



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA



CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA

**“Caracterización fisicoquímica de un suelo agrícola del cantón Quero,
influenciado por las cenizas volcánicas del volcán Tungurahua”**

Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Bioquímico, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología

Autor: Jean Carlo Campaña Guevara

Tutora: PhD. Dayana Cristina Morales Acosta

Ambato – Ecuador

Agosto – 2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

PhD. Dayana Cristina Morales Acosta

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 20 de julio del 2020

PhD. Dayana Cristina Morales Acosta

C.I: 180413557-0

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jean Carlo Campaña Guevara, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Bioquímico son absolutamente originales, auténticos y personales; exceptuando las citas bibliográficas.



Jean Carlo Campaña Guevara

C.I. 180318095-7

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Quim. Mg. Lander Vinicio Pérez Aldas
C.I. 180270659-6

Ing. Mg. Julio Cesar Sosa Cárdenas
C.I. 171665084-9

Ambato, 17 de agosto del 2020

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Jean Carlo Campaña Guevara

C.I. 180318095-7

AUTOR

DEDICATORIA

Para mis impulsores y motivadores, mis padres, Carlos y Jenny, quienes me han dado el apoyo y las fuerzas necesarias para salir a delante y esforzarme, fomentando mi camino profesional con valores y responsabilidad, aportando un grano de arena en todo mi proceso formativo. Gracias por su amor y su persistencia en mi vida para ser mejor persona, gracias por su esfuerzo día a día y sacrificio.

A mi hermano Anthony, quien empieza su formación profesional, poderle apoyar y aportar en alguna forma su formación, ser un modelo a seguir y verlo triunfar en la vida.

A Pame, quien ha permanecido incondicionalmente apoyando mi formación profesional, quien ha sido mi confidente y amiga, en un mundo lleno de sacrificios me ha enseñado el valor de alcanzar los sueños, que con cariño y amor están al alcance de un deseo.

Son los pilares en mi vida y mayor motivación.

Jean Carlo Campaña

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su fortaleza y bendición, quien guía mi camino con amor y me da la sabiduría, para alcanzar mis sueños.

A la Universidad Técnica de Ambato y la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología por la formación y conocimientos para el proceso de desarrollo de un profesional exitoso. A mi tutora PhD. Dayana Morales, mis calificadores Quím. Lander Pérez y Mg. Julio Cesar Sosa, PhD. Jorge Briceño, por su gran ayuda en el desarrollo de mi Trabajo de Titulación.

Al Proyecto de Canje de Deuda Ecuador-España “Fortalecimiento de la unidad operativa de investigación en tecnología de alimentos (UOITA) para la investigación tecnología e innovación en el área de alimentos, con el fin de promover la generación y el desarrollo de empresas agroindustriales en la Zona 3 del país; y monitorear el contenido de metales pesados en los cultivos afectados por las cenizas provenientes de las erupciones volcánicas del Tungurahua. (FITA-UOITA)”.

A todos los docentes que han impartido en mi persona conocimiento y sabiduría, a mis compañeros y amigos que en cierta forma han colaborado en mi formación primero como persona y después como profesional.

Jean Carlo Campaña

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1	Antecedentes Investigativos	1
1.2	Objetivos	7
1.2.1.	Objetivo General	7
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	7
1.3	Hipótesis	7
1.3.1.	Hipótesis Nula.....	7
1.3.2.	Hipótesis Alternativa.....	7

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1	Materiales.....	8
2.1.1	Materia Prima	8
2.1.2	Materiales de Laboratorio.....	9
2.1.3	Reactivos.....	9
2.1.4	Equipos	9
2.2	Métodos	10
2.2.1	Recolección de Muestra	10
2.2.2	Preparación de la muestra de suelo	11
2.2.3	Propiedades fisicoquímicas.....	11
2.2.4	Análisis de metales	13

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1	Análisis fisicoquímico	15
3.2	Metales Totales	20
3.3	Verificación de hipótesis	39

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	Conclusiones	40
4.2	Recomendaciones	43

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de localización del sitio de muestreo en el cantón Quero.....	8
Figura 2 División de la parcela en el sitio de muestreo.	10
Figura 3 Estructura del ciclo biogeoquímico de metales pesados en agroecosistemas	21
Figura 4 Curva de calibración de cobalto a partir de patrones acuosos medidos a 240,72 nm.....	51
Figura 5 Curva de calibración de estroncio a partir de patrones acuosos medidos a 460,82 nm.....	51
Figura 6 Curva de calibración de níquel a partir de patrones acuosos medidos a 232,05 nm.....	52
Figura 7 Curva de calibración de plomo a partir de patrones acuosos medidos a 283,33 nm.....	52
Figura 8 Curva de calibración de cadmio a partir de patrones acuosos medidos a 228,84 nm.....	53
Figura 9 Curva de calibración de manganeso a partir de patrones acuosos medidos a 279,53 nm.....	53
Figura 10 Curva de calibración de cobre a partir de patrones acuosos medidos a 324,80 nm.....	54
Figura 11 Curva de calibración de zinc a partir de patrones acuosos medidos a 213,90 nm.....	54
Figura 12 Curva de calibración de potasio a partir de patrones acuosos medidos a 766,50 nm.....	55
Figura 13 Curva de calibración de magnesio a partir de patrones acuosos medidos a 285,27 nm.....	55
Figura 14 Curva de calibración de hierro a partir de patrones acuosos medidos a 248,34 nm.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Patrones monoelementales	14
Tabla 2 Resultados de pH.....	15
Tabla 3 Resultados de Conductividad eléctrica	17
Tabla 4 Resultados de Materia Orgánica	18
Tabla 5 Resultados de Humedad.....	19
Tabla 6 Concentración de Co en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible.....	22
Tabla 7 Concentración de Sr en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible.....	23
Tabla 8 Concentración de Ni en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible.....	25
Tabla 9 Concentración de Pb en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible.....	26
Tabla 10 Concentración de Cd en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible.....	27
Tabla 11 Concentración de Mn en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible.....	29
Tabla 12 Concentración de Cu en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible.....	30
Tabla 13 Concentración de Zn en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible.....	32
Tabla 14 Concentración de K en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible.....	33
Tabla 15 Concentración de Mg en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible.....	34
Tabla 16 Concentración de Fe en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible.....	35
Tabla 17 Resumen de concentración de metales totales en un suelo agrícola del cantón Quero y sus límites permisibles.....	37

Tabla 18 Límites de detección y cuantificación de metales.....	38
Tabla 19 <i>Condiciones iniciales del equipo para cada elemento en la medición con horno de grafito.....</i>	58
Tabla 20 Condiciones iniciales del equipo para cada elemento en la medición con llama.....	59
Tabla 21 Datos de las Propiedades fisicoquímicas de un suelo agrícola en el Cantón Quero.....	60
Tabla 22 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de cobalto en el suelo.	61
Tabla 23 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de estroncio en el suelo.	62
Tabla 24 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de níquel en el suelo.	63
Tabla 25 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de plomo en el suelo.	64
Tabla 26 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de cadmio en el suelo.	65
Tabla 27 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de manganeso en el suelo.	66
Tabla 28 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de cobre en el suelo.	67
Tabla 29 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de potasio en el suelo	68
Tabla 30 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de zinc en el suelo. ...	69
Tabla 31 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de magnesio en el suelo.	70
Tabla 32 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de magnesio en el suelo.	71
Tabla 33 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de hierro en el suelo.	72

RESUMEN

La importancia del suelo radica en su función ecológica de brindar una infraestructura adecuada para el crecimiento y desarrollo de seres vivos, como plantas, animales e incluso el ser humano. Sin embargo, muchos suelos orientados a la agricultura, pueden contener distintos elementos traza, como son los metales, que se encuentran en diferentes concentraciones. Es así que, el presente estudio tuvo como finalidad, caracterizar un suelo agrícola del cantón Quero, para identificar sus propiedades fisicoquímicas y el contenido de metales tanto de origen geogénico como antropogénico. Se analizaron distintos parámetros fisicoquímicos como pH, humedad, conductividad, materia orgánica y se determinaron los siguientes valores promedio: pH (5,506), humedad (76,232) por ciento, conductividad (0,103) dS/m y materia orgánica (2,608) por ciento. En cuanto al contenido de metales se cuantificaron mediante espectrofotometría de absorción atómica con dos sistemas de atomización: por horno de grafito y llama; los elementos analizados son: Co, Sr, Pb, Ni, Cd, K, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn. Los valores se encontraron dentro de los límites permisibles exceptuando el Mg y Fe que se encuentran por encima de la media en comparación bibliográfica a ciertos estudios de suelos agrícolas, sin embargo, no poseen alguna incidencia en la calidad del suelo y por ende en su función. En conclusión, este suelo agrícola, no contiene concentraciones nocivas de elementos traza que puedan afectar sus propiedades fisicoquímicas.

Palabras clave: Suelo agrícola, Suelo andisol, Metales, Cenizas volcánicas, Espectrofotometría de absorción atómica

ABSTRACT

The importance of soil lies in its ecological function of providing an adequate infrastructure for the growth and development of living beings, such as plants, animals and even humans. However, many agricultural-oriented soils can contain different trace elements, such as metals, at different concentrations. Thus, this study aimed to characterize and evaluate an agricultural soil in the Quero city to identify its physicochemical properties and metal content of both geogenic and anthropogenic origin. Different physicochemical parameters of pH, humidity, conductivity, organic matter were analyzed and the following average values were determined: pH (5,506), moisture (76,232) percent, conductivity (0,103) dS/m and organic matter (2,608) percent. As for the metal content were quantified by Atomic Absorption Spectrophotometry with two system of atomization: for graphite furnace and for flame; the elements analyzed were: Co, Sr, Pb, Ni, Cd, K, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn. Values were found within permissible limits except the Mg and Fe found above average in bibliographic comparison to certain agricultural soil studies, however, have no impact on soil quality and therefore their function. In conclusion, this agricultural soil does not contain harmful concentrations of trace elements that may affect its physicochemical properties.

Keywords: agricultural soil, andisol soil, metals, Volcanic ash, Atomic absorption spectrophotometry

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

4.1 Antecedentes Investigativos

El suelo es una elongación de cuerpo natural no consolidado en la superficie de la tierra, compuesto de sólidos, principalmente minerales y materia orgánica; además de líquidos y gases. También es considerado uno de los requerimientos básicos para sustentar la vida dado por el intercambio de materia y energía entre lo inerte y lo vivo, es así, que es conceptualizado como la base para cualquier proyecto agrícola, pecuario, forestal, etc. (Vargas, 2012). En un estudio desarrollado por Etchevers, Saynes, & Sánchez, (2015), relacionado con el manejo sustentable del suelo agrícola, se señala que su tratamiento y transformación a partir de sus características originales, es destinado al uso en producciones agrícolas, forestales y pecuarias.

Además, Campitelli, Aoki, Gudelj, Rubenacker, & Sereno, (2010), mencionan que el suelo es apto para proyectos agrícolas o de cualquier índole semejante, debido al contenido de materia orgánica, factor que determina la calidad del suelo y su productividad. Es así que, Pereira, Minoldo, & Galantini, (2015), indican que las siembras directas y rotacionales que producen mayor cantidad de materia orgánica, tienen un 25% de pérdida de productividad del suelo; a diferencia de suelos para pastoreo y monocultivos con menor materia orgánica que pierden un 50% de su productividad y factor de recuperación.

USDA, (2014) hace referencia a una diferenciación entre los suelos minerales y orgánicos para determinar su clasificación. Los suelos minerales provenientes de la roca madre, son formados a través del tiempo al pasar por distintos procesos ya sea físicos, químicos y biológicos, provocando el cambio de la composición química de los minerales al entrar en contacto con el agua, y la lixiviación de algunas sustancias químicas. Por el contrario, los suelos orgánicos se definen como los suelos provenientes de materia orgánica, producto de la acumulación gradual de materia

vegetal y animal (FAO, 2014). Sin embargo, los suelos orgánicos también contienen trazas de minerales variando en su concentración. Debido a esto, la USDA clasifica al suelo en las siguientes categorías: Gelisoles, Histosoles, Espodosoles, Andisoles, Oxisoles, Vertisoles, Aridisoles, Ultisoles, Mollisoles, Alfisoles, Inceptisoles, Entisoles.

Según **Zuñiga, Buenaño, & Risco, (2016)** la producción agrícola es en mayor parte realizada en suelos andisoles, derivados de cenizas volcánicas que ocupan el 31% del territorio ecuatoriano, caracterizados por su alto contenido de materia orgánica, pH ligeramente ácido, baja densidad aparente y en una proporción considerable de minerales; características y factores que condicionan el desarrollo de los cultivos. En una encuesta desarrollada por el **Gobierno Provincial de Tungurahua, (2015)** relacionada con la estrategia agropecuaria, se muestra que, específicamente en la Provincia de Tungurahua, la mayor parte de cultivos agrícolas predominantes en la zona son los de mayor consumo como la papa y la cebolla, los cuales son cultivados en suelos de la cercanía al volcán Tungurahua, que podrían estar derivados de sus cenizas volcánicas.

Uno de los componentes principales del suelo para el mejoramiento de los cultivos son los minerales. Según **Besma & Mounir, (2010)** los minerales son necesarios para la formación del ciclo de vida de las plantas y sus funciones metabólicas o estructurales. Los minerales se constituyen como macro y micronutrientes, dentro de los macronutrientes se encuentran elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio propicios para las plantas y mientras que los micronutrientes están compuestos por elementos como zinc, boro, molibdeno, manganeso, cloro y cobre, que suelen estar en bajas cantidades pero a su vez son indispensables (**Meloni, Silva, Ledesma, & Bolzón, 2017**). Ciertos minerales esenciales se encuentran como esterificados con alcoholes de los cuales se puede mencionar el P, B y Si; además de, K, Na, Mg, Ca, Cl y Mn que son absorbidos como iones del suelo en solución.

Dentro de los minerales se encuentran de forma natural, sustancias conocidas como metales. Según **Polo (2009)**, una de las características principales del suelo es adsorber cantidades cuantificables de minerales, específicamente metales, del medio en el que se encuentre. Los metales son elementos químicos con potenciales de ionización bajos,

con un fuerte carácter electropositivo (**Federacion de Enseñanza de Cooperativa de Obreros Andalucía, 2011**). Sus características químicas se determinan por su estructura electrónica y el predominio de enlace entre átomos del mismo elemento, generando estructuras cristalinas donde cada átomo comparte un electrón con el átomo vecino. También está presente el enlace iónico, entre los metales alcalinos, alcalinotérreos y no metales; formando así elementos como los metales en estado elemental, compuestos inorgánicos y orgánicos (**Ferrer, 2003**).

Los metales se pueden clasificar de distintas formas de acuerdo con sus funciones o propiedades específicas. Una de las clasificaciones de los metales son los oligoelementos; como el cobre, zinc, magnesio y hierro, considerados esenciales en el metabolismo de mamíferos. En relación a lo expuesto, en un estudio realizado por **Rubio et al., (2007)**, demuestra que la deficiencia del oligoelemento, Zn, puede estar relacionado con la alta probabilidad de adquirir cáncer, ya que cumple un papel importante en la función inmunológica, propiedades antioxidativas y ante el estrés oxidativo.

Black et al., (2004), en su estudio relacionado con el análisis de distintos oligoelementos, determinaron que, al administrar Fe y Zn, juntamente con otros micronutrientes genera efectos positivos en el desarrollo motor de los niños. De igual manera, se realizó una investigación en mujeres en estado de gestación, donde el Zn produce un crecimiento del sistema óseo en el feto (**Merialdi et al., 2004**).

Por otro lado, existen metales conocidos como pesados, que afectan diversos factores fisicoquímicos y biológicos de los organismos, según sean las vías de exposición, dosis absorbida y la naturaleza química del metal (**Nuria Ferré-huguet et al., 2007**). Las repercusiones de estos elementos provocan alteraciones de los sistemas enzimáticos en los comportamientos intracelulares. Según **Botello, Rendon, Gold, & Agraz, (2005)** en un estudio realizado sobre los efectos de distintos metales pesados, determinaron que el cadmio tiene efectos en los tejidos de organismos y lesiona los mecanismos de regulación de iones. El cobre y el mercurio en grandes cantidades absorbidas presentan efectos en el metabolismo respiratorio.

En una investigación realizada por **Londoño, Londoño, & Muñoz, (2016)** con respecto a la exposición o ingesta de metales pesados, informa que una sobre

exposición al arsénico, considerado un metal radiactivo, causa lesiones epiteliales y lesiones vasculares en el sistema nervioso e hígado y es considerado letal. Otro metal es el plomo el cual tiene efectos agudos en el organismo y produce intoxicación crónica gastrointestinal, también a nivel nervioso y reproductivo. Con respecto a lo mencionado, la presencia de metales pesados, puede conllevar a una posible contaminación del suelo y cambio en sus características físicas, químicas y biológicas, afectando su calidad y generando afecciones al hombre, animales, plantas y en general al medio ambiente (**Jiménez, 2017**).

La contaminación del suelo puede ser de dos tipos: contaminación natural o endógena y contaminación antrópica o exógena. La contaminación natural hace referencia al proceso de concentración de elementos metálicos en el transcurso de la evolución del suelo. (**Jiménez, 2017**). Un estudio realizado por **Cortes, Bravo, Peinado, & Menjivar (2015)**, en un suelo Andisol contaminado con ácidos húmicos perteneciente a la materia orgánica, uno de los metales analizados, el Ni, posee una gran afinidad por la fracción residual y una reducción significativa del factor de movilidad, es por ello su retención en el suelo.

Debido a la cercanía del volcán y a las emanaciones de ceniza de las últimas erupciones, se ha generado una contaminación por metales pesados de origen geogénico. Dichas cenizas provenientes de rocas básicas y ultra básicas son las anfibolitas, serpentinas o granulitas, las cuales presentan altos contenidos de Cr, Ni, Cu y Mn (**Larios, 2014**). De acuerdo a lo mencionado, en el estudio realizado por **Sánchez, (2017)** se determinó mediante un análisis multielemental, trazas de metales como hierro, calcio, aluminio, titanio, sodio, potasio y magnesio en concentraciones importantes y además de algunos metales pesados en cantidades que no sobrepasan los valores establecidos, en muestras de cenizas del volcán Cotopaxi, debido a la gran abundancia de estos elementos en la superficie terrestre.

Según **Calvache, (2014)**, uno de los volcanes más representativos en la Provincia de Tungurahua es el volcán Tungurahua con 5043 metros de altura, ubicado a unos 33km al sureste de Ambato. Su última actividad más fuerte fue en febrero del 2010, y la ceniza emitida afectó a 19000 hectáreas de cultivos de la región oeste del volcán. Distintos sectores agrícolas dedicados al cultivo principalmente de papa, cebolla,

arveja y zanahoria, en especial de los cantones Mocha, Quero y Guano fueron afectados por las cenizas volcánicas, generando un decaimiento de la producción agrícola por pérdida de sembríos y destrucción de suelos agrícolas (**Guevara et al., 2012**).

En un trabajo investigativo realizado por **Romero, (2017)** se analizó la concentración de cadmio y plomo en matrices como suelos agrícolas, leche y agua de riego afectados por las cenizas del volcán Tungurahua; obteniendo valores permisibles en el suelo en ambos metales, y valores fuera de los límites del metal Cd para el agua de riego. Por otra parte, **Polo (2009)**, realizó un estudio, donde se determinó que la ceniza proveniente del Volcán Tungurahua tiene una concentración 110 ppb de Arsénico, cuya concentración en el suelo decremente la calidad de alimentos producidos en el mismo.

Debido a la presencia de metales pesados en suelos agrícolas, se ha dado una bioacumulación especialmente en plantas, que trata de la adsorción de dichos componentes por medio de las raíces o por vía foliar. Las plantas con mayor susceptibilidad son las que poseen área foliar más grande y de tallo corto, que en su gran mayoría pertenecen a la cadena alimenticia como son ciertos tubérculos y distintas herbáceas, que demandan gran cantidad de minerales y nutrientes del suelo (**Romero, 2017**). De acuerdo con un estudio realizado por **Castillo (2019)**, analizó la presencia de metales pesados provenientes de la ceniza del Volcán Cotopaxi en muestras de papa cultivadas en suelos agrícolas afectados, determinando concentraciones en mg/kg de As, Cu, Pb, Hg, Cd superando los límites permisibles, por ende se destaca la bioacumulación de metales pesados en productos alimenticios.

Según **TULSMA (2013)**, en la norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados; Anexo 2, Libro VI de la Calidad Ambiental determina criterios de calidad del suelo. De acuerdo con el uso agrícola existen parámetros a evaluar como son los metales: bario, boro, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc; contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica, además, de fosforo, potasio, calcio, hierro y pH. Esta norma técnica de suelo vela por la calidad ambiental, estableciendo como criterios referenciales de la calidad del suelo agrícola para metales, los siguientes: arsénico (inorgánico) 5 mg/kg, azufre 250 mg/kg, bario 200 mg/kg, boro 1 mg/kg, cadmio 0.5 mg/kg, cobalto 10 mg/kg, cobre 30 mg/kg,

cromo 20 mg/kg, cromo VI 2.5 mg/kg, estaño 5 mg/kg, flúor 200 mg/kg, mercurio 0.1 mg/kg, molibdeno 2 mg/kg, níquel 20 mg/kg, plomo 25 mg/kg, selenio 1 mg/kg , vanadio 25 mg/kg, zinc 60 mg/kg.

En una investigación realizada por **Valladares, de Camargo, de Carvalho, & Silva, (2009)** determinan que los factores ambientales como las erupciones volcánicas, afectan las propiedades fisicoquímicas de las sustancias acumuladas en el suelo agrícola como los metales, llegando a comportarse como sustancias tóxicas o contaminantes, por tanto, es esencial caracterizar y evaluar dichos parámetros fisicoquímicos relacionados con la sostenibilidad, preservación del ecosistema y biodiversidad.

Según **Obiols, (2013)** el análisis de metales pesados, es llevado a cabo por medio de la espectrofotometría de absorción atómica, donde las muestras se llevan a altas temperaturas para su vaporización, método conocido como atomización, y existen de tres tipos: de llama, horno de grafito y con plasma. Al trabajar con concentraciones muy bajas de metales es imprescindible la aplicación de la atomización electrotérmica u horno de grafito; por lo contrario, cuando se cuenta con soluciones de concentraciones altas de metales y no se necesita de tanta sensibilidad, es recomendable la aplicación de la atomización por llama.

Buscio, Álvarez, & Gutierrez, (2009) en un estudio sobre la aplicación de la atomización electrotérmica, señalan que dicha atomización utiliza el calentamiento por resistencia, ya que tiene una mejor sensibilidad de análisis con relación al de atomización por llama. La atomización por horno de grafito se da en tres fases: en la primera fase la muestra se seca, por medio de una corriente de temperatura elevada en el tubo de grafito a unos 110 °C, formando un residuo sólido; en la segunda fase se produce una elevación de la temperatura hasta 1200 °C donde la materia orgánica existente se transforma en CO₂ y H₂O, la materia inorgánica se volatiliza; y en la última fase los metales se atomizan en un aumento de temperatura exponencial en un rango de 2000-3000 °C.

En otro caso de estudio, realizado por **Gallegos, Vega, & Noriega, (2012)**, se informa sobre la aplicación de la atomización por llama, que se basa en la travesía del haz de luz emitida por la fuente hacia el sistema de atomización, donde la muestra se nebuliza

dentro de la llama, es ahí donde se desolvata, vaporiza y atomiza, dándose en rápida sucesión. Así, los átomos y las moléculas llegan al estado de excitación debido a las colisiones térmicas con los componentes de la llama parcialmente quemados.

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar los parámetros fisicoquímicos y el contenido de metales totales de un suelo agrícola del cantón Quero, influenciado por las cenizas del volcán Tungurahua.

1.2.2. Objetivos Específicos

Realizar análisis fisicoquímicos del suelo agrícola.

Establecer una metodología para el tratamiento adecuado de muestras de suelo agrícola.

Determinar el contenido de metales totales (Co, Sr, Ni, Pb, Cd, Mn, Cu, Zn, Mg, K, Fe) mediante espectroscopia de absorción atómica.

1.3 Hipótesis

1.3.1. Hipótesis Nula

El contenido de metales totales no tiene relación directa con los parámetros fisicoquímicos y la concentración de estos no supera los límites permisibles establecidos en normas de calidad de suelo.

1.3.2. Hipótesis Alternativa

El contenido de metales totales tiene relación directa con los parámetros fisicoquímicos y la concentración de estos supera los límites permisibles establecidos en normas de calidad de suelo.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

4.2 Materiales

2.1.1 Materia Prima

Para la ejecución del trabajo se realizó un muestreo en el cantón Quero, ubicado en la provincia de Tungurahua entre los cantones de Mocha y Cevallos, como se muestra en la **Figura 1**, siendo uno de los sectores más cercanos al volcán Tungurahua, aproximadamente el 86.1 % de la población total en el cantón es rural. Uno de los factores determinantes en la selección del sitio es debido a que un 69.7% de su población se dedica a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (SENPLADES, 2014). Según la (FAO, 2010) alrededor de 30 poblados de las provincias de Tungurahua y Chimborazo fueron afectados por las erupciones volcánicas del 2006 por parte del volcán Tungurahua. Siendo Quero una de las poblaciones afectadas directamente por la caída de ceniza y expulsión de material piroplástico.

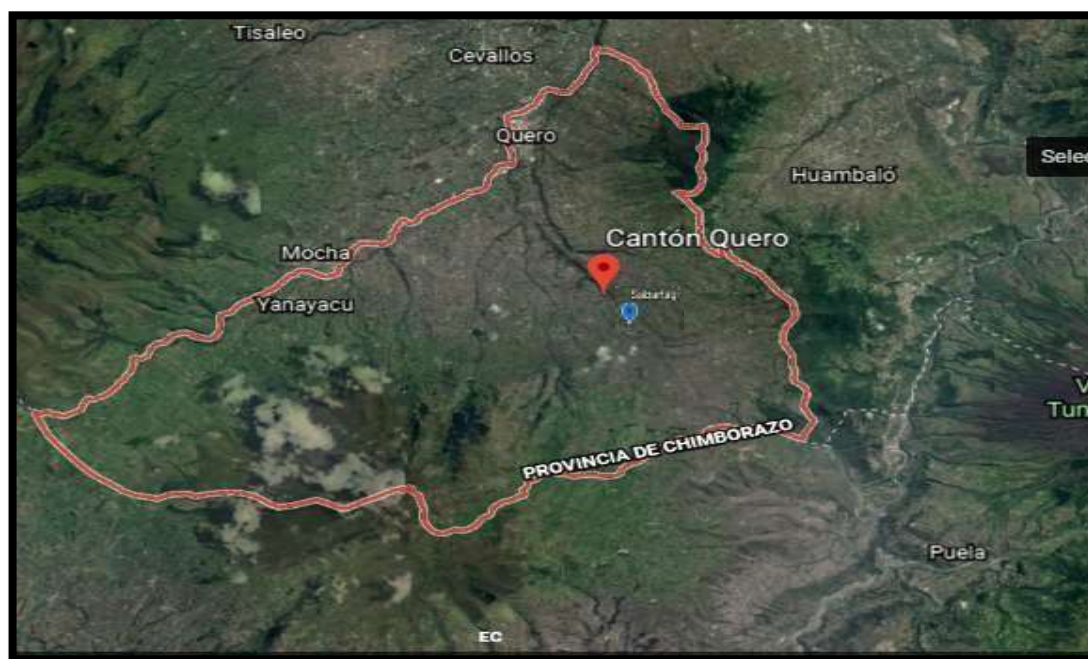


Figura 1 Mapa de localización del sitio de muestreo en el cantón Quero

2.1.2 Materiales de Laboratorio

- Vasos de precipitación (250,500 mL)
- Balones de aforo (5, 10, 50, 1000 mL)
- Probeta (10, 25, 1000 mL)
- Pipetas Pasteur
- Pipetas serológicas
- Embudos
- Viales de desecho/lavado
- Desecador
- Mortero y Pistilos
- Matraces Erlenmeyer
- Cápsulas y crisoles de porcelana 30 mL

2.1.3 Reactivos

- Ácido clorhídrico concentrado 99% ACS FISHER SCIENTIFIC
- Ácido nítrico concentrado 70% ACS FISHER SCIENTIFIC
- Estándares monoelementales para absorción atómica (Co, Sr, Ni, Pb, Cd, Mn, Cu, Zn, K, Fe) 1000 mg/l ACCUSTANDART, USA
- Óxido de lantano 99,5% MERCK DARMSTADT, ALEMANIA
- Óxido nitroso grado USP pureza 99,5 mínimo, Linde Ecuador S.A.
- Acetileno AA grado 2,5 pureza 99,5 %, Linde Ecuador S.A.
- Argón AP Grado 5,0; 8 m³ pureza 99,99 %., Linde Ecuador S.A.

2.1.4 Equipos

- Estufa HASUC HSZK6050
- Balanza analítica METTLER TOLEDO XPE204
- Centrífuga para tubos Falcon
- Campana de extracción de gases NOVATECH-CE120BA
- pH-metro METTER TOLEDO SEVENCOMPACT PH/ION
- Conductímetro THERMO SCIENTIFIC ORION VERSASTAR
- Mufla NABERTHERM LT 15/12/B180

- Plancha de agitación IKA C-MAG HS 7S1
- Espectrofotómetro de absorción atómica PG Instruments AA500

2.2 Métodos

2.2.1 Recolección de Muestra

La recolección del suelo se realizó en cultivos en el sector de Sabañag a una altitud de 2592 m con respecto al nivel del mar, en el cantón Quero. De acuerdo con el método de manejo de suelos se realizó un muestreo simple, el cual implica la recolección en una parcela de 2340 m², dividiéndola en 5 secciones de acuerdo con el método sistemático de cuadrícula como se puede evidenciar en la **Figura 2**, de las cuales se tomó cinco muestras a la profundidad de unos 20 cm de la superficie. Se recolectó una cantidad aproximada de 2 kilogramos en fundas plásticas negras de basura y se transportó en un contenedor grande de plástico (Sosa, 2012).



Figura 2 División de la parcela en el sitio de muestreo.

2.2.2 Preparación de la muestra de suelo

Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente, en un lugar fresco y aislado, en un tiempo estimado de 7 días o hasta que se observó un cambio de color, otro indicativo que se verificó fue la inexistencia de exsudado en el contenedor.

Para eliminar piedras o escombros que pudiesen afectar los resultados, se tamizó el suelo con un tamiz plástico, el suelo libre de escombros se almacenó en fundas herméticas para evitar la absorción de humedad.

2.2.3 Propiedades fisicoquímicas

Humedad

Para la determinación de la humedad del suelo, se empleó el método directo, conocido como método gravimétrico (**Radulovich, 2009**). La medición se basa en muestras de suelo de peso conocido. Se pesó 5g de muestra en una balanza analítica METTLER TOLEDO XPE204, se colocó en crisoles previamente tarados y obtenidos sus pesos. Las muestras se colocaron en una estufa HASUC HSZK6050 a 120°C aproximadamente por 24 horas (**Medina & Mora, 2017**). El porcentaje de humedad se calculó por diferencia en peso (**Ecuación N°1**) y se expresó en g de H₂O/100 g de muestra:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso de agua en la muestra}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} * 100$$

(**Ecuación N°1**)

pH y Conductividad

La mayoría de los metales pesados presentes en el suelo tienden a estar disponibles a un pH ácido a excepción del arsénico, molibdeno, selenio y cromo; los cuales se presentan más disponibles en suelos de pH alcalino.

Para obtener el pH del suelo existe el método de disolución en agua destilada o el método de disolución con KCl al 0.1 M, el cual va a servir como un electrolito que evita las variaciones debido a la concentración de sales presentes en la disolución.

Se procedió a realizar una dilución 1:2.5 (P/V), del suelo tamizado con el método de disolución en agua destilada. Posteriormente se centrifugo a 1500 rpm durante 5 min en tubos Falcon. Para la medición de pH se extrajo el sobrenadante y se procedió a medir con un pH-metro METTER TOLEDO SEVENCOMPACT PH/ION (**J. Espinosa & Molina, 1999**).

La conductividad hace referencia a la cantidad de sales presentes en una solución, y esta se estimó mediante una medición directa de la conductividad eléctrica de la muestra de suelo disuelta en agua en la misma relación ya mencionada. A mayor conductividad eléctrica determinada mayor salinidad del suelo. Se procedió de la misma manera que en la medición del pH, y se utilizó un conductímetro THERMO SCIENTIFIC ORION VERSASTAR (**Sela, 2017**).

Materia Orgánica

La materia orgánica es una porción de suelo con restos vegetales o animales, que por medio de la acción del microbiota es convertida en materia rica en nutrientes para las plantas. El método más común para la determinación de la materia orgánica es el método de ignición o también llamado pérdida por ignición reportado en la norma TMECC 05.07.2001 de la Norma chilena con algunas modificaciones. Se pesó 5g de muestras de suelos en crisoles por medio de una balanza METTLER TOLEDO XPE204, los crisoles fueron previamente tarados, la muestra se calcinó en una mufla NABERTHERM LT 15/12/B180 incrementado la temperatura de manera gradualmente hasta que alcanzó los 430°C, seguido la ceniza se pesó y el contenido de materia orgánica se calculó por diferencia de pesos (**Ecuación N°2**) (**Carrasco & Grez, 2005**).

$$Materia\ orgánica\ (\%) = \frac{(a - b) * 100}{a}$$

(Ecuación N°2)

Donde:

a: peso de la muestra seca antes de la calcinación

b: peso de la muestra calcinada

2.2.4. Análisis de metales

2.2.4.1 Tratamiento de las muestras

Para determinar los metales totales presentes en el suelo, se trabajó con digestión ácida de acuerdo con el método estadounidense EPA 3050B "digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos", el cual utiliza una disolución y extracción de los elementos por medio de ácidos fuertes, como el HCl, HNO₃, HClO₄, de modo que los metales pesados reservados en las proporciones del suelo y materia orgánica pasan a ser expuestos a la solución extractante. Para la digestión ácida se pesó 0.5 g de suelo, y se añadió 6 ml de HCl concentrado y 2 ml de HNO₃ concentrado, se calentó a 90°C por medio de una plancha de calentamiento IKA C-MAG HS 7S1 durante 2 horas. La solución obtenida se filtró por medio de papel filtro en un embudo de cristal y se aforó con HNO₃ 1% (v/v) en balones de 10 ml (EPA, 1996).

2.2.4.2 Medición de metales

Se empleó un espectrofotómetro de absorción atómica con el cual se midió la cantidad de radiación electromagnética absorbida, por parte de los átomos gaseosos de los elementos analizados. Cada uno de los elementos posee un número de electrones unido con su núcleo. El estado más estable de la configuración orbital es conocido como el estado fundamental. Si se aplica energía a un átomo, la energía será absorbida y un electrón pasará al estado excitado. Si el número de átomos en el paso de luz incrementa, la cantidad de luz absorbida también aumenta. A través de la cantidad de luz absorbida, se puede hacer una valoración cuantitativa de la concentración del analito. Para determinar el combustible y el oxidante idóneos, se tomó en cuenta la temperatura necesaria para atomizar la muestra, siendo las más utilizadas el acetileno, óxido nitroso y propano (Mahecha, Trujillo, & Torres, 2015).

Para la medición de los metales Co, Sr, Pb, Ni y Cd se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica PG INSTRUMENTS MODELO AA500, con el sistema de atomización electrotrémica u horno de grafito. Para los metales K, Mg, Mn, Cu, Fe y Zn se aplicó el sistema de atomización por llama. Las muestras se realizaron por quintuplicado, incluyendo blancos intercalados entre muestras.

Se prepararon las soluciones de calibración de concentración conocida del metal puro o sal disuelta en HNO₃ al 1% (v/v) enlistados en la **Tabla N°1**. Dichos estándares monoelementales (AccuStandart) acaparan el intervalo de concentración esperado en la muestra y se aforaron con la misma solución de ácido nítrico, la transmitancia medida en cada muestra se transformó a unidades de absorbancia y se procedió a realizar la curva de calibración según el método 999.11 de la AOAC (**AOAC, 2002**).

Para el análisis de metales como el potasio y magnesio, a los estándares y a la muestra se adicionó LaCl₃ 1 % (v/v) y se aforó con HNO₃ 1% (v/v) previo a la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Tabla 1 Patrones monoelementales

Metal	Nº de Catálogo	Lote	Proveedor
Cobalto	AA08N-1	214015095	AccuStandart, New Haven, USA
Estroncio	AA14N-1	215035019	AccuStandart, New Haven, USA
Plomo	AA15N-1	216095036	AccuStandart, New Haven, USA
Níquel	STD-Fe	STDSFE18B1	PG Instrument, Lutterworth, UK
Cadmio	AA43N-1	216045178	AccuStandart, New Haven, USA
Potasio	AA32N-1	215025028-01	AccuStandart, New Haven, USA
Magnesio	AA33N-1	215105110	AccuStandart, New Haven, USA
Manganeso	AA55N-1	214015103-01	AccuStandart, New Haven, USA
Hierro	AA29N-1	215015115	AccuStandart, New Haven, USA
Cobre	AA37N-1	215105040-01	AccuStandart, New Haven, USA
Zinc	AA70N-1	218035143	AccuStandart, New Haven, USA

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis fisicoquímico

Para la caracterización de un suelo es indispensable los parámetros fisicoquímicos, este análisis pretenden dar a conocer el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes del suelo, así como la afectación o no de las cenizas volcánicas del Tungurahua. Los análisis más representativos para la calidad de suelos es pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica y Porcentaje de Humedad.

3.1.1 pH

Dentro de los parámetros químicos para la caracterización del suelo está el pH, el cual es muy importante ya que denota una relación directa entre el suelo y los cultivos, la asimilación de nutrientes, y la generación de iones que podrían resultar tóxicos para las plantaciones.

Tabla 2 Resultados de pH

Muestras	pH
1	5,423 ± 0,075 ^a
2	5,503 ± 0,075 ^a
3	5,415 ± 0,097 ^a
4	5,668 ± 0,068 ^b
5	5,520 ± 0,037 ^a

^{a,b} Valores en las misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Los valores son expresados como media \pm DE (n= 4).

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos del parámetro fisicoquímico de pH. Los valores de pH de las muestras de suelo analizadas oscilaron entre 5.415 y 5.668, de acuerdo con los resultados obtenidos es considerado un suelo

moderadamente ácido y se evidenció que no existe diferencias significativas en los puntos de recolección a un nivel del 95% de confianza; a excepción de la muestra 4 que tiene una ligera varianza significativa en relación a los demás valores.

De acuerdo con la **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2002)** determina que los suelos con pH moderadamente ácido fluctúan en un rango de pH de 5.1-6.5, en dichos suelos no se espera toxicidad por parte de iones, además, de mayor disponibilidad de P, S, Mo y bases intercambiables (iones de Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+). La acidez moderada del suelo se puede considerar por algunos efectos, uno de los más destacados son las partículas de limo y arena, que se encuentran muy poco meteorizadas, debido a la juventud del suelo y a su ubicación en un clima bastante frío; llega a provocar una menor liberación de las bases. Con respecto a la diferencia significativa de la muestra 4, es probable que su disposición en el área sea menos propensa a la percolación de bases y exista una menor lixiviación de sales presentes en el suelo.

En un estudio realizado por **Perestelo (2017)**, sobre la caracterización de Andisoles de alta montaña de la isla de La Palma, indica sobre las propiedades fisicoquímicas de un suelo andisol típico, donde el factor sobresaliente es el pH, señalando un rango entre 5.5 a 6.5 característico de estos suelos, propiamente de suelos muy jóvenes sobre las rocas básicas o suelos de clima árido.

De acuerdo con la caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador, realizado por **García & Schlatter (2012)**, mediante un análisis de pH del suelo, determinó que los suelos de la región Sierra específicamente entre las alturas de 1500 a 3840 msnm son considerados ligeramente ácidos (valores entre 5.4 y 5.8), es así que se puede identificar a las muestra de suelos estudiadas como suelos característicos de la región Sierra ya que la recolección de la muestra fue a una altitud de 3463 msnm y los resultados de pH se encontraron en el rango mencionado.

3.1.2 Conductividad (CE)

La conductividad eléctrica es un indicador químico que ayuda a generar una idea de las concentraciones de sales presentes en una solución de sustrato. El análisis de CE se realiza por lo general para determinar si las sales solubles se encuentran en

cantidades que podrían afectar o no a la germinación de las plantas y por tanto a determinar la calidad del suelo para la agricultura.

Tabla 3 Resultados de Conductividad eléctrica

Muestras	Conductividad Eléctrica (dS/m)
1	0,111± 0,008 ^b
2	0,098± 0,005 ^a
3	0,095± 0,009 ^a
4	0,103± 0,004 ^{ab}
5	0,110± 0,004 ^b

^{a,b} Valores en las misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes (p<0.05). Los valores son expresados como media ± DE (n= 4).

Los resultados obtenidos de Conductividad eléctrica se presentan en la **Tabla 3**. Los valores de CE obtenidos, oscilan entre 0.095 a 0.111 dS/m. Dichos valores obtenidos según la interpretación por parte de la **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002)** clasifica a los suelos por su conductividad eléctrica que poseen valores <1dS/m, como suelos con efectos casi nulos de salinidad, produciendo así beneficios como la facilitación de la fertilización del suelo y evitando la fitotoxicidad en el suelo por parte de los minerales.

En base al análisis estadístico realizado, se determinó que las muestras 2 y 3 no presentan diferencias significativas, al igual que las muestras 1 y 5 con un nivel de confianza del 95%. Con respecto a la muestra 4 se puede evidenciar leve diferencia significativa con respecto a los dos grupos homogéneos, la diferencia significativa entre los dos grupos de muestras, se puede atribuir a diversos factores que aumentan las sales en el suelo, uno de ellos es la diferencia topográfica del terreno de recolección. Las muestras 1 y 5 son de mayor valor por su cercanía a otros terrenos de cultivo donde se utiliza agua de riego constante, a diferencia de las muestras 2 y 3 ubicadas en el interior del terreno.

Según **Aguirre (2009)** en su estudio acerca del manejo de conductividad eléctrica en fertirriego, considera que el tipo y la proporción de sales son muy variables, existiendo diverso factores ya sea por la formación del suelo o por factores ambientales e incluso

por el agua de riego en los suelos agrícolas. Debido al régimen de riego evidenciado en la zona y el clima de la región, se puede considerar que son los factores más precisos para determinar la baja cantidad de sales y por ende la baja conductividad eléctrica, se deba a la utilización de sistemas de riego por aspersores, donde el agua y las sales se mueven más profundamente, y al ser la recolección de muestras en el estrato superior del suelo, se considera que las sales emigran a estratos más profundos.

3.1.3 Materia orgánica

El contenido de materia orgánica depende de la cantidad de vegetación, clima y biología del lugar. Dicho contenido vegetal es degradado por actividad biológica, depende mucho del clima, por lo general en climas fríos y templados propios de la serranía no hay mayor degradación de la materia vegetal, aunque la influencia de los micro y macro organismos varía significativamente en los resultados (Bernal et al., 2015).

Tabla 4 Resultados de Materia Orgánica

Muestras	[%] MO
1	2,367± 0,040 ^a
2	2,375± 0,048 ^a
3	2,695± 0,050 ^a
4	2,351± 0,026 ^a
5	3,251± 0,546 ^b

^{a,b} Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Los valores son expresados como media \pm DE (n= 4).

En la Tabla 4 se presentan los resultados de porcentaje de materia orgánica presente en las muestras recolectadas. Se obtuvo porcentajes entre 2.351 a 3.251%, considerado por la Norma oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, un porcentaje de materia orgánica muy bajo (<4.0%) (SEMARNAT, 2002). Mediante un análisis estadístico se puede evidenciar que la muestra 5 es la única que presenta diferencia significativa a un 95% de confianza, en relación a las demás muestras.

La cantidad de materia orgánica muy baja se puede deber a factores de afectación de la ceniza del Volcán Tungurahua en sus últimas erupciones, como lo demuestra un

estudio realizado por **Piazza, Kitzberger, & Chaneton (2018)** en el cual obtiene resultados en el estudio sobre la deposición de cenizas volcánicas en la descomposición de hojarasca del norte de la Patagonia, en ciertos puntos muestreados que fueron afectados directamente por la deposición de ceniza dieron 4% de MO, valores cercanos a los obtenidos en el presente estudio, determinando así, que uno de los factores que pudieran afectar la cantidad de materia orgánica, se debería a la influencia de cenizas, ya que según el autor determina que la deposición de cenizas produce ciertas perturbaciones en las propiedades abióticas y bióticas, modificando la naturaleza para la descomposición de materia vegetal y por ende afectando la cantidad de producción de MO en el suelo.

3.1.4 Humedad

La dinámica del agua en el suelo es un factor muy importante, ya que juega un papel principal en la disponibilidad de humedad y la distribución de nutrientes, aportando en la tasa de procesos microbiológicos y el crecimiento vegetal, es por ello que saber sobre el contenido de humedad del suelo es una herramienta esencial para caracterizar el suelo para el manejo de la agricultura (**Hincapié & Tobon, 2012**).

Tabla 5 Resultados de Humedad

Muestras	[%] H
1	75,255 ± 6,067 ^a
2	77,622 ± 2,277 ^b
3	81,526 ± 2,366 ^{ab}
4	72,372 ± 2,366 ^a
5	74,387 ± 4,472 ^a

^{a,b} Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Los valores son expresados como media ± DE (n= 4).

En la Tabla 5 se reporta los porcentajes de humedad relativa presente en el suelo muestreado. Los resultados de humedad relativa tienen valores entre 72.372% a 81.526%, mediante un análisis estadístico no se pudo evidenciar diferencias significativas entre los puntos de recolección de las muestras 1,4 y 5 con un nivel del 95% de confianza, a diferencia de los otros puntos que si muestran diferencias

significativas. Con respecto a los datos obtenidos se consideran porcentajes de humedad altos, debido a múltiples factores, uno de ellos es el clima propio de la región, con precipitaciones constantes y el régimen de riego que se utiliza en el sector. En un estudio realizado por **Estrada, Lescay, Álvarez, & Maceo (2004)** sobre los niveles de humedad en el suelo en la producción de bulbos de cebolla, obtuvieron resultados similares. En la temporada de recolección obtuvieron valores entre los 70 y 85% de humedad relativa, argumentando la influencia de las variables climáticas y las precipitaciones constantes en el lugar, el rendimiento de los cultivos de cebolla en dicho estudio no se vio afectados por el porcentaje de humedad lo cual es un punto muy referencial para los suelos analizados, siendo estos utilizados para la agricultura.

3.2 Metales Totales

El suelo aglomera y mantiene diferentes elementos debido a su capacidad de retención, principalmente en las capas superficiales, donde estos elementos tienen influencia en la capa biológicamente más activa, por lo cual son más asimilables para los cultivos. Estas reacciones químicas que se dan en el suelo son las principales causas de movimiento de los metales en el suelo y por ende la biodisponibilidad en las plantas (**Peris, 2006**).

En la **Figura 3** se puede apreciar la estructura del ciclo biogeoquímico de los metales en los agroecosistemas, el cual presenta la relación directamente proporcional de transferencia de estos con las dos matrices esenciales del agroecosistema, que son el suelo y las plantas. Además, se considera los diversos factores que influyen en la absorción de metales en la planta como son los climáticos, especie vegetal, tipo de suelo y las características fisicoquímicas (**Adriano, 2001**).

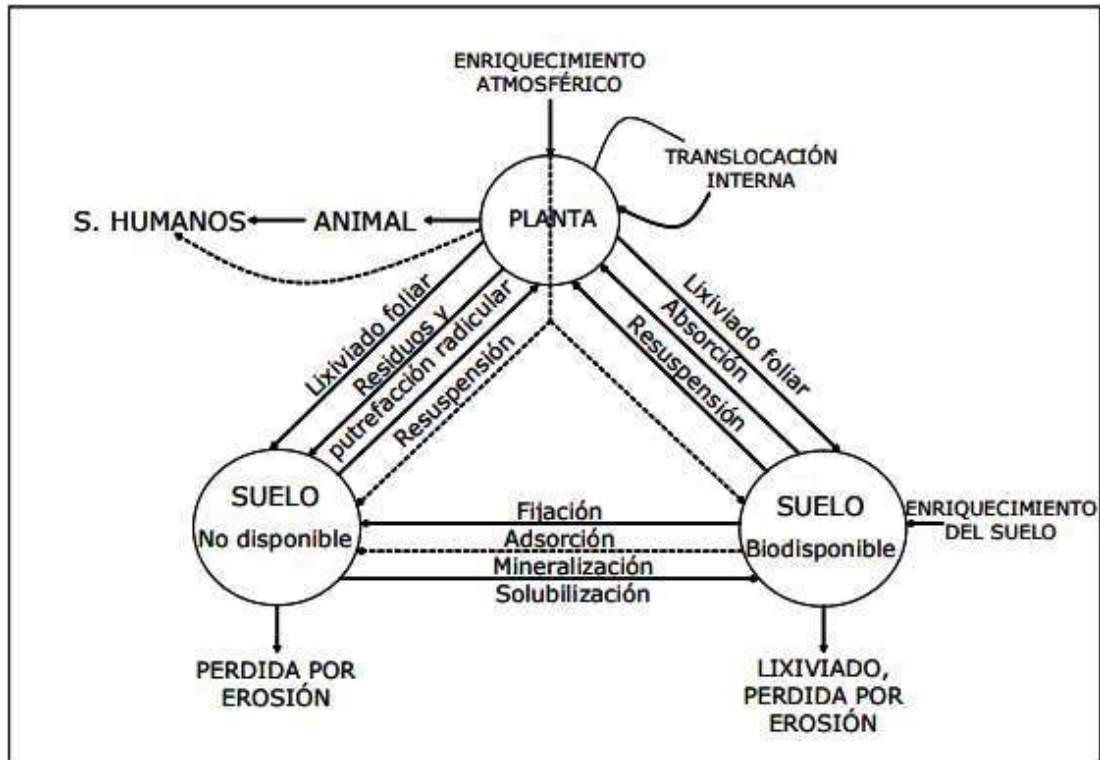


Figura 3 Estructura del ciclo biogeoquímico de metales pesados en agroecosistemas Adriano (2001).

3.2.1 Sistema de atomización por horno de grafito

En la espectrofotometría de absorción atómica las muestras entran en un proceso de evaporización debido a la presencia de altas temperaturas; es un proceso también llamado atomización, este proceso actúa conjuntamente con tres tipos de sistemas, entre los cuales está el de atomización por horno de grafito (Buscio, Álvarez, & Gutierrez, 2009).

Según Chambi, Orsag, & Niura (2012) mencionan en el artículo sobre la evaluación de metales pesados y arsénico en suelos agrícolas tres microcuencas del municipio de Poopó; que el sistema de atomización por horno de grafito, es empleado cuando se conoce que las muestras contienen bajas concentraciones de metales; este sistema se caracteriza por el calentamiento por resistencia, generando la atomización en tres fases.

A continuación, se presentan los resultados de los metales analizados mediante horno de grafito y su interpretación con los valores permitidos reportados en normas nacionales o internacionales para suelos de uso agrícola.

3.2.1.1 Cobalto (Co)

En la Tabla 6 se muestra los datos obtenidos de absorbancia y concentración promedio, en mg de cobalto por kg de muestra de suelo, los cuales fueron calculados a partir de la curva de calibración (**Anexo A**). Se obtuvieron valores entre 8,134 y 9,863 mg/kg para fracción soluble en agua regia, dichos valores se encuentran cercanos al límite permisible de 10 mg/kg según el TULSMA. Mediante un análisis estadístico se puede identificar que no existe diferencias significativas entre los puntos de recolección a un nivel del 95% de confianza.

Tabla 6 Concentración de Co en muestra de un suelo agrícola con su respectivo límite permisible

Metal	Muestra	Absorbancia	Concentración	Límite permisible
		\bar{X}	[mg/kg _{suelo}]	
Co	M ₁	0,164	9,642 ± 1,882 ^a	10 mg/kg
	M ₂	0,166	9,863 ± 1,411 ^a	
	M ₃	0,149	8,353 ± 1,517 ^a	TULSMA (2013)
	M ₄	0,147	8,134 ± 1,172 ^a	
	M ₅	0,160	9,313 ± 1,629 ^a	

^a Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Los valores son expresados como media ± DE (n= 5). Los valores de absorbancias son expresados como promedio (n=3).

De acuerdo con un estudio sobre las características fisicoquímicas del suelo y su asociación con la materia orgánica en diferentes sistemas productivos, se determinó en un sistema de cultivo de papa, en los primeros estadios de crecimiento; que el cobalto se encuentra en grandes cantidades en hojas y tallos, posteriormente, en la fase de floración y maduración el cobalto se encuentra en los nódulos en mayor cantidad (**Bastidas & Botina, 2018**). El cobalto por lo general se deriva de rocas ígneas básicas que se encuentran en suelos volcánicos; puede mantenerse en el suelo como Co⁺ o como divalente, también se conoce que dicho elemento puede encontrarse formando compuestos orgánicos en forma de Co³⁺. La disponibilidad de cobalto para las plantas no es rápida, ya que se encuentra entre las formaciones cristalinas de los minerales; la absorción del cobalto en la planta va a depender de su fase de desarrollo.

En comparación con un estudio realizado por **Rivera, (2017)** sobre un modelo de gestión de calidad de producción de brócoli en la parroquia San Joaquín de Cuenca,

realizó un estudio sobre la calidad, determinando concentraciones de Co en aproximadamente 11 mg/kg, superior al límite permisible, en relación a los datos obtenidos del suelo agrícola de Quero, que se puede evidenciar una mínima diferencia, permaneciendo en el límite justo permisible, según el autor los factores que aumentan dicha cantidad de cobalto en un suelo agrícola es la aplicación de abono orgánico conocido como pollinaza, como a su vez la explotación ganadera.

3.2.1.2 Estroncio (Sr)

Para la fracción soluble se obtuvo valores entre 9,160 y 14,721 mg Sr/kg muestra, presentados en la Tabla 7, los cuales fueron calculados a partir de la curva de calibración para el estroncio (Anexo A). Mediante un análisis estadístico se determinó que no existe diferencias significativas entre los puntos de recolección de muestra a un nivel de confianza del 95%, a excepción de la muestra 5.

Tabla 7 Concentración de Sr en muestra de un suelo agrícola con su respectivo límite permisible

Metal	Muestra	Absorbancia \bar{X}	Concentración [mg/kg _{suelo}]	Límite permisible
Sr	M₁	0,166	10,762 ± 1,287 ^a	715 a 1000
	M₂	0,164	10,456 ± 1,696 ^a	mg/kg
	M₃	0,161	10,039 ± 1,769 ^a	(Kabata-Pendias & Pendias, 2000)
	M₄	0,154	9,160 ± 1,579 ^a	
	M₅	0,197	14,721 ± 1,701 ^b	

^{a,b} Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Los valores son expresados como media ± DE (n= 5). Los valores de absorbancias son expresados como promedio (n=3).

En cuanto a las concentraciones no se han reportado valores de límites permisibles a nivel nacional que puedan dar referencia sobre su aceptabilidad de acuerdo a su concentración. Sin embargo, según **Kabata-Pendias & Pendias, (2000)** el estroncio presente en el suelo está muy controlado por la derivación de la roca madre y del clima del lugar, por lo cual se estima un rango de concentración límite para horizontes superficiales de 715 a 1000 mg/kg, tomando en cuenta estos datos bibliográficos se puede considerar que el suelo agrícola estudiado se encuentra con un contenido de Sr muy por debajo de las concentraciones de las medias de suelos a nivel mundial.

No obstante, en una comparación de resultados en un estudio realizado por **C. Espinosa (2011)** sobre geoquímica de suelos en los alrededores de una actividad minera en Salamanca, se puede evidenciar la movilidad y las concentraciones de Sr en dichos suelos llegando a valores de 0,1 mg/kg y en las rocas aledañas del sector de 80 mg/kg. Según lo determinado por el autor la baja concentración de Sr se debe a la percolación y meteorización de las rocas. En relación a lo expuesto se podría considerar que la concentración de estroncio en el suelo analizado no es muy baja, ya que el suelo pueda estar influenciado por las cenizas volcánicas que son compuestas por diferentes tipos de rocas madres, las cenizas al ser transportadas directamente de la roca madre ya sea adheridos a cristales dentro de su composición, estarían en contacto directo con el suelo aumentando así su concentración en el estrato superior del mismo, y debido a los factores climáticos se podría asumir una percolación del Sr en el suelo a estratos más inferiores del suelo.

3.2.1.3 Níquel (Ni)

En la Tabla 8, se presentan los valores obtenidos de concentración para el Níquel, valores que oscilan entre 7,894 y 10,173 mg de Ni por kg de suelo, calculados a partir de la curva de calibración para níquel (Anexo A). Mediante un análisis estadístico se identificó tres grupos homogéneos, donde se encuentran diferencias significativas entre ellos y dos grupos que comparten ciertas diferencias de cada grupo homogéneo, el análisis se realizó para un nivel de confianza del 95%. Los datos de concentración se encuentran dentro de los límites permisibles según el TULSMA, aprobando la calidad de suelos de uso agrícola hasta 20 mg/kg de suelo.

Tabla 8 Concentración de Ni en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible

Metal	Muestra	Absorbancia	Concentración	Limite permisible
		\bar{X}	[mg/kg _{suelo}]	
Ni	M ₁	0,282	10,173 ± 0,724 ^c	20 mg/kg
	M ₂	0,277	9,932 ± 1,030 ^{bc}	TULSMA (2013)
	M ₃	0,235	7,894 ± 0,351 ^a	
	M ₄	0,242	8,256 ± 1,760 ^a	
	M ₅	0,252	8,741 ± 0,678 ^{ab}	

^{a,b,c} Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Los valores son expresados como media \pm DE ($n = 5$). Los valores de absorbancias son expresados como promedio ($n = 3$).

Datos que en comparación a un estudio de suelos andisoles en Colombia, de características similares al suelo de estudio, se determinó datos de concentración promedio de níquel en 8,76 mg/kg de suelo (**Cortés, Martin, & Sarria, 2017**).

Es muy probable que la absorción del níquel por parte de los cultivos sea muy baja debido a la composición característica de los suelos propios de la región, característicos de los llamados andisoles, debido a su fracción de limo y arena que permite la retención de metales en dicha fracción disminuyendo su factor de movilidad (**Cortes Páez et al., 2015**).

Existen algunas condiciones que permiten la movilidad del níquel en el suelo, dicha movilidad es media en medios oxidantes, y muy baja en pH neutros o alcalinos, esta movilidad aumenta con la acidez. Otro factor que podría aumentar la movilidad del metal en carbonatos y óxidos es la MO, además que esta puede disminuir la capacidad de adsorción por medio de arcillas, tomando en cuenta que los ligandos de este metal con compuestos orgánicos no son tan fuertes (**Sierra, 2005**).

Según **Kabata-Pendias & Pendias (2000)** el Ni si no es detenido por las fracciones del suelo, forma complejos débiles con la materia orgánica, y en el transcurso del tiempo de descomposición, pasa a una forma química disponible en la solución del suelo y aumenta la capacidad de ser absorbido por las raíces.

3.2.1.4 Plomo (Pb)

En la Tabla 9 se representa los valores en mg de plomo por kg de suelo, dando resultados entre 1,644 y 2,346 mg/kg de suelo, calculados a partir de la curva de calibración para plomo (Anexo A). Los límites permisibles en el TULSMA para la calidad de suelo de uso agrícola son de 25 mg/kg, considerándose valores aceptables en cuanto a la concentración de Pb. Respectivamente se hizo un análisis estadístico para encontrar diferencias significativas entre los puntos de recolección, como resultados se identificó 2 grupos homogéneos, los cuales tienen una leve diferencia significativa para un nivel de confianza del 95%.

Tabla 9 Concentración de Pb en muestra de un suelo agrícola con su respectivo límite permisible

Metal	Muestra	Absorbancia \bar{X}	Concentración [mg/kg _{suelo}]	Límite permisible
Pb	M₁	0,069	2,346 ± 0,190 ^b	25 mg/kg
	M₂	0,051	1,644 ± 0,308 ^a	TULSMA (2013)
	M₃	0,054	1,746 ± 0,242 ^a	
	M₄	0,055	1,792 ± 0,345 ^a	
	M₅	0,067	2,276 ± 0,342 ^b	

^{a,b} Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Los valores son expresados como media ± DE ($n = 5$). Los valores de absorbancias son expresados como promedio ($n = 3$).

En comparación con los resultados de concentración que se encontraron en un estudio de lixiviación de Cd, Hg y Pb en suelos derivados de cenizas volcánicas realizado por **Pinochet, Aguirre, & Quiroz, (2002)**, en donde a una profundidad de recolección de suelo de 15-30 cm, se analizó diferentes parámetros físicos y químicos, en el cual se determinó la concentración de Pb, arrojando resultados entre 1,50 mg/kg similares a los obtenidos en el presente estudio.

El plomo se puede encontrar en dos estados de oxidación estable, Pb (II) y Pb (IV), siendo el primero el cual se encuentran en mayor cantidad en el suelo. La movilidad del plomo es baja, pero aumenta con la acidez; la materia orgánica y los complejos son factores que aumentan la fijación del plomo al suelo, evitando así la contaminación de las aguas freáticas (**Zindahl y Skogerboe, 1977**). Tomando en cuenta la cantidad de materia orgánica y pH en el suelo estudiado se puede considerar la presencia de plomo,

pero en muy bajas concentraciones ya sea por la ausencia de fertilizantes azufrados con los cual el plomo aumenta su biodisponibilidad para los cultivos y por ende aumenta la concentración en el suelo, siendo remplazados dichos fertilizantes por abonos orgánicos.

3.2.1.5 Cadmio (Cd)

En la Tabla 10, se presentan las concentraciones de Cd en mg por kg de suelo, donde se puede apreciar valores entre 0,386 y 0,395 mg/kg para la fracción soluble en agua regia, calculados a partir de la curva de calibración para el cadmio (Anexo A), y en un análisis estadístico se puede determinar que no existe diferencia significativa para un nivel de confianza del 95% en los datos obtenidos de concentración. De acuerdo con los resultados obtenidos estos son considerados entre los valores aceptables para un suelo de calidad de uso agrícola, según el límite permisible del TULSMA, es de 0,5 mg/kg.

Tabla 10 Concentración de Cd en muestra de un suelo agrícola con su respectivo límite permisible

Metal	Muestra	Absorbancia \bar{X}	Concentración [mg/kg _{suelo}]	Límite permisible
Cd	M₁	0,082	0,391 ± 0,017 ^a	0.5 mg/kg
	M₂	0,082	0,386 ± 0,029 ^a	
	M₃	0,083	0,395 ± 0,022 ^a	TULSMA (2013)
	M₄	0,083	0,395 ± 0,019 ^a	
	M₅	0,083	0,395 ± 0,013 ^a	

^a Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes (p<0.05). Los valores son expresados como media ± DE (n= 5). Los valores de absorbancias son expresados como promedio (n=3).

El cadmio es considerado un metal de gran toxicidad y su factor de bioacumulación según datos bibliográficos es muy alto a nivel radicular en las plantas. Se considera que el suelo tiene una mayor retención de Cd, presuntamente sea por diversos factores como pH, capacidad de intercambio iónico, materia orgánica, óxidos de Fe y Mn, además de arcillas silicatas, llegando a encontrarse el Cd como precipitado, biodisponible o formación de complejos en la materia orgánica, además que dichos óxidos suelen tener mucha afinidad por el Cd reteniéndolo en el suelo y disminuyen la absorción por las plantas (Pinochet et al., 2002). En un estudio realizado por Insuasty,

Burbano, & Menjivar, (2008) se determinó el contenido de Cd en tres suelos recolectados de uso agrícola en especial para cultivos de papa, de la misma manera se hizo un análisis del suelo previo, llegando a tener valores entre 0,77 a 1,2 mg/kg, determinando que dichos suelos están siendo tratados con ciertos fertilizantes químicos como los fosfatados que son fuentes de Cd.

Es por ello que se obtendría valores regularmente altos, sin embargo en comparación con los resultados obtenidos en el presente estudio se denota una cantidad inferior con respecto a la concentración de Cd presente en el suelo, esto se puede considerar ya sea por la aplicación de estiércol como fertilizante que en su composición química contiene un 90% de trazas de Cd, a su vez la presencia de Cd en dicho suelo se deba a la influencia de actividad volcánica que es considerado como una fuente natural de este elemento.

De acuerdo con un estudio realizado por **Abanto, (2016)** la composición de las rocas madres y los procesos de meteorización tienen una gran influencia en la concentración de metales pesados en el suelo, la gran mayoría de volcanes contienen rocas ígneas, que al ser volatilizadas en procesos eruptivos llegan a alterar la concentración del suelo y dependiendo de la acidez del mismo habrá una mayor movilidad de dichos metales en el suelo; dentro de los elementos que están presentes en estas rocas es el Cd con una concentración de 0,12 mg/kg; todos estos factores en conjunto pueden aumentar la concentración del metal en el suelo, tomando en consideración que ciertos cultivos en suelos francos arenosos con poca materia orgánica tienen mayor capacidad de absorción de este metal junto con el zinc.

3.2.2 Sistema de atomización por llama

El empleo de este sistema se considera cuando se asume la presencia de altas concentraciones de metales disponibles en la matriz, en este sistema se utiliza un mechero de flujo laminar que maneja un nebulizador de tubo concéntrico, donde el elemento se nebuliza, se une a un gas oxidante y un combustible que luego es pasado por una llama, lo cual confiere al método reproducibilidad y sensibilidad (**Molina, 2013**), llevando así a los átomos de los electrones a ser promovidos a orbitales más altos permitiendo llegar a su estado primordial debido a la absorción de energía que es proporcional a la concentración del elemento que se analiza (**Gallegos, Vega, & Noriega, 2012b**).

A continuación, se presenta los resultados de los contenidos de metales en la muestra de suelo de la fracción soluble en agua regia, denominados totales, analizados por el sistema de atomización por llama.

3.2.2.1 Manganeso (Mn)

En la Tabla 11 se presenta la concentración en mg de Mn por kg suelo, presente en un suelo agrícola, como resultados se obtuvo valores entre 150,370 y 182,132 mg/kg en la fracción soluble de agua regia; los resultados se calcularon a partir de una curva de calibración para Mn (Anexo B). Con respecto al análisis estadístico se identificó dos grupos homogéneos, en el primero no existe una diferencia significativa para un nivel de confianza del 95%, en la muestra 5 se encuentra una leve diferencia significativa con respecto a la variación de datos en la concentración.

Tabla 11 Concentración de Mn en muestra de un suelo agrícola con su respectivo límite permisible

Metal	Muestra	Absorbancia	Concentración	Límite permisible
		\bar{X}	[mg/kg _{suelo}]	
Mn	M ₁	0,103	158,709 ± 8,272 ^a	437 mg/kg
	M ₂	0,098	150,370 ± 11,810 ^a	(Kabata-
	M ₃	0,105	161,214 ± 13,275 ^a	Pendias &
	M ₄	0,101	155,345 ± 21,916 ^a	Pendias,
	M ₅	0,119	182,132 ± 8,045 ^b	2000)

^{a,b} Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Los valores son expresados como media ± DE (n= 5). Los valores de absorbancias son expresados como promedio (n=3).

Con respecto a los resultados no se encontró información sobre el límite permisible para la calidad del suelo de uso agrícola a nivel nacional. Sin embargo, según **Kabata-Pendias & Pendias, (2000)** en el estudio sobre trazas de metales en suelo y plantas, se considera que el Mn es uno de los elementos más abundante en la litosfera y en rocas madres llegando dentro de estas a concentraciones de 350 a 500 mg/kg; sin embargo dichos autores registran una concentración de Mn para suelos a nivel mundial de 437 mg/kg, poniendo en consideración las medias presentes en diferentes tipos de suelos. Con respecto a esta información, la concentración del suelo analizado en el presente estudio, se encuentra dentro de los niveles internacionales de concentración de dicho metal en el suelo.

Tomando en cuenta la afectación del Mn en las plantas se puede considerar un estudio, que de acuerdo con **Lindsay & Norvell (1978)** para recomendaciones de fertilización se debe establecer un valor crítico en el cual el metal sea un limitante en el desarrollo vegetal, determinado para Mn un valor mínimo de 0.1 mg/kg.

El Mn además de estar relacionado con la distribución de materia orgánica en el perfil del suelo y su profundidad; existe la presencia de valores de concentración altos en la superficie, ya que tiene gran afinidad por los complejos órgano-minerales que evitan la lixiviación (**Pazos & Bech, 2007**). En comparación con un estudio realizado por **Prato & Gomez, (2014)** sobre la aplicación del manganeso en la espinaca, determinó que contenidos menores a 500 mg/kg de Mn activo es intercambiable y más fácilmente reducido por las plantas y así evitando la fitotoxicidad en las mismas.

3.2.2.2 Cobre (Cu)

Se presenta los resultados de concentración en mg de Cu por kg suelo en la Tabla 12, los valores de Cu presentes en un suelo agrícola se encuentran entre 14,288 y 20,274 mg/kg en la fracción soluble de agua regia; estos resultados se obtuvieron a partir de la curva de calibración para el cobre (Anexo B). Según los límites permisibles establecidos en el TULSMA para calidad de suelos de uso agrícola debe ser hasta 30 mg/kg de suelo, además en un análisis estadístico se identificó 3 grupos homogéneos, no se encontró diferencias significativas dentro de los grupos, y entre los grupos existen leves diferencias significativas para un nivel de confianza del 95%.

Tabla 12 Concentración de Cu en muestra de un suelo agrícola con su respectivo límite permisible

Metal	Muestra	Absorbancia	Concentración	Límite permisible
		\bar{X}	[mg/kg _{suelo}]	
Cu	M ₁	0,077	16,568 ± 1,371 ^b	30 mg/kg
	M ₂	0,066	14,288 ± 1,183 ^a	
	M ₃	0,078	16,802 ± 1,146 ^a	TULSMA (2013)
	M ₄	0,067	14,554 ± 1,283 ^b	
	M ₅	0,094	20,274 ± 0,956 ^c	

^{a,b,c} Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes (p<0.05). Los valores son expresados como media ± DE (n= 5). Los valores de absorbancias son expresados como promedio (n=3).

El cobre es un metal indispensable para los organismos, que en elevadas concentraciones se torna toxico tomando en cuenta que estos valores están dentro de los valores permitidos para un suelo de calidad. Este metal se puede encontrar formando complejos solubles, inorgánicos y orgánicos; además, se encuentran formando minerales; este puede existir unido al complejo de cambio catiónico.

Los resultados obtenidos se comparan con un estudio sobre la determinación de metales pesados en suelos agrícolas realizado por Acosta, (2007) en donde se obtuvo rangos para un suelo analizado en el valle de Mezquital de 21 a 96 mg/kg de cobre, asumiendo que los valores altos se dan por ser zonas nuevas relativamente, que emplean aguas residuales para el riego, este rango se encuentra por encima de los límites permisibles. Considerando que las concentraciones (20-100 mg/kg) se considera fitotóxico, estos se acumulan en las plantas; la acumulación del metal va a depender del tipo de planta. Por lo general no se acumulan en las hojas, llegando a comprometer a más cultivos de tipo tubérculos que al tipo de compuestas y crucíferas; se considera que las concentraciones de dicho metal en el estudio actual del suelo están dentro de los límites con respecto al estudio en comparación.

Un estudio realizado por **Gerding & Thiers, (2002)** sobre la caracterización de suelos de bosques de distintas especies en la región Coigue Magallanes, característico por tener suelos jóvenes, muy influenciados por actividad volcánica, topográfica y clima. Se determino la concentración de metales, entre los cuales estaba el Cu con valores de 12 mg/kg, esto se puede considerar por varias razones ya que son originarios de cenizas volcánicas y han sufrido un proceso de podzolización en el cual los suelos sufren altos niveles de acides alterando la fase mineral, liberando metales por percolación. En comparación a este punto la concentración presente de Cu en el suelo del actual estudio tiene valores que sobre pasan a los mencionados en dicho estudio, ya que estos suelos son considerados medianamente ácidos, por lo cual no pierde metales en procesos de percolado y se acumulan en la superficie.

3.2.2.3 Zinc (Zn)

En la Tabla 13 se muestra los valores de concentración en mg de Zn por kg suelo. Los valores de concentración de Zinc se encuentran entre 17,359 y 21,366 mg/kg suelo, los resultados se calcularon a partir de una curva de calibración de zinc (Anexo B).

Mediante un análisis estadístico se identificó dos grupos homogéneos, el segundo grupo tiene una leve diferencia significativa para un nivel de confianza del 95%.

Tabla 13 Concentración de Zn en muestra de un suelo agrícola con su respectivo límite permisible

Metal	Muestra	Absorbancia	Concentración	Límite permisible
		\bar{X}	[mg/kg _{suelo}]	
Zn	M₁	0,089	20,845 ± 2,004 ^b	60 mg/kg TULSMA (2013)
	M₂	0,077	17,359 ± 2,558 ^a	
	M₃	0,091	21,366 ± 1,556 ^b	
	M₄	0,080	18,191 ± 1,865 ^a	
	M₅	0,090	21,161 ± 1,301 ^b	

^{a,b} Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Los valores son expresados como media ± DE (n= 5). Los valores de absorbancias son expresados como promedio (n=3).

Con respecto a los valores obtenidos de concentración estos se encuentran dentro de los límites permisibles presentados en el TULSMA, siendo el límite de 60 mg/kg. Los resultados obtenidos son relativamente bajos en comparación con un estudio de cuantificación de metales pesados en cultivos de fresas en México, se analizó muestras de suelos de origen volcánico y que han tenido afectación de actividad volcánica, obteniendo valores de concentración de Zn muy altos entre los 30 mg/kg suelo, asumiendo su elevada concentración la aplicación de agroquímicos que se aplican durante y después de la producción de fresas (Lopez, Zuñiga, Cruz, Diaz, & Rayas, 2017).

La concentración de Zn en el presente estudio se encuentra entre los límites permisibles, sin embargo, al comparar los resultados del estudio de cultivos de fresas, la concentración de Zn en el presente suelo está por debajo de dicha concentración, asumiendo la baja influencia de agroquímicos durante los cultivos, pero tomando en consideración la presencia de ceniza volcánica, aportando así, un aumento leve de concentración del elemento zinc.

3.2.2.4 Potasio (K)

En la Tabla 14 se presenta la concentración en mg de Potasio por kg suelo de muestra recolectada. La concentración de potasio dio como resultados valores entre 79,366 y

99,894 mg/kg para la fracción soluble en agua regia, los resultados se calcularon a partir de la curva de calibración para el potasio (Anexo B).

Con respecto al análisis estadístico se identificó dos grupos homogéneos con una leve diferencia significativa entre ellos para un nivel de confianza del 95%, también se evidencia una diferencia significativa en la muestra 1 la cual comparte variabilidad dentro de los dos grupos homogéneos.

Tabla 14 Concentración de K en muestra de un suelo agrícola con su respectivo límite permisible

Metal	Muestra	Absorbancia \bar{X}	Concentración [mg/kg _{suelo}]	Límite permisible
K	M₁	0,480	92,256 ± 15,644 ^{ab}	78,2-156,4 mg/kg (ICA, 1992)
	M₂	0,424	79,366 ± 10,493 ^a	
	M₃	0,438	82,477 ± 8,820 ^a	
	M₄	0,512	99,894 ± 6,546 ^b	
	M₅	0,496	96,237 ± 3,365 ^b	

^{a,b} Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Los valores son expresados como media ± DE (n= 5). Los valores de absorbancias son expresados como promedio (n=3).

El potasio es uno de los elementos más nutritivos para las plantas ya que este actúa en el crecimiento vegetativo, la fructificación, maduración y por ende en la calidad de frutos. Las plantas obtienen el potasio en suelo, que proviene de la meteorización de rocas, de minerales, así como también de abonos orgánicos y fertilizantes potásicos (Conti, 2004). Dentro de la norma de calidad de suelos agrícolas postulada en el TULSMA no se indica el límite permisible. Sin embargo en comparación con un estudio realizado por Becerra, Navia, & Ñutez, (2007) sobre el efecto del fósforo y potasio en los cultivos de papas en Colombia, se analizaron dos tipos de suelos, uno de los más semejantes a las características del suelo estudiado, caracterizado como andisol según el autor, se determinó la concentración de K, obteniendo valores de 164,2 mg/kg.

Según la norma de fertilización en diversos cultivos, del Instituto Colombiano Agropecuario está en un nivel alto de aceptación, y en comparación con los datos obtenidos en el presente estudio según ICA, (1992) los valores entran en niveles medios de concentración de 78,2 a 156,4 mg/kg suelo. Los resultados obtenidos se

puede deber a la aplicación de fertilizantes por parte de los agricultores, siendo valores óptimos para ciertos cultivos tomando referencia un estudio realizado por **Moron, (2010)** sobre la fertilidad de suelos y nutrición en sistemas agropecuarios, se determinó valores óptimos para cultivos como el de la alfalfa, entre valores de 80 mg/kg de concentración de potasio en el suelo.

3.2.2.5 Magnesio (Mg)

En la Tabla 15 se muestra las concentraciones de Magnesio para las muestras recolectadas. Los resultados de concentración de magnesio para la fracción soluble en agua regia dieron valores entre 1757,303 y 1987,093 mg/kg, los resultados se calcularon a partir de la curva de calibración para el Mg (Anexo B); mediante un análisis estadístico no se evidenció diferencias significativas entre los resultados de las muestras para un nivel de confianza del 95%.

Tabla 15 Concentración de Mg en muestra de un suelo agrícola con su respectivo límite permisible

Metal	Muestra	Absorbancia \bar{X}	Concentración [mg/kg _{suelo}]	Límite permisible
Mg	M₁	0,329	1987,093 ± 189,374 ^a	977,5 mg/kg (ICA, 1992)
	M₂	0,316	1921,320 ± 128,324 ^a	
	M₃	0,304	1851,045 ± 280,659 ^a	
	M₄	0,286	1757,303 ± 205,023 ^a	
	M₅	0,298	1824,280 ± 276,387 ^a	

^a Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Los valores son expresados como media ± DE (n= 5). Los valores de absorbancias son expresados como promedio (n=3).

Con respecto a los valores obtenidos no se encontró un límite permisible, sin embargo, se encontró una estimación para niveles críticos de este nutriente considerado como base intercambiable según **ICA, (1992)**, determinando un estimado conceptual de Mg en el suelo, con respecto a los valores obtenidos son considerados altos ya que se encuentran por sobre el valor de 977,5 mg/kg.

El magnesio es un elemento muy indispensable para la planta, en concentraciones adecuadas este elemento mejora la actividad fotosintética de las hojas; En comparación al estudio realizado por **Becerra et al., (2007)** sobre los efectos de fósforo y potasio sobre el rendimiento de cultivos de un tipo de papa, se hizo un análisis previo en dos

suelos propios de la región derivados de cenizas volcánicas en los cuales se determinó en el suelo bases intercambiables, uno de los más importantes el Mg, obteniéndose valores entre 1173 a 1857,3 mg/kg.

Esto indica que al ser suelos francos limosos y de origen volcánico, y además de tener una de las características más comunes en estos suelos como la alta saturación de bases y por la baja acidificación, se evita la percolación del magnesio y así su acumulación en el mismo, es por ello que se puede considerar la alta concentración encontrada en el suelo estudiado, además que también se pueda considerar la presencia de fertilizantes que aumente la cantidad de Mg en el suelo y por ende a su retención en el mismo por sus características.

3.2.2.6 Hierro (Fe)

En la Tabla 16 se presenta las concentraciones de Fe en las muestras recolectadas de un suelo agrícola. Los resultados de las contracciones se encuentran entre valores de 2846,517 y 3179,267 mg/kg, datos calculados a partir de la curva de calibración para el hierro (Anexo B). Mediante un análisis estadístico no se evidencio diferencias significativas entre los puntos de recolección para la determinación de concentración de Fe para un nivel del 95% de confianza.

Tabla 16 Concentración de Fe en muestra de un suelo agrícola con su respectivo limite permisible

Metal	Muestra	Absorbancia \bar{X}	Concentración [mg/kg _{suelo}]	Limite permisible
Fe	M ₁	0,206	3179,267 ± 339,150 ^a	1000 mg/kg (Acevedo, Ortiz, Cruz, & Cruz, 2004)
	M ₂	0,201	3110,109 ± 343,176 ^a	
	M ₃	0,195	3001,115 ± 419,702 ^a	
	M ₄	0,184	2846,517 ± 278,690 ^a	
	M ₅	0,198	3055,078 ± 474,276 ^a	

^a Valores en la misma columna acompañados de letras diferentes son significativamente diferentes (p<0.05). Los valores son expresados como media ± DE (n= 5). Los valores de absorbancias son expresados como promedio (n=3).

No se encontraron valores de límites permisibles a nivel nacional, sin embargo, en un estudio realizado por **Acevedo, Ortiz, Cruz, & Cruz, (2004)** sobre los óxidos de hierro en el suelo mencionan que la cantidad de dicho metal varían dependiendo del

tipo de suelo y de roca madre, postulando que la cantidad de hierro intercambiable en los suelos se deberían encontrar entre los valores de 1 a 1000 mg/kg; por lo contrario, se desconoce la concentración de hierro en solución del suelo que permita una velocidad optima de crecimiento para diferentes cultivos.

Una de las probabilidades de que la planta no pueda absorber con mayor eficiencia el hierro es debido a que en la interface de suelo y raíz, haya una descomposición de complejos férricos y estos se reduzcan a Fe^{3+} ; por lo general las plantas los absorben como Fe^{2+} o como quelato, llegando a tener concentraciones dentro de la planta de 20 a 3000 mg/kg (**Castellanos *et al.*, 2000**). Debido al pH medio acido del suelo analizado se puede determinar que la formación de disoluciones de óxidos de hierro es lenta, esto se produce cuando el Fe(III) pasa a Fe(II) debido a la transferencia de electrones; una vez que se integre el oxígeno en el suelo se formaran nuevos óxidos de hierro, esta característica puede afectar en la movilidad del hierro en el perfil, por lo cual se puede considerar las concentraciones altas obtenidas en el estudio actual.

En un estudio sobre la disponibilidad de Cu, Fe, Mn, Zn en suelos del NO argentino realizado por **Roca, Pazos, & Bech, (2007)** determinaron las concentraciones de los diferentes metales totales en suelos de diferentes características, sin embargo se obtuvo una media de concentración de Fe en los suelos de 2780 mg/kg, atribuyendo a la alta capacidad de adsorción de coloides en suelos carbonatados, haciendo que la absorción por parte de las plantas no dependa de la cantidad del elemento en el suelo, sino de factores como pH, contenido de materia orgánica y distribución granulométrica.

A continuación, se presentan los valores resultantes de las concentraciones promedio de cada elemento analizado y los límites permisibles según normas nacionales e internacionales (Tabla 17).

Ver siguiente página

Tabla 17 Resumen de concentración de metales totales en un suelo agrícola del cantón Quero y sus límites permisibles.

Elemento	Metales Totales mg/kg _{suelo}					Limite permisible
	M1	M2	M3	M4	M5	
Co	9,642	9,863	8,353	8,134	9,313	10 mg/kg (TULSMA, 2003)
Sr	10,762	10,456	10,039	9,160	14,721	715 a 1000 mg/kg (Kabata-Pendias & Pendias, 2000)
Ni	10,173	9,932	7,894	8,256	8,741	20 mg/kg (TULSMA, 2003)
Pb	2,346	1,644	1,746	1,792	2,276	25 mg/kg (TULSMA, 2003)
Cd	0,391	0,386	0,395	0,395	0,395	0,5 mg/kg (TULSMA, 2003)
Mn	158,709	150,370	161,214	155,345	182,132	437 mg/kg (Kabata-Pendias & Pendias, 2000)
Cu	16,568	14,288	16,802	14,554	20,274	30 mg/kg (TULSMA, 2003)
K	92,256	79,366	82,477	99,894	96,237	78,2-156,4 mg/kg (ICA, 1992)
Zn	20,845	17,359	21,366	18,191	21,161	60 mg/kg (TULSMA, 2003)
Mg	1987,093	1921,320	1851,045	1757,303	1824,280	977,5 mg/kg (ICA, 1992)
Fe	3179,267	3110,109	3001,115	2846,517	3055,078	1000 mg/kg (Acevedo, Ortiz, Cruz, & Cruz, 2004)

3.2.3 Límites de detección y cuantificación para suelo

Los límites de detección y cuantificación son considerados como la señal más pequeña de un analito que puede ser reconocido por el equipo de absorción atómica. Siendo identificado por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada el límite de detección como la más baja concentración de analito que se puede determinar estadísticamente más bajo que el blanco analítico. Mientras que el límite de cuantificación hace referencia a la cantidad más pequeña del analito que se puede cuantificar fidedignamente por el equipo (Quino, Ramos, & Guisbert, 2007).

Tabla 18 Límites de detección y cuantificación de metales.

Metal	Metales Totales	
	LOD, mg/kg	LDQ, mg/kg
Co	0,233	0,775
Sr	0,500	1,700
Ni	0,275	0,920
Pb	0,260	0,870
Cd	0,042	0,139
Mn	1,390	4,630
Cu	0,600	2,001
K	0,260	0,875
Zn	0,600	2,005
Mg	0,150	0,505
Fe	2,660	8,875

LOD: Límites de detección; **LOQ:** Límites de cuantificación

En la Tabla 18 se presenta los límites de detección y de cuantificación; generalmente estos valores son muy bajos; se calculó los límites de detección para metales totales en el suelo, siendo los valores más altos de concentración para el hierro y manganeso; obviamente son los metales con mayor concentración presentes en el suelo de estudio; por su contraparte el valor más bajo de límite de detección es del cadmio con 0,042 mg/kg, ya que este elemento se encuentra en cantidades considerablemente bajas para este tipo de suelo (Ver Tabla 10).

3.3 Verificación de hipótesis

Una vez finalizados los análisis correspondientes a la muestra de suelo agrícola del cantón Quero, se acepta la hipótesis nula, ya que no existe diferencias significativas relacionadas con el contenido de metales, y, por tanto, no tiene relación directa con los factores fisicoquímicos, además de que su concentración no supera los límites permisibles de acuerdo a las normas de calidad del suelo.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se evaluó los parámetros fisicoquímicos y el contenido metales totales presentes en un suelo agrícola del cantón Quero, influenciado por las cenizas del volcán Tungurahua; siendo las principales características para determinar la calidad del suelo para las actividades agrícolas ya que permitió tener una idea del grado de suficiencia de nutrientes considerando al suelo de estudio como apto para la agricultura.

Se realizó un análisis fisicoquímico del suelo agrícola del cantón Quero. De acuerdo a los valores de pH oscilaban entre 5.4 a 5.6, considerado como un suelo medianamente ácido; materia orgánica, con valores <4% y conductividad, valores <1dS/m, siendo un suelo de casi nula salinidad. En cuanto a los valores resultantes de humedad en el suelo, se encontraron entre 72.372% a 81.526% de humedad relativa, fácilmente identificable por las variaciones climáticas de la región sierra y sus constantes fluctuaciones de precipitación, debido a la altura y localización del suelo.

Los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico han podido caracterizar el suelo agrícola del cantón Quero, clasificándolo bibliográficamente como un suelo andisol, ya que comparte múltiples similitudes en sus características, como su baja conductividad eléctrica que por lo general este tipo de suelos comparten, al poseer una parte franca arenosa y de limo que permite una mayor percolación de sales entre las fases del suelo.

Se estableció una mejor adaptación de dichas metodologías al suelo permitiendo un tratamiento adecuado de las muestras, teniendo en cuenta desde la disposición geográfica, donde mediante la adaptación del muestreo simple conjunto con el método sistemático de cuadrícula, se estableció 5 puntos de recolección en un parcela de suelo de uso agrícola; la mayoría de metales por su afinidad a ciertos estratos y por la composición misma del suelo de formar cristales por la influencia de ceniza volcánica

y otros factores, estos se retiene en la superficie del suelo, llegando a determinar una profundidad optima de 20 cm para recolección de suelo; el análisis de los parámetros fisicoquímicos se realizan en un medio controlado, sin intervención de factores externos; sin embargo para el análisis de metales; una solución de agua regia para la extracción de metales totales del sustrato en este caso suelo, se realiza en función y con adaptación al método estadounidense EPA 3050B "digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos", conocido como digestión acida, con la aplicación de ácidos muy fuertes como el HNO_3 y HCl en relación 3:1, ya que el empleo de ambos ácidos digiere con gran efectividad la mayoría de muestras y más en efectos de diferentes enmiendas orgánicas en las propiedades del suelo en análisis.

Se determinó el contenido de metales totales presentes en un suelo agrícola del cantón Quero, por medio de absorción atómica, empleando los dos sistemas de atomización, por llama y horno de grafito. Tomando en consideración los límites permisibles establecidos a nivel nacional o internacional como así también los límites establecidos por diferentes estudios sobre el impacto de algunos metales en el suelo y sus plantaciones, para así tener una idea de la calidad de suelo y su influencia en los cultivos; dentro de los metales analizados por horno de grafito, se encuentran el Co, Sr, Ni, Pb y Cd según lo registrado se encuentran dentro de los límites permisibles e inclusive sin afectación a la planta de acuerdo a datos bibliográficos con respecto a la concentración analizada.

Los metales analizados por llama, se encuentran el Mn, Mg, Zn, Cu, Fe y K; estos metales en su mayoría no poseen un límite permisible según normas estandarizadas, sin embargo existen estudios los cuales permiten una aproximación de las repercusiones del contenido de dichos metales en el suelo; dentro de los metales que según estudios son de más precaución para los cultivos y por ende en el consumo humano, dentro de ellos están el Mn, Cu, K, Mg; los cuales permiten la maduración, crecimiento y desarrollo de las plantas, además de poseer mayor biodisponibilidad de absorción por las plantas; dichas concentraciones de estos elementos se encontraban dentro de los niveles críticos de forma mediana en la presencia del suelo, teniendo efectos sin repercusiones en el consumo y en la planta.

4.2 Recomendaciones

Analizar los cultivos específicos de dicho suelo agrícola en el cantón Quero, para determinar la biodisponibilidad de metales en el cultivo y por ende el impacto del consumo humano.

Implementar la aplicación de nuevas tecnologías en el manejo del suelo por parte de los agricultores para aumentar la calidad del suelo.

Desarrollar una recopilación de datos para la clasificación de suelos ecuatorianos distribuidos en la región Sierra tomando en cuenta los parámetros fisicoquímicos y concentración de metales.

Investigar suelos dedicados a la producción agrícola con mayor influencia y cercanía a volcanes activos en Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, M. (2016). Fuentes fosfatadas en dos suelos en la concentración de cadmio foliar en maíz bajo condiciones de invernadero (UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA). Recuperado de <https://tinyurl.com/ya8v7gcc>
- Acevedo, O., Ortiz, E., Cruz, M., & Cruz, E. (2004). Role of Iron Oxides in Soils. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 485–497.
- Acosta, M. (2007). Determinación de metales pesados en suelo agrícolas del Valle de Mezquital, HGO. (UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO). Recuperado de <https://tinyurl.com/y82reela>
- Aguirre, A. (2009). El manejo de la conductividad eléctrica en fertirriego.(CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA). Retrieved from <https://tinyurl.com/y7a753lb>
- AOAC. (2002). Official Method 999.11: Determination of Lead, Cadmium, Copper, Iron, and Zinc in Foods. Retrieved from <https://img.21food.cn/img/biaozhun/20100108/177/11285282.pdf>
- Bastidas, K., & Botina, A. (2018). Características fisicoquímicas del suelo y su asociación con la materia orgánica en diferentes sistemas productivos, Nariño. Retrieved from http://sired.udenar.edu.co/5450/1/ARTICULO_CIENTIFICO.pdf
- Becerra, L., Navia, S., & Ñutez, C. (2007). Vista de Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar ‘Criolla Guaneña’ en el departamento de Nariño. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 14(1), 51–60.
- Bernal, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, O., Gonzales, P., & Reyes, R. (2015). Características de los suelos y sus factores limitantes de la región de murgas, provincia la Habana. *Cultivos Tropicales*, 36(2), 30–40.
- Besma, B. D., & Mounir, D. (2010). Biochemical and mineral responses of okra seeds (*Abelmoschus esculentus* L. variety marsaouia) to salt and thermal stresses. *Journal of Agronomy*, 9(2), 29–37. <https://doi.org/10.3923/ja.2010.29.37>

- Black, M. M., Baqui, A. H., Zaman, K., Persson, L. A., Arifeen, S. El, Le, K., ... Black, R. E. (2004). Iron and zinc supplementation promote motor development and exploratory behavior among Bangladeshi infants. In *Am J Clin Nutr* (Vol. 80).
- Botello, A., Rendon, J., Gold, G., & Agraz, C. (2005). Golfo de México: contaminación e impacto ambiental : diagnóstico y tendencias (2.^aed., Vol. 1) - *Google Libros*.
- Buscio, V., Álvarez, M., & Gutierrez, M. (2009a). Determinación de metales pesados en tejidos mediante espectroscopia de absorción atómica con atomización electrotérmica (Disertación Doctoral). Recuperado de Boletín Intexter. N° 135
- Buscio, V., Álvarez, M., & Gutierrez, M. (2009b). Determinación de metales pesados en tejidos mediante espectroscopia de absorción atómica con atomización electrotérmica. Recuperado de Boletín Intexter. N° 135
- Calvache, M. (2014). El suelo y la productividad agrícola en la sierra del Ecuador. XIV Congreso de la Ciencia del suelo. Ecuador. Recuperado de Researchgate database.
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., & Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ruta*, 509(5000).
- Carrasco, M., & Grez, R. (2005). Métodos de análisis de compost. Recuperado de <http://www.schcs.cl/doc/libros/Análisis de compost.pdf>
- Castillo, R. (2019). Determinación de metales pesados procedentes del proceso eruptivo del Volcán Cotopaxi en pasto (*Cynodon dactylon*) y en los cultivos de papa (*Solanum Tuberosum*), de la zona ganadera de Machachi.(Tesis Magistral). Recuperado de Repositorio ESPE database. 040709
- Chambi, L. J., Orsag, V., & Niura, A. (2012). Evaluación de la presencia de metales pesados y arsénico en suelos agrícolas y cultivos en tres microcuencas del municipio de Poopó. *Revista boliviana de química*, 29(1), 10.
- Conti, M. E. (2004). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo.

Retrieved from
[http://lacs.ipni.net/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/\\$FILE/AA4.pdf](http://lacs.ipni.net/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/$FILE/AA4.pdf)

Cortes, L., Bravo, I., Peinado, F., & Menjivar, J. (2015). Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos contaminados (Andisol y Vertisol) enmendados con ácidos húmicos. 238. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n3.44485>

Cortés, L. E., Martín, F. J., & Sarria, M. M. (2017). Evaluación de la toxicidad de metales pesados en dos suelos agrícolas de Colombia mediante bioensayos. *TEMAS AGRARIOS*, 22(2), 42–45.

EPA. (1996). Acid digestion of sediments, sludges, and soils. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>

Espinosa, C. (2011). Geoquímica de un suelo desarrollado en los alrededores de una actividad minera: el caso de Barruecopardo. Recuperado de Semantic Scholar. Salamanca

Espinosa, J., & Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos. Retrieved from [http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez y encalado de suelos, libro por J Espinosa y E Molina.pdf](http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez_y_encalado_de_suelos_libro_por_J_Espinosa_y_E_Molina.pdf)

Estrada, W., Lescay, E., Álvarez, A., & Maceo, Y. (2004). Niveles de humedad en el suelo en la producción de bulbos de cebolla. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 112–117.

Etchevers, J., Saynes, V., & Sánchez, M. (2015). Manejo sustentable del suelo para la producción agrícola. 63–79.

FAO. (2010). Sistematización de prácticas para la gestión del riesgo por la erupción del volcán Tungurahua. Retrieved from www.fao.org/world/ecuador

FAO. (2014). El suelo. Retrieved from http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s01.htm

Federacion de Enseñanza de Cooperativa de Obreros Andalucía. (2011). Propiedades

de los Metales. Retrieved from
<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8631.pdf>

- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. In *ANALES Sis San Navarra* (Vol. 26).
- Gallegos, W., Vega, M., & Noriega, P. (2012a). Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. *LA GRANJA*, 15(1), 18–25
- Gallegos, W., Vega, M., & Noriega, P. (2012b). Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. *LA GRANJA*, 15(1), 18–25.
- García, L., & Schlatter, J. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciencias Agrarias*, 7(3), 456–464. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i3a1736>
- Gerding, V., & Thiers, O. (2002). Caracterización de suelos bajo bosques de *Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume, en Tierra del Fuego, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(4), 819–833. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2002000400015>
- Gobierno Provincial de Tungurahua. (2015). Modelo territorial deseado en Tungurahua. Retrieved from <http://www.tungurahua.gob.ec/images/archivos/transparencia/2017/AgendaTerritorialTungurahua2016.pdf>
- Guevara, A., Torre, E., Criollo, E., Valencia, L., Gallegos, B., & Mena, F. (2012). Evaluación de la influencia de la ceniza volcánica sobre suelos agrícolas aledaños al volcán Tungurahua. 6.
- Hincapié, E., & Tobon, C. (2012). Dinámica del Agua en Andisoles Bajo Condiciones de Ladera. In *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* (Vol. 65).
- ICA. (1992). Fertilización en diversos cultivos. Retrieved from https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/14124/27733_16902.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Insuasty, L., Burbano, H., & Menjivar, J. (2008). Dinámica del cadmio en suelos

- cultivados con papa en Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*, 57(1), 51–54.
- Jiménez, R. (2017). Introducción a la contaminación de suelos (3.a ed., Vol. 31).
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2000). Trace Elements Soils and Plants (Firts; CRC Press INC., Ed.). Retrieved from <https://hwbddocuments.env.nm.gov/Los Alamos National Labs/References/9372.PDF>
- Londoño, F., Londoño, L., & Muñoz, G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal risk of heavy metals in human and animal health risco de metais pesados na saúde humana e animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2). [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Lopez, G., Zuñiga, A., Cruz, R., Diaz, M., & Rayas, A. (2017). Cuantificación de metales pesados en el cultivo de la fresa (*fragaria xananassa* Duch. Var. Festival) en Tenancingo y Villa Guerrero estado de México. *Agroproductividad*, 10(10), 28–33.
- Mahecha, J., Trujillo, J., & Torres, M. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, *ORINIQUIA*. Vol. 19. N° 1. Colombia.
- Medina, G., & Mora, K. (2017). Acumulación de metales pesados en suelos agrícolas con cultivo de banano en el sector el moral, recinto santacruz, cantón la maná, provincia de Cotopaxi.(Tesis Magistral). Recuperado de repositorio UTEQ. 0036
- Meloni, D., Silva, D., Ledesma, R., & Bolzón, G. (2017). Nutrición mineral y fotosíntesis en plántulas de algarrobo blanco, *Prosopis alba* (Fabaceae), en estrés salino. *UNED Research Journal*, 9(2). <https://doi.org/10.22458/urj.v9i2.1903>
- Meriardi, M., Caulfield, L. E., Zavaleta, N., Figueroa, A., Costigan, K., Dominici, F., & Dipietro, J. (2004). Randomized controlled trial of prenatal zinc supplementation and fetal bone growth. *Am J Clin Nutr*, 5.
- Molina, C. (2013). Validación de las técnicas para la determinación de molibdeno, cromo y níquel en agua por EAA (UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA). Recuperado de Semantic Scholar database.
- Moron, A. (2010). Alfalfa: Fertilidad de suelos y estado nutricional en sistemas

agropecuarios de Uruguay. *Informaciones Agronomicas del Sur*.

Nuria Ferré-huguet, P., Schuhmacher, M., Llobet, J. M., Domingo, J. L. (2007). Metales pesados y salud. Toxicología, U. DE, Farmacia, F. DE, & Barcelona, U. DE.

Obiols, J. (2013). Espectrofotometría de absorción atómica, su aplicación en la industria del vidrio. Retrieved from <http://boletines.secv.es/upload/196908659.pdf>

Pazos, M., & Bech, J. (2007). Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del no argentino. In *7300 Azul* (Vol. 25).

Perestelo, R. (2017). Caracterización de Andisoles de alta montaña de la isla de La Palma. *Revista de la Universidad de Laguna. Seccion de Biologia*. p.34

Peris, M. (2006). Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de castellón (Disertación Doctoral). Recuperado de Servei de Publicacions. 84-370-6486-4

Piazza, M., Kitzberger, T., & Chaneton, E. (2018). La deposición de cenizas volcánicas modula la descomposición de hojarasca en bosques de *Nothofagus dombeyi* del norte de Patagonia. *Ecologia Austral*. Vol.28. 028-039.

Pinochet, D., Aguirre, J., & Quiroz, E. (2002). Estudio de la lixiviación de cadmio, mercurio y plomo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agrosur*, 30(1), 51–58. <https://doi.org/https://doi.org/10.4206/agrosur.2002.v30n1-07>

Polo, M. (2009). Análisis de la concentración de arsénico en tres alimentos: papas (*Solanum tuberosum*), zanahoria (*Dacus carota*) y leche cruda producidos en las zonas afectadas por el Volcán Tungurahua (Mocha - Quero) (Tesis). Recuperado de repositorio de ESPOCH.

Prato, A., & Gomez, M. (2014). Aplicación líquida edáfica y foliar de manganeso en espinaca (*Spinacia oleraceae* L.) cultivada en sustrato vermicompost. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLA*, 8(2), 262–271. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3219>

Quino, I., Ramos, O., & Guisbert, E. (2007). Determinación del límite de detección

- instrumental (LDI) y límite de cuantificación instrumental (LCI) en elementos traza de agua subterránea. *Rev. Bol. Quim*, 24(1).
- Radulovich, R. (2009). Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. *Agronomía Costarricense*, 1(33), 121-124.
- Rivera, R. (2017). Diseño de un modelo de gestión de calidad para producción de brócoli (*Brassica oleracea*), en la parroquia San Joaquín. (Universidad del Azuay). Retrieved from <http://201.159.222.99/bitstream/datos/6738/1/12734.pdf>
- Roca, N., Pazos, M. S., & Bech, J. (2007). Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del no Argentino. *Ciencia Del Suelo*, 25(1), 31-42.
- Romero, C. (2017). Determinación de cadmio y plomo por espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito en pastos del cantón Quero afectados por las cenizas del volcán Tungurahua (Tesis Magistral). Recuperado de repositorio UTA. BQ-126
- Rubio, C., González, D., Izquierdo, R., Revert, C., Rodríguez, I., & Hardisson, A. (2007). Alimentos funcionales: El zinc: oligoelemento esencial. *Nutr Hosp*, 22, 101-107.
- Sánchez, E. (2017). Análisis mineralógico y multielemental de la ceniza volcánica, colectada en una hacienda en el sector de machachi, por difracción de rayos x (XRD) y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), y sus posibles aplicaciones e impacto. Retrieved from <https://tinyurl.com/y7ste9qf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). Norma oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Recuperado de: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Sela, G. (2017). La conductividad eléctrica del suelo. Recuperado de <https://cropaia.com/es/blog/conductividad-electrica-suelo/>
- SEMARNAT. (2002). Norma oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Retrieved

from <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>

SENPLADES. (2014). Ficha de cifras generales cantón Quero. Retrieved from <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal> SNI 2014/FICHAS F/1806_QUERO_TUNGURAHUA.pdf

Sierra, M. (2005). Niveles de metales pesados y elementos asociados en suelos de la provincia de Almería. Parametros que los afectan y riesgo de contaminación. Recuperado de: <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/543/15344836.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sociedad Cooperativa Agropecuaria Provincial. (1986). Salinidad en los suelos : aspectos de su incidencia en regadíos de Huesca. (1st ed.; J. Herrero, Ed.). Diputación General de Aragón, Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes.

Sosa, D. (2012). Técnica de toma y resmisión de muestras de suelos. *INTA*, Vol. 5. Estacion Agropecuaria Serro Azul.

TULSMA. (2013). Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios remediacion para suelos contaminados. Recuperado de: <http://extwrlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>

USDA. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. 410. Recuperado de: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf

Valladares, G. S., de Camargo, O. A., de Carvalho, J. R. P., & Silva, A. M. C. (2009). Evaluación de metales pesados en suelos de una región de viñedos con el uso de análisis de componentes principales. *Scientia Agricola*, 66(3), 361–367. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000300011>

Zuñiga, F., Buenaño, M., & Risco, D. (2016). Caracterización física y química de suelos de origen volcánico con actividad agrícola, próximos al volcán Tungurahua. *Revista Ecuatoriana de Investigaciones Agropecuarias*, 1(1).5-10

ANEXOS

Anexo A.- Curvas de calibración para metales en horno de grafito

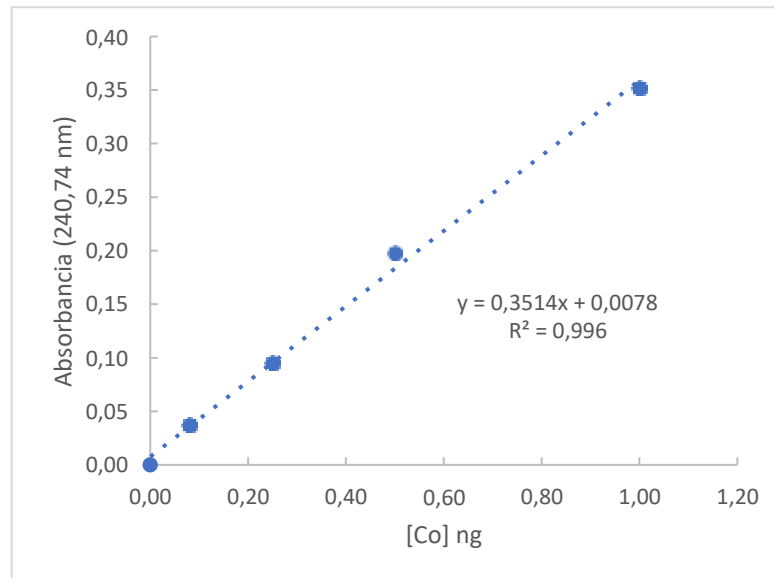


Figura 4 Curva de calibración de cobalto a partir de patrones acuosos medidos a 240,72 nm.

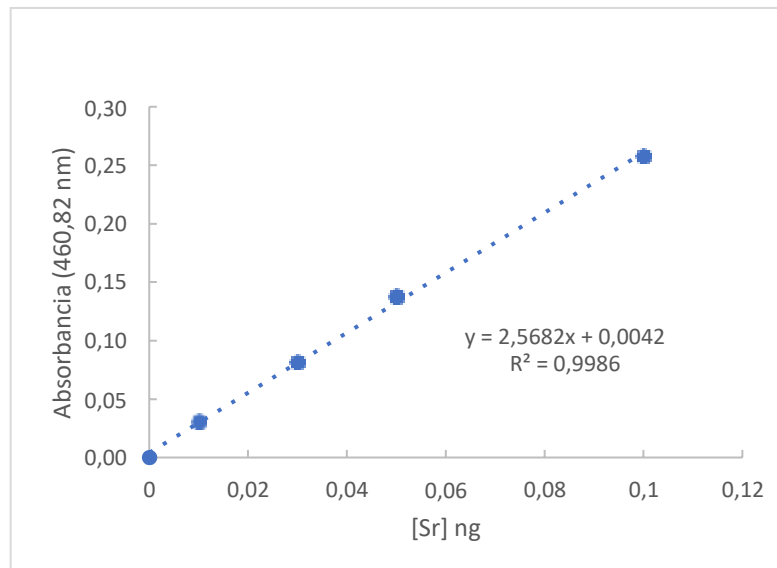


Figura 5 Curva de calibración de estroncio a partir de patrones acuosos medidos a 460,82 nm.

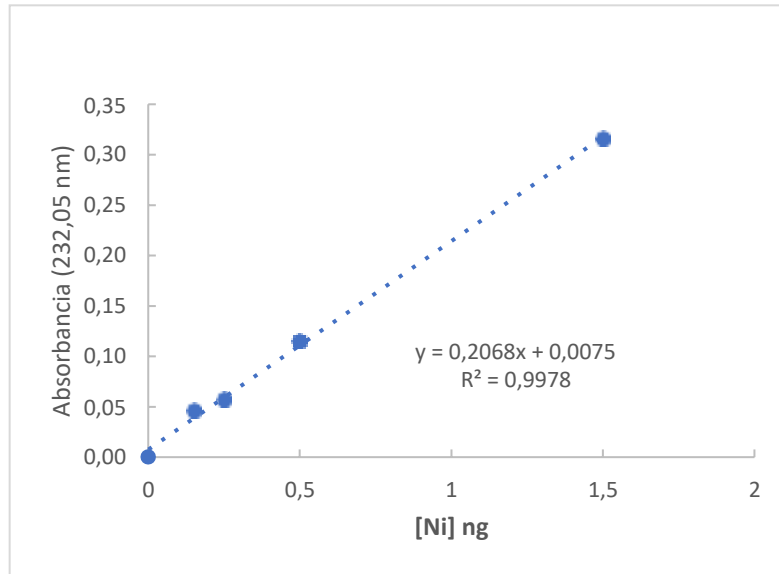


Figura 6 Curva de calibración de níquel a partir de patrones acuosos medidos a 232,05 nm.

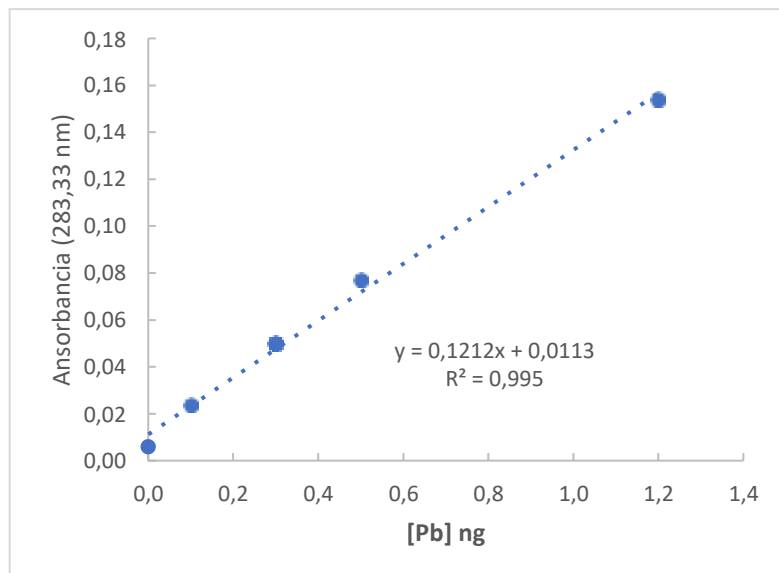


Figura 7 Curva de calibración de plomo a partir de patrones acuosos medidos a 283,33 nm.

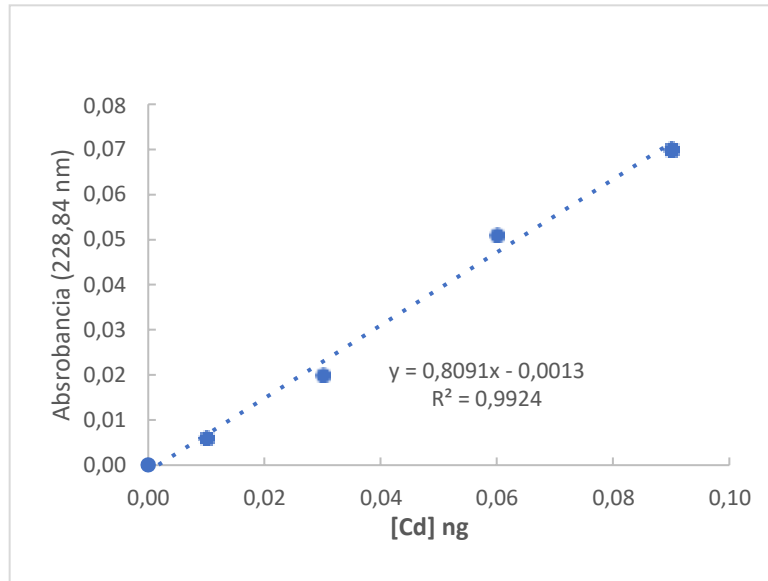


Figura 8 Curva de calibración de cadmio a partir de patrones acuosos medidos a 228,84 nm.

Anexo B.- Curvas de calibración para metales en sistema de llama

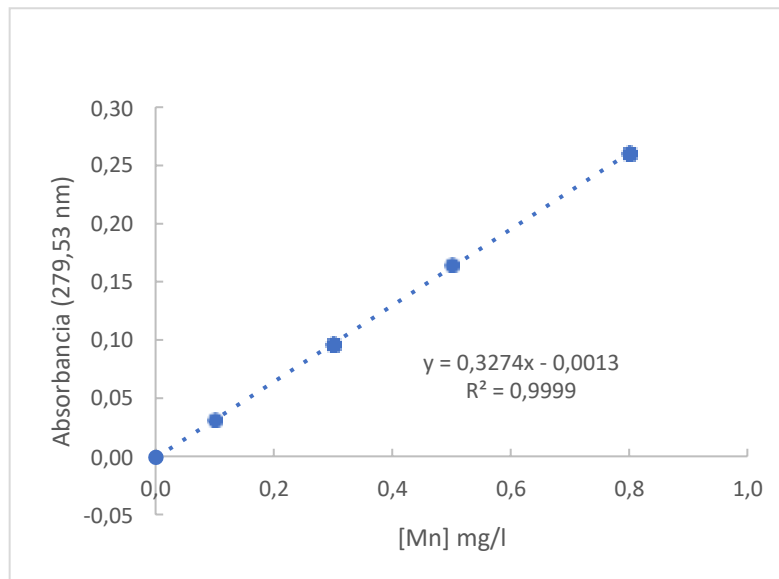


Figura 9 Curva de calibración de manganeso a partir de patrones acuosos medidos a 279,53 nm.

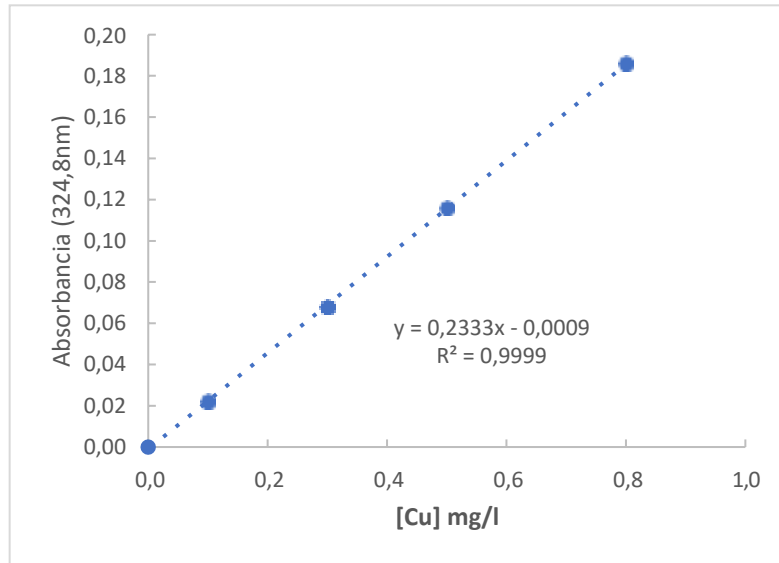


Figura 10 Curva de calibración de cobre a partir de patrones acuosos medidos a 324,80 nm.

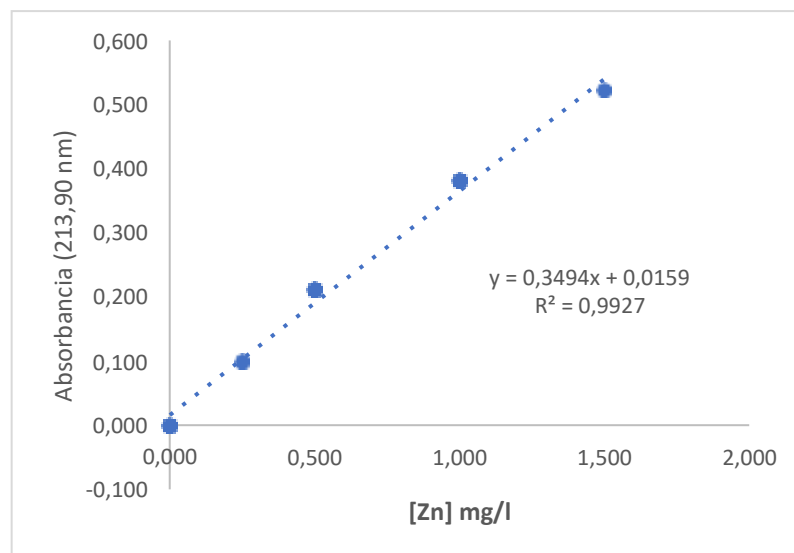


Figura 11 Curva de calibración de zinc a partir de patrones acuosos medidos a 213,90 nm.

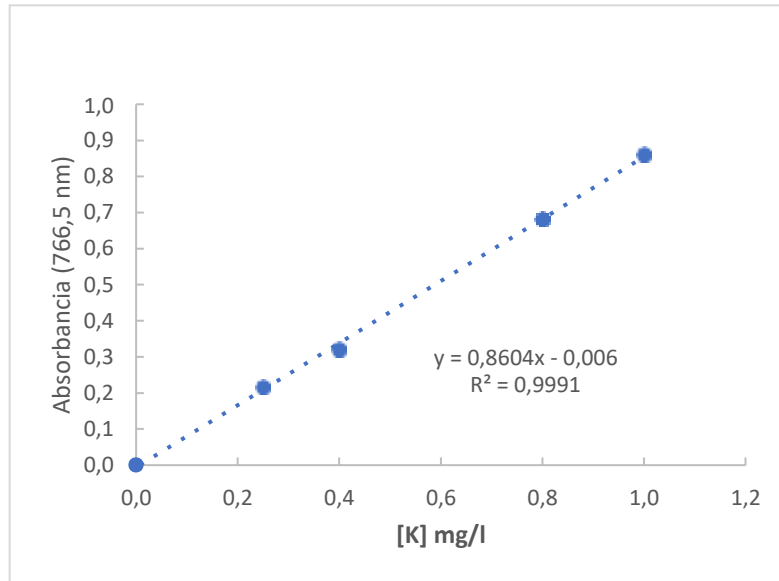


Figura 12 Curva de calibración de potasio a partir de patrones acuosos medidos a 766,50 nm.

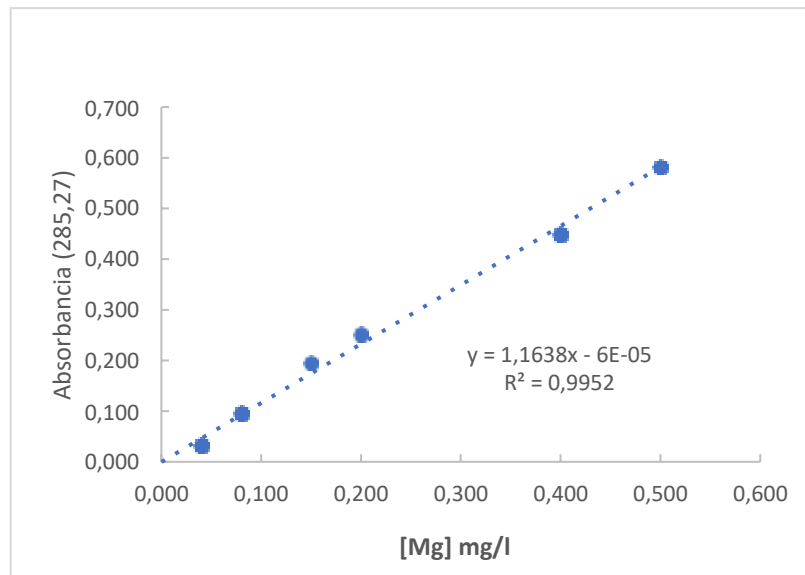


Figura 13 Curva de calibración de magnesio a partir de patrones acuosos medidos a 285,27 nm.

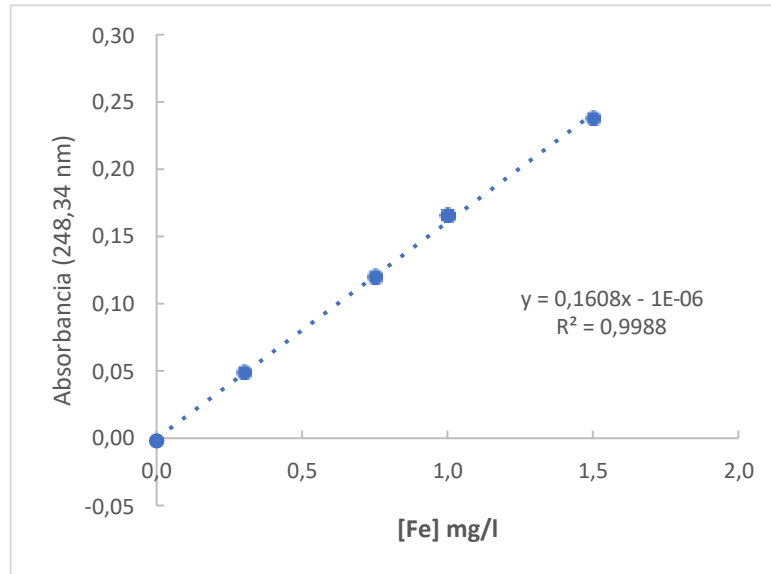


Figura 14 Curva de calibración de hierro a partir de patrones acuosos medidos a 248,34 nm.

Anexo C.- Condiciones iniciales del equipo

Tabla 19 Condiciones iniciales del equipo para cada elemento en la medición con horno de grafito

Parámetros de análisis	Cobalto (Co)	Estroncio (Sr)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Cadmio (Cd)
Línea analítica	240,72 nm	460,82 nm	232,05 nm	283,33 nm	228,84 nm
Ancho de ventana	0,2 nm	0,4 nm	0,2 nm	0,4 nm	0,4 nm
Factor filtro	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Corriente de lámpara	7,0 mA	3,0 mA	4,0 mA	3,0 mA	5,0 mA
Tiempo de integración	3,0 seg	5,0 seg	3,0 seg	3,0 seg	3,0 seg
Corrección de la absorbancia inespecífica	D ₂	D ₂	D ₂	D ₂	D ₂
Tipo de gráfico	Plataforma recubierta	Plataforma recubierta	Plataforma recubierta	Plataforma recubierta	Plataforma recubierta
Tamaño de la muestra	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl
Acidez	0,1% HNO ₃	0,1% HNO ₃	0,1% HNO ₃	0,1% HNO ₃	0,1% HNO ₃
Sensibilidad	5,18 pg/ml	1,93 pg/ml	8,97 pg/ml	5,18 pg/ml	0,4 pg/ml
Límite de detección	4,23 pg/ml	1,05 pg/ml	8,57 pg/ml	3,88 pg/ml	0,25 pg/ml
Intervalo lineal	1,0-100,0 pg/ml	0,2-30,0 pg/ml	1,0-150,0 pg/ml	1,0-100,0 pg/ml	0,10-6,0 pg/ml

Tabla 20 Condiciones iniciales del equipo para cada elemento en la medición con llama

Parámetros de análisis	Manganeso (Mn)	Cobre (Cu)	Zinc (Zn)	Potasio (K)	Magnesio (Mg)	Hierro (Fe)
Línea analítica	279,53 nm	324,80 nm	213,90 nm	766,50 nm	285,27 nm	248,34 nm
Ancho de ventana	0,4 nm	0,4 nm	0,4 nm	0,4 nm	0,4 nm	0,2 nm
Factor filtro	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Corriente de lámpara	5,0 mA	5,0 mA	5,0 mA	5,0 mA	5,0 mA	5,0 mA
Tiempo de integración	3,0 seg	3,0 seg	3,0 seg	3,0 seg	3,0 seg	3,0 seg
Corrección de la absorbancia inespecífica	D ₂	D ₂	D ₂	D ₂	D ₂	D ₂
Tipo de llama	Aire-Acetileno	Aire-Acetileno	Aire-Acetileno	Aire-Acetileno	Aire-Acetileno	Aire-Acetileno
Zona de llama	Azul oxidante	Azul oxidante	Azul oxidante	Azul oxidante	Azul oxidante	Azul oxidante
Sensibilidad	0,02 pg/ml	0,03 pg/ml	0,01 pg/ml	0,008 pg/ml	0,003 pg/ml	0,05 pg/ml
Límite de detección	0,002 pg/ml	0,004 pg/ml	0,003 pg/ml	0,001 pg/ml	0,0018 pg/ml	0,0046 pg/ml
Intervalo lineal	0,01-3,5 pg/ml	0,03-8,0 pg/ml	0,01-3,0 pg/ml	0,008-1,2 pg/ml	0,007-0,4 pg/ml	0,03-8,0 pg/ml

Anexo D.- Datos obtenidos sobre propiedades fisicoquímicas del suelo.

Tabla 21 Datos de las Propiedades fisicoquímicas de un suelo agrícola en el Cantón Quero

Muestra de suelo	Propiedades Fisicoquímicas			
	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Materia Orgánica (%)	Humedad (%)
M1	5,440	113,100	2,418	70,724
	5,380	100,000	2,366	70,096
	5,520	117,700	2,321	77,243
	5,350	111,900	2,362	82,958
M2	5,600	102,100	2,387	75,874
	5,510	91,100	2,314	79,592
	5,480	99,200	2,430	79,585
	5,420	99,700	2,369	75,438
M3	5,350	99,500	2,674	83,893
	5,380	93,300	2,634	82,085
	5,370	104,100	2,738	78,246
	5,560	84,100	2,734	81,879
M4	5,690	99,800	2,354	70,144
	5,640	108,800	2,383	71,849
	5,590	100,700	2,351	71,774
	5,750	104,600	2,318	75,719
M5	5,560	113,100	3,088	79,545
	5,480	112,300	2,857	72,492
	5,500	108,100	3,001	76,254
	5,540	105,200	4,057	69,256

Anexo E.- Datos para el cálculo de la concentración de metales en el suelo.

Tabla 22 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de cobalto en el suelo.

Muestra de suelo	Cobalto		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[Co] mg/l
M1	0,162	0,502	0,191
	0,170	0,507	0,207
	0,191	0,507	0,247
	0,161	0,502	0,189
	0,134	0,501	0,138
M2	0,162	0,503	0,191
	0,155	0,501	0,178
	0,174	0,505	0,214
	0,188	0,506	0,241
	0,150	0,502	0,169
M3	0,155	0,504	0,178
	0,144	0,507	0,157
	0,172	0,504	0,210
	0,151	0,504	0,170
	0,128	0,504	0,127
M4	0,154	0,502	0,176
	0,148	0,503	0,165
	0,164	0,503	0,195
	0,133	0,503	0,136
	0,138	0,503	0,146
M5	0,178	0,502	0,222
	0,159	0,502	0,186
	0,175	0,501	0,216
	0,138	0,504	0,146
	0,149	0,504	0,167

Tabla 23 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de estroncio en el suelo.

Muestra de suelo	Estroncio		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[Sr] mg/l
M1	0,161	0,502	0,203
	0,175	0,507	0,239
	0,155	0,507	0,187
	0,163	0,502	0,208
	0,178	0,501	0,247
M2	0,182	0,503	0,258
	0,164	0,501	0,210
	0,152	0,505	0,179
	0,171	0,506	0,229
	0,151	0,502	0,176
M3	0,144	0,504	0,158
	0,173	0,507	0,234
	0,157	0,504	0,192
	0,177	0,504	0,245
	0,154	0,504	0,184
M4	0,142	0,502	0,153
	0,144	0,503	0,158
	0,159	0,503	0,197
	0,153	0,503	0,182
	0,172	0,503	0,231
M5	0,206	0,502	0,321
	0,182	0,502	0,258
	0,207	0,501	0,323
	0,183	0,504	0,260
	0,205	0,504	0,318

Tabla 24 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de níquel en el suelo.

Muestra de suelo	Níquel		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[Ni] mg/l
M1	0,206	0,502	0,183
	0,287	0,507	0,209
	0,276	0,507	0,199
	0,292	0,502	0,214
	0,297	0,501	0,219
M2	0,302	0,503	0,224
	0,290	0,501	0,212
	0,250	0,505	0,174
	0,283	0,506	0,206
	0,261	0,502	0,184
M3	0,242	0,504	0,166
	0,227	0,507	0,151
	0,229	0,504	0,153
	0,236	0,504	0,160
	0,242	0,504	0,166
M4	0,283	0,502	0,206
	0,246	0,503	0,170
	0,244	0,503	0,168
	0,183	0,503	0,109
	0,255	0,503	0,178
M5	0,266	0,502	0,189
	0,230	0,502	0,154
	0,261	0,501	0,184
	0,249	0,504	0,173
	0,255	0,504	0,178

Tabla 25 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de plomo en el suelo.

Muestra de suelo	Plomo		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[Pb] mg/l
M1	0,069	0,502	0,048
	0,066	0,507	0,045
	0,068	0,507	0,047
	0,076	0,502	0,053
	0,064	0,501	0,043
M2	0,045	0,503	0,028
	0,053	0,501	0,034
	0,045	0,505	0,028
	0,051	0,506	0,033
	0,063	0,502	0,043
M3	0,051	0,504	0,033
	0,049	0,507	0,031
	0,064	0,504	0,043
	0,052	0,504	0,034
	0,054	0,504	0,035
M4	0,050	0,502	0,032
	0,046	0,503	0,029
	0,065	0,503	0,044
	0,051	0,503	0,033
	0,063	0,503	0,043
M5	0,069	0,502	0,048
	0,057	0,502	0,038
	0,061	0,501	0,041
	0,068	0,504	0,047
	0,079	0,504	0,056

Tabla 26 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de cadmio en el suelo.

Muestra de suelo	Cadmio		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[Cd] mg/l
M1	0,069	0,502	0,037
	0,066	0,507	0,032
	0,068	0,507	0,031
	0,076	0,502	0,031
	0,064	0,501	0,030
M2	0,045	0,503	0,040
	0,053	0,501	0,028
	0,045	0,505	0,030
	0,051	0,506	0,030
	0,063	0,502	0,030
M3	0,051	0,504	0,037
	0,049	0,507	0,030
	0,064	0,504	0,037
	0,052	0,504	0,031
	0,054	0,504	0,031
M4	0,050	0,502	0,034
	0,046	0,503	0,031
	0,065	0,503	0,038
	0,051	0,503	0,030
	0,063	0,503	0,032
M5	0,069	0,502	0,034
	0,057	0,502	0,035
	0,061	0,501	0,034
	0,068	0,504	0,030
	0,079	0,504	0,032

Tabla 27 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de manganeso en el suelo.

Muestra de suelo	Manganeso		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[Cd] mg/l
M1	0,095	0,502	2,941
	0,108	0,507	3,338
	0,104	0,507	3,216
	0,109	0,502	3,369
	0,101	0,501	3,125
M2	0,098	0,503	3,033
	0,086	0,501	2,666
	0,098	0,505	3,033
	0,099	0,506	3,064
	0,108	0,502	3,338
M3	0,104	0,504	3,216
	0,094	0,507	2,911
	0,111	0,504	3,430
	0,101	0,504	3,125
	0,116	0,504	3,583
M4	0,123	0,502	3,797
	0,090	0,503	2,789
	0,099	0,503	3,064
	0,087	0,503	2,697
	0,106	0,503	3,277
M5	0,122	0,502	3,766
	0,117	0,502	3,613
	0,112	0,501	3,461
	0,116	0,504	3,583
	0,126	0,504	3,888

Tabla 28 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de cobre en el suelo.

Muestra de suelo	Cobre		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[Cd] mg/l
M1	0,072	0,502	0,312
	0,076	0,507	0,330
	0,087	0,507	0,377
	0,080	0,502	0,347
	0,070	0,501	0,304
M2	0,073	0,503	0,317
	0,059	0,501	0,257
	0,062	0,505	0,270
	0,069	0,506	0,300
	0,068	0,502	0,295
M3	0,074	0,504	0,320
	0,075	0,507	0,327
	0,087	0,504	0,377
	0,076	0,504	0,328
	0,079	0,504	0,344
M4	0,068	0,502	0,295
	0,059	0,503	0,257
	0,068	0,503	0,295
	0,066	0,503	0,287
	0,076	0,503	0,330
M5	0,096	0,502	0,415
	0,088	0,502	0,381
	0,095	0,501	0,411
	0,092	0,504	0,398
	0,1	0,504	0,432

Tabla 29 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de potasio en el suelo

Muestra de suelo	Potasio		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[K] mg/l
M1	0,588	0,502	2,362
	0,462	0,507	1,776
	0,471	0,507	1,818
	0,476	0,502	1,841
	0,402	0,501	1,497
M2	0,501	0,503	1,957
	0,412	0,501	1,543
	0,384	0,505	1,413
	0,402	0,506	1,497
	0,419	0,502	1,576
M3	0,400	0,504	1,488
	0,431	0,507	1,632
	0,501	0,504	1,957
	0,419	0,504	1,576
	0,439	0,504	1,669
M4	0,554	0,502	2,204
	0,489	0,503	1,901
	0,518	0,503	2,036
	0,483	0,503	1,874
	0,517	0,503	2,032
M5	0,506	0,502	1,980
	0,516	0,502	2,027
	0,490	0,501	1,906
	0,484	0,504	1,878
	0,485	0,504	1,883

Tabla 30 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de zinc en el suelo.

Muestra de suelo	Zinc		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[Zn] mg/l
M1	0,095	0,502	0,455
	0,096	0,507	0,459
	0,089	0,507	0,419
	0,088	0,502	0,413
	0,078	0,501	0,356
M2	0,068	0,503	0,298
	0,071	0,501	0,317
	0,073	0,505	0,329
	0,091	0,506	0,428
	0,081	0,502	0,375
M3	0,086	0,504	0,401
	0,088	0,507	0,415
	0,100	0,504	0,480
	0,089	0,504	0,417
	0,093	0,504	0,443
M4	0,082	0,502	0,377
	0,089	0,503	0,419
	0,074	0,503	0,333
	0,073	0,503	0,327
	0,081	0,503	0,375
M5	0,095	0,502	0,453
	0,087	0,502	0,407
	0,094	0,501	0,447
	0,085	0,504	0,394
	0,090	0,504	0,426

Tabla 31 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de magnesio en el suelo.

Muestra de suelo	Magnesio		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[Zn] mg/l
M1	0,304	0,502	37,300
	0,359	0,507	43,401
	0,282	0,507	34,860
	0,346	0,502	41,959
	0,352	0,501	42,624
M2	0,323	0,503	39,408
	0,285	0,501	35,193
	0,299	0,505	36,746
	0,336	0,506	40,850
	0,339	0,502	41,182
M3	0,308	0,504	37,744
	0,227	0,507	28,760
	0,335	0,504	40,739
	0,292	0,504	35,969
	0,360	0,504	43,512
M4	0,297	0,502	36,524
	0,294	0,503	36,191
	0,311	0,503	38,077
	0,221	0,503	28,094
	0,309	0,503	37,855
M5	0,351	0,502	42,513
	0,261	0,502	32,531
	0,282	0,501	34,860
	0,246	0,504	30,867
	0,352	0,504	42,624

Tabla 32 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de magnesio en el suelo.

Muestra de suelo	Magnesio		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[Mg] mg/l
M1	0,304	0,502	37,300
	0,359	0,507	43,401
	0,282	0,507	34,860
	0,346	0,502	41,959
	0,352	0,501	42,624
M2	0,323	0,503	39,408
	0,285	0,501	35,193
	0,299	0,505	36,746
	0,336	0,506	40,850
	0,339	0,502	41,182
M3	0,308	0,504	37,744
	0,227	0,507	28,760
	0,335	0,504	40,739
	0,292	0,504	35,969
	0,360	0,504	43,512
M4	0,297	0,502	36,524
	0,294	0,503	36,191
	0,311	0,503	38,077
	0,221	0,503	28,094
	0,309	0,503	37,855
M5	0,351	0,502	42,513
	0,261	0,502	32,531
	0,282	0,501	34,860
	0,246	0,504	30,867
	0,352	0,504	42,624

Tabla 33 Datos obtenidos para el cálculo de la concentración de hierro en el suelo.

Muestra de suelo	Hierro		
	Absorbancia mediana	Peso suelo (g)	[Mg] mg/l
M1	0,184	0,502	57,198
	0,195	0,507	60,617
	0,194	0,507	60,306
	0,233	0,502	72,430
	0,224	0,501	69,632
M2	0,176	0,503	54,711
	0,185	0,501	57,509
	0,197	0,505	61,239
	0,224	0,506	69,632
	0,225	0,502	69,943
M3	0,166	0,504	51,602
	0,169	0,507	52,535
	0,229	0,504	71,186
	0,200	0,504	62,171
	0,210	0,504	65,280
M4	0,168	0,502	52,224
	0,182	0,503	56,576
	0,194	0,503	60,306
	0,167	0,503	51,913
	0,210	0,503	65,280
M5	0,186	0,502	57,819
	0,212	0,502	65,902
	0,190	0,501	59,063
	0,159	0,504	49,426
	0,241	0,504	74,916

