



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



---

**Tema:** “Determinación de metales en cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.), cultivada en suelos agrícolas cercanos al volcán Tungurahua”.

---

Proyecto de trabajo de titulación, modalidad proyecto de investigación, previa la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. “Biodisponibilidad de metales en suelos del cantón Quero de la provincia de Tungurahua y su impacto en algunos productos agrícolas” HCU 0194-CU-P-2018 y Proyecto Canje de Deuda Ecuador-España HCU 0939-CU-P-2016, ambos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

**Autora:** Evelyn Gissela Tonato Bombón

**Tutor:** Dr. Jorge Alexander Briceño Carrasquel

**Ambato – Ecuador**

**Agosto 2019**

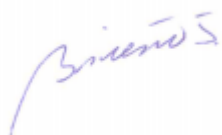
## APROBACIÓN DE LA TUTOR

Dr. Jorge Alexander Briceño Carrasquel

CERTIFICO:

Que el presente documento ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de titulación, modalidad Proyecto de Investigación, debido a que cumple con las normas establecidas en el reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 13 de junio de 2019.



Dr. Jorge Alexander Briceño Carrasquel

C.I. 175840407-1

**TUTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Evelyn Gissela Tonato Bombón, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de titulación, modalidad Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Evelyn Gissela Tonato Bombón

C.I. 180456779-8

**AUTORA**

## 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 de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Presidente de Tribunal de Grado



Dra. Dayana Cristina Morales Acosta  
C.I. 180413557-0



Dr. Milton Rubén Ramos Moya  
C.I. 180111963-5

Ambato, 22 de julio de 2019

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de titulación, modalidad Proyecto de Investigación, o parte de él, 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 Proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo su reproducción parcial o total 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.



Evelyn Gissela Tonato Bombón

C.I. 180456779-8

**AUTORA**

## **DEDICATORIA**

Para mis padres,  
quienes se sacrificaron  
tanto para que su hija  
pudiera tener éxito.

Con todo mi amor

Evelyn

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por guiarme a lo largo de toda mi carrera universitaria, a mis padres, gracias por toda la confianza por darme su apoyo todos los días y cuidar por mi bienestar; a toda mi familia por forjar mi personalidad, todo lo he logrado gracias a ustedes.

A mis amigos por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y felicidad.

Al Doctor Jorge Briceño por haber confiado en mis capacidades, haberme extendido su amistad, sus conocimientos y tiempo de calidad en la realización del proyecto.

Al Ingeniero Mario Álvarez e Ingeniera Mónica Silva por haberme brindado su amistad durante todo este tiempo.

Un eterno agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología por todos los conocimientos impartidos durante estos años de carrera universitaria.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Portada.....	i
Aprobación de la tutor.....	ii
Declaración de autenticidad .....	iii
Aprobación de los miembros del tribunal de grado .....	iv
Derechos de autor.....	v
Dedicatoria .....	vi
Agradecimiento .....	vii
Índice general de contenidos.....	viii
Índice de figuras.....	xi
Índice de tablas.....	xi
Resumen.....	xii
Abstract .....	xiii
Introducción .....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA .....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo general .....	2
1.3.2 Objetivos específicos .....	2
CAPÍTULO II .....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Antecedentes investigativos .....	3
2.2. Fundamento teórico.....	3
2.3. Cebolla de rama.....	6
2.5. Composición fisicoquímica de la cebolla de rama.....	7
2.2. Hipótesis.....	7



2.2.1. Hipótesis nula (Ho) .....	7
2.2.2. Hipótesis alternativa (Ha) .....	7
2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis .....	7
2.3.1. Variable independiente .....	7
2.3.2. Variable dependiente.....	8
CAPÍTULO III .....	9
MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
3.1 Materiales.....	9
3.1.1. Muestras .....	9
3.1.2. Reactivos .....	9
3.1.3. Equipos de laboratorio .....	9
3.2. Métodos.....	9
3.2.1. Recolección de muestra.....	9
3.2.2. Conservación de las muestras .....	10
3.2.3. Medición de parámetros fisicoquímicos .....	10
3.2.4. Preparación de las muestras previo a la determinación de los metales.....	11
3.2.5. Determinación de metales .....	11
CAPÍTULO IV .....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	13
4.1. Zona de muestreo del suelo y la cebolla de rama.....	13
4.2. Parámetros fisicoquímicos de Suelos.....	14
4.3. Contenido de humedad y cenizas en cebolla de rama.....	15
4.4. Contenido de metales en suelo y cebolla .....	16
4.5. Factor de biodisponibilidad, $\beta$ .....	23
CAPÍTULO V .....	27
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27
5.1 Conclusiones .....	27
5.2 Recomendaciones.....	27

MATERIALES DE REFERENCIA .....	29
Bibliografía .....	29
ANEXOS .....	34

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación Geográfica de la parcela muestreada.....	13
Figura 2 División de la parcela y puntos de muestreo. ....	13
Figura 3 La absorción de metal por la cebolla de rama en función de la fracción biodisponible en el suelo.....	25
Figura 4. Muestras de suelo colectadas.....	35
Figura 5. Suelos digestionados.....	35
Figura 6. Lectura de metales por horno de grafito .....	35
Figura 7. Señal emitida por el equipo .....	35

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de calidad de suelo y productos alimenticios.....	5
Tabla 2. Composición química y contenido energético de la cebolla de rama ( <i>Allium fistulosum</i> L.) .....	7
Tabla 3 Valores de referencia reportados para clasificación de los suelos .....	14
Tabla 4 Caracterización del suelo estudiado.....	14
Tabla 5 Caracterización de la cebolla de rama.....	15
Tabla 6 Criterios de Calidad de Suelo y hortalizas .....	17
Tabla 7 Composición de metales analizados por horno de grafito .....	18
Tabla 8 Composición de metales analizados por llama .....	19

## RESUMEN

El Tungurahua, un volcán ubicado en la cordillera oriental de Ecuador, desde su reactivación en 1999 ha alternado fases de elevada actividad volcánica, con emisiones de gas y cenizas, explosiones y episodios de lava, así como también con fases de baja actividad. Su última fase eruptiva ocurrió entre febrero y marzo de 2016. En este estudio se planteó evaluar la biodisponibilidad de metales en suelos agrícolas del cantón Quero a través de la correlación entre contenido total, sus fracciones solubles y estos en cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.). Todos los metales se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica de llama o de horno de grafito empleando patrones acuosos monoelementales de referencia certificados con los que se elaboró diariamente la curva de calibrado para cada metal. Se analizó la sección comestible de la cebolla de rama y los datos se expresaron en base fresca. Los resultados mostraron que la absorción del metal por la cebolla de rama fue independiente de la fracción biodisponible del metal en el suelo para todos los metales estudiados. Se tomó como valores de referencia los indicados en normas nacionales e internacionales. En las legislaciones consultadas no se reporta datos específicos para cebolla de rama, sin embargo, fueron tomados valores de referencia para rubros similares. El suelo fue fuertemente ácido con una salinidad despreciable y poca materia orgánica. En resumen, el contenido de potasio, manganeso, estroncio, cobre, cobalto, magnesio, níquel, plomo, hierro y cinc en las muestras de cebolla de rama estudiada estuvieron por debajo de los valores máximos permitidos en las normas consultadas.

**Palabras clave:** cadmio, cobre, absorción de metal, metal biodisponible, cebolla de rama.

## ABSTRACT

Tungurahua, a volcano located in the eastern mountain range of Ecuador, since its reactivation in 1999 has alternated phases of high volcanic activity, with gas and ash emissions, explosions and lava episodes, as well as phases of low activity. Its last eruptive phase occurred between February and March 2016. In this study it was proposed to evaluate the bioavailability of metals in agricultural soils of the Quero canton through the correlation between total content, their soluble fractions and these in branch onion (*Allium fistulosum* L.). All metals were determined by spectrometry atomic absorption of flame or graphite furnace using certified reference monoelementals aqueous standards with which the calibration curve for each metal was prepared daily. Was analyzed the edible section of the branch onion and the data were expressed on fresh basis. The results showed that the metal intake by the branch onion was independent of the bioavailable fraction of the metal in the soil for all metals studied. The national and international standards were taken as reference values. In the legislations consulted, no specific data were reported for branch onion, however, reference values were taken for similar aliments. The soil was strongly acidic with negligible salinity and little organic matter. In summary, the content of potassium, manganese, strontium, copper, cobalt, magnesium, nickel, lead, iron and zinc in the samples of branch onion studied were below the maximum values allowed in the consulted norms,

**Keywords:** cadmium, copper, metal intake, bioavailable metal, branch onion.

## INTRODUCCIÓN

La producción de la cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.) está destinada al consumo en fresco. Este tipo de cebolla posee características de especial cuidado que se deben tener presente durante las operaciones para proteger la planta de forma adecuada contra la humedad, el oxígeno, la pérdida de color y de aromas volátiles, con el fin de preservar la calidad sensorial del producto y evitar su aglutinamiento, todo esto antes de llegar al consumidor final, para evitar pérdidas hasta del 100% de la cosecha. Adicionalmente hay que tener presente que la composición del suelo es uno de los factores que influyen en la producción, rendimiento y calidad de la cebolla de rama (DANE, 2015).

En la presente investigación se evaluó la biodisponibilidad de los metales en suelos agrícolas del cantón Quero mediante la correlación entre el contenido total, sus fracciones solubles y cultivos autóctonos, por lo que se ha dividido esta investigación en las siguientes secciones.

En el primer capítulo se aborda el problema del que se ocupa el presente trabajo, justificación y los objetivos que orientaron el análisis; el segundo capítulo se refiere al marco teórico, la formulación de las hipótesis y el señalamiento de las variables; el tercer capítulo contiene los materiales y métodos; el cuarto capítulo se encarga de los resultados y la discusión; el quinto capítulo hace referencia a conclusiones y recomendaciones, la mismas que se han planteado a partir de los resultados obtenidos y finalmente se incluyen la bibliografía y los anexos.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 Tema

Determinación de metales en cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.), cultivada en suelos agrícolas cercanos al volcán Tungurahua.

### 1.2 Justificación

Ecuador un país ubicado sobre el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, contiene 208 volcanes, de los cuales 8 son potencialmente reactivables, elevando la vulnerabilidad de la población (SGR, 2014). Uno de ellos es el volcán Tungurahua que desde su reactivación en 1999 ha alternado fases de elevada actividad volcánica, con emisiones de gas y cenizas, explosiones y episodios de lava, así como también con fases de baja actividad. El fenómeno volcánico más constante desde su iniciación ha sido la caída de cenizas (Bustillos et al., 2014).

Quero, un cantón eminentemente agrícola, se ve afectado por esta problemática y vive las constantes emisiones de ceniza exponiendo sus productos agrícolas a este fenómeno (Le Pennec, 2018). Que en consecuencia, ha provocado pérdidas en los productos agropecuarios y ha generado una crisis económica en la población (SGR, 2014). Por esta razón, los agricultores han incrementado la superficie de producción de algunos cultivos de ciclos cortos (papa, cebolla de rama, arveja, zanahoria y pastos) que poseen ciertas características resistentes (Paucar, 2011).

La precipitación de las cenizas volcánicas al contacto con el agua provoca una contaminación química nociva, en consecuencia, el agua extrae una gran cantidad de elementos químicos tóxicos, destacando Al, As, Cd, Cr, Tl, Pb, Hg y U. Asimismo, Herndon (2015) publicó un trabajo con muestras de lixiviado de cenizas volcánicas, indicando que la exposición a esta variedad de metales provoca problemas neurológicos a las personas y destrucción de la biota terrestre.

Por otra parte, la incorporación de metales pesados en los cultivos tienden a bioacumularse a través de una fuente contaminada (suelo, agua y aire), y provoca la

inhibición de su crecimiento y desarrollo (Méndez, Ramírez, Gutiérrez, y García, 2009). Es importante evaluar el contenido de metales pesados en plantas puesto que algunos como As, Cd, Hg, Pb o Se, no realizan ninguna función específica, otros como Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni y Zn, son requeridos para un crecimiento y metabolismo normal, sin embargo, todos ellos resultan perjudiciales cuando su concentración sobrepasa ciertos valores (Rascio y Navari-Izzo, 2011).

Por lo tanto, durante los últimos años el volcán Tungurahua no ha reportado episodios de activación de acuerdo al Instituto Geofísico (IG), sin embargo, la última fase eruptiva ocurrió entre febrero y marzo de 2016 (Bernard B et al., 2017). En consecuencia, la presente investigación tuvo como objetivo la determinación de metales en suelos agrícolas y un rubro cultivado en una zona cercana al volcán Tungurahua, y la comparación de estos valores con los límites máximos permisibles indicados por la legalización vigente.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Evaluar la biodisponibilidad de metales en suelos agrícolas del cantón Quero mediante la correlación entre el contenido total, sus fracciones solubles y cultivos autóctonos.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar el contenido de potasio, manganeso, estroncio, cobre, cobalto, magnesio, níquel, plomo, hierro y cinc en suelos agrícolas del cantón Quero.
- Cuantificar el contenido de potasio, manganeso, estroncio, cobre, cobalto, magnesio, níquel, plomo, hierro y cinc en cebolla cultivadas en el cantón Quero.
- Comparar el contenido de metales en el suelo y en la cebolla de rama con los límites establecidos por la legislación vigente.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes investigativos

Al revisar los repositorios sobre trabajos previos, con respecto al tema planteado, resultan muy escasas las investigaciones que guarden una similitud, pues si bien se aborda el tema de la cebolla en rama no se realiza la determinación de metales en este producto. En todo caso, los trabajos previos encontrados son los siguientes:

En el estudio realizado por Romero Flores, (2017) se determinó cadmio y plomo en tres diferentes pastos (vicea, alfalfa y pasto azul) del cantón Quero. Los resultados obtenidos se encontraron dentro de los límites comparados en la norma de la Unión Europea estableciendo valores de 0,20 mg de plomo/kg y de 0,10 mg de cadmio/kg peso fresco en hortalizas.

En otro estudio, realizado en suelos y veinte hortalizas de Chong-Qing, se determinó el contenido de cromo, níquel, cobre, cinc, arsénico, cadmio, mercurio y plomo. Los resultados mostraron que para cadmio y plomo los suelos investigados excedieron la legislación nacional (China) y local (Chongqing), por otro lado, para el resto de los metales estudiados, estuvieron por debajo de las Normas sanitarias nacionales para vegetales en China tanto para el suelo como para las hortalizas (Yang, Li, y Long, 2007).

#### 2.2. Fundamento teórico

La contaminación del medio ambiente y sistema ecológico se ven afectados por cenizas y partículas liberadas por el entorno, dicha problemática ha sido enfocada mediante la estimación de la bioacumulación y bioaccesibilidad de metales en alimentos y en el suelo (Moreda-Pineiro et al., 2011). Los metales son acumulados dentro de los tejidos de las plantas y animales por la periódica exposición de contaminantes que se encuentran dentro de su entorno (Racero-Casarrubia, Pinedo-Hernández, Ballesteros-Correa, y Marrugo-Negrete, 2017).

Los metales pesados no son biodegradados por el medio ambiente y tienden a concentrarse en los lugares de mayor exposición. Un estudio realizado por Pernía et al. (2018) en el Estero Salado Guayaquil-Ecuador reveló una elevada concentración de cadmio y plomo de acuerdo con la Norma Internacional de Canadá tanto en sedimentos como en los organismos acuáticos de la zona.

Por otro lado, en Ecuador, estudios más recientes relacionados con el contenido de metales en sedimentos de la laguna Limoncocha y suelos de la reserva biológica Limoncocha revelan que la concentración de Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn se relacionan de forma negativa con las características y propiedades del suelo. Los valores encontrados para Cd y Cu superaron los valores establecidos en la normativa canadiense, no así los establecidos en la normativa ecuatoriana (Cabrera Drouet, 2018).

Adicionalmente, en un análisis mineralógico y multielemental reciente en suelos reportaron la bioacumulación de metales luego de la activación y emisión de cenizas del volcán Cotopaxi en agosto de 2015; las técnicas de difracción de rayos X (XRD) y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) fueron usadas para el análisis de las muestras, mostrando un contenido de Al, S, Fe, Ca, Mg, Ti, metales alcalinos y alcalinotérreos superior a los criterios de calidad de suelo emitidos por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (Sánchez, Vizcaino, Mejía, y Ávila, 2018).

Tras una cuantificación de metales pesados en tallos y raíces de la planta acuática totora (*Schoenoplectus californicus*) en Imbabura-Ecuador, se encontró bioacumulación de Ni, As, Cd y Hg con mayor cantidad en las raíces. El método instrumental utilizado fue espectroscopia de absorción atómica en horno de grafito y generador de hidruros (Ayala, Flores, Rodríguez, y Andocilla, 2018). Los altos niveles de metales en plantas hacen que los humanos y animales sean propensos a una posible contaminación en caso de ser consumidos, ocasionando enfermedades que pueden estar relacionadas con desarrollo de cáncer (Martin y Griswold, 2009).

La espectroscopia de absorción atómica es un método instrumental que permite medir concentraciones específicas de metales en una mezcla. Para determinar la concentración de un elemento específico el método se basa en la atomización del

analito a una temperatura suficientemente alta en una matriz líquida, la niebla atómica formada a través de una llama u horno de grafito queda expuesta a una determina longitud de onda emitida. (Bernard B et al., 2017).

Para la determinación de metales se emplea las técnicas de absorción atómica en llama para elementos de elevada concentración y con horno de grafito para aquellos que se encuentran en concentraciones muy bajas. La espectrometría de absorción con llama consiste en evaporar el disolvente y mantener los átomos del elemento de interés en un estado fundamental para pasar a un análisis espectral atómico dentro del intervalo espectral (Bernard B et al., 2017). El horno de grafito utiliza un tubo de grafito en lugar de una llama como medio de atomización. La temperatura se controla durante un tiempo mayor que el de llama, lo que permite la formación de átomos de manera completa con una permanencia más prolongada en el camino óptico, lo que implica mayor sensibilidad, se alcanzan valores del orden de miligramos por kilogramo (Cadena y Nieto, 2015).

Desde el punto de vista toxicológico el Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador fija la concentración máxima de Cu, Co, Pb y Zn en suelos, mientras que la directiva de la Unión Europea (UE) N° 488/2014, (UE) N° 2015/1005 y (UE) N° 2018/73 establece la concentración máxima de Cd, Pb y Hg permitida en los alimentos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Criterios de calidad de suelo y productos alimenticios

	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
MAE (mg/kg de suelo)	0,5	10	30	0,1	25	60
UE (mg/kg peso fresco)	0,1	-	-	0,01	0,3	-

**Fuente:** Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE); Unión Europea (UE).

Para este trabajo fue seleccionada la cebolla de rama por ser el rubro más cultivado en el cantón Quero. La cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.), es la hortaliza más importante desde el punto de vista económico después del tomate, su producción mundial es de 180.243.000 t en una extensión de 1.308.000 ha (FAO, 2010), su consumo a nivel mundial se debe principalmente por sus nutrientes y cualidades (Mera y Alberto, 2014).

### 2.3. Cebolla de rama

En Ecuador, la cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.) tiene una gran importancia por su contenido nutricional y uso en la comida. Esta hortaliza ha aumentado su producción de 11,3 mil t a 16,7 mil t con una superficie de cosecha de 4 mil ha en promedio, existiendo un crecimiento en el rendimiento de 2,5 a 3,6 t/ha, encontrando en Tungurahua un 31 % de la producción (Caiza y del Carmen, 2016).

### 2.4. Variedades de la cebolla de rama

De acuerdo con el género *Allium* existen más de 500 especies y entre las más populares esta la cebolla de bulbo, cebolla de rama, el puerro y el cebollino. De acuerdo con Rueda y Malagón (2008) la variedad de cebolla de rama dependerá de la capacidad de la semilla para adaptarse a los factores ambientales del cultivo. Entre las más conocidas se nombran las siguientes:

- **Junca.** Es la variedad que produce mayor número de hijuelos (macollas) y es relativamente susceptible a enfermedades de raíces y de tallos, especialmente la pudrición de éstos, tanto como la quemazón y la mancha en la punta de las hojas. Su susceptibilidad a las enfermedades la sacaron del mercado.
- **Imperial o Mongüana.** Con relación a la variedad Junca engruesa más, pero produce menos macollas, alcanza una longitud mayor con respecto a las demás variedades.
- **Pastusa.** Es una variedad con un período vegetativo largo, es uno de los que más se siembra, posee tallos gruesos, fuertes y largos con excelente calidad. Presenta susceptibilidad a enfermedades de la raíz.
- **Berlinera.** Desarrolla buenas macollas y tallos gruesos, es la variedad con mayor aceptación, sin embargo, presenta una alta susceptibilidad a enfermedades foliares y de la raíz.
- **Chava:** Es uno de los materiales evaluados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y luego por Corpoica y multiplicado a nivel personal por un productor. Presenta tallos gruesos y buen macollamiento.

## 2.5. Composición fisicoquímica de la cebolla de rama.

La composición de la cebolla difiere según la variedad, las condiciones del suelo y del medio ambiente del cultivo; el agua es el componente que se encuentra en mayor proporción y corresponde aproximadamente al 90%. Además, las cebollas son ricas en sales, minerales y vitaminas del grupo B, poseen poco valor energético y bajas cantidades de proteína y lípidos (Rueda y Malagón, 2008).

En la Tabla 2 se muestra la composición química y contenido energético de la cebolla de rama para 100g comestibles:

**Tabla 2.** Composición química y contenido energético de la cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.)

<b>COMPOSICIÓN</b> <b>(por 100 g de parte comestible)</b>	
Energía	33 kcal
Humedad (g)	91,40
Proteínas (g)	1,20
Lípidos (g)	0,10
Carbohidratos totales(g)	6,80
Cenizas (g)	0,50
Calcio (mg)	27,00
Fósforo (mg)	31,00
Hierro (mg)	0,40

**Fuente:** Gómez, (2015)

## 2.2. Hipótesis

### 2.2.1. Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)

El contenido de metales pesados en las muestras de suelos y de cebolla de rama estudiadas no supera los límites establecidos por la legislación vigente.

### 2.2.2. Hipótesis alternativa (H<sub>a</sub>)

El contenido de metales pesados en las muestras de suelos y de cebolla de rama estudiadas supera los límites establecidos por la legislación vigente.

## 2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis

### 2.3.1. Variable independiente

Suelo y cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.)

### **2.3.2. Variable dependiente**

Contenido de potasio, manganeso, estroncio, cobre, cobalto, magnesio, níquel, plomo, hierro y cinc.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1. Muestras

Suelo y cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.).

##### 3.1.2. Reactivos

- Ácido clorhídrico concentrado (99% Fisher Scientific)
- Ácido nítrico concentrado (70%, Fisher Scientific)
- Estándares monoelementales para absorción atómica (Cu, Fe, Mg, Mn, K, Co, Pb, Sr, Ni, Zn 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 m<sup>3</sup> pureza 99,99 %., Linde Ecuador S.A.

##### 3.1.3. Equipos de laboratorio

- Estufa BINDER VWR
- Agua ultrapura obtenida de un sistema Milli Q (Thermo Scientific, Inglaterra, UK)
- Balanza analítica XPE204
- 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

#### 3.2. Métodos

##### 3.2.1. Recolección de muestra

Las muestras de suelo y cebolla de rama se recolectaron en la zona de influencia de las cenizas del volcán Tungurahua. Para la toma de muestras se utilizó el método de zigzag en una parcela a una distancia de 5 metros aproximadamente, dentro de los distintos lugares fijados se excavó de 10-30 cm de profundidad tomando 1-2 kg de suelo aproximadamente. Para la cebolla se cortó un racimo en su etapa final de crecimiento de los mismos lugares donde se tomó la muestra de suelo. Las muestras fueron trasladadas en bolsas de polietileno limpias y adecuadamente etiquetadas. Todo el proceso de muestreo se realizó en un lapso de 5 meses.

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de Análisis Instrumental (UODIDE-ICIA, Proyecto Canje de Deuda) y almacenadas adecuadamente hasta el análisis de los metales de interés.

### **3.2.2. Conservación de las muestras**

La muestra de suelo pasó por un proceso de secado a temperatura ambiente, molido y tamizado con una malla No. 14 y la cebolla fue lavada con agua destilada para retirar la suciedad visible y se tomó la porción comestible para el análisis, posteriormente se sometió a un secado por convección a 40 °C por 24 h, molido y tamizado (Faithfull, 2005).

### **3.2.3. Medición de parámetros fisicoquímicos**

El porcentaje de humedad en las muestras de suelo se realizó por pérdida de peso en una estufa utilizando el método 93.06-37.1.10 (AOAC, 2006). Para la cebolla de rama se utilizó una balanza infrarroja METTER TOLEDO HX 2014 MOISTURE ANALYZER, usando 3 g de muestra con condición de trabajo de 150 °C y con criterio de secado 1 mg/50 segundos.

La materia orgánica del suelo se determinó por pérdida de peso entre la masa inicial de la muestra secada a 105 °C y la masa después de ser calcinada a 450 °C por 10 h empleando una mufla NABERTHERM LT 15/12/B180 (Catagña et al., 2017).

Para las muestras de suelo se determinó pH con agua destilada y KCl mientras que la para conductividad eléctrica con agua destilada, para todos los casos se utilizó una proporción 1:2,5 (p/v) con agitación y reposo de 60 min (Molina y Meléndez, 2002).



#### **3.2.4. Preparación de las muestras previo a la determinación de los metales**

Para la determinación de metales totales en suelo se empleó inicialmente digestión con agua regia ( $\text{HNO}_3$  concentrado y  $\text{HCl}$  concentrado en proporción 1:3 v/v), se pesó aproximadamente 0,5 g de suelo en una balanza analítica y se agregó agua regia en una proporción 1:10 masa/volumen a 90 °C por 2 h con agitación magnética, posteriormente se filtró y aforó a 25 ml con  $\text{HNO}_3$  0,14 M. Para la estimación de los metales biodisponibles se trabajó con fraccionamiento usando una mezcla extractante preparada con EDTA 0,05M, trietanolamina 0,1 M y cloruro de calcio dihidratado 0,01M ajustada a pH: 7. Aquí se pesó aproximadamente 10 g de suelo en una balanza analítica y se mezcló con 20 ml de la solución extractante, posteriormente se centrifugado a 4500 rpm por 10 min, el sobrenadante fue filtrado por gravedad y aforado a 50 ml con  $\text{HNO}_3$  0,14 M (Golia, Dimirkou, y Mitsios, 2008).

Las muestras de cebolla de rama fueron acondicionadas por calcinación seguida de digestión ácida. Se tomó el material resultante de la determinación de la materia orgánica del apartado 3.2.3 y se agregó 0,50 ml de  $\text{HCl}$  y 0,25 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrados, luego se dejó en reposo por 15 min y se filtró con microfiltros (tamaño de poro 0,45  $\mu\text{m}$ ) se aforó a 25 ml con  $\text{HNO}_3$  0,14 M.

#### **3.2.5. Determinación de metales**

La determinación de los metales se hizo con un espectrofotómetro de absorción atómica con fuente de línea (PG Instruments modelo AA500) mediante las condiciones recomendadas por el fabricante. Este instrumento está equipado con atomizadores de llama y horno de grafito. Este instrumento usa una lámpara de deuterio  $\text{D}_2$ , para corregir la absorbancia inespecífica y un automuestreador (AUTO SAMPLER PG Instruments modelo AS500) para la introducción de las muestras en el sistema de atomización. Se emplearon estándares monoelementales (AccuStandart) para obtener diariamente las curvas de calibración de cada elemento. La concentración de los elementos minoritarios (cobalto, estroncio, plomo, níquel y cadmio) se determinaron mediante absorción atómica con horno de grafito, mientras que aquellos mayoritarios (potasio, magnesio, manganeso, cobre, hierro y cinc) empleando absorción atómica con llama. En todos los dos casos la determinación del contenido de metales se hizo mediante comparación directa de la señal de cada

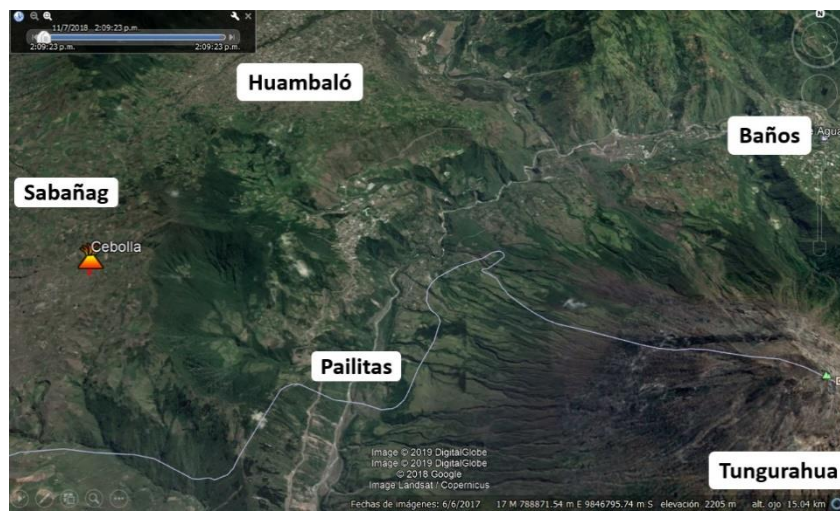
elemento frente al calibrado obtenido para cada metal. Todas las muestras se procesaron por triplicado, incluyendo un blanco intercalado entre cada muestra. La calidad de los datos se verificó mediante la medida de un punto de calibración preparado de manera independiente para determinar la veracidad del método.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Zona de muestreo del suelo y la cebolla de rama

Las muestras de suelos y cebollas fueron seleccionadas de una parcela de 3884 m<sup>2</sup> ubicada en el cantón Quero cercana al volcán Tungurahua. En la Figura 1 se muestra su ubicación geográfica y en la Figura 2 la subdivisión de esta en cinco transectos similares para el muestreo.



**Figura 1** Ubicación Geográfica de la parcela muestreada.

**Fuente:** Google Earth, 2019



**Figura 2** División de la parcela y puntos de muestreo.

**Fuente:** Google Earth, 2019

## 4.2. Parámetros fisicoquímicos de Suelos

Las muestras de suelos fueron evaluadas en base a valores de referencia nacionales Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

**Tabla 3** Valores de referencia reportados para clasificación de los suelos

Propiedad	Clasificación	Valor
pH	Fuertemente ácido	< 5
	Moderadamente ácido	5,1 - 6,5
	Neutro	6,6 – 7,3
	Medianamente alcalino	7,4 – 8,5
	Fuertemente alcalino	>8,5
Conductividad eléctrica [dS/m]	Efectos despreciables de salinidad	< 1,0
	Muy ligeramente salino	1,1 – 2,0
	Moderadamente salino	2,1 – 4,0
	Suelo salino	4,1 – 8,0
	Fuertemente salino	8,1 – 16,0
Materia orgánica [%]	Muy bajo	< 4
	Bajo	4,1 - 6,0
	Medio	6,1 – 10,9
	Alto	11,0 – 16,0
	Muy alto	>16,1

**Fuente:** SEMARNAT, (2003)

Los resultados obtenidos de la caracterización del suelo estudiado se indica en la Tabla 4. El pH medido con H<sub>2</sub>O y KCl fue de 4,36 a 4,96 y 4,42 a 4,87 respectivamente. En ambos casos los valores estuvieron por debajo de 5, lo que permite evidenciar que el sector de muestreo es fuertemente ácido de acuerdo con lo especificado en la SEMARNAT, (2003), estas condiciones favorecen a la solubilidad de elementos metálicos, permitiendo así una mejor asimilación por parte de las planta (Kabata - Pendias, 2004).

**Tabla 4** Caracterización del suelo estudiado

Puntos	pH		CE [dS/m]	MO [%]	Humedad [%]
	H <sub>2</sub> O	KCl			
1	4,96 (0,06)	4,64 (0,01)	0,163(0,002)	2,9 (0,2)	20,4 (2,0)
2	4,88 (0,03)	4,64 (0,04)	0,160(0,002)	2,4 (0,1)	18,8 (0,3)
3	4,73 (0,06)	4,65 (0,03)	0,238(0,002)	2,6 (0,9)	17,4 (0,6)
4	4,36 (0,04)	4,42 (0,03)	0,525(0,003)	2,5 (0,2)	17,5 (1,2)
5	4,93 (0,04)	4,87 (0,06)	0,200(0,001)	3,0 (0,2)	20,4 (1,7)

Se muestra el promedio y entre paréntesis la desviación estándar para n = 3

En cuanto a la conductividad eléctrica del suelo se encontraron valores desde 0,160 a 0,525 dS/m; con lo cual se considera que los suelos analizados tienen efectos despreciables de salinidad de acuerdo con la SEMARNAT, (2003).

Para el contenido de materia orgánica presente en las muestras analizadas va desde 2,4 a 3,0% obteniendo valores muy bajos de acuerdo con la SEMARNAT, (2003). Sin embargo, estas condiciones han permitido el desarrollo de la planta sin dificultad. El resultado de un suelo con bajo pH y bajo contenido de materia orgánica, aumenta la biodisponibilidad de metales para la planta debido a la falta de formación de complejos órgano-metálicos, que imposibilita que los metales sean absorbidos por la raíz de la planta que se encuentra en contacto directo con el suelo (Berenguer Molina, 2017). Por otra parte, la humedad para las muestras de suelo agrícolas colectadas estuvieron entre 17,4 y 20,4 %, esta es una característica íntimamente relacionada con el clima de cada lugar y las condiciones del día de recolección.

#### 4.3. Contenido de humedad y cenizas en cebolla de rama

Los valores de humedad y cenizas en cebolla colectada en los mismos sitios de recolección de muestras de suelos se expresan en porcentaje peso/peso y los resultados se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5** Caracterización de la cebolla de rama

Zona	Humedad [% p/p]	Cenizas [% p/p]
1	90,63 (0,33)	5,48 (0,14)
2	90,93 (0,36)	6,06 (0,05)
3	91,70 (0,31)	5,22 (0,09)
4	90,94 (0,22)	5,17 (0,12)
5	91,70 (0,50)	4,95 (0,51)

Se muestra el promedio y entre paréntesis la desviación estándar para n = 3

En las muestras de cebolla de rama los parámetros de humedad van desde 90,63 a 91,70% y de 5,17 a 6,06% en cenizas. En general, el contenido humedad es consistentes con el reportado por Gómez (2015) de 91,40 % mientras que el contenido de cenizas en nuestro caso es superior al reportado por el mismo autor de 0,50 %. Con respecto a las características de humedad y cenizas DANE (2015) indica que son factores que necesitan de un mínimo control porque están influenciadas por las condiciones climáticas y el relieve del suelo. Por otra parte, Bermúdez (2009)

confirmó que la cebolla de rama posee diferentes contenidos de humedad dependiendo de sus variedades, tipo de suelo, condiciones agroecológicas del cultivo, condiciones de transporte y almacenamiento del producto en su poscosecha y a los factores ambientales.

#### **4.4. Contenido de metales en suelo y cebolla**

El contenido de metales fue comparado con valores de referencia según normativas nacionales e internacionales. Para el caso específico de la cebolla de rama al mayor conocimiento de los autores no se encontró una legislación que regule el contenido de metales, sin embargo, fue tomado como referencia el valor correspondiente a rubros similares al analizado. En la Tabla 6 se reúnen los valores de diversas legislaciones para alimentos y para suelos tomados del MAE.

**Tabla 6** Criterios de Calidad de Suelo y hortalizas

Metal	Suelo		Productos Alimenticios [mg/kg]					
	MAE [mg/Kg]	UE	Legislación Australiana	Legislación brasileña	Codex Alimentarius	Finlandia	Rusia	Sudáfrica
Cd	0,5	0,1 Hortalizas de raíz y tubérculo y tallos jóvenes	0,1 Hortalizas de hojas/ Raíces y tubérculos	1 Otros alimentos fuera de zumos, bebidas alcohólicas y productos de pesca.	0,1 Hortalizas de tallo y raíz	-	0,03 Hortalizas/ frutas	0,05 Frutas y hortalizas
Co	10	-	-	-	-	-	-	-
Cu	30	-	-	5 Frescos	-	10 Hortalizas	-	5 Zumos de hortalizas, frutas y néctares
Ni	20	-	-	5 Otros alimentos fuera de zumos, bebidas alcohólicas y productos hidrogenados	-	-	-	-
Pb	25	0,3 Hortalizas	0,1 Hortalizas (excepto Brassica)	0,5 Hortalizas	0,1 Raíces y tubérculos	1 Papa, pepino, natsudaikai (Pulpa), melocotón, fresa y uva.	0,5 Hortalizas/ frutas	0,1 Frutas y otras hortalizas
Zn	60	-	-	-	-	-	-	5 Zumos de hortalizas, frutas y néctares
Fe, K, Mg, Mn, Sr		-	-	-	-	-	-	-

**Fuente:** Adaptado de Díaz, (2014).

Es necesario destacar que para que los metales pesados puedan ejercer su toxicidad sobre un ser vivo, éstos deben encontrarse disponibles para ser captados por éste, es decir que el metal debe estar biodisponible. La biodisponibilidad se encuentra íntimamente relacionado con las condiciones fisicoquímicas del suelo. Por ello es fundamental determinar el contenido de metales pesados de un suelo, es decir, la concentración de metal libre y lábil presente, en este trabajo se hizo con una disolución extractante como se indica en el apartado 3.2.4.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del contenido de metales en las muestras de suelos para las fracciones solubles en agua regia (totales), la fracción soluble en la mezcla extractante (biodisponibles) y en las muestras de cebollas colectadas del mismo suelo. Los valores de la Tabla 7 corresponde a los metales determinados mediante horno de grafito y con llama en la Tabla 8. En todos los casos se expresa como cantidad del metal en masa fresca.

**Tabla 7** Composición de metales analizados por horno de grafito

<b>Metal</b>	<b>Zona</b>	<b>Totales</b>		<b>Biodisponible</b>		<b>Cebolla de rama</b>	
Cd	1	0,10	(0,01)	0,045	(0,005)	0,030	(0,001)
	2	0,09	(0,01)	0,044	(0,004)	0,024	(0,005)
	3	0,12	(0,02)	0,047	(0,001)	0,0188	(0,0002)
	4	0,13	(0,01)	0,049	(0,002)	0,025	(0,006)
	5	0,127	(0,003)	0,0218	(0,0003)	0,030	(0,002)
Co	1	7,3	(0,5)	0,30	(0,01)	0,11	(0,01)
	2	5,8	(0,1)	0,34	(0,01)	0,12	(0,01)
	3	8,1	(0,5)	0,26	(0,02)	0,096	(0,001)
	4	8,1	(0,5)	0,28	(0,01)	0,11	(0,01)
	5	9,0	(0,6)	0,22	(0,02)	0,085	(0,004)
Ni	1	14,4	(0,3)	1,7	(0,2)	6,8	(0,9)
	2	15,4	(0,5)	1,8	(0,1)	6,9	(1,1)
	3	18,6	(1,1)	1,29	(0,01)	6,2	(0,6)
	4	13,9	(0,7)	1,4	(0,1)	6,0	(0,4)
	5	16,2	(1,1)	0,9	(0,1)	5,1	(0,3)
Pb	1	0,64	(0,01)	0,29	(0,01)	0,044	(0,004)
	2	0,66	(0,05)	0,25	(0,02)	0,058	(0,009)
	3	1,13	(0,12)	0,28	(0,02)	0,050	(0,007)
	4	1,28	(0,33)	0,27	(0,01)	0,047	(0,001)
	5	1,07	(0,04)	0,26	(0,01)	0,040	(0,002)
Sr	1	7,4	(0,4)	1,24	(0,05)	0,95	(0,05)
	2	7,5	(0,9)	0,83	(0,07)	0,90	(0,05)
	3	16,4	(0,1)	1,03	(0,03)	0,84	(0,09)
	4	19,2	(2,7)	0,92	(0,02)	0,90	(0,08)
	5	19,5	(1,8)	0,88	(0,01)	0,89	(0,05)

Se muestra el promedio y entre paréntesis la desviación estándar para n= 3



**Tabla 8** Composición de metales analizados por llama

Metal	Zona	Totales	Biodisponible	Cebolla de rama
Cu	1	18,7 (0,5)	5,9 (0,1)	0,44 (0,02)
	2	17,0 (1,1)	6,0 (0,4)	0,53 (0,05)
	3	14,8 (1,5)	4,8 (0,1)	0,50 (0,06)
	4	16,7 (0,7)	5,0 (0,2)	0,61 (0,02)
	5	21,6 (0,8)	6,2 (0,1)	0,56 (0,01)
Fe	1	6980 (378)	283 (13)	10,3 (0,6)
	2	6462 (204)	289 (26)	9,7 (0,6)
	3	6790 (180)	246 (15)	8,8 (1,0)
	4	7850 (287)	261 (7)	9,3 (1,3)
	5	7511 (534)	256 (7)	8,6 (0,6)
K	1	472 (15)	73 (2)	829 (18)
	2	95,0 (0,5)	62 (2)	746 (74)
	3	266 (57)	58 (5)	652 (77)
	4	512 (64)	111 (9)	726 (85)
	5	601 (90)	148 (6)	693 (34)
Mg	1	1365 (116)	90 (3)	147 (8)
	2	1217 (74)	84 (1)	143 (5)
	3	1635 (39)	91 (9)	128 (4)
	4	2556 (86)	96 (1)	137 (2)
	5	3217 (238)	91 (6)	130 (3)
Mn	1	59 (6)	6,9 (0,1)	1,61 (0,02)
	2	55 (4)	6,8 (0,6)	1,53 (0,07)
	3	65 (6)	6,7 (0,2)	1,43 (0,04)
	4	68 (5)	7,0 (0,3)	1,55 (0,07)
	5	73 (5)	8,3 (0,5)	1,40 (0,03)
Zn	1	78,3 (1,9)	7,0 (0,2)	5,9 (0,4)
	2	76,5 (3,3)	6,2 (0,4)	6,16 (0,02)
	3	79,8 (6,3)	5,8 (0,2)	5,0 (0,2)
	4	72,5 (2,1)	4,4 (0,2)	5,4 (0,3)
	5	88,7 (4,2)	5,6 (0,0)	5,1 (0,1)

Se muestra el promedio y entre paréntesis la desviación estándar para n = 3

La discusión de los resultados será enfocada en función del contenido total, la fracción biodisponible y el valor encontrado en la cebolla para cada uno de los metales:

**Cd:** Para las muestras de suelo, el contenido de cadmio se encontró en una concentración total entre 0,09 y 0,13 mg/kg y su biodisponibilidad va desde 0,0218 a 0,049 mg/kg. Los resultados encontrados son comparables con otros autores (Cavanagh et al., 2019) que han reportado 0,07–1,35 mg/Kg cadmio en suelos de

Nueva Zelanda. De acuerdo con el **MAE** el suelo no supera los 0,5 mg/kg de cadmio, manteniéndose dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos para suelos.

Por otra parte, la cebolla indica una concentración con valores que van desde 0,0188 y 0,030 mg/kg comparable con otra variedad de cebolla de Nueva Zelanda donde han reportado 0,007 – 0,05 mg/Kg (Cavanagh et al., 2019). De acuerdo con las legislaciones consultadas un alimento no debe exceder el 0,1 mg/Kg de contenido de cadmio (**Unión Europea, Legislación Australiana y Codex Alimentarius**) y **Rusia** una legislación más exigente con un valor de 0,03 mg/kg, sin embargo, en todos los casos las muestras se encontraron dentro de los límites establecidos por estas legislaciones.

**Co:** Para las muestras de suelo, el contenido de cobalto se encontró en una concentración total entre 5,8 y 9,0 mg/kg y su biodisponibilidad va desde 0,22 y 0,34 mg/kg de Cobalto. De acuerdo con el **MAE** el suelo no supera los 10 mg/kg de cobalto, manteniéndose dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos para suelos.

Por otra parte, la cebolla indica una concentración con valores que van desde 0,085 y 0,12 mg/kg no comparable las legislaciones consultadas.

**Ni:** Para las muestras de suelo, el contenido de níquel se encontró en una concentración total entre 13,9 a 18,6 mg/kg y su biodisponibilidad va desde 0,9 y 1,8 mg/kg. De acuerdo con el **MAE** el suelo no supera los 20 mg/kg de níquel, manteniéndose dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos para suelos.

Por otra parte, la cebolla indica una concentración con valores que van desde 5,1 a 6,9 mg/kg. De acuerdo con la legislación consultadas un alimento no debe exceder los 5 mg/kg de contenido de níquel (**Legislación Brasileña**), resultando por encima de los límites establecidos, sin embargo, hay que enfatizar que la categorización no es específica de la cebolla.

**Pb:** Para las muestras de suelo, el contenido de plomo se encontró en una concentración total entre 0,64 y 1,28 mg/kg y su biodisponibilidad va desde 0,25 y 0,29 mg/kg. De acuerdo con el **MAE** el suelo no supera los 25 mg/Kg de plomo, manteniéndose dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos para suelos.

Por otra parte, la cebolla indica una concentración con valores que van desde 0,040 a 0,058 mg/kg. De acuerdo con la legislación consultada un alimento no debe exceder los 0,3 mg/Kg de contenido de plomo con respecto a la **Unión Europea**, sin embargo, la **Legislación Australiana, Codex Alimentarius y Sudáfrica** son más exigentes con un valor de 0,1 mg/Kg, resultando en todos los casos dentro de los límites establecidos por estas legislaciones.

**Sr:** Para las muestras de suelo, el contenido de estroncio se encontró en una concentración total entre 7,4 a 19,5 mg/kg y su biodisponibilidad va desde 0,83 y 1,24 mg/kg. Mientras que el contenido de estroncio en la cebolla va desde 0,84 mg/kg a 0,95 mg/kg.

**Cu:** Para las muestras de suelo, el contenido de cobre se encontró en una concentración total entre 14,8 y 21,6 mg/kg y su biodisponibilidad va desde 4,8 mg/kg a 6,2 mg/kg. De acuerdo con el **MAE** el suelo no supera los 30 mg/kg de cobre, manteniéndose dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos para suelos.

Por otra parte, la cebolla indica una concentración con valores que van desde 0,44 a 0,61 mg/kg. De acuerdo con las legislaciones consultadas un alimento no debe exceder los 5 mg/Kg de contenido de cobre (**Legislación Brasileña y Sudáfrica**) y **Finlandia** una legislación más permisible con un valor de 10 mg/Kg, sin embargo, en todos los casos las muestras se encontraron dentro de los límites establecidos por estas legislaciones.

**Fe:** Para las muestras de suelo, el contenido de hierro se encontró en una concentración total entre 6462 a 7850 mg/kg y su biodisponibilidad va desde 246 y 289 mg/kg. Mientras que el contenido de hierro en la cebolla va desde 8,6 mg/kg a 10,3 mg/kg, por encima de 4 mg/kg reportado por otro autor (Gómez 2015).

**K:** Para las muestras de suelo, el contenido de potasio se encontró en una concentración total entre 95 y 601 mg/kg y su biodisponibilidad va desde 58 a 148 mg/kg.

Mientras que la cebolla mantiene valores que van desde 652 y 829 mg/kg. La (OMS, 2005) recomienda una ingesta de potasio de al menos 90 mmol/día (3510 mg/día) en adultos para reducir la tensión arterial y el riesgo de enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares y cardiopatía coronaria en adultos.

**Mg:** Para las muestras de suelo, el contenido de magnesio se encontró en una concentración total entre 1217 y 3217 mg/kg y su biodisponibilidad va desde 84 mg/kg a 96 mg/kg.

Mientras que el contenido de magnesio en la cebolla va desde 128 y 147 mg/kg. La (OMS, 2005) recomienda 400mg de magnesio diarios por persona para evitar fatiga, cansancio muscular, calambres etc.

**Mn:** Para las muestras de suelo, el contenido de manganeso se encontró en una concentración total entre 55 a 73 mg/kg y su biodisponibilidad va desde 6,7 a 8,3 mg/kg.

Mientras que el contenido de manganeso en la cebolla va desde 1,43 y 1,61 mg/kg. La (OMS, 2005) habla del manganeso como un elemento nutritivo esencial, sin embargo, la absorción diaria debe ser en pequeñas cantidades para mantener una buena salud.

**Zn:** Para las muestras de suelo, el contenido de cinc se encontró en una concentración total entre 72,5 a 88,7 mg/kg y su biodisponibilidad va desde 4,4 y 7,0 mg/kg. De acuerdo con el MAE el suelo supera los 60 mg/Kg de cinc, manteniéndose fuera de los estándares de calidad ambiental establecidos para suelos.

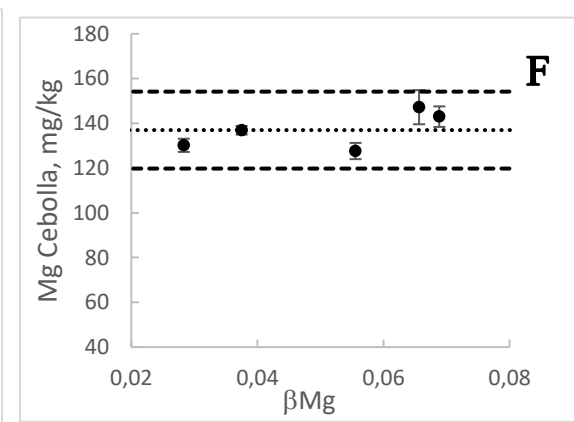
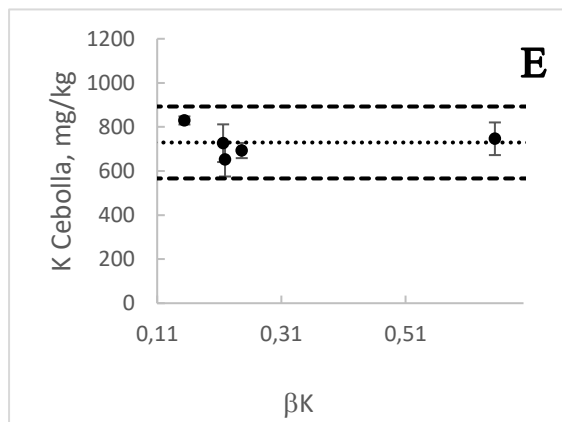
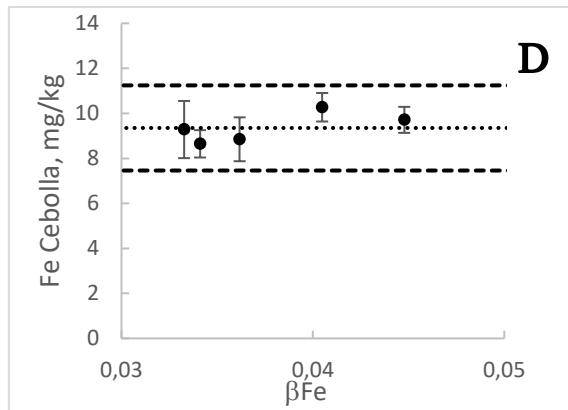
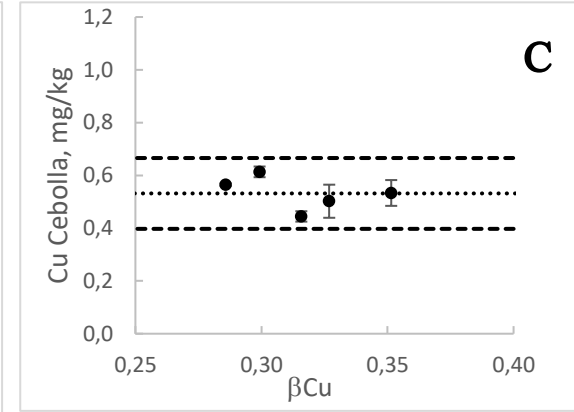
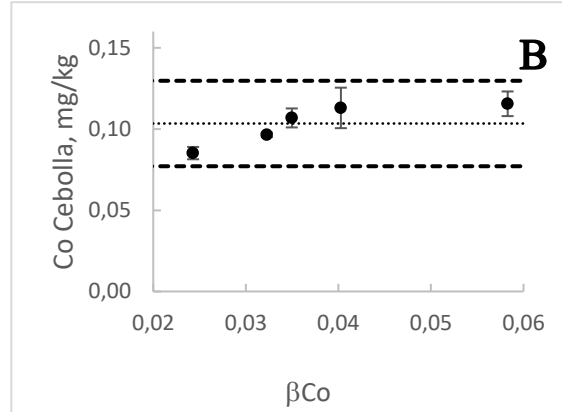
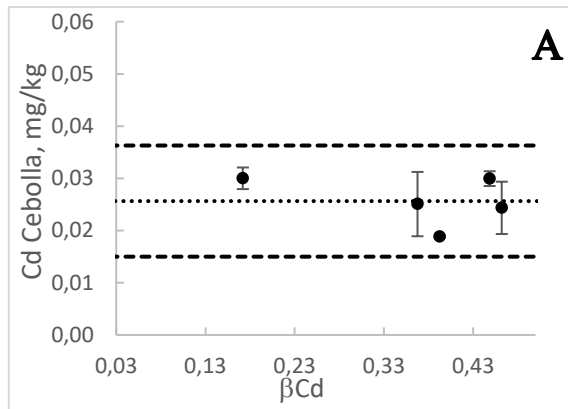
Por otra parte, la cebolla indica una concentración con valores que van desde 5,0 a 6,16 mg/kg. De acuerdo con lo consultado, un valor de referencia para este elemento es mencionado en la legislación de **Sudáfrica** y establece para zumos de hortalizas, frutas y néctares que no debe exceder los 5 mg/Kg de contenido de cinc, en nuestro caso no se trata de un zumo, por lo tanto, no resulta sencilla su comparación.

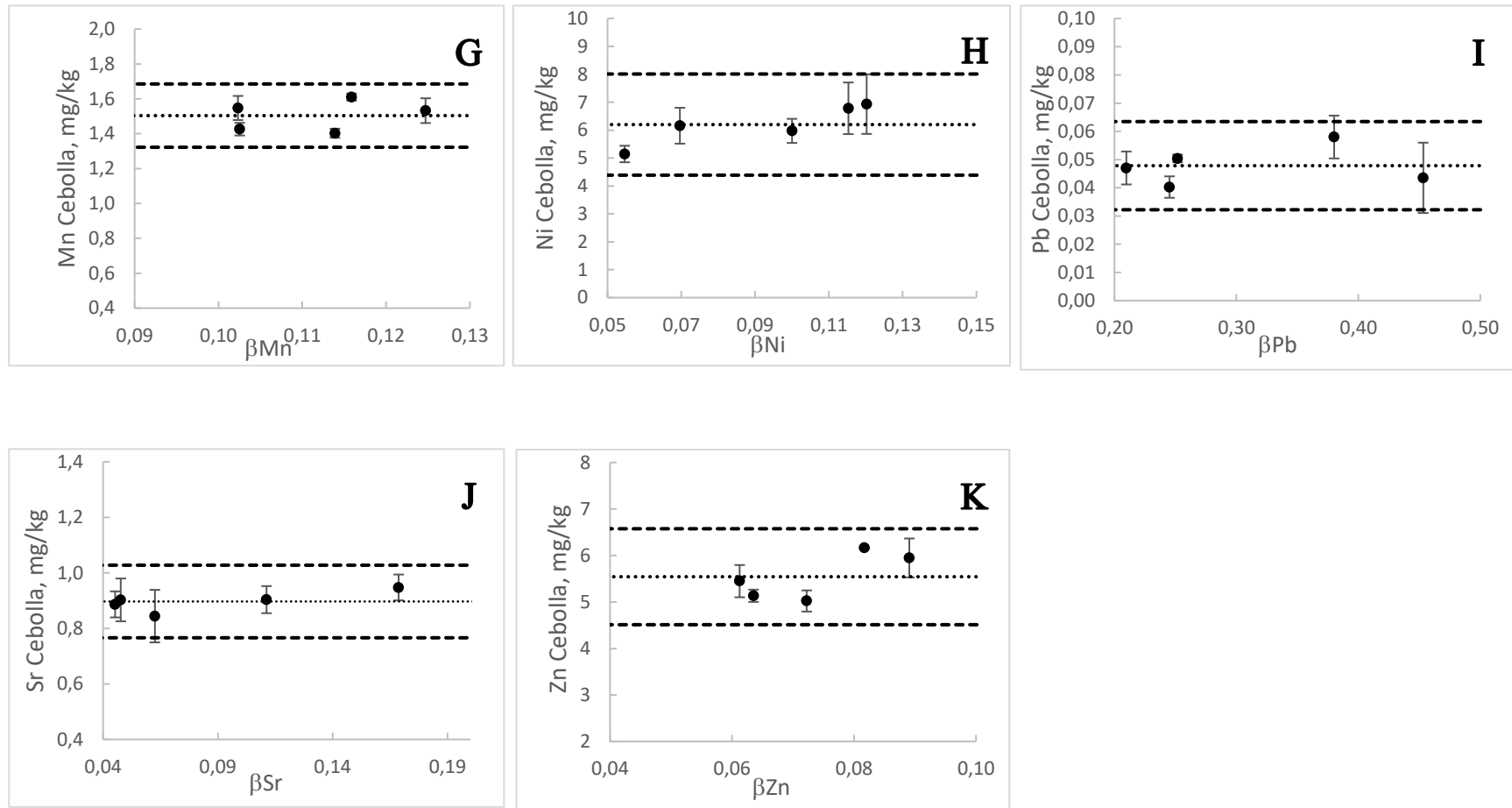
#### 4.5. Factor de biodisponibilidad, $\beta$

Se estableció un factor de biodisponibilidad  $\beta$ , determinado por la Ecuación 1 para evaluar la fracción biodisponible y que el contenido de metal se haga independiente de contenido total del mismo metal en el suelo, con el valor establecido se pudo evaluar el metal absorbido por la planta.

$$\beta = \frac{Metal_{biodisponible}}{Metal_{Total}} \quad \text{Ecuación 1}$$

En la figura 3 se muestra la influencia de la fracción biodisponible del metal en el suelo sobre la absorción de este por la cebolla de rama. Se representa en la línea discontinua fina el promedio de los valores conseguidos de metal en cebolla de rama y en su entorno las líneas discontinuas gruesas representan los límites superiores e inferiores determinados como el promedio más o menos 1,96 (correspondiente al valor de z para un 95% de confianza) veces la desviación estándar.





**Figura 3** La absorción de metal por la cebolla de rama en función de la fracción biodisponible en el suelo.

La absorción de metal en las muestras de cebolla de rama analizadas presentó una correlación independiente de la fracción biodisponible en el suelo. Este comportamiento observado muestra que la cebolla absorbe exclusivamente cantidades necesarias de sus nutrientes provenientes del suelo (Figura 3). A diferencia de otras plantas como el vetiver (*Vetiveria zizanioides*) que es empleada para la fitoremediación por sus propiedades de bioacumulación de metales (Dudai et al., 2018).

Posiblemente estos resultados podrían ser debido a que la cebolla de rama es de ciclo corto, lo cual evita su exposición a los metales por periodos prolongados. Se ha mencionado que las plantas absorben metales en diferentes grados dependiendo de la especie vegetal y de la exposición del metal (Prieto Méndez, González Ramírez, Román Gutiérrez, y Prieto García, 2009).



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Se evaluó la biodisponibilidad de los metales en suelos cercanos al volcán Tungurahua y se encontró que la absorción del metal por la cebolla de rama fue independiente de la fracción biodisponible del metal en el suelo para todos los metales estudiados.
- Se determinó el contenido de potasio, manganeso, estroncio, cobre, cobalto, magnesio, níquel, plomo, hierro y cinc en un suelo del cantón Quero y cebollas colectadas en el mismo sitio encontrándose que los metales estudiados en todos los casos están por debajo de las normativas consultadas.
- El suelo estudiado colectado en una zona afectada por las cenizas de volcán Tungurahua fueron fuertemente ácidos, con efecto despreciable de salinidad y bajo contenido de materia orgánica.

#### 5.2 Recomendaciones

- Estudiar la evolución de la biodisponibilidad de los metales en esta misma zona en otros periodos del año.
- Realizar ensayos similares a este en otros rubros y en otros suelos de otras zonas no influenciados por las cenizas del volcán.
- Implementar proyectos de control de cebolla y suelo para que se cumplan todos los requisitos técnicos y de mercado que requieran un control de calidad continuo durante todo el proceso de producción. Dicho estudio puede realizarse con otros tipos de cebollas cosechados en áreas de influencia volcánica.
- Llevar a cabo nuevos estudios técnicos agrícolas, en particular para promover el análisis de metales pesados no solo en el alimento y el suelo debido a que la contaminación puede venir de distintas fuentes como el agua de riego, la aplicación de fertilizantes, etc.
- Gestionar la capacitación para desarrollar y utilizar recursos productivos y mejorar sus relaciones con el entorno social y la comunidad de Quero.

- Utilizar el contenido de metales en cebolla de rama como indicador para garantizar la soberanía alimentaria, puesto que esta cebolla es utilizada para la elaboración alimentos de alta demanda como aliños, platos típicos de la zona, aceites, etc.

## MATERIALES DE REFERENCIA

### Bibliografía

- AOAC. (2006). Official methods of analysis Proximate Analysis and Calculations Moisture (M) Fruits, Vegetables, and their Products - item 107. Association of Analytical Communities. Reference data: Method 934.06 (37.1.10); NFNAP; WATER.
- Ayala, S. R., Flores, R., Rodríguez, M., y Andocilla, M. (2018). Quantitative determination of heavy metal hyperaccumulation in a macrophyte sample of *schoenoplectus californicus* from lago San Pablo, Imbabura-Ecuador. *Ciencia*, 19(4).
- Bermúdez, A. (2009). Caracterización física química y funcional de las diferentes variedades de cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.) Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Bernard B, T. E., Battaglia J, Hernandez S, A. S., Mothes P, S. D., Lema V, E. M., Santamaría S, G. J., . . . A, A. (2017). Erupción de febrero - marzo 2016 del volcán Tungurahua. Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Berenguer Molina, M. C. (2017). Uso de enmiendas y especies de plantas con potencial valor añadido en la recuperación de suelos contaminados con elementos traza.
- Bustillos, J. E., Le-Pennec, J., Samaniego, P., Eychenne, J., Troncoso, L., Ordóñez, J., y Gonza, T. (2014). Transición del estilo eruptivo durante las erupciones andesíticas en sistema abierto: "Contribución al estudio de los depósitos de ceniza del volcán Tungurahua-2010". *Revista Politécnica*, 33(1).
- Cabrera Drouet, J. (2018). Evaluación de la contaminación por metales pesados en sedimentos y suelos de la Reserva Biológica Limoncocha-Ecuador mediante índices de polución.
- Cadena, A., y Nieto, M. (2015). Espectroscopia de Absorción Atómica en Horno de Grafito y Generador de Hidruros.
- Caiza, C., y del Carmen, I. (2016). Evaluación del efecto de índices de poscosecha con tres temperaturas y dos atmósferas modificadas en el cultivo de cebolla

blanca (*Allium fistulosum* L.) en la provincia de Cotopaxi 2015. LATACUNGA/UTC/2016.

Catagña, C., Enrique, F., Rodríguez Llerena, M. V., Carrión, D., Armando, D., Recalde Moreno, C. G., y Santillán Lima, G. P. (2017). Analytical methods comparison for soil organic carbon determination in Andean Forest of Sangay National Park-Ecuador. *Acta Agronómica*, 66(3), 408-413.

Alonso Díaz, A. (2014). Metales Pesados, Revisión Agosto 2014 D, Unión Europea, contenido máximos en metales pesados en productos alimenticios, CATICE de Valencia, Secretaría de Estado de Comercio.

Cavanagh, J.-A. E., Yi, Z., Gray, C., Munir, K., Lehto, N., y Robinson, B. (2019). Cadmium uptake by onions, lettuce and spinach in New Zealand: Implications for management to meet regulatory limits. *Science of The Total Environment*, 668, 780-789.

DANE. (2015). La cebolla de rama o cebolla junca (*Allium fistulosum*), una hortaliza de gran importancia en la alimentación humana. Obtenido de Boletín mensual. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_may\\_2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_may_2015.pdf)

Reglamento (UE) N° 488/2014 de la Comisión de 12 de mayo de 2014 por el que se fija el contenido máximo de cadmio determinado contaminante en los productos alimenticios.

Reglamento (UE) N° 2015/1005 de la Comisión de 25 de junio de 2015 por el que se fija el contenido máximo de plomo determinado contaminante en los productos alimenticios.

Reglamento (UE) N° 2018/73 de la Comisión del 16 de enero de 2018 por el que se fija el contenido máximo de mercurio determinado contaminante en los productos alimenticios.

Dudai, N., Tsion, I., Shamir, SZ, Nitzan, N., Chaimovitsh, D., Shachter, A., y Haim, A. (2018). Evaluación agronómica y económica del pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) como medio para la fitorremediación de suelos contaminados con diésel en Israel. *Revista de gestión ambiental*, 211 , 247-255.

- Faithfull, N. T. (2005). Métodos de análisis químico agrícola. Manual Práctico. (Acribia., Ed.). Zaragoza, España.
- FAO. (2010). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Gómez, L. (2015). Evaluación de la vida útil de la cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.) en polvo almacenada en dos envases a temperatura ambiente.
- Golia, E. E., Dimirkou, A., y Mitsios, I. K. (2008). Influence of some soil parameters on heavy metals accumulation by vegetables grown in agricultural soils of different soil orders. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 81(1), 80-84.
- Herndon, J. M. (2015). Geoingeniería Tóxica en la Troposfera: evidencias de cenizas volantes de carbón—Consecuencias para la Salud Pública. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12, 9375-9390.
- Kabata - Pendias, A. (2004). Transferencia suelo-planta de oligoelementos: un problema ambiental.
- Le Pennec, J.-L. (2018). Diez mil años de convivencia entre comunidades y volcanes en la sierra del Ecuador. *Nuestra Ciencia*, 20, 49-52.
- MAE., Ministerio del Ambiente del Ecuador Recurso Suelo, Libro VI Anexo 2, Norma de la Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para suelos contaminados, 31 pp., 2003. <https://maeorellana.files.wordpress.com/2015/11/anexo-2-suelo.pdf>
- Martin, S., y Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology briefs for citizens*, 15, 1-6.
- Méndez, J. P., Ramírez, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., y García, F. P. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44.
- Mera, M., y Alberto, N. (2014). Comportamiento agronómico de las hortalizas, cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.), y cebolla colorada (*Allium cepa* L.), con dos fertilizantes orgánicos en el Centro Experimental La Playita de la UTC-ext La Maná. 2013. LA MANÁ/UTC/2014.

- Molina, E., y Meléndez, G. (2002). Análisis de suelos. Centro de Investigación Agronómicas, Universidad de Costa Rica. CIA-UCR.
- Moreda-Pineiro, J., Moreda-Pineiro, A., Romarís-Hortas, V., Moscoso-Pérez, C., López-Mahía, P., Muniategui-Lorenzo, S., . . . Prada-Rodríguez, D. (2011). In-vivo and in-vitro testing to assess the bioaccessibility and the bioavailability of arsenic, selenium and mercury species in food samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(2), 324-345.
- OMS (2005) Informe sobre la salud en el mundo 2005. Ginebra, Organización Mundial de la Salud
- Paucar, A. (2011). Implementación de un plan de capacitación en el manejo y producción de huertos orgánicos familiares en o asociaciones de productores agropecuarios del cantón quero.
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L., Bravo, K., . . . Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 89-105.
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., y Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1).
- Racero-Casarrubia, J., Pinedo-Hernández, J., Ballesteros-Correa, J., y Marrugo-Negrete, J. (2017). Metales pesados en especies de murciélagos (Quiróptera) asociados a una finca bajo manejo silvopastoril en el departamento de Córdoba, Colombia. *Acta zoológica mexicana*, 33(1), 45-54.
- Rascio, N., y Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant science*, 180(2), 169-181.
- Rueda, B., y Malagon, C. (2008). Estabilidad del sabor y del aroma de la cebolla junca "Allium fistulosum, L" en la elaboración industrial de pasta para condimentar. Bogota, Colombia: Universidad de La Salle.
- Romero Flores, C. E. (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 (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica).

Sánchez, E., Vizcaino, G., Mejía, F., y Ávila, I. C. (2018). Análisis mineralógico y multielemental de la ceniza volcánica, producto de la erupción del Cotopaxi en 2015, por difracción de rayos X (XRD) y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y sus posibles aplicaciones e impactos. *infoANALÍTICA*, 6(1), 9-23.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, D. O. (2003). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo que establece las reglas de operación para el otorgamiento de Pagos del Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos. *Viernes*, 3, 6-23. SGR. (2014). Programa de Prevención y Mitigación para Reducir el Riesgo por Diferentes Amenazas.

Yang, Q.-w., Li, H., y Long, F.-y. (2007). Heavy metals of vegetables and soils of vegetable bases in Chongqing, southwest China. *Environmental monitoring and assessment*, 130(1-3), 271-279.

# **ANEXOS**





**Figura 4.** Muestras de suelo colectadas



**Figura 5.** Suelos digestionados



Figura 6. Lectura de metales por horno de grafito

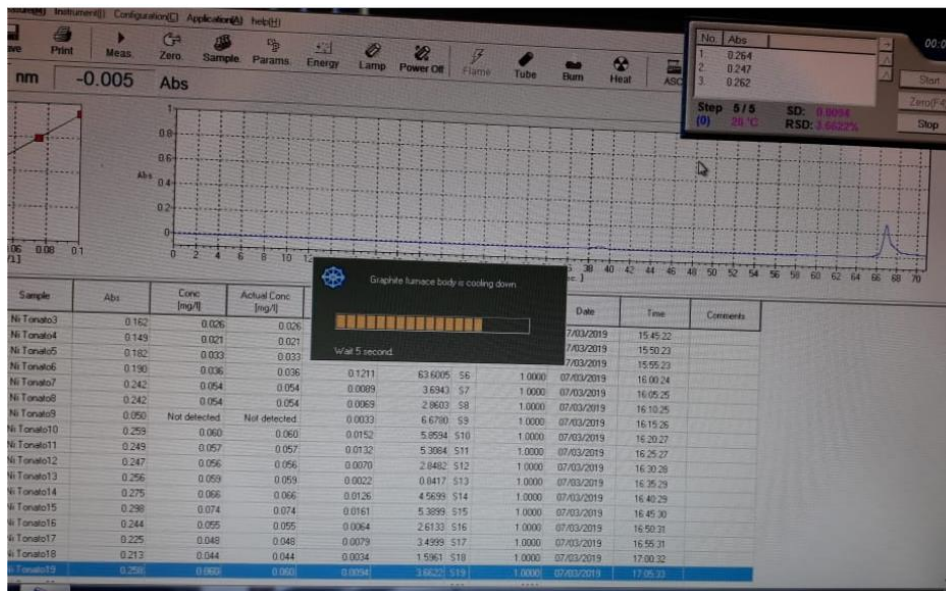


Figura 7. Señal emitida por el equipo