>0,05$), mientras que los lotes que conforman la Granja Experimental de la U.S.F.Q se diferenciaron estadísticamente ($P<0,01$) (Tabla 28).

El promedio general del contenido de P fue de 61,03 kg/ha. con un coeficiente de variación de 8,16%.

Tabla 28. Análisis de variancia para el contenido de Fósforo (P) de muestras de suelo de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q (Puembo, 2019)

FUENTES DE VARIACIÓN	DE	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	FT
TOTAL		23			
BLOQUES		2	5,01	0,20 ns	3,75
LOTES		7	359,29	14,50 **	2,77
ERROR		14	24,78		
\bar{X} (kg/ha)			61,03		
C.V. (%)			8,16		

ns: no significativo; **: altamente significativo ($P\leq 0,01$)

La prueba de Tukey al 5% para lotes en el contenido de P estableció tres rangos ocupando el primer rango se encuentra el tratamiento 5 con un promedio de 84,92 kg/ha, mientras que con el menor contenido de P se encuentra el tratamiento 8 con un promedio de 52,21 kg/ha. (Tabla 29).

Tabla 29. Promedios y prueba de Tukey para el contenido de Fósforo (kg/ha) de 8 lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

LOTES	PROMEDIOS	RANGO
LOTE 1	54,23	bc
LOTE 2	53,14	bc
LOTE 4	67,06	b
LOTE 5	84,92	a
LOTE 6	62,65	bc
LOTE 7	59,28	bc
LOTE 8	52,21	c
LOTE 9	54,75	bc

Tukey: 14,34163

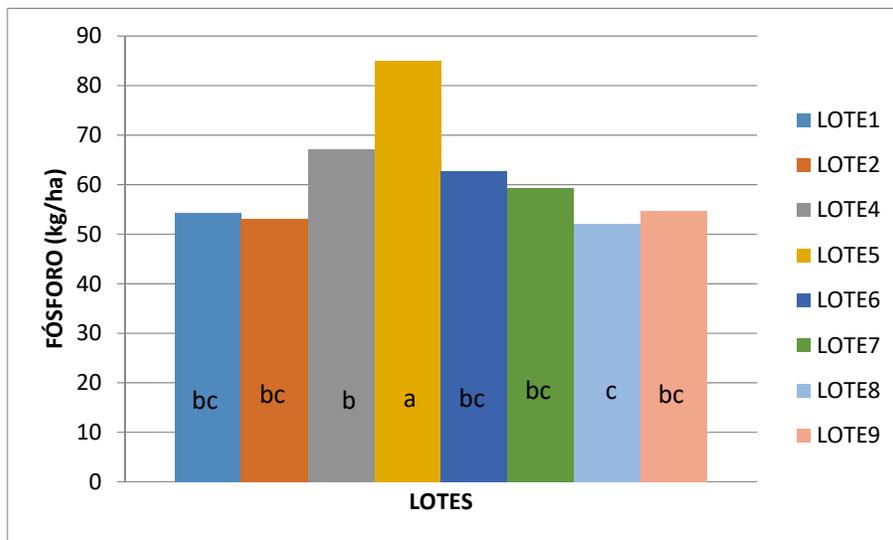


Gráfico 11. Promedios del contenido de Fósforo (kg/ha) de cada uno de los lotes en estudio y Tukey al 5%, Granja Experimental de la U.S.F.Q. (Puembo, 2019)

Tabla 30. Promedios y prueba de Tukey al 5% para lotes en cada una de las variables en estudios.

Lotes	pH	Dr (kg/m ³)	CE (ds/m)	MO (%)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	B (ppm)	N-NH ₄ ⁺ (kg/ha)	P (kg/ha)
Lote 1	6,36 ab	2,33 a	0,83 a	1,29 a	187,35 a	2049.3 a	131,13 a	2,32 a	19,91 a	0,17 cd	58,01 b	54,23 bc
Lote 2	6,51 ab	2,19 a	0,35 d	1,21 a	193,31 a	1927.1 ab	124,45 ab	2,85 a	13,92 bc	0,18 bc	57,82 b	53,14 bc
Lote 4	6,03 b	2,33 a	0,81 a	1,53 a	185,35 ab	1624.9 bc	118,97 abc	1,82 a	14,10 b	0,13 d	66,61 ab	67.06 b
Lote 5	6,81 a	2,36 a	0,32 d	1,50 a	140,27 bc	1280.1 c	101,75 d	1,99 a	10,27 cd	0,23 ab	58,75 b	84,92 a
Lote 6	6,16 b	2,33 a	0,23 d	1,50 a	136,40 c	1799.5 ab	107,09 cd	2,66 a	7,80 d	0,27 a	71,11 a	62,65 bc
Lote 7	6,20 ab	2,36 a	0,68 b	1,28 a	228,95 a	1853.1ab	109,11 cd	2,10 a	12,09 bc	0,19 bc	58,57 b	59,28 bc
Lote 8	6,81 a	2,36 a	0,62 bc	1,57 a	210,87 a	1700.1ab	113,71 bcd	1,93 a	11,30 bcd	0,16 cd	63,25 ab	52,21 c
Lote 9	6,38 ab	2,30 a	0,55 b	1,26 a	193,40 a	1701.9ab	113,80 bcd	2,30 a	11,00 bcd	0,24 a	59,32 b	54,75 cd
Signif.	**	ns	**	ns	**	**	**	ns	**	**	**	**

En la tabla 30 se puede observar los promedios de todas las variables y los rangos de significancia, el lote 5 y 8 poseen un pH y Dr igual. Todos los lotes tienen una CE menor a 2.00 por lo que son no salinos, los lotes 5 y 8 poseen un pH neutro, mientras que los otros poseen un pH ligeramente ácido.

6. DISCUSION

Debido a que, para cada una de las variables el análisis de variancia no manifestó ninguna diferencia estadística para bloques se asegura que los lotes fueron bien establecidos o definidos, a excepción de la variable de calcio donde los bloques manifestaron diferencias con una probabilidad de ($P>0,05$).

Si bien se establecieron rangos en el pH de los lotes en estudio se puede manifestar que estos tratamientos en su gran mayoría son ligeramente ácidos.

La Dr y el contenido de MO fueron similares entre los lotes en estudio. Es importante manifestar que los suelos de los lotes que conforman la Granja Experimental de la U.S.F.Q por manifestar densidades reales inferiores a 2.4 constituyen suelos orgánicos (Ángeles y otros, 2015). Los contenidos de materia orgánica en los lotes en estudio se encuentran entre 1,21 a 1,57%, únicamente los tratamientos 4, 5, 6 y 8 se encuentran dentro del rango adecuado para la práctica agrícola de 1,5 a 2,0 % (Agricultores, 2014). La conductividad eléctrica en los lotes en estudio se encuentra en un rango de 0,35 a 0,83 dS/m, por lo tanto la salinidad se encuentra entre baja y media (Agrinova, 2017).

El contenido de potasio en los suelos de los lotes que conforman la Granja Experimental de la U.S.F.Q se encuentra en el rango de 136,40 a 228,95 ppm. correspondiendo a contenidos medios y altos. Por lo tanto, el conservar los niveles de K en el suelo es fundamental para que este pueda desempeñar sus diferentes funciones en las plantas entre los que se puede señalar: ayuda a la formación de hidratos de carbono; aumenta la firmeza y dureza de los tejidos de las plantas proporcionando resistencia a

enfermedades; ayuda a mejorar la calidad del fruto en el peso, la coloración y sabor de los productos y da resistencia a la sequía a las plantas (Andrades y Martínez, 2014).

Los contenidos de calcio en los lotes se encuentran en un rango entre 1799,5 a 2049,3 ppm que corresponden a contenidos adecuados para las plantas 1000 – 2000 (Sela, 2017). El Ca es uno de los 3 nutrientes secundarios necesarios para las plantas, es esencial para el crecimiento óptimo de la misma, el Ca forma parte de la pared celular e y regula la permeabilidad de las membranas. Es importante para la elongación de las células en los puntos de crecimiento (Pérez, 2017).

Los contenidos de magnesio se encuentran en el rango de 101,75 a 131,13 ppm., por lo tanto todos los tratamientos de la Granja Experimental de la U.S.F.Q manifiestan un contenido medio de este elemento, según INTAGRI en suelos de climas áridos oscila entre 120 a 2400 ppm el contenido de Mg, por lo que se puede decir que se encuentra dentro del rango. El Mg es un macronutriente esencial para las plantas: forma parte de la clorofila, promueve reacciones enzimáticas y regula el pH de las células (Pérez, 2017).

El contenido de cadmio en los lotes en estudio de la Granja Experimental de la U.S.F.Q se encuentra entre 1,82 a 2,66 ppm, según (Hernández, 2014) los niveles permisibles de Cd en el suelo es de 37 ppm, por lo tanto los lotes se encuentran por debajo del límite, lo cual no podría ser un riesgo para la salud. No obstante los niveles de Cd en suelos se relacionan con la contaminación. Por lo tanto, se puede manifestar que los contenidos de Cd en los suelos de los lotes de la Granja Experimental son producto de contaminación.

Los contenidos de plomo en los lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q se encuentran en un rango de 7,8 a 19,91 ppm. El contenido de Pb en un suelo es de 10 ppm. A pesar de ello, el rango de toxicidad propuesto está en el rango de 50 a 100 ppm.

Por lo tanto, para que un suelo esté contaminado por Pb debe superar los 100 ppm (Mahecha y otros, 2015).

Los contenidos de boro se encuentran en el rango de 0,13 a 0,27 ppm en los análisis de los suelos correspondientes a los Lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q, por lo tanto, el contenido en el suelo es considerado bajo en todos los lotes, debido a que el nivel crítico de boro asimilable es de 0,5 ppm en suelos francos y 0,3 en suelos arenosos (INFOAGRO, 2016).

El boro es un elemento esencial para ciertas funciones de las plantas; mantiene el equilibrio entre el azúcar y el almidón, participa en la reproducción de semillas, es importante para la división celular, en el metabolismo del N, y la formación de proteínas, es importante para la formación de la pared celular (FAO, 2018). Debido a esto, se debe agregar B a los lotes, ya que su contenido es bajo (menor a 10 ppm) (Malavé, 2015).

Los contenidos de nitrógeno ($N-NH_4^+$) en los suelos correspondientes a los lotes que conforman la Granja Experimental de la U.S.F.Q se encuentran en el rango de 57,82 a 71,11 kg/ha que corresponden a un contenido adecuado de este elemento. Las formas inorgánicas del N en el suelo son transitorias, debido a esto las cantidades de nitrógeno inorgánico son variables y se puede encontrar en cantidades desde pocos gramos hasta 100 kg/ha (Perdomo y otros, 2014). Se han usado estas unidades debido a que los resultados se obtuvieron en lb/acr y se transformaron a kg/ha.

El nitrógeno en los cultivos forma parte del contenido de todas las proteínas vegetales, especialmente para el crecimiento vegetativo, da el color verde a las plantas, activa el crecimiento, ayuda a la producción de follaje, aporta calidad al fruto, participa en la fotosíntesis y es un componente de ARN y ADN (FAO, 2018). También es

importante tomar en cuenta que un exceso de N y falta de K pueden hacer que las leguminosas se encuentren más propensas a enfermedades (INFOAGRO, 2016).

Los contenidos de fósforo en los suelos de los lotes de la Granja Experimental de la U.S.F.Q se encuentran en el rango de 52,21 a 84,92 kg/ha, que indican un contenido adecuado de estos elementos, debido a que se encuentra dentro del rango medio 50 – 100 kg/ha (SMART, 2017). Se han usado estas unidades debido a que los resultados se obtuvieron en lb/acr y se transformaron a kg/ha.

Es importante anotar que un contenido adecuado de fósforo en el suelo es necesario para las plantas, debido a que interviene en funciones fundamentales, como son: ayuda al crecimiento de raíces, estimula el desarrollo y crecimiento de las plantas, ayuda a la floración y la fructificación y con ello la cantidad y calidad de frutos y semillas, ayuda en la madurez prematura de los frutos, el dulzor de los frutos depende del contenido de fosfatos en el suelo y de la porosidad del suelo que mejora la respiración y absorción de nutrientes (Boschetti, 2016).

7. CONCLUSIONES

- El pH de los suelos de los diferentes lotes en estudio son ligeramente ácidos.
Tanto la densidad real expresado en ds/m como el contenido de materia orgánica expresado en porcentaje fueron similares entre los diferentes lotes en estudio.
La conductividad eléctrica (ds/m) presente en los suelos de los lotes de la Granja indican que la salinidad de los suelos se encuentra entre baja y media.
- El potasio en los suelos de los lotes en estudio dentro de la Granja se encuentra entre contenidos medios; el boro se manifiesta con contenidos bajos; mientras que el magnesio, nitrógeno y fósforo obtenidos de los suelos de los lotes en estudios manifiestan contenidos medios.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio con diferentes cultivos para ver cuáles de ellos absorben mayor cantidad de los elementos pesados especialmente de cadmio (Cd), para así poder determinar si los niveles de Cd y Pb son permisibles.

Se recomienda realizar un análisis de agua, para determinar la calidad de la misma.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, C. (2006). El Suelo Agrícola, Un Ser Vivo. Recuperado el 3 de Enero del 2020 de <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag79266/El%20suelo%20vivo.pdf>.
- Aguirre, A. (2009). El Manejo De La Conductividad Eléctrica En Fertirriego. Recuperado el 5 de Enero del 2020 de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/344/1/Alberto%20Aguirre%20Hernandez.pdf>.
- Ángel, M. (2016). ESTUDIO DE NIVELES DE BORO Y ARSÉNICO EN SUELO AGRICOLA EN EL DISTRITO DE COCACHACRA. VALLE DE TAMBO. Recuperado el 3 de Enero del 2020 de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2572/QUcodima.pdf?isAllowed=y&sequence=1>.
- Ángeles, C., Hernández, J., Ochoa, M. y Morales, A. (2015). Determinación de la porosidad y densidad real del suelo. Recuperado el 3 de Enero del 2020 de <https://es.slideshare.net/kryzdfagg/densidad-real-y-aparente>.
- Angima, S. (2008). Como evaluar y reducir el peligro del plomo en los huertos y jardines. Recuperado el 28 de Septiembre del 2019 de <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/vt150j38j>.
- Andrades, M. y Martínez, M. (2014). Fertilidad el Suelo y Parámetros que la definen. Recuperado el 8 de Enero del 2020 de [file:///C:/Users/Principal/Downloads/Dialnet-FertilidadDelSueloYParametrosQueLaDefinen-267902%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Principal/Downloads/Dialnet-FertilidadDelSueloYParametrosQueLaDefinen-267902%20(1).pdf).
- Agricultores, (2014). La importancia de la Materia Orgánica en el suelo. Recuperado el 8 de Enero del 2020 de <http://agricultores.com/la-importancia-de-la-materia-organica-en-el-suelo/>.
- Agrinova, (2017). ¿Cómo entender la conductividad eléctrica de nuestro suelo?. Recuperado el 8 de Enero del 2020 de <https://agri-nova.com/noticias/como-entender-la-conductividad-electrica-de-nuestro-suelo/>.
- Beltrán, M. (2001). Fito extracción en suelos contaminados con cadmio y zinc usando especies vegetales comestibles. Recuperado el 10 de Febrero del 2020 de <http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/185/Fitoextraccion%20en%20suelos%20contaminados.pdf?sequence=1>.
- Benimeli y otros. (2018). El Nitrógeno del Suelo. Recuperado el 10 de Febrero del 2020 de <file:///C:/Users/Principal/Downloads/El%20nitrogeno%20del%20suelo%202019.pdf>.
- Boschetti, G. y Quintero, C. (2016). Importancia del Fósforo Orgánico del Suelo en la Nutrición Fosfatada de los Cultivos. Recuperado el 30 de Enero del 2020 de

<http://www.fertilizando.com/articulos/Importancia%20del%20fosforo%20organico%20del%20suelo.asp>.

- Cantú Silva, Israel, Díaz García, Karla E., Yáñez Díaz, María Inés, González Rodríguez, Humberto, & Martínez Soto, Rodolfo A. (2018). Caracterización fisicoquímica de un Calcisol bajo diferentes sistemas de uso de suelo en el noreste de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(49), 59-86. <https://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.153>
- Charrupi, N. Martínez, D. (2017). Estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados al cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño. Recuperado el 28 de Enero del 2020 de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1717&context=ing_ambiental_sanitaria.
- Cardona, C.,D.A.; SADEGHIAN KH., Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. *Cenicafé* 56 (4):348-364. 2005.
- Cortez, D., Pérez, J. y Camacho, J. (2013). Relación Espacial Entre La Conductividad Eléctrica Y Algunas Propiedades Químicas Del Suelo. Recuperado el 3 de Enero del 2020 de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n2/v16n2a14.pdf>.
- FAO, (2009). Guía para la Descripción de Suelos. Recuperado el 3 de Enero del 2020 de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>.
- FAO, (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. Recuperado el 3 de Enero del 2020 de <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>.
- FAO, (2016). Estado Mundial del Recurso Suelo. Recuperado el 26 de Septiembre del 2019 de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>.
- FAO, (2018). Funciones de los elementos en las plantas. Recuperado el 8 de Enero del 2020 de http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/aup/pdf/6a.pdf.
- FAO. (2019). Propiedades Físicas Del Suelo. Portal de suelos de la FAO. Recuperado el 26 de Septiembre del 2019 de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.
- FAO, (2019). Estructura del Suelo. Recuperado el 3 de Febrero del 2020 de http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO.
- Florencia, M., Plasencia, A., Corbella, R., Andina, D., Sanzano, A., Sosa, F. y Fernández, J. (2019). El Nitrógeno del Suelo. Recuperado el 28 de Septiembre del 2019 de: [file:///C:/Users/Principal/Downloads/El%20nitrogeno%20del%20suelo%202019%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Principal/Downloads/El%20nitrogeno%20del%20suelo%202019%20(1).pdf).

- Fragoso, A., Abreu, H., Ochoa, M. y Molina, M. (2010). Determinación de la Densidad Aparente del Suelo. Recuperado el 8 de Enero del 2020 de <https://es.slideshare.net/kryzdfraagg/densidad-real-y-aparente>.
- García, A. (2008). La Materia Orgánica (MOS) y sus papeles en lucha contra la degradación del Suelo. Recuperado el 26 de Octubre del 2019 de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/9.-Dr.-Alvaro-Garcia.-MO.pdf>.
- GAT. (2018). NITROGAT. Recuperado el 28 de Octubre del 2019 de <https://www.gatfertilizados.com/productos/nitrogat/>. Fecha de consulta:
- Hernández, F. (2014). Determinación de cadmio (Cd) en suelos agrícolas dedicados a la producción de alfalfa Medicago sativairrigado con aguas residuales. Recuperado el 15 de Febrero del 2020 de [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio\(Cd\)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf;sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio(Cd)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf;sequence=1).
- Herrera, M. (s/f). La contaminación con Cadmio en suelos agrícolas. Recuperado el 3 de Septiembre del 2019 de http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/1112.
- Ibáñez, J. (2006). Los Nutrientes del suelo y las plantas Asimilación y Fertilidad. Recuperado el 7 de Febrero del 2020 de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/10/04/44659>.
- INTAGRI, (2015). El magnesio en el Suelo y su efecto en las raíces. Recuperado el 7 de Febrero del 2020 de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/el-magnesio-en-el-suelo-y-su-efecto-en-las-raices>.
- INFOAGRO, (2016). El Boro en el Suelo. Recuperado el 5 de Febrero del 2020 de <https://mexico.infoagro.com/el-boro-en-el-suelo/>.
- INFOAGRO, (2016). La importancia del Ciclo del Nitrógeno. Recuperado el 15 de Enero del 2020 de <https://mexico.infoagro.com/la-importancia-del-ciclo-del-nitrogeno/>.
- Jaramillo, D. (2014). *El Suelo: Origen, Propiedades, Especialidades*. Medellín, Colombia
- Jordán, A. (2006). Manual de la Edafología del Suelo. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. Recuperado el 26 de Septiembre del 2019 de <http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017c2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf>.
- Julca-Otiniano, Alberto, Meneses-Florián, Liliana, Blas-Sevillano, Raúl, & Bello-Amez, Segundo. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>

- La Motte. (1985). Instruction Manual. Recuperado el 1 de Octubre del 2019 de www.lamotte.com.
- Lechón, M. (2014). Determinación De La Variabilidad En El Grado De Fertilidad De Los Suelos En Cinco Barrios De Tumbaco, Pichincha. Recuperado el 27 de Octubre del 2019 de <file:///C:/Users/Principal/Downloads/T-UCE-0004-18.pdf>.
- Manual. (2018). Manual de Laboratorio de Suelos de la Universidad San Francisco de Quito.
- Mahecha, J., Trujillo, J. y Torres, M. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta. Recuperado el 15 de Enero del 2020 de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v19n1/v19n1a11.pdf>.
- Malavé, A. (2005). Los suelos como fuente de boro para las plantas: Recuperado el 29 de Enero del 2020 de https://www.researchgate.net/publication/28141067_Los_suelos_como_fuente_d_e_boro_para_las_plantas.
- Meléndez, G. y Soto, G. (2003). Taller de abonos Orgánicos. CANIAN. Recuperado el 28 de Octubre del 2019 de [en:http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf](http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf).
- Monje, M. (2019). La textura de los suelos agrícolas. Recuperado el 3 de Febrero del 2020 de <https://www.universidadderiego.com/la-textura-en-los-suelos-agricolas/>.
- Naranjo, M. (2019). Importancia de la Materia Orgánica en la Agricultura (Compost). Recuperado el 5 de Febrero del 2020 de <https://www.agrotransfer.org/index.php/articulo-tecnico/675-importancia-de-la-materia-organica-en-la-agricultura-compost>.
- Paz Pellat, Fernando, Palacios Sánchez, Luis Alberto, & Ramírez Ayala, Carlos. (2018). Efecto de las sales solubles del suelo sobre las reflectancias de los cultivos y sus implicaciones en el diseño experimental. *Terra Latinoamericana*, 36(4), 355-368. <https://dx.doi.org/10.28940/terra.v36i4.400>
- Pedraza, E., Huauya, M. (2017). Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana. Recuperado el 7 de Febrero del 2020 de <file:///C:/Users/Principal/Downloads/365-1406-1-PB.pdf>.
- Peláez, M., Bustamante, J., y Gómez, E. (2016). Presencia De Cadmio Y Plomo En Suelos Y Su Bioacumulación En Tejidos Vegetales En Especies De Brachiaria En El Magdalena Medio Colombiano Recuperado el 28 de Diciembre del 2019 de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n43/n43a05.pdf>.
- Pérez, F. (2017). Nutrición Mineral. Recuperado el 5 de Febrero del 2020 de <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3201/000026082L.pdf?sequence=6&isAllowed=y>.

- PROMIX, (2017). Rol del Boro en el cultivo de plantas. Recuperado el 8 de Enero del 2020 de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-boro-en-el-cultivo-de-plantas/>.
- Pulido, M. (2008). Edafología General Estructura del Suelo. Recuperado el 4 de Febrero del 2020 de <https://es.slideshare.net/edafoIPA/estructura-del-suelo-fagro-uy>.
- Rucks, L., Garcia, F., Kaplana, A., Ponce, J. y Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Facultad de Agronomía Universidad De La República. Recuperado el 26 de Febrero del 2020 de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>.
- Sánchez, G. (2016). Eco toxicología del cadmio. Recuperado el 28 de Diciembre del 2019 de <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>.
- Sela, G. (2017). Guía de Interpretación De Análisis de Suelos. Recuperado el 7 de Febrero del 2020 de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/soil-test-interpretation>.
- Shijilí, O. (2018). Determinación de metales pesados y pérdidas poscosecha en dos hortalizas de consumo directo brócoli (*Brassica oleracea Italica*) y cebolla blanca (*Allium fistulosum*). Recuperado el 3 de Febrero del 2020 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14587/1/T-UCE-0004-A65-2018.pdf>.
- Sierra, C. (2019). Textura, la principal propiedad física del suelo. El Mercurio. Recuperado el 25 de Octubre del 2019 de <https://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2018/04/25/Textura-la-principal-propiedad-fisica-del-suelo.aspx>.
- Sierra, C. (2017). Como realizar un adecuado manejo del fosforo en el suelo. Recuperado el 8 de Diciembre del 2019 de <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2015/12/21/Como-realizar-un-adecuado-manejo-del-fosforo-en-el-suelo.aspx?disp=1>.
- Simón, Mauricio, Peralta, Nahuel, & Costa, Jose Luis. (2013). Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Ciencia del suelo*, 31(1), 45-55. Recuperado en 04 de febrero de 2020, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672013000100005&lng=es&tlng=es.
- SMART, (2017). Guía de Interpretación de Análisis de Suelo. Recuperado el 18 de Febrero del 2020 de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/soil-test-interpretation/>.
- Sola, F. (2006). La importancia de los Análisis de Suelos Agrícolas. CSRServicios Laboratorio. Recuperado el 26 de Septiembre del 2019 de http://www.csrservicios.es/joomla/index.php?option=com_content&view=article

&id=133:la-importancia-de-los-analisis-de-suelos-agricolas&catid=36:suelosagr&Itemid=302.

- Trejos, G. (2015). Importancia de la textura y estructura del suelo. Recuperado el 5 de Febrero del 2020 de <https://prezi.com/h8kvd1qc6aty/importancia-de-la-textura-y-estructura-del-suelo/>.
- Torres, M. (2016). Análisis de suelos: una herramienta clave para el diagnóstico de fertilidad de suelos y la fertilización de cultivos. Recuperado el 15 de Octubre del 2019 de <http://www.fertilizando.com/articulos/Analisis%20de%20Suelo%20-%20Herramienta%20Clave.asp>.
- Torres, M. (2016). Funcionamiento del K en el sistema suelo-planta. Recuperado el 28 de Septiembre del 2019 de <http://www.fertilizando.com/articulos/Funcionamiento%20del%20K%20en%20el%20sistema%20suelo-planta.asp>.
- Vargas, C. (2012). CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SUELOS EN PLANTACIONES DE *Pinus radiata* EN ACOSA, PARROQUIA LASSO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI". Recuperado el 27 de Febrero del 2020 de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2216/1/33TO106.pdf>.
- Zapata, R. (2006). La Acidez del Suelo. Recuperado el 15 de Febrero del 2020 de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/11/01/49004>.

10. ANEXOS

Tabla 1. Nitrógeno amoniacal

AMMONIA NITROGEN CALIBRATION CHART (LBS/ACRE)										
%T	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
80			0.0	0.5	1.5	2.0	3.0	3.5		
70	4.5	5.5	6.0	7.0	8.0	8.5	9.5	10.5	11.5	12.0
60	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0
50	23.0	24.0	25.5	26.5	27.5	28.5	30.0	31.0	32.5	33.5
40	35.0	36.0	37.5	39.0	40.5	42.0	43.0	44.5	46.5	48.0
30	49.5	51.0	53.0	54.5	56.5	58.0	60.0	62.0	64.0	66.0
20	68.5	70.5	73.0	75.5	78.0	80.5	83.5	86.0	89.0	92.0
10	95.5	99.0	102.5	106.5	110.5	115.0	120.0	125.0	130.5	137.0
0	143.5	151.0								

AMMONIA NITROGEN CONCENTRATION CHART		
%T	RANGE	POUNDS PER ACRE
58-100%	Low	0-24 lbs/acre
29-57%	Medium	25-68 lbs/acre
0-28%	High	Over 71 lbs/acre

Fuente: (La Motte, 1985)

Tabla 2. Interpretar los resultados de P

PHOSPHORUS CONCENTRATION CHART		
%T	RANGE	POUNDS PER ACRE
81-100%	Very Low	0-14 lbs/acre
61-80%	Low	16-34 lbs/acre
39-60%	Medium	35-67 lbs/acre
0-38%	High	Over 70 lbs/acre

Fuente: (La Motte, 1985)

Tabla 3. Cultivos de los diferentes lotes

LOTES	CULTIVO
LOTE1	Mora
LOTE2	Cebolla puerro y de rama
LOTE4	Brasicáceas (coles, brócoli, cole) apio, albahaca
LOTE5	Uvilla, albahaca
LOTE6	Maíz y alcachofa
LOTE7	Brócoli, remolacha, lechuga, espinaca
LOTE8	Cebolla chalote
LOTE9	Coles, coliflor, albahaca, zucchini, rábano y perejil

Mapa de ubicación de los Lotes de la Universidad San Francisco de Quito

