



**Optimización de variables instrumentales para la determinación sistemática de metales micronutrientes y metales pesados, en cultivos andinos infrautilizados**

Molina Espín, Pamela Alexandra

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Petroquímica

Trabajo de Titulación, Previo a la Obtención del Título de Ingeniera en Petroquímica

Rodríguez Maecker, Román Nicolay, PhD.

21 de octubre del 2020



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, "Optimización de variables instrumentales para la determinación sistemática de metales micronutrientes y metales pesados, en cultivos andinos infrautilizados" fue realizado por la señorita Molina Espín, Pamela Alexandra el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

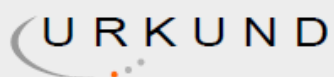
Latacunga, 21 de octubre del 2020



PhD. Roman Rodríguez

DIRECTOR DE CARRERA

1712082120

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA****CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA****REPORTE URKUND**

### Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis - Pamela Molina.docx (D81642486)  
Submitted: 10/14/2020 4:11:00 PM  
Submitted By: terasalepou@gmail.com  
Significance: 0 %

Sources included in the report:

Instances where selected sources appear:

0





**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo, **Molina Espín, Pamela Alexandra**, con cédula de ciudadanía n°**0503845703**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Optimización de variables instrumentales para la determinación sistemática de metales micronutrientes y metales pesados, en cultivos andinos infrutilizados"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 21 de octubre del 2020

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser 'P. A. Molina Espín'.

**Molina Espín, Pamela Alexandra**

**C.C.:0503845703**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

Yo **Molina Espín, Pamela Alexandra** con cédula de ciudadanía n°0503845703, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Optimización de variables instrumentales para la determinación sistemática de metales micronutrientes y metales pesados, en cultivos andinos infrautilizados”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 21 de octubre 2020

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Pamela H.' con el número 3 visible.

**Molina Espín, Pamela Alexandra**

**C.C.: 0503845703**

**DEDICATORIA**

*“Ayuda al mundo a ser mejor. No dejes el mundo como lo has encontrado. Hazlo un poco mejor, hazlo un poco más hermoso”*

Osho

*Dedicado a:**Mi madre Mónica Patricia Espín Tapia**Mi padre Rubén Isaías Molina Pérez**Mis Hermanos Israel y Gissela**Mis sobrinas Sherlyn, Xamy y Arelys**A mi amado Rubén Oyaque*

## AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento fraterno:

A mis padres, Mónica Espín y Rubén Molina por ser mi motor y apoyo incondicional, por enseñarme a nunca rendirme y fomentar en mí el deseo de superación, gracias por sus consejos, amor, paciencia, dedicación y esfuerzo que han depositado en mí a lo largo de mi vida. Gracias por ser mi mejor ejemplo y por darme la mejor herencia que es el conocimiento, gracias por hacer posible una meta más en mi vida.

A mis hermanos, Gissela e Israel, por ser mis mejores amigos y cómplices en cada travesura, son mi mejor regalo.

A mis sobrinas, Sherlyn, Xamy y Arelys, por ser la luz que alegra mi vida con sus risas, locuras y ocurrencias, son mi tesoro más preciado.

A mi Tía, Martha Espín, gracias por su tiempo y apoyo incondicional.

A mi amado, Rubén Oyaque, por ser un hombre excepcional.

A mis Abuelitos Martha Orfelina y José Augusto por consentirme y brindarme su amor sincero.

Al PhD. Román Rodríguez, por compartir todo su tiempo, conocimientos y consejos, que han servido para formarme durante mi carrera profesional, gracias por ser un amigo y maestro de vida.

A toda mi familia que de una u otra forma me han apoyado para cumplir esta meta.

Finalmente agradezco a mis compañeros en especial a mis amigas María Belén, Karen y Erika, por brindarme su amistad y compartir cada uno de sus conocimientos con mi persona a lo largo de esta etapa universitaria.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| CARATULA.....                                     | 1                             |
| CERTIFICACIÓN .....                               | 2                             |
| REPORTE URKUND .....                              | 3                             |
| RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA .....                  | 4                             |
| AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....                  | ¡Error! Marcador no definido. |
| DEDICATORIA.....                                  | 6                             |
| AGRADECIMIENTO.....                               | 7                             |
| RESUMEN.....                                      | 16                            |
| ABSTRAC .....                                     | 17                            |
| CAPÍTULO I .....                                  | 18                            |
| <b>1. GENERALIDADES .....</b>                     | <b>18</b>                     |
| 1.1. Introducción .....                           | 18                            |
| 1.2. Planteamiento del problema .....             | 20                            |
| 1.3. Justificación e importancia .....            | 21                            |
| 1.4. Objetivos.....                               | 22                            |
| 1.4.1. Objetivo General.....                      | 22                            |
| 1.4.2. Objetivos Específicos.....                 | 22                            |
| 1.5. Variables dependientes e independientes..... | 23                            |
| 1.5.1. Variables Dependientes.....                | 23                            |



|  |           |
|--|-----------|
| 1.5.2. Variables Independientes .....      | 23        |
| 1.6. Hipótesis .....                       | 23        |
| <b>CAPÍTULO II .....</b>                   | <b>24</b> |
| <b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>               | <b>24</b> |
| 2.1. Productos andino infrautilizados..... | 24        |
| 2.1.1. Oca .....                           | 24        |
| 2.1.2. Mashua.....                         | 26        |
| 2.1.3. Zanahoria Blanca .....              | 27        |
| 2.1.4. Camote.....                         | 29        |
| 2.1.5. Achira .....                        | 31        |
| 2.1.6. Chocho .....                        | 32        |
| 2.1.7. Papa China .....                    | 34        |
| 2.2. Nutrientes.....                       | 35        |
| 2.2.1. Micronutrientes .....               | 36        |
| 2.2.2. Macronutrientes.....                | 36        |
| 2.2.3. Metales pesados .....               | 36        |
| 2.3. Espectroscopia atómica .....          | 36        |
| 2.3.1. Tipos de espectroscopia.....        | 37        |
| 2.3.2. Atomización .....                   | 38        |
| 2.3.2.1. Atomización por llama.....        | 38        |

|   |           |
|---|-----------|
|   | 10        |
| 2.4. Interferencias.....  | 39        |
| 2.4.1. Interferencia espectral.....                                 | 39        |
| 2.4.2. Interferencia química.....                                   | 39        |
| 2.4.3. Interferencia por ionización .....                           | 40        |
| 2.5. Curvas de Calibración .....                                    | 40        |
| 2.6. Digestión de muestras.....                                     | 41        |
| 2.6.1. Ácidos para digestión en recipiente abiertos .....           | 41        |
| 2.6.2. Mezclas oxidantes.....                                       | 42        |
| <b>CAPÍTULO III .....</b>   | <b>43</b> |
| <b>3. METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>             | <b>43</b> |
| <b>3.1. Equipos, materiales, reactivos .....</b>                    | <b>43</b> |
| 3.1.1. Equipos .....  | 43        |
| 3.1.2. Materia prima.....   | 43        |
| 3.1.3. Materiales.....  | 44        |
| 3.1.4. Reactivos.....   | 45        |
| 3.2. Secado de muestras.....  | 45        |
| 3.2.1. Trituración de muestras .....                                | 46        |
| 3.3. Digestión de muestras.....                                     | 48        |
| 3.4. Centrifugado del digerido .....                                | 50        |
| 3.5. Análisis de espectroscopia de absorción atómica por llama..... | 52        |

|  |           |
|--|-----------|
|  | 11        |
| 3.5.1. Equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer AAnalyst 300.....  | 52        |
| 3.5.1.1. Condiciones de operación .....                            | 53        |
| 3.5.1.2. Condiciones de gases.....                                 | 53        |
| 3.5.2. Parámetros recomendados por el Equipo para cada metal ..... | 54        |
| 3.6. Preparación de muestras .....                                 | 56        |
| 3.7. Medición de muestras.....                                     | 61        |
| 3.8. Método utilizado para el análisis por AAS .....               | 62        |
| <b>CAPÍTULO IV .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>4. RESULTADO Y DISCUSIÓN .....</b>                              | <b>63</b> |
| 4.1. Condiciones óptimas.....                                      | 63        |
| 4.2. Curvas de Calibración .....                                   | 63        |
| 4.3. Resultados de las muestras .....                              | 70        |
| 4.4. Cálculos Base seca y Base Húmeda .....                        | 82        |
| 4.5. Discusión y comparación de resultados.....                    | 89        |
| <b>CAPÍTULO V .....</b>  | <b>97</b> |
| <b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                     | <b>97</b> |
| 5.1. Conclusiones .....  | 97        |
| 5.2. Recomendaciones .....   | 98        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                            | <b>99</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> <i>Planta de oca con su respectivo tubérculo</i> .....                           | 25 |
| <b>Figura 2</b> <i>Planta de mashua con su respectivo tubérculo</i> .....                        | 27 |
| <b>Figura 3</b> <i>Planta de zanahoria blanca con sus respectivos tubérculos</i> .....           | 29 |
| <b>Figura 4</b> <i>Planta de camote con sus respectivos tubérculos</i> .....                     | 31 |
| <b>Figura 5</b> <i>Planta de achira con sus flores y tubérculos</i> .....                        | 32 |
| <b>Figura 6</b> <i>Planta de chocho con sus respectivos granos</i> .....                         | 33 |
| <b>Figura 7</b> <i>Planta de papa china con su tubérculo</i> .....                               | 35 |
| <b>Figura 8</b> <i>Emisión , absorción y fluorescencia en una llama</i> .....                    | 38 |
| <b>Figura 9</b> <i>Atomización por llama en el equipo de espectroscopia de absorción atómica</i> | 39 |
| <b>Figura 10</b> <i>Esquema de una curva de calibración</i> .....                                | 40 |
| <b>Figura 11</b> <i>Muestras de ceniza después del secado de 24 horas</i> .....                  | 46 |
| <b>Figura 12</b> <i>Trituración de cenizas</i> .....   | 47 |
| <b>Figura 13</b> <i>Muestras trituradas dentro de un desecador</i> .....                         | 47 |
| <b>Figura 14</b> <i>Muestra pesada y colocada en el matraz de dos bocas</i> .....                | 48 |
| <b>Figura 15</b> <i>Ensamble del equipo de digestión</i> .....                                   | 49 |
| <b>Figura 16</b> <i>Digestión acida de muestras con reflujo</i> .....                            | 49 |
| <b>Figura 17</b> <i>Digerido de muestras con agua ultrapura milli-Q en tubos falcon</i> .....    | 50 |
| <b>Figura 18</b> <i>Centrifugación de muestras</i> .....   | 50 |
| <b>Figura 19</b> <i>Muestras centrifugadas con líquido sobrenadante</i> .....                    | 51 |
| <b>Figura 20</b> <i>Muestras digeridas en balones de 50ml</i> .....                              | 51 |
| <b>Figura 21</b> <i>Muestras de cenizas digeridas y aforadas en balones de 50ml</i> .....        | 52 |
| <b>Figura 22</b> <i>Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer AAnalyst 300</i> .....   | 54 |
| <b>Figura 23</b> <i>Análisis de muestras por AAS</i> .....                                       | 62 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 24</b> <i>Curva de calibración para el Fe</i> .....  | 64 |
| <b>Figura 25</b> <i>Curva de calibración para el Mn</i> .....  | 65 |
| <b>Figura 26</b> <i>Curva de calibración para el Zn</i> .....  | 66 |
| <b>Figura 27</b> <i>Curva de calibración para el Ni</i> .....  | 67 |
| <b>Figura 28</b> <i>Curva de calibración para el Cr</i> .....  | 68 |
| <b>Figura 29</b> <i>Curva de calibración para el Pb</i> .....  | 69 |
| <b>Figura 30</b> <i>Curva de calibración para el Cd</i> .....  | 70 |
| <b>Figura 31</b> <i>Concentración de metales en cenizas de oca en (mg/L)</i> .....   | 71 |
| <b>Figura 32</b> <i>Concentración de metales en cenizas de mashua en (mg/L)</i> .....  | 72 |
| <b>Figura 33</b> <i>Concentración de metales en cenizas de melloco en (mg/L)</i> .....                                       | 73 |
| <b>Figura 34</b> <i>Concentración de metales en cenizas de zanahoria blanca en (mg/L)</i> .....                              | 74 |
| <b>Figura 35</b> <i>Concentración de metales en cenizas de papa china en (mg/L)</i> .....                                    | 75 |
| <b>Figura 36</b> <i>Concentración de metales en cenizas de chocho en (mg/L)</i> .....  | 76 |
| <b>Figura 37</b> <i>Concentración de metales en cenizas de camote amarillo en (mg/L)</i> .....                               | 77 |
| <b>Figura 38</b> <i>Concentración de metales en cenizas de camote morado (mg/L)</i> .....                                    | 78 |
| <b>Figura 39</b> <i>Concentración de metales en cenizas de achira en (mg/L)</i> .....  | 79 |
| <b>Figura 40</b> <i>Concentración de metales en cenizas de harina de cáscara de banano en (mg/L)</i> .....                   | 80 |
| <b>Figura 41</b> <i>Concentración de metales en cenizas de pulpa de banana en (mg/L)</i> .....                               | 81 |
| <b>Figura 42</b> <i>Concentración de metales en cenizas de harina de cáscara de banano + pulpa de banano en (mg/L)</i> ..... | 82 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Condiciones de operación del espectrofotómetro Perkin Elmer AAnalyst 300 ...</i>  | 53 |
| <b>Tabla 2</b> <i>Parámetros recomendados por el equipo para cada metal .....</i>                   | 54 |
| <b>Tabla 3</b> <i>Puntos de calibración para el Níquel .....</i>                                    | 56 |
| <b>Tabla 4</b> <i>Puntos de calibración para el Cadmio .....</i>                                    | 57 |
| <b>Tabla 5</b> <i>Puntos de calibración para el Cromo .....</i>                                     | 58 |
| <b>Tabla 6</b> <i>Puntos de calibración para el Plomo.....</i>                                      | 58 |
| <b>Tabla 7</b> <i>Puntos de calibración para el Hierro .....</i>                                    | 59 |
| <b>Tabla 8</b> <i>Puntos de calibración para el Manganeso.....</i>                                  | 60 |
| <b>Tabla 9</b> <i>Puntos de calibración para el Zinc .....</i>                                      | 61 |
| <b>Tabla 10</b> <i>Condiciones óptimas de longitud de onda y flujo de combustible.....</i>          | 63 |
| <b>Tabla 11</b> <i>Concentración de metales para la oca en base seca y húmeda .....</i>             | 83 |
| <b>Tabla 12</b> <i>Concentración de metales para la mashua en base seca y húmeda.....</i>           | 83 |
| <b>Tabla 13</b> <i>Concentración de metales para el melloco en base seca y húmeda .....</i>         | 84 |
| <b>Tabla 14</b> <i>Concentración de metales para la zanahoria blanca en base seca y húmeda .</i>    | 84 |
| <b>Tabla 15</b> <i>Concentración de metales para la papa china en base seca y húmeda.....</i>       | 85 |
| <b>Tabla 16</b> <i>Concentración de metales para el chocho en base seca y húmeda.....</i>           | 85 |
| <b>Tabla 17</b> <i>Concentración de metales para el camote amarillo en base seca y húmeda .....</i> | 86 |
| <b>Tabla 18</b> <i>Concentración de metales para el camote morado en base seca y húmeda....</i>     | 86 |
| <b>Tabla 19</b> <i>Concentración de metales para la achira en base seca y húmeda.....</i>           | 87 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 20</b> <i>Concentración de metales para harina de cáscara de banano en base seca y húmeda</i> .....                   | 87 |
| <b>Tabla 21</b> <i>Concentración de metales para harina de pulpa de banano en base seca y húmeda</i> .....                     | 88 |
| <b>Tabla 22</b> <i>Concentración de metales para harina de cáscara de banano + pulpa de banano en base seca y húmeda</i> ..... | 88 |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene el objetivo de analizar los metales micronutrientes (manganeso (Mn), hierro (Fe), cromo (Cr), zinc (Zn)) y metales pesados (cadmio (Cd), plomo (Pb) y níquel (Ni)) presentes en cenizas de productos andinos infrautilizados y residuos agroindustriales. Las muestras se digirieron mediante el procedimiento de digestión ácida con agua regia y calor, sus metales se determinaron mediante el método de espectroscopia de absorción atómica por llama donde se fijó una longitud de onda, flujo de combustible y altura de mechero adecuada para cada metal con la finalidad de obtener la máxima señal de absorción para cada elemento. Los resultados muestran valores promedio que varían de 0,016–0,105; 0,085–0,529; 12,984-121,697; 0,105-0,951; 3,546-22,151; 0,534-1,731; 13,432-53,280 mg / kg peso seco para Cd, Cr, Fe, Ni, Mn, Pb y Zn respectivamente. Los niveles medios más altos de Cd, Cr y Ni, Fe y Zn, Mn y Pb se detectaron en harina de cáscara de banano, melloco, mashua, chochó, papa china respectivamente. Los metales contenidos en las muestras analizadas se comparó con niveles reportados para verduras, legumbres, tubérculos y cereales similares de otras partes del mundo, mismos que estuvieron dentro de los rangos reportados en la literatura, hay una excepción para el Pb que sobrepasa los límites establecidos por la legislación de la unión europea, donde establece que la concentración de plomo no debe superar el 0,1 mg / kg peso seco.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **MACRONUTRIENTES**
- **MICRONUTRIENTES**
- **METALES PESADOS**
- **ABSORCIÓN**
- **PRODUCTOS ANDINOS**



## ABSTRAC

The present research work has the objective of analyzing the micronutrient metals (manganese (Mn), iron (Fe), chromium (Cr), and zinc (Zn)) and heavy metals (cadmium (Cd), lead (Pb) and nickel (Ni)) present in ashes of underused Andean products and agro-industrial waste. The samples were digested by the acid digestion procedure with aqua regia and heat; their metals were determined by the flame atomic absorption spectroscopy method where a suitable wavelength, fuel flow and lighter height were set for each metal with the purpose of obtaining the maximum absorption signal for each element. The results show average values that vary from 0.016–0.105; 0.085-0.529; 12,984-121,697; 0.105-0.951; 3,546-22,151; 0.534-1.731; 13,432-53,280 mg / kg dry weight for Cd, Cr, Fe, Ni, Mn, Pb and Zn respectively. The highest levels of Cd, Cr and Ni, Fe and Zn, Mn and Pb were detected in banana peel flour, melloco, mashua, chocho, papa china respectively. The metals contained in the analyzed samples were compared with levels reported for vegetables, legumes, tubers and similar cereals from other parts of the world, which were within the ranges reported in the literature, there is an exception for Pb that exceeds the established limits by the legislation of the European Union, which establishes that the lead concentration must not exceed 0.1 mg / kg dry weight.

### KEYWORDS:

- **MACRONUTRIENTS**
- **MICRONUTRIENTS**
- **HEAVY METALS**
- **ABSORPTION**
- **ANDEAN PRODUCTS**

## CAPÍTULO I

### 1. GENERALIDADES

#### 1.1. Introducción

Los productos andinos infrautilizados son cultivos locales y tradicionales ampliamente cultivados en el pasado pero que hoy están en desuso (García, 2014), en los países de región andina se encuentran muchos de estos productos que sirven como fuente de autoalimento de ciertas familias, pero que pocas veces son comercializados. Algunas de estas especies son: oca (*Oxalis tuberosa*), achira (*Canna indica*), papa china (*Colocasia esculenta*), zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*) camote (*Ipomoea batata*), chocho (*Lupinus mutabilis*), melloco (*Ullucus tuberosus*). Tienen varios beneficios para la salud porque son fuentes de energía en forma de almidón y azúcares, pueden ser una fuente rica en minerales, vitaminas, fibras dietéticas y antioxidantes. (Leidia, Monteros, Mercadoc, Rodriguez, Ramosa, Alandíae, Sorensene & Jacobsene, 2018)

La mayoría de raíces y tubérculos andinos (RTAs) son cultivados en la región interandina del Ecuador, y son en su mayoría tubérculos utilizados como subsistencia por los pobladores andinos rurales en su alimentación y como parte de su cultura (Barrera, Tapia & Monteros, 2004), Es necesario aprovechar las propiedades que estos productos poseen para promover el cultivo, transformación y consumo de estas especies comestibles tradicionales infrautilizadas.

Sin embargo la investigación de los productos andinos infrautilizados es escasa respecto a la presencia de metales macronutrientes, metales micronutrientes y metales pesados presentes en los mismos.

El INIAP cuenta con un análisis aproximado y desactualizado de nutrientes contenidos en ciertos productos donde no se establece el contenido de metales pesados como posibles contaminantes del mismo. (Barrera, Tapia & Monteros, 2014)

Es necesario contar con estudios sobre sus principales compuestos químicos de estas especies y llevar un análisis de sus metales, para tener un potencial para la fabricación de nuevos productos con un valor agregado y así aprovechar materia prima poco explotada, que servirá para promover el consumo nacional y la exportación de tales productos. (Moron, Zacarias, & Pablo, 1997)

Por tal motivo el disponer de un método estandarizado y sistemático para el análisis de macronutrientes, micronutrientes y metales pesados que se encuentran en productos andinos infrutilizados, permite obtener información específica de metales como: Potasio (K), Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Sodio (Na), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Cromo (Cr), Cadmio (Cd) que ayudaran como referente para la producción de nuevos productos que sean diferentes a los tradicionales, más nutritivos y menos contaminados, con esto se logrará potencializar la economía y agricultura en el país.

Este propósito puede cumplirse utilizando el método de espectroscopia de absorción atómica que permitirá optimizar las variables instrumentales para analizar cada una de las muestras.

La alternativa de aprovechar estos productos como materia prima, permite generar productos tales como bebidas, harinas libres de gluten y trigo, películas activas, coagulantes y floculantes para tratamientos de agua, biopolímeros amigables con el ambiente etc.

En general, el análisis sistemático por espectroscopia de absorción atómica servirá para el aprovechamiento de los productos andinos infrautilizados que se cultivan en nuestro país, contribuyendo así a la agricultura, comercialización y fabricación de nuevos productos.

## **1.2. Planteamiento del problema**

El problema radica en que no se aprovecha los productos andinos infrautilizados que posee el Ecuador, debido a que no existe un método estandarizado y sistemático para analizar metales macronutrientes, metales micronutrientes y metales pesados presentes en los mismos utilizando la técnica de espectroscopia de absorción atómica. Además de utilizar dichos productos como fuente de alimento de ciertos pueblos, se puede utilizar como materia prima para la fabricación de nuevos productos que tengan un valor agregado como por ejemplo la elaboración de harinas libres de trigo y gluten, esta investigación que permitirá potenciar la economía y la agricultura en nuestro país.

Tradicionalmente en nuestro país se consumen productos comunes los cuales en su mayoría son importados y han sido analizados por empresas internacionales, pero se han dejado de lado productos andinos infrautilizados propios del país por lo que en los últimos años se ha dejado de cultivar para su comercialización, estos productos pueden tener igual o mejor componentes nutricionales y pueden sustituir a productos con presencia de gluten y trigo.

Debido al fenómeno de la globalización, las personas tienden a buscar productos nutritivos y con menos contaminantes, con la tecnología actual se puede determinar y desarrollar una técnica sistemática que permita conocer los nutrientes de dichos alimentos y el grado de contaminación que poseen.

El disponer de un método estandarizado y sistemático a través de la espectrometría de absorción atómica mediante la digestión ácida de muestras de cenizas de productos andinos infrautilizados como: mashua, melloco, oca, zanahoria blanca, camote, achira, chocho y papa china, permitirá obtener datos específicos de metales macronutrientes, metales micronutrientes y metales pesados que ayudaran como referente para la fabricación de diversos productos nuevos.

### **1.3. Justificación e importancia**

El Ecuador es un país en desarrollo y no hay un método estandarizado y sistemático para el análisis de metales macronutrientes, metales micronutrientes y metales pesados que se encuentran en productos andinos infrautilizados como: mashua, melloco, oca, zanahoria blanca, camote, achira, chocho y papa china.

Por lo cual es importante optimizar variables instrumentales que permitan el análisis sistemático de los mismos, debido a que en el país se ha dejado de lado muchos de estos productos por desconocimiento de su valor nutricional, al obtener información mediante un análisis sistemático incentivamos a la producción agrícola y a la fabricación de productos derivados de los mismo que sean diferentes a los tradicionales y que tengan un valor agregado.

Se realizo un análisis utilizando el método de espectrometría de absorción atómica para cuantificar metales presentes en las muestras a ser analizadas y que a la vez serán de aporte significativo para el proyecto inédita titulado “Desarrollo de productos alimenticios libres de trigo y gluten a partir de cultivos andinos infrautilizados y residuos agroindustriales” financiado por SENESCYT.

El presente estudio aporta con información para la caracterización y transformación de productos andinos infrautilizados, que a la vez satisface lo prescrito

en el plan nacional del buen vivir, objetivo cinco que establece que: *“Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sustentable de manera redistributiva y solidaria , para que el desarrollo económico sea consecuente con los grandes retos que enfrenta el planeta en lo ambiental, el aprovechamiento de los recursos con los que cuenta el país se debe hacer de manera responsable y sostenible, para promover la productividad, competitividad y calidad de los productos primarios y así también la disponibilidad de servicios conexos y otros insumos, para desarrollar la industria agrícola, pecuaria, acuícola y pesquera sostenible con enfoque a satisfacer la demanda nacional y de exportación”*. (SENPLADES, 2017)

El método de espectrometría de absorción atómica por llama es la técnica más utilizada para el análisis de metales en alimentos debido a su simplicidad, alto rendimiento de muestras y el costo relativamente bajo de su instrumentación.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo General**

Optimizar variables instrumentales para la determinación sistemática y en serie de metales micronutrientes y metales pesados presentes en cultivos andinos infrutilizados a través del método de espectrometría de absorción atómica.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Digerir las cenizas de: mashua, oca, zanahoria blanca, camote, achira, chocho, papa china, melloco, cáscara de banano, pulpa de banano, cascara + pulpa de banano para ser analizadas por espectrometría de absorción atómica.
- Establecer las condiciones óptimas para las variables como: flujo de acetileno-aire y altura del mechero, para cada especie a ser analizada mediante curvas de calibración en el rango adecuado de los mismos.

- Analizar cada una de las muestras para cuantificar macronutrientes, micronutrientes y contaminantes como metales pesados.

## **1.5. Variables dependientes e independientes**

### **1.5.1. Variables Dependientes**

- Altura de mechero
- Flujo de combustible

### **1.5.2. Variables Independientes**

Absorbancia a la longitud de onda específica de cada metal analizado.

## **1.6. Hipótesis**

Se puede analizar sistemáticamente y en serie micronutrientes, macronutrientes y metales pesados (Fe, Mn, Zn, Ni, Pb, Cr, Cd) presentes en cultivos andinos infrautilizados como: mashua, oca, zanahoria blanca, camote, achira, chocho, papa china, cáscara de banano, pulpa de banano y cáscara +pulpa de banano.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Productos andino infrautilizados

Se definen como cultivos autóctonos y tradicionales que han sido olvidados y descuidados, mismo que en el pasado eran cultivados en gran proporción pero que hoy están en desuso.(Garcia-Yi, 2014). Estos productos han sido descuidados por la mayoría de las comunidades agrícolas, el sector industrial y la parte científica. (Scheldeman, Rojas, Valdivia, Peralta, & Padulosi, 2003).

Son de vital importancia dentro de la dieta alimenticia en la mayoría de comunidades marginadas, proporcionan componentes nutricionales valiosos, que a menudo faltan en los cultivos básicos, también son utilizados por las propiedades medicinales que estos presentan.(Ebert, 2014)

El uso de los cultivos infrautilizados disminuye a medida que aumenta la modernización de prácticas productivas, la competitividad en el mercado, la migración y la erosión de la tierra (FiFer, 2018),es por ello que estas especies subutilizadas pueden servir como materia prima para la fabricación de nuevos productos con un valor agregado.

##### 2.1.1. Oca

La oca (*Oxalis tuberosa*) conocida también como: cuiba, macachín, iba, es un tubérculo perenne almidonado domesticado en el región andina mucho antes de la época de los incas (Chirinos et al., 2009). Su cultivo y consumo en la región andina ocupa el segundo puesto después de papa, la mayor parte de su consumo se hace de manera artesanal donde se expone al sol para que el tubérculo obtenga un sabor dulce, posteriormente se cocina y sirve como alimento.



Su cultivo crece entre 2800 y 4000 msnm y va desde 8 °C de latitud norte hasta los 23 °C latitud sur.(Santacruz, 2004).La forma del tubérculo varía desde ovoide a cilíndrica y claviforme y el color de la superficie varía de blanco a crema, amarillo, naranja, rosa y hasta morado. (Barrera, 2003)

Por su alto contenido de carbohidratos sirve como materia prima para la elaboración de harinas, frecuentemente se utiliza en el arte culinario y también como medicina según creencias ancestrales.

### **Figura 1**

*Planta de oca con su respectivo tubérculo*



*Nota.* Planta de oca con sus respectivos tubérculos que están en proceso de crecimiento, misma que tiene aproximadamente 6 meses, fotografía retratada en la comuna de Palopo Contadero, parroquia Ignacio Flores, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

### 2.1.2. Mashua

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*), dependiendo del lugar y país de cultivo puede tener otros nombres como: hubias, yanaoca, añu, kayacha (Barrera, 2003), es un tubérculo rústico que puede crecer en suelos pobres, su ciclo de cultivo va de 6 a 9 meses, es una planta herbácea y se distingue de las demás especies por su contenido de vitamina C y provitamina A. (Guevara-Freire et al., 2018), su tubérculo puede tomar varios colores que va desde un amarillo intenso a un amarillo pálido, incluso puede tomar un color negro.

En el Ecuador el cultivo de mashua ha disminuido considerablemente, lo poco que se cultiva se da en huertos pequeños en su mayoría mixtos con plantas de oca, papas, habas y melloco (Suquilanda, 2011), su producción se da principalmente en la región sierra en las provincias de Bolívar, Pichincha, Tungurahua y Cotopaxi.

Se distribuye geográficamente desde Colombia hasta el noroeste de Argentina, las personas atribuyen que es un alimento medicinal a pesar de su sabor picante, sirve como antibiótico, insecticida, nematicida y propiedades diuréticas, además, se utiliza para la prevención de la inflamación de la próstata entre otros. (Aguilar-Galvez et al., 2020)

## Figura 2

*Planta de mashua con su respectivo tubérculo*



*Nota.* Planta de mashua con sus respectivos tubérculos que están en proceso de cosecha, misma que tiene aproximadamente 6 meses, fotografía retratada en la comuna de Palopo Contadero, parroquia Ignacio Flores, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

### 2.1.3. Zanahoria Blanca

La zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), es una de las especies más antiguas de los andes, se considera un cultivo percedero (Castanha, Villar, da Matta Junior, dos Anjos, & Augusto, 2018), sus nombres comunes puede variar de acuerdo al lugar de cultivo, idioma y religión entre estos tenemos: lagachu, rakkacha, arracacha, apio criollo (Barrera, 2003), es una planta herbácea que tiene su tallo definido y su tubérculo perfectamente distinguido.

La arracacha se cultiva en alturas desde los 600 m hasta los 3200 m sobre el nivel del mar (Jiménez, 2005) y su mayor producción está en Loja, Cañar y Azuay y en menos proporción en Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua.

Su color puede variar de blanco, amarillo y hasta morado (León & Villacorta, 2010), es un alimento muy nutritivo que contiene calcio, fósforo, hierro, niacina, vitamina A, piridoxina-B6, riboflavina-B2, ácido ascórbico, proteínas, fibras y carbohidratos. (ADARVE-COBO & MEJIA-GIRALDO, 2012), sobre todo tiene un alto contenido de almidón (de Souza Gomes et al., 2018), esto hace de la arracacha un cultivo prometedor como materia prima para la fabricación de productos nuevos.

En el Ecuador se utiliza en el arte culinario para preparar, pasteles, puré, tortillas, etc. Hay personas que utilizan este producto para beneficios a su salud como: antiinflamatorio y antiséptico, cataplasma, y también tiene propiedades diuréticas y antidiarreicas (Leidi et al., 2018), asimismo hay estudios que utilizan como materia prima para la producción de harina.

### Figura 3

*Planta de zanahoria blanca con su respectivos tubérculos.*



*Nota.* Planta de zanahoria blanca con sus respectivos tubérculos en proceso de cosecha, misma que tiene aproximadamente 8 meses, fotografía retratada en el barrio Pillig Loma, parroquia Ignacio Flores, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

#### 2.1.4. Camote

El camote (*Ipomoea batatas*), son plantas perennes que pertenecen a la familia de los convolvulaceae (Vidal, Zaucedo-Zuñiga, & Ramos-García, 2018), es un tubérculo que crece en la parte tropical y subtropical de nuestro país, sus nombres más comunes son batata y papa dulce, tiene diversos colores que va desde el blanco, rosa claro, morado, rojo, crema, marrón anaranjado y amarillo. (Ellong, Billard, & Adenet, 2014)

En Ecuador existen alrededor de 412 especies de este cultivo, sin embargo el camote morado es el más consumido. (Alarcón, Pinargote, Menendez, Betancourt, & Muentes, 2016)

Se cultiva en su mayoría en la provincia de Manabí, le sigue Loja, Azuay, además se puede observar cultivos pequeños en Morona Santiago, Pichincha, Carchi, Imbabura, Pastaza y Guayas.

Esta raíz es fuente de carbohidratos, vitamina A (en forma de betacaroteno), vitamina C y manganeso, y una buena fuente de cobre, fibra dietética, vitamina B6, potasio y hierro (Dini, Tenore, & Dini, 2009)

El camote ha tenido un gran auge en los últimos años es así que en China, Japón y Korea, se utiliza principalmente como almidón ,y como materia prima para una variedad de productos alimenticios, en pudines, bizcochos, fideos, golosinas, postres, entre otros.(Linares, Ureña, & Ruales, 2015)

En Ecuador se utiliza como fuente de alimento por lo que existe varias recetas culinarias, además se utiliza como planta medicinal y como alimento de animales.

**Figura 4**

*Planta de camote con su respectivo tubérculo*



*Nota.* Planta de camote con sus respectivos tubérculos en proceso de cosecha, misma que tiene aproximadamente 1 año, fotografía retratada en la parroquia Guasaganda, cantón La Mana, provincia de Cotopaxi.

**2.1.5. Achira**

La achira (*Canna indica*), de acuerdo a los países de cultivo se le denomina de diferente manera como por ejemplo: capacho, chisgua, sagú o achera, es un tipo de tubérculo que puede ser sembrada sola o con cultivos de maíz, arveja u otros productos, la mayoría de veces es cultivada como planta ornamental (Bonete, Urquizo, Guevara, & Yáñez, 2016) por el color que poseen sus flores.

Este producto se puede cultivar desde el nivel del mar hasta los 2700 m sobre el nivel del mar (Caicedo, 2004), sus hojas son las más utilizadas en la rama de la gastronomía, debido a que son útiles en la envoltura de quimbolitos, arepas, queso de hoja, tamales, etc.

Además por su contenido de almidón se utiliza para la industria alimentaria, pero también como fuente de biopolímeros para envases y productos farmacéuticos. (Andrade-Mahecha, Pelissari, Tapia-Blácido, & Menegalli, 2015).

### Figura 5

*Planta de achira con sus flores y tubérculos.*



*Nota.* Planta de achira con sus respectivos tubérculos en proceso, misma que tiene aproximadamente 1 año, fotografía retratada en el barrio Pillig Loma, parroquia Ignacio Flores, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

#### 2.1.6. Chocho

El chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*), es una leguminosa de origen andino, sus denominaciones vernaculares son: Lupín, Lupino, tarwi, tahuri (Jacobsen & Mujica, 2006) su cultivo se desarrolla desde los 1500 - 3500 metros sobre el nivel del mar y el ciclo de cultivo típico es 6 meses a 1 año. (Horton, 2014)

Dentro de su valor nutricional las proteínas y aceites representan más de la mitad del peso de la semilla, presentan alto contenido de fósforo, potasio y hierro,



además de vitaminas y minerales (Arias, 2015), por lo que es utilizado principalmente como fuente de alimento.

Sin embargo el chocho posee alcaloides que confiere un sabor amargo al grano, por lo que su principal utilidad es como: agentes fungicidas, insecticidas, bactericida y nematocidas. (Villacres et al., 2009)

En Ecuador su consumo se da generalmente en la sierra y las provincias con mayor producción son: Cotopaxi, Cañar y Chimborazo (Guerra & Pozo, 2018), aunque también se cultiva en Pichincha, Bolívar, Tungurahua, Carchi e Imbabura.

### **Figura 6**

*Planta de chocho con sus respectivos granos*



*Nota.* Planta de chocho con sus respectivos granos, misma que tiene aproximadamente 6 meses, fotografía retratada en el barrio Santan Grande, parroquia Ignacio Flores, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

### **2.1.7. Papa China**

La papa china (*Colocasia esculenta*) se cultiva en lugares tropicales y subtropicales, es uno de los principales cultivos de subsistencia en la Amazonía ecuatoriana, ha este tubérculo también se lo conoce como: taro, malanga, ocumo chino (Correa, Dioses, Mora, Delgado, & Valarezo, 2019), es una planta perenne y el ciclo del cultivo varía de 7 a 10 meses. (MORALES, PEÑAFIEL, & BARAHONA, 2016)

El taro es rico en fuentes de nutrientes como: calcio, fósforo, hierro, vitamina C, tiamina, riboflamina, niacina, antioxidantes y gran cantidad de almidón (Orozco, Garcés, & Rivera, 2014)

En el Ecuador su mayor producción se da en la provincia de Pastaza, sin embargo en la provincia de Morona Santiago existe un centro de acopio y procesamiento de papa china que tiene como objetivo exportar el producto a diferentes países.

La papa china su consume principalmente como alimento humano y animal, en la industria agroalimentaria se utiliza para hacer harina o snaks.

**Figura 7**

*Planta de papa china con su tubérculo*



*Nota.* Planta de papa china con sus respectivos tubérculos, misma que tiene aproximadamente 9 meses, fotografía retratada en la parroquia El Corazón, cantón Pangua, provincia de Cotopaxi.

**2.2. Nutrientes**

Son sustancias químicas que se encuentran presentes en los diferentes alimentos y que proporcionan aporte de energía, aminoácidos y elementos o compuestos fundamentales para el crecimiento, la reproducción y la buena salud. (OMS, 2020)

Hay seis principales grupos de nutrientes que son: carbohidratos, proteínas, grasas, vitaminas, minerales y agua (Melo & Cuamatzi, 2020), cada uno de ellos es vital en el organismo para cumplir diferentes funciones que permitan el correcto funcionamiento de nuestro cuerpo.

### **2.2.1. Micronutrientes**

Son aquellos nutrientes que se consumen en pequeñas dosis pero que son vitales para el correcto funcionamiento del organismo, dentro de este grupo se encuentran los minerales y vitaminas.

### **2.2.2. Macronutrientes**

Son aquellos que se encuentran y se necesitan en mayor cantidad en la nutrición humana, estos suministran la mayor parte de la energía metabólica al organismo, los principales son los carbohidratos, grasas y las proteínas. (Gallego Picó, 2012)

### **2.2.3. Metales pesados**

En los alimentos que consumimos a diario puede existir la presencia de metales pesados como por ejemplo: As, Pb, Cd y Hg, que se clasifican como no esenciales para las funciones metabólicas y otras funciones biológicas. (Rai, Lee, Zhang, Tsang, & Kim, 2019)

Para analizar los nutrientes presentes en alimentos se utiliza métodos que permiten determinar y cuantificar especies que se encuentran en los diferentes productos alimenticios, para ello existen métodos clásicos como la gravimetría y volumetría o métodos analíticos como la espectroscopia. (Zumbado Fernández, 2020)

La utilización de instrumentación ha facilitado el análisis químico de diferentes muestras, debido a que se utiliza menos cantidades de muestras y reactivos, también disminuye el tiempo de análisis y es relativamente barato.

## **2.3. Espectroscopia atómica**

Las técnicas de espectroscopia atómica, se basa en la descomposición de una muestra en átomos libres mediante una llama o un plasma. La cantidad de cada

elemento se determina por la radiación visible o ultravioleta que absorben o emiten los átomos en estado gaseoso.(Harris, 2018)

La atomización se logra únicamente a altas temperaturas que van de 2000 K a 6000 K, y la concentración de átomos en fase vapor se determina midiendo la absorción o emisión a la longitud de onda característica.(Harris, 2018)

La espectroscopia de absorción atómica se utiliza ampliamente en industrias alimenticias, farmacéutica, petroleras, cosméticas, medioambientales, etc. Para analizar metales en cantidades trazas de partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb).

### **2.3.1. Tipos de espectroscopia**

- **Emisión atómica**

Átomos excitados por energía térmica emiten radiación electromagnética.

- **Absorción atómica**

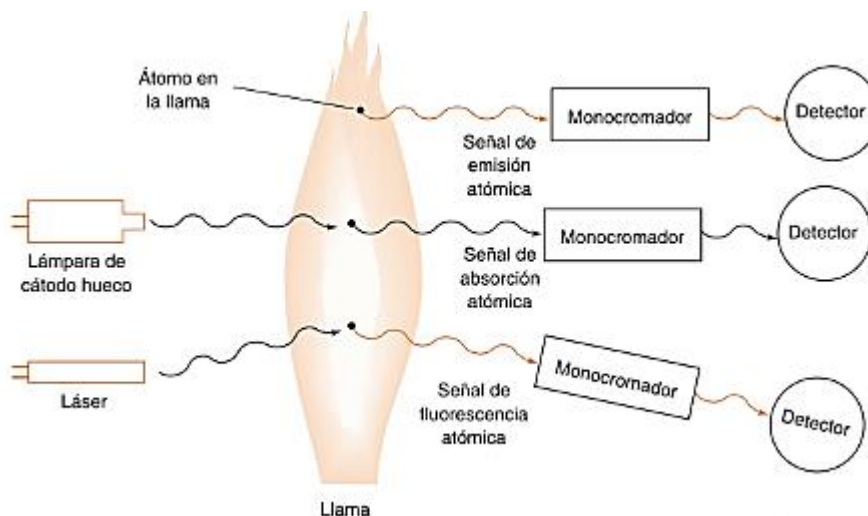
Átomos en estado basal absorben radiación electromagnética proveniente de una fuente de luz.

- **Fluorescencia atómica**

Átomos excitados por una fuente de radiación electromagnética emiten radiación fluorescente.

**Figura 8**

*Emisión, absorción y fluorescencia en una llama*



*Nota:* (Harris, 2018)

### 2.3.2. Atomización

La atomización del analito puede ser por llama, horno de grafito o plasma, de estas tres la más antigua y aun utilizada ampliamente en laboratorios es el de llama, porque es de bajo costo y fácil de usar. (Álvarez de la Torre, 2016)

#### 2.3.2.1. Atomización por llama

Utiliza un mechero de premezcla donde se mezcla el combustible, oxidante y la muestra antes de introducirse a la llama, la mezcla más común de combustible-oxidante cuando las muestras se descomponen con facilidad es de acetileno-aire, aunque si las muestras son más refractarias se puede utilizar acetileno-óxido nitroso, la temperatura dependerá de la mezcla combustible-oxidante. (DA Skoog, Holler, & Crouch, 2008)

## Figura 9

*Atomización por llama en el equipo de espectroscopia de absorción atómica.*



*Nota:* Fotografía proporcionada AQLAB

### **2.4. Interferencias**

Son perturbaciones en la señal instrumental que no se deben a cambio de concentración en el analito, entre las cuales tenemos:

#### **2.4.1. Interferencia espectral**

Son señales no deseadas que provienen de otros elementos presentes en la muestra, de la llama, o del horno y que se superponen a la señal del analito, se puede eliminar seleccionando longitudes de onda adecuadas.

#### **2.4.2. Interferencia química**

Son componentes que están presentes en la muestra y que reducen el grado de atomización del analito, pueden agregarse a la muestra el lantano, ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y la 8-hidroxiquinoleína (Harris, 2018), que son

agentes químicos liberadores que permite reducir la interferencia química, también altas temperaturas eliminan muchos tipos de interferencia química.

### 2.4.3. Interferencia por ionización

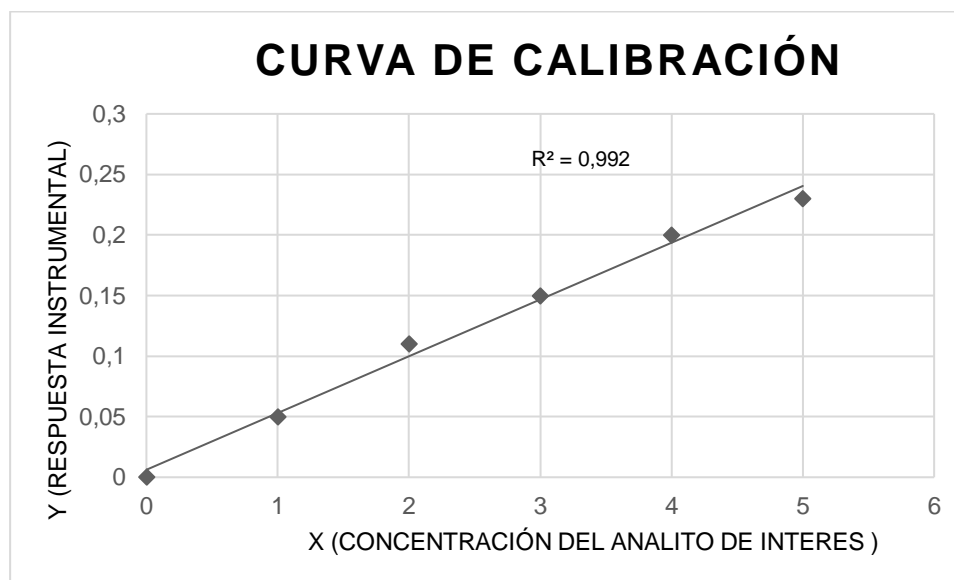
Cuando se produce la ionización del analito, reduciendo la concentración de átomos neutros, para reducir esto se utiliza un inhibidor de ionización como el CsCl debido a que es un metal de ionización más fácilmente que otros metales.

### 2.5. Curvas de Calibración

La técnica más común para el análisis cuantitativo, se basa en la construcción de curvas de calibración, que son representaciones gráfica de una señal instrumental que se mide en función de la concentración del analito, puede ser a través de la adición de un patrón o estándar de referencia certificado.

#### Figura 10

*Esquema de una curva de calibración*





## 2.6. Digestión de muestras

Se entiende por digestión de muestras la descomposición de un material sólido por medio de un reactivo de digestión adecuado a temperatura incrementada. (Douglas Skoog, Holler, West, & Crouch, 2015)

La digestión de las muestra se realiza principalmente por fusión o un procedimiento húmedo basado en una digestión ácida con una mezcla calentada de ácidos minerales. Hay diferentes sistemas de calefacción que se pueden utilizar para la digestión como, baño de arena, placa calefactora, digestión a presión, bombas y bloques de aluminio. (Sastre, Sahuquillo, Vidal, & Rauret, 2002)

La introducción de sistemas de microondas para la descomposición de muestras, tanto con sistemas presurizados abiertos como cerrados, ha permitido una considerable reducción en el tiempo total de análisis, evita la contaminación de muestra y la exposición a vapores generados durante la digestión. (Silva, 2012)

### 2.6.1. Ácidos para digestión en recipiente abiertos

En recipientes abiertos la digestión de muestras inorgánicas se hace mediante la utilización de ácidos minerales que se mencionan a continuación:

**Ácido clorhídrico ( $HCl$ ):** es ideal para muestras inorgánicas.

**Ácido nítrico ( $HNO_3$ ):** como regla general se utiliza para muestras limpias o materiales fácilmente oxidables, disuelve la mayoría de metales con excepción del aluminio y cromo.

**Ácido perclórico ( $HClO_4$ ):** ideal para aleaciones de hierro y acero inoxidable, sin embargo hay que ser muy cauteloso con su manipulación, debido a que tiene naturaleza explosiva.

**Ácido fluorhídrico (*HF*)**: se utiliza para descomponer rocas de silicato, es extremadamente tóxico, por esta razón su manipulación debe ser cuidadosa.

### **2.6.2. Mezclas oxidantes**

La mezcla más común de ácidos minerales es la llamada agua regia, misma que consta de una mezcla de ácido clorhídrico concentrado con ácido nítrico concentrado en una relación de 3:1, es adecuada para materia orgánica fácilmente oxidable.

Además existen otras mezclas como ( $HNO_3$ ) – ( $HClO_4$ ) o ( $HNO_3$ ) – ( $HClO_4$ ) – *HF* que son necesarias para la materia orgánica difícil de oxidar o los minerales que contienen silicato.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

#### 3.1. Equipos, materiales, reactivos

Para llevar a cabo el análisis de micronutrientes, macronutrientes y metales pesados presentes en los alimentos andinos infrautilizados, se utilizó los laboratorios de la carrera de Petroquímica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- sede Latacunga y con el apoyo de AQLAB Laboratorios Acosta y Compañía ubicado en la ciudad Puerto Francisco de Orellana, además con el uso de equipos, materiales y reactivos que se detallan a continuación con la finalidad de elaborar este trabajo de titulación:

##### 3.1.1. Equipos

- Balanza Analítica - Boeco - modelo BPS 51 plus, Máx. 4500 g.
- Estufa – ESCO – modelo Isotherm OFA.
- Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer-modelo AAnalyst 300
- Centrifuga Boeco-modelo-C.28 A, Max 6000 rpm / 4186 RCF
- Plancha calefactora-Boeco
- Sistema de purificación de agua (ultrapura) Milli-Q
- Compresor de aire con filtro de purificación
- Sistema de extracción de gases para la AAS
- Campana extractora de gases

##### 3.1.2. Materia prima

- Ceniza de oca
- Ceniza de mashua
- Ceniza de melloco

- Ceniza de achira
- Ceniza de camote amarillo
- Ceniza de camote morado
- Ceniza de papa china
- Ceniza de chocho
- Ceniza de zanahoria blanca
- Ceniza de harina de cáscara de banano
- Ceniza de pulpa de banano
- Ceniza de pulpa de banano + harina de cáscara de banano

### **3.1.3. Materiales**

- Termómetro de 360°C
- Soporte universal
- Pinza de tres dedos
- Vasos de precipitación de 25 ml, 50 ml y 100 ml
- Balones aforados de 50 ml, 100 ml
- Matraz de vidrio fondo redondo 2 bocas de 100 ml
- Tapones de caucho perforados
- Refrigerante de rosario
- Mangueras
- Pipeta automática de 5 ml, 10 ml
- Puntas para pipeta de toppette
- Tubos Falcón de 50ml
- Desecador
- Espátula
- Varilla de agitación

- Embudo de vidrio
- Gradilla para tubos falcón
- Papel parafilm
- Mortero
- Piseta
- Envases plásticos para almacenar los estándares y muestras

#### 3.1.4. Reactivos

- Ácido Clorhídrico ( $HCl$ ) al 37%
- Ácido Nítrico ( $HNO_3$ ) al 65%
- Agua milli-Q
- Gas acetileno
- Estándar de Fe 1000  $mg/L$
- Estándar de Zn 1000  $mg/L$
- Estándar de Mn 1000  $mg/L$
- Estándar de Ni 1000  $mg/L$
- Estándar de Pb 1000  $mg/L$
- Estándar de Cr 1000  $mg/L$
- Estándar de Cd 1000  $mg/L$

#### 3.2. Secado de muestras

Debido a que las muestras proporcionadas se encontraban húmedas se pesó aproximadamente 3 gr de cada muestra y se colocó en vasos de precipitación de 50 ml y se procedió a un secado en una estufa marca ESCO modelo ISOTHERM OFA a una temperatura de 90°C por 24 horas, para las cenizas de mashua, zanahoria blanca,

chocho ,camote morado, camote amarillo ,oca, achira, pulpa de banano, pulpa de banano más harina de cáscara de banano, harina de cáscara de banano, con excepción de la ceniza de melloco y papa china las cual se secó a una temperatura de 90°C por 36 horas debido a que su contextura era pastosa y muy húmeda, como se observa en la figura 11.

### **Figura 11**

*Muestras de cenizas después del secado de 24 horas*



#### **3.2.1. Trituración de muestras**

Una vez secadas las muestras de cenizas de los diferentes productos se procedió al triturado de las mismas con la ayuda de un mortero, para obtener así una ceniza uniforme como se muestra en la figura 12.

**Figura 12**

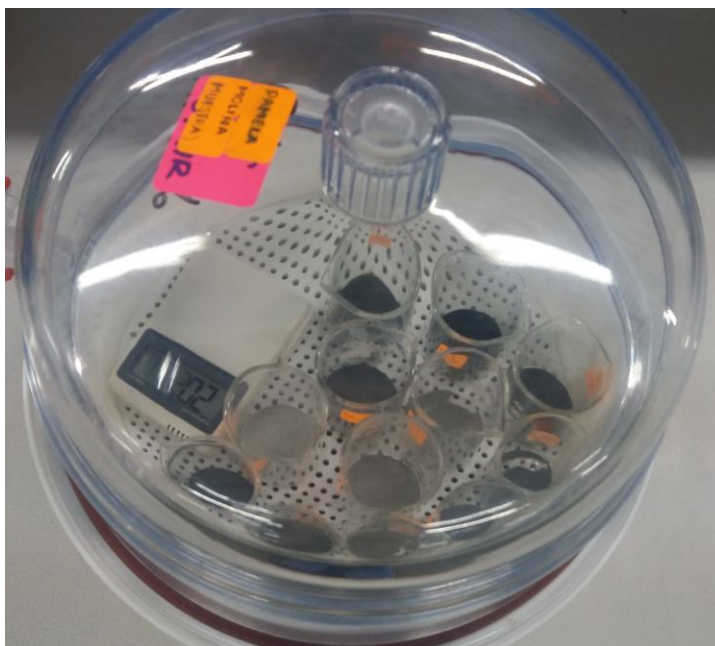
*Trituración de cenizas*



Cada una de las muestras se trituró y se colocaron en vasos de precipitación de 50 ml, para posteriormente ser ubicadas en un desecador que evitará que las muestras se vuelvan a humedecer, como se observa en la figura 13.

**Figura 13**

*Muestras trituradas dentro de un desecador*



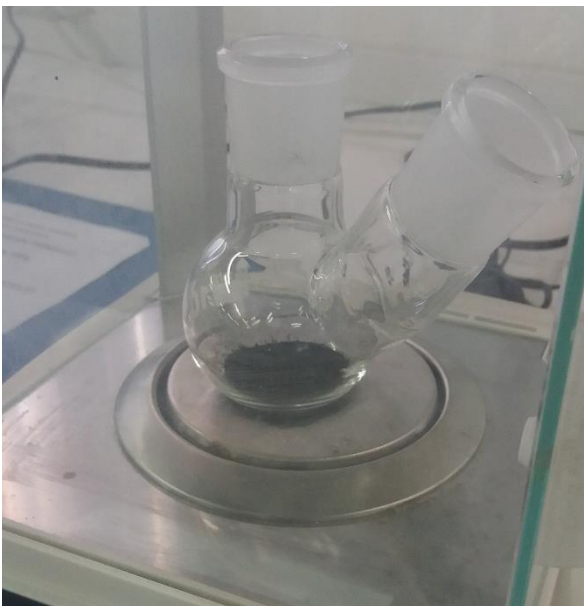
### 3.3. Digestión de muestras

Para realizar el análisis de los metales presentes en las muestras de ceniza se realizó primero la digestión ácida de las mismas, se utilizó una digestión con reflujo para lo cual se necesitó, tres refrigerantes de rosario, tres termómetros de 360°C, 3 matraces fondo redondo de dos bocas de 100 ml, tres tapones perforados, tres planchas calefactoras, 3 soportes universales, 3 pinzas de tres dedos y 4 mangueras de hule.

En una balanza analítica se pesó 1 gr de muestra y se colocó en un matraz fondo redondo de dos bocas tal como se muestra en la figura 14.

#### Figura 14

*Muestra pesada y colocada en el matraz de dos bocas*

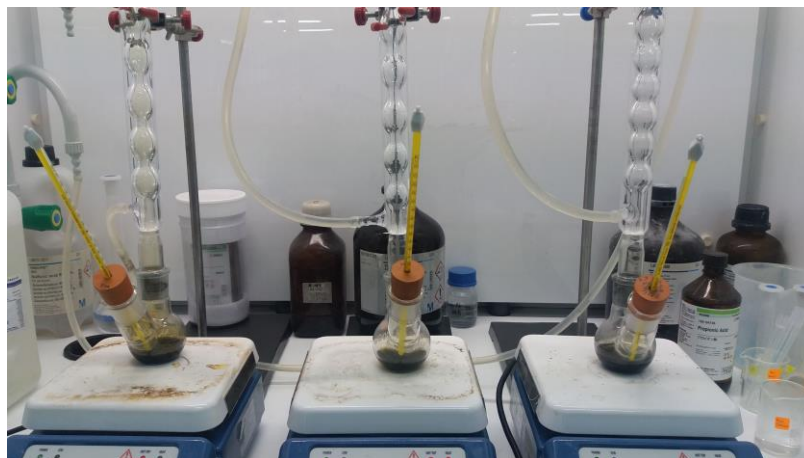


En el mismo matraz se colocó 5 ml de ácido nítrico ( $HNO_3$ ) 65% y 15 ml de ácido clorhídrico  $HCl$  37%, con una relación de 1:3 respectivamente, se procedió al ensamble del equipo de digestión con reflujo para digerir tres muestras diferentes en serie tal como se muestra en la figura 15.



**Figura 15**

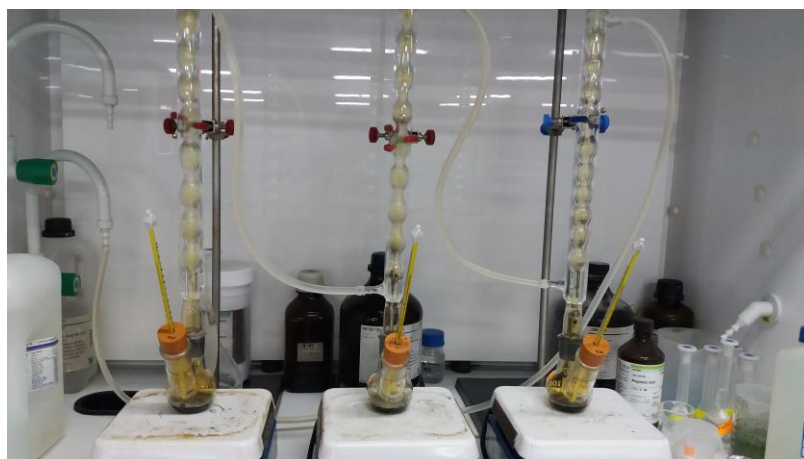
*Ensamble del equipo de digestión*



Las muestras se calentaron con la ayuda de una plancha calefactora hasta que alcance su punto de ebullición (108 °C), por un período de tiempo de 3 horas, todo este proceso se llevó a cabo dentro de una campana extractora de gases debido a los vapores que se produce durante la digestión como se puede observar en la figura 16.

**Figura 16**

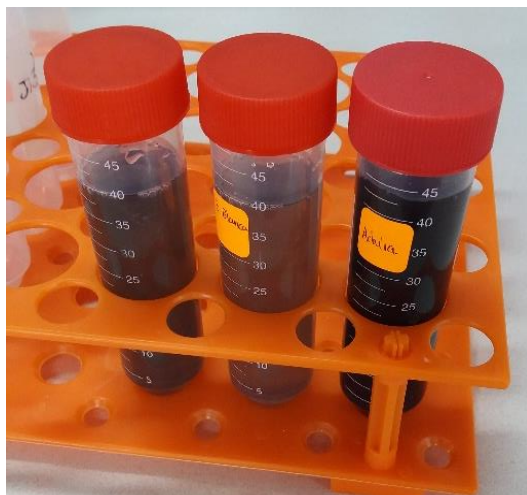
*Digestión ácida de muestras con reflujo*



Finalizado el tiempo de digestión se deja enfriar el digerido y se trasvasa a tubos falcón, realizando varios lavados con agua ultrapura mili-Q hasta alcanzar los 40 ml como se muestra en la figura 17.

**Figura 17**

*Digerido de muestras con agua ultrapura milli-Q en tubos falcón*

**3.4. Centrifugado del digerido**

Una vez colocado el digerido en tubos falcón se procedió a la centrifugación, la cual se efectuó en una centrifuga Boeco-modelo-C.28 A, con una velocidad de 4000 rpm por un período de tiempo de 20 minutos, como se observa en la figura 18.

**Figura 18**

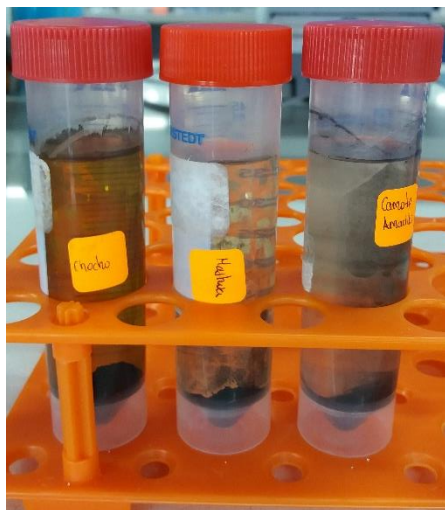
*Centrifugación de muestras*



Una vez centrifugada la muestra se obtiene dos partes bien diferenciadas la primera es un líquido sobrenadante y la segunda la parte sólida que se queda en el fondo, tal como se observa en la figura 19.

**Figura 19**

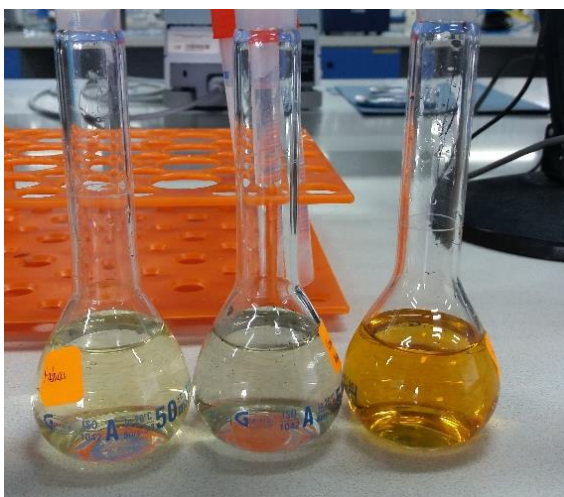
*Muestras centrifugadas con líquido sobrenadante*



El líquido sobrenadante se colocó en balones aforados de 50ml como se muestra en la figura 18, posteriormente se debe realizar su respectivo aforo con agua ultrapura milli-Q.

**Figura 20**

*Muestras digeridas en balones de 50 ml*

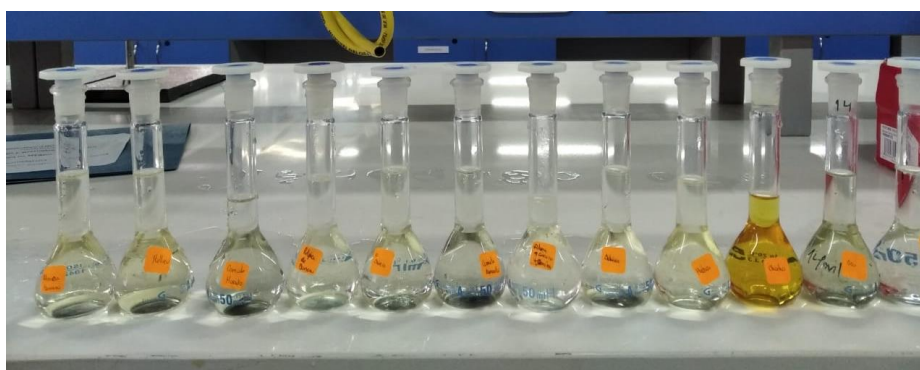


El procedimiento que se mencionó anteriormente para la digestión de muestras de cenizas, se llevó a cabo para cada una de las muestras a ser analizadas. En la figura

21, se observa todas las muestras digeridas que corresponden a las cenizas de: harina de cáscara de banano, melloco, camote morado, pulpa de banano, papa china, camote amarillo, pulpa de banano + harina de cáscara de banano, achira, mashua, chocho, oca, zanahoria blanca totalmente digeridas y listas para ser analizadas por espectroscopia de absorción atómica por llama.

### Figura 21

*Muestras de cenizas digeridas y aforadas en balones de 50 ml*



### 3.5. Análisis de espectroscopia de absorción atómica por llama

En la espectrometría de absorción atómica de llama, la muestra se aspira y se atomiza en una llama. Un rayo de luz proveniente de una lámpara de cátodo hueco se dirige a través de la llama, hacia un monocromador y hacia un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama.

La absorbancia depende de la cantidad de átomos libres en la llama debido a que la longitud de onda es característica para cada metal que se está analizando.

#### 3.5.1. Equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer AAnalyst 300

Para el análisis de espectroscopia de absorción atómica por llama el laboratorio AQLAB utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer AAnalyst 300 que tiene las siguientes características:

- Lámparas de cátodo hueco, HCL (Longitudes de onda ajustadas a las establecidas en Estándar Métodos.)
- Quemador de alta temperatura de 5 cm de longitud de ranura
- Quemador de alta temperatura de 10.5 cm de longitud de ranura
- Compresor de aire con filtro de purificación.
- Acetileno extra puro.
- Óxido Nitroso.

### 3.5.1.1. Condiciones de operación

En la tabla 1 se muestra las condiciones a las cuales debe operarse el equipo Perkin Elmer AAnalyst 300.

**Tabla 1**

*Condiciones de operación del Espectrofotómetro Perkin Elmer AAnalyst 300*

| <b>Gas</b>           | <b>Características</b>                   | <b>Flujo de presión PSI</b> |
|----------------------|--|-----------------------------|
| <b>Aire</b>          | Libre de aceite, humedad<br>o polvo      | 50 +/- 4                    |
| <b>Acetileno</b>     | Pureza $\geq$ 98%                        | 13 +/- 1,4                  |
| <b>Óxido nitroso</b> | Pureza $\geq$ 98%, %humedad<br>$\leq$ 1% | 50 /- 4                     |

*Nota: (AQLAB, 2020)*

### 3.5.1.2. Condiciones de gases

Las presiones de flujo al equipo será: 15 psi en acetileno, 50 psi de oxígeno y 50 psi de Óxido Nitroso.

**Figura 22**

*Espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer AAnalyst 300*



*Nota:* (AQLAB, 2020)

### 3.5.2. Parámetros recomendados por el Equipo para cada metal

Para la cuantificación en el espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer AAnalyst 300, el mismo recomienda los parámetros como: longitudes de onda, altura del mechero, flujo de combustible y tipo de llama para cada metal a ser analizados tal como se detalla en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Parámetros recomendado por el equipo para cada metal*

| N° | Elemento    | Longitud de Onda<br>(nm) |            | Altura<br>de<br>mechero<br>(mm) | Flujo de<br>combustible<br>(L/h) | Tipo de<br>llama                   |
|----|-------------|--------------------------|------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
|    |             | Primaria                 | Secundaria |                                 |                                  |                                    |
| 1  | Hierro (Fe) | 248.32                   | 248.81     | 5-8                             | 80                               | Aire-<br>Acetileno<br>( $C_2H_2$ ) |

| N° | Elemento          | Longitud de Onda<br>(nm) |            | Altura<br>de<br>mechero<br>(mm) | Flujo de<br>combustible<br>(L/h) | Tipo de<br>llama                   |
|----|-------------------|--------------------------|------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
|    |                   | Primaria                 | Secundaria |                                 |                                  |                                    |
| 2  | Zinc (Zn)         | 213.85                   | 307.59     | 4-8                             | 50                               | Aire-<br>Acetileno<br>( $C_2H_2$ ) |
| 3  | Manganeso<br>(Mg) | 279.48                   | 279.82     | 5-8                             | 80                               | Aire-<br>Acetileno<br>( $C_2H_2$ ) |
| 4  | Níquel<br>(Ni)    | 232                      | 341.44     | 5-8                             | 55                               | Aire-<br>Acetileno<br>( $C_2H_2$ ) |
| 5  | Plomo<br>(Pb)     | 217                      | 283,30     | 5-9                             | 65                               | Aire-<br>Acetileno<br>( $C_2H_2$ ) |
| 6  | Cromo<br>(Cr)     | 357.86                   | 359.34     | 5-8                             | 100                              | Aire-<br>Acetileno<br>( $C_2H_2$ ) |
| 7  | Cadmio<br>(Cd)    | 228.80                   | 226.50     | 5-8                             | 50                               | Aire-<br>Acetileno<br>( $C_2H_2$ ) |

Nota: (AQLAB, 2020)

### 3.6. Preparación de muestras

De nuestro estándar de 1000 mg/L que llamaremos solución madre correspondiente a cada metal, tomamos 1ml del analito a determinar y colocamos en un balón aforado de 100 ml donde aforamos con solución de HN03 0,5 N, la concentración de esta solución es de 10 mg/L, este procedimiento se realizó para cada uno de los metales a ser analizados.

A partir de esta solución madre preparamos nuestros estándares necesarios para la elaboración de las curva de calibración para cada elemento de interés (Fe, Zn, Pb, Cd, Mn, Cr, Ni), a continuación se detalla los puntos de calibración para cada metal.

**Tabla 3**

*Puntos de calibración para el Níquel*

| <b>Níquel, Ni</b>          |                     |  |                              |
|----------------------------|---------------------|--|------------------------------|
| <b>Estándar madre</b>      | 1000                |  | <i>mg/L</i>                  |
| <b>Estándar de trabajo</b> | 10,0                |  | <i>mg/L</i>                  |
| <b>#</b>                   | <b>Volumen (ml)</b> | <b>Concentración final (<i>mg/L</i>)</b> | <b>Volumen de aforo (ml)</b> |
|                            | <b>STD 10</b>       |  |                              |
|                            | <i>mg/L</i>         |  |                              |
| <b>Blanco</b>              | 0                   | 0  | 100                          |
| <b>1</b>                   | 1,0                 | 0,10                                     | 100                          |
| <b>2</b>                   | 3,0                 | 0,30                                     | 100                          |
| <b>3</b>                   | 5,0                 | 0,50                                     | 100                          |



| #        | Volumen<br>(ml)       | Concentración<br>final<br>( <i>mg/L</i> ) | Volumen<br>de aforo<br>(ml) |
|----------|-----------------------|---|-----------------------------|
| Estándar | STD 10<br><i>mg/L</i> |   |                             |
| 4        | 10,0                  | 1,00                                      | 100                         |
| 5        | 20,0                  | 2,00                                      | 100                         |

**Tabla 4**

*Puntos de calibración para el Cadmio*

| Cadmio, Cd          |                 |   |                             |
|---------------------|-----------------|---|-----------------------------|
| Estándar madre      |                 | 1000                                      | <i>mg/L</i>                 |
| Estándar de trabajo |                 | 10,0                                      | <i>mg/L</i>                 |
| #                   | Volumen<br>(ml) | Concentración<br>final<br>( <i>mg/L</i> ) | Volumen<br>de aforo<br>(ml) |
| Estándar            | STD<br>10 mg/L  |   |                             |
| Blanco              | 0               | 0   | 100                         |
| 1                   | 0,15            | 0,015                                     | 100                         |
| 2                   | 0,50            | 0,050                                     | 100                         |
| 3                   | 1,00            | 0,100                                     | 100                         |
| 4                   | 2,00            | 0,200                                     | 100                         |
| 5                   | 3,00            | 0,300                                     | 100                         |

**Tabla 5***Puntos de calibración para el Cromo*

| <b>Cromo, Cr</b>           |                             |  |                                      |
|----------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------------|
| <b>Estándar madre</b>      | 1000                        | $mg/L$   |                                      |
| <b>Estándar de trabajo</b> | 10,0                        | $mg/L$   |                                      |
| <b>#</b>                   | <b>Volumen<br/>(ml)</b>     | <b>Concentración<br/>final<br/>(<math>mg/L</math>)</b> | <b>Volumen<br/>de aforo<br/>(ml)</b> |
| <b>Estándar</b>            | <b>STD</b>                  | <b>(<math>mg/L</math>)</b>                             | <b>(ml)</b>                          |
|                            | <b>10 <math>mg/L</math></b> |  |                                      |
| <b>Blanco</b>              | 0                           | 0  | 100                                  |
| <b>1</b>                   | 5,0                         | 0,5  | 100                                  |
| <b>2</b>                   | 10,0                        | 1,0  | 100                                  |
| <b>3</b>                   | 20,0                        | 2,0  | 100                                  |
| <b>4</b>                   | 25,0                        | 2,5  | 100                                  |
| <b>5</b>                   | 15,0                        | 3,0  | 50                                   |

**Tabla 6***Puntos de calibración para el Plomo*

| <b>Plomo, Pb</b>           |      |        |
|----------------------------|------|--------|
| <b>Estándar madre</b>      | 1000 | $mg/L$ |
| <b>Estándar de trabajo</b> | 10,0 | $mg/L$ |

| #        | Volumen<br>(ml) | Concentración<br>final<br>( $mg/L$ ) | Volumen<br>de aforo<br>(ml) |
|----------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Estándar | STD             |                                      |                             |
|          | $10\ mg/L$      |                                      |                             |
| Blanco   | 0               | 0                                    | 100                         |
| 1        | 1,50            | 0,15                                 | 100                         |
| 2        | 5,00            | 0,50                                 | 100                         |
| 3        | 10,00           | 1,00                                 | 100                         |
| 4        | 10,00           | 2,00                                 | 50                          |
| 5        | 15,00           | 3,00                                 | 50                          |

**Tabla 7***Puntos de calibración para el Hierro*

| Hierro, Fe          |                 |                                      |                             |
|---------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Estándar madre      | 1000            |                                      | $mg/L$                      |
| Estándar de trabajo | 10,0            |                                      | $mg/L$                      |
| #                   | Volumen<br>(ml) | Concentración<br>final<br>( $mg/L$ ) | Volumen<br>de aforo<br>(ml) |
| Estándar            | STD             |                                      |                             |
|                     | $10\ mg/L$      |                                      |                             |
| Blanco              | 0               | 0                                    | 100                         |
| 1                   | 1,0             | 0,10                                 | 100                         |
| 2                   | 3,0             | 0,30                                 | 100                         |
| 3                   | 5,0             | 0,50                                 | 100                         |

| #        | Volumen<br>(ml)          | Concentración<br>final<br>( <i>mg/L</i> ) | Volumen<br>de aforo<br>(ml) |
|----------|--------------------------|---|-----------------------------|
| Estándar | STD<br>$10 \text{ mg/L}$ |   |                             |
| 4        | 10,0                     | 1,00                                      | 100                         |
| 5        | 10,0                     | 2,00                                      | 50                          |

**Tabla 8**

*Puntos de calibración para el Manganeso*

| Manganeso, Mn       |                          |   |                             |
|---------------------|--------------------------|---|-----------------------------|
| Estándar madre      |                          | 1000                                      | <i>mg/L</i>                 |
| Estándar de trabajo |                          | 10,0                                      | <i>mg/L</i>                 |
| #                   | Volumen<br>(ml)          | Concentración<br>final<br>( <i>mg/L</i> ) | Volumen<br>de aforo<br>(ml) |
| Estándar            | STD<br>$10 \text{ mg/L}$ |   |                             |
| Blanco              | 0                        | 0   | 100                         |
| 1                   | 1,00                     | 0,10                                      | 100                         |
| 2                   | 3,00                     | 0,30                                      | 100                         |
| 3                   | 5,00                     | 0,50                                      | 100                         |
| 4                   | 10,00                    | 1,00                                      | 100                         |
| 5                   | 10,00                    | 2,00                                      | 50                          |

**Tabla 9***Puntos de calibración para el Zinc*

| <b>Zinc, Zn</b>            |                             |                            |                 |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|
| <b>Estándar madre</b>      | 1000                        | $mg/L$                     |                 |
| <b>Estándar de trabajo</b> | 10,0                        | $mg/L$                     |                 |
| <b>#</b>                   | <b>Volumen</b>              | <b>Concentración</b>       | <b>Volumen</b>  |
| <b>Estándar</b>            | <b>(ml)</b>                 | <b>final</b>               | <b>de aforo</b> |
|                            | <b>STD</b>                  | <b>(<math>mg/L</math>)</b> | <b>(ml)</b>     |
|                            | <b>10 <math>mg/L</math></b> |                            |                 |
| <b>Blanco</b>              | 0                           | 0                          | 100             |
| <b>1</b>                   | 2,00                        | 0,10                       | 100             |
| <b>2</b>                   | 4,00                        | 0,40                       | 100             |
| <b>3</b>                   | 6,00                        | 0,60                       | 100             |
| <b>4</b>                   | 8,00                        | 0,80                       | 100             |
| <b>5</b>                   | 10,00                       | 1,00                       | 100             |

**3.7. Medición de muestras**

Previo a la medición de los puntos de calibración se debe leer la concentración característica de cada metal esto con el fin de comprobar la optimización del equipo, alineación de lámpara, flujo de gases y el estado del equipo, para obtener la mayor señal analítica que permita obtener la mayor concentración del analito de interés.

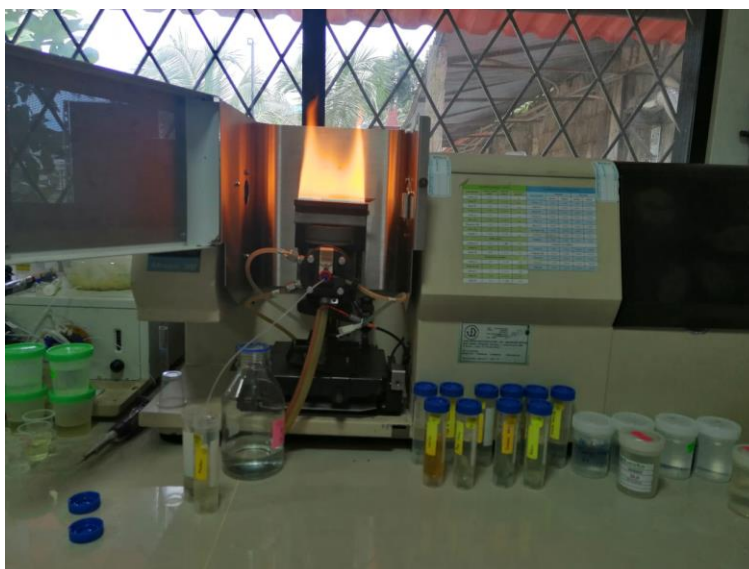
Una vez comprobado se procedió a la medición de los estándares empezando con el blanco, seguido del punto de menor concentración hasta llegar al punto de

calibración de mayor concentración, con esto se obtuvo la curva de calibración correspondiente a cada metal.

Posteriormente se analizó las muestras de: harina de cáscara de banano, melloco, camote morado, pulpa de banano, papa china, camote amarillo, pulpa de banano + harina de cáscara de banano, achira, mashua, chocho, oca, zanahoria blanca, como se observa en la figura 23.

### **Figura 23**

*Análisis de muestras por AAS*



### **3.8. Método utilizado para el análisis por AAS**

Los análisis se llevaron a cabo de acuerdo al método de referencia normalizado SM 3030B que sirve para la filtración de metales disueltos y suspendidos y el método 3111B método directo de llama aire-acetileno que es aplicable a la determinación de antimonio, bismuto, cadmio, calcio, cesio, cromo, cobalto, cobre, oro, iridio, hierro, plomo, litio, magnesio, manganeso, níquel, paladio, platino, potasio, rodio, rutenio, plata, sodio, estroncio, talio, estaño y zinc. (Federation & Association, 2005)

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Condiciones óptimas

Para el análisis por espectroscopia de absorción atómica para los metales de hierro, manganeso, zinc, níquel, cromo, plomo, cadmio, los parámetros óptimos de flujo de aire-acetileno y longitudes de onda fueron los detallados en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Condiciones óptimas de longitud de onda y Flujo de combustible*

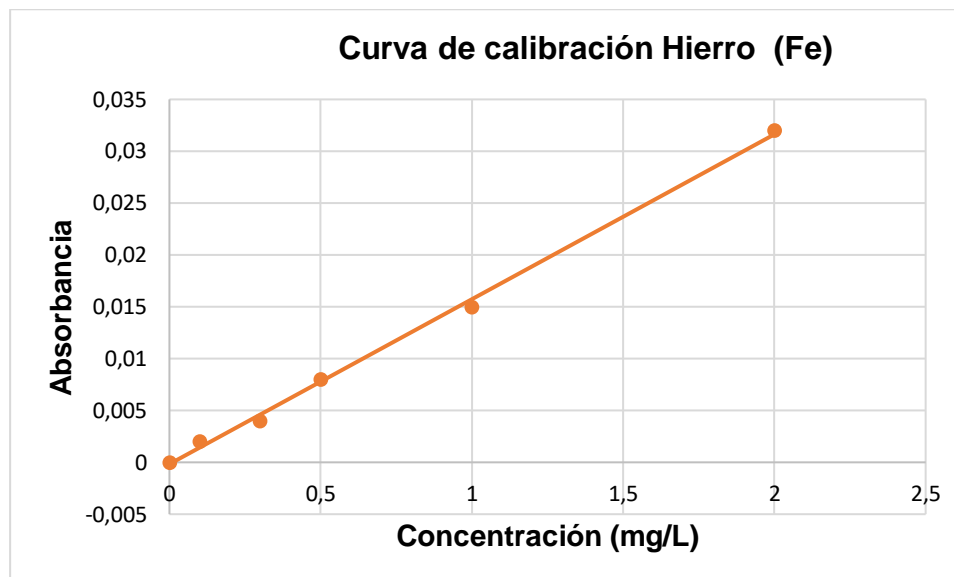
| Elemento              | Longitud de onda (nm) | Flujo de combustible<br>(L/h) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| <b>Hierro (Fe)</b>    | 248,6                 | 60                            |
| <b>Manganeso (Mn)</b> | 279,5                 | 72                            |
| <b>Zinc (Zn)</b>      | 213,9                 | 66                            |
| <b>Níquel (Ni)</b>    | 232                   | 60                            |
| <b>Cromo (Cr)</b>     | 357,9                 | 120                           |
| <b>Plomo (Pb)</b>     | 217                   | 108                           |
| <b>Cadmio (Cd)</b>    | 228,8                 | 60                            |

#### 4.2. Curvas de Calibración

Cada una de las curvas de calibración para los elementos analizados, fueron comprobadas para que cumpla con el rango de trabajo, a continuación se presenta las curvas de calibración para cada metal con su respectiva ecuación y coeficiente de correlación.

**Figura 24**

*Curva de calibración para Fe*



La curva de calibración tiene una intersección en 0,000 lo que indica que no hay masa inicial de Fe, su pendiente es 0,01569.

La ecuación para el Fe:

$$y = 0,01569x - 0,0002$$

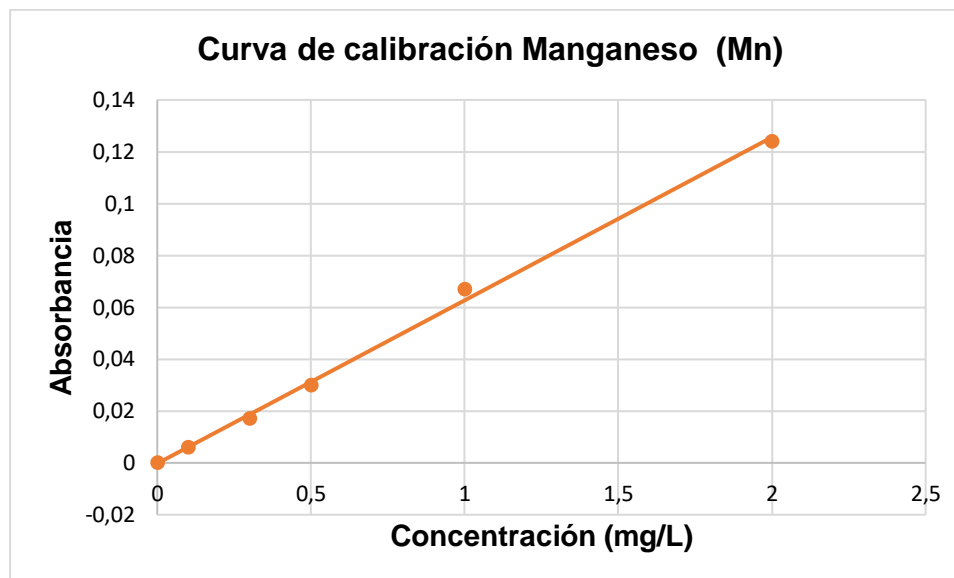
Con un

$$R^2 = 0,998$$



**Figura 25**

*Curva de Calibración para el Mn*



La curva de calibración tiene una intersección en 0,000 lo que indica que no hay masa inicial de Mn, su pendiente es 0,0629.

La ecuación para el Mn:

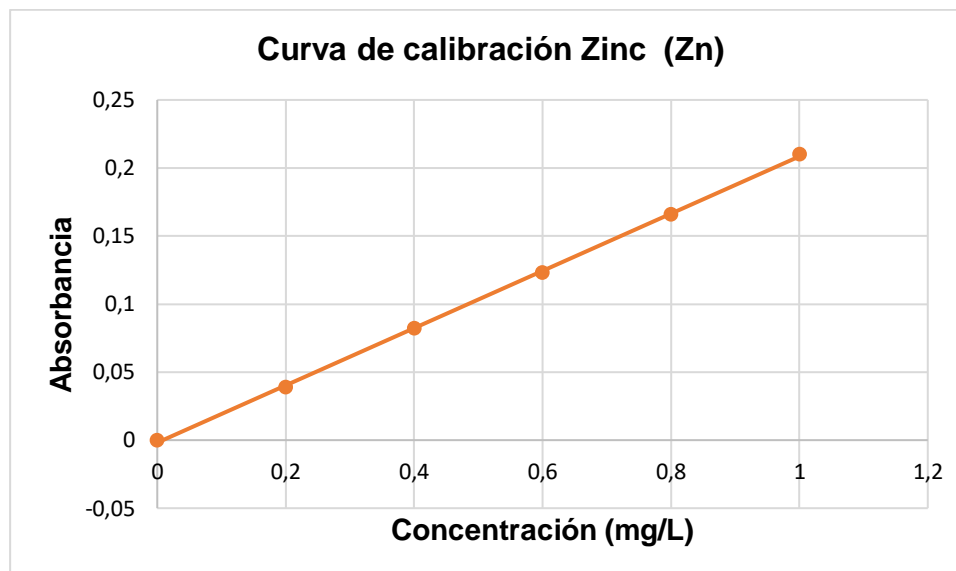
$$y = 0,0629x - 0,0002$$

Con un

$$R^2 = 0,9977$$

**Figura 26**

*Curva de calibración para el Zn*



La curva de calibración tiene una intersección en -0,002 lo que indica que no hay masa inicial de Zn, su pendiente es 0,2103.

La ecuación para el Zn:

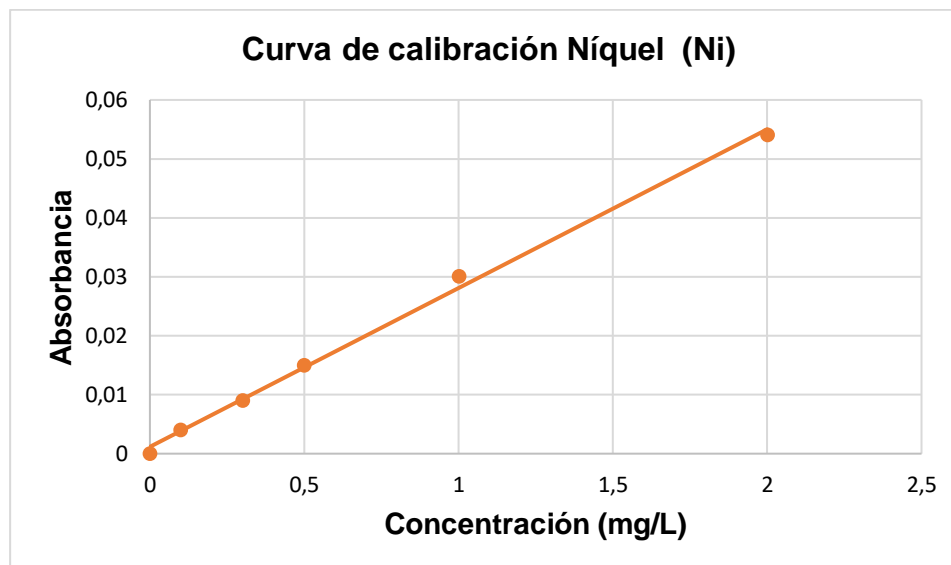
$$y = 0,2103x - 0,0018$$

Con un

$$R^2 = 0,9997$$

**Figura 27**

*Curva de calibración para el Ni*



La curva de calibración tiene una intersección en 0,001 lo que indica que no hay masa inicial de Ni, su pendiente es 0,0269.

La ecuación para el Ni:

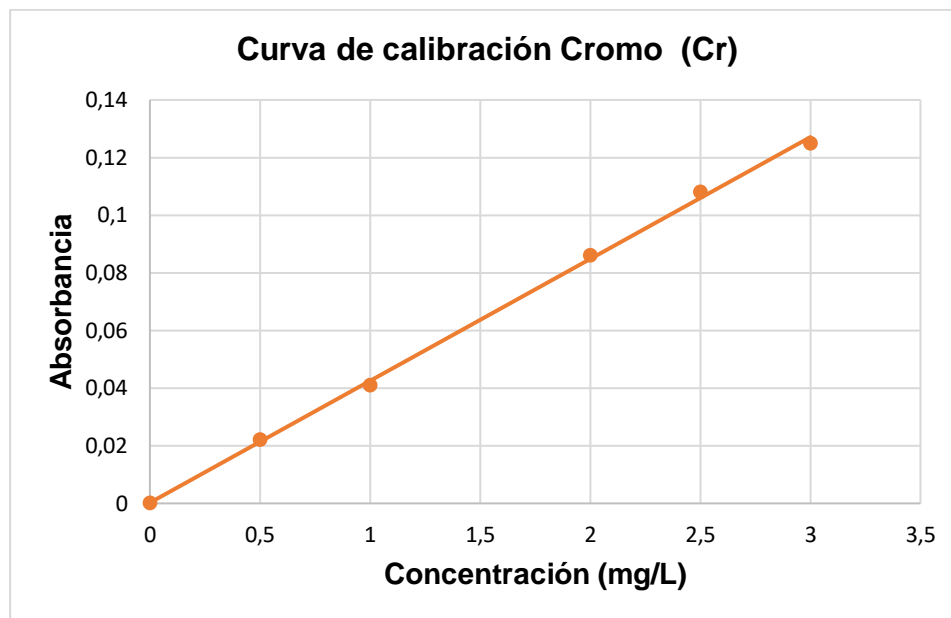
$$y = 0,0269x - 0,0012$$

Con un

$$R^2 = 0,9969$$

**Figura 28**

*Curva de calibración para el Cr*



La curva de calibración tiene una intersección en 0,000 lo que indica que no hay masa inicial de Cr, su pendiente es 0,0423.

La ecuación para el Cr:

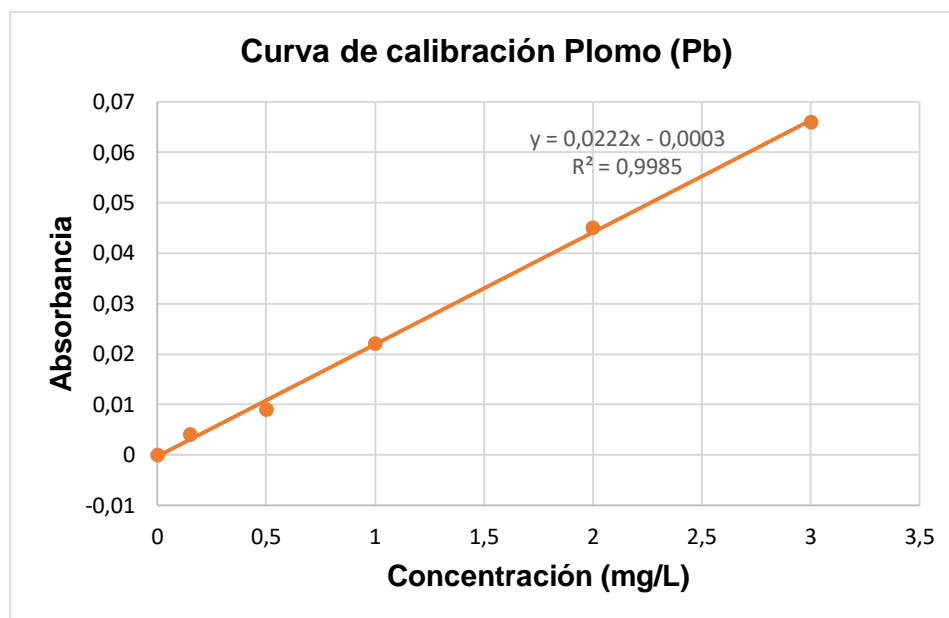
$$y = 0,0423x - 0,0002$$

Con un

$$R^2 = 0,999$$

**Figura 29**

*Curva de calibración para el Pb*



La curva de calibración tiene una intersección en 0,000 lo que indica que no hay masa inicial de Pb, su pendiente es 0,0222.

La ecuación para el Pb:

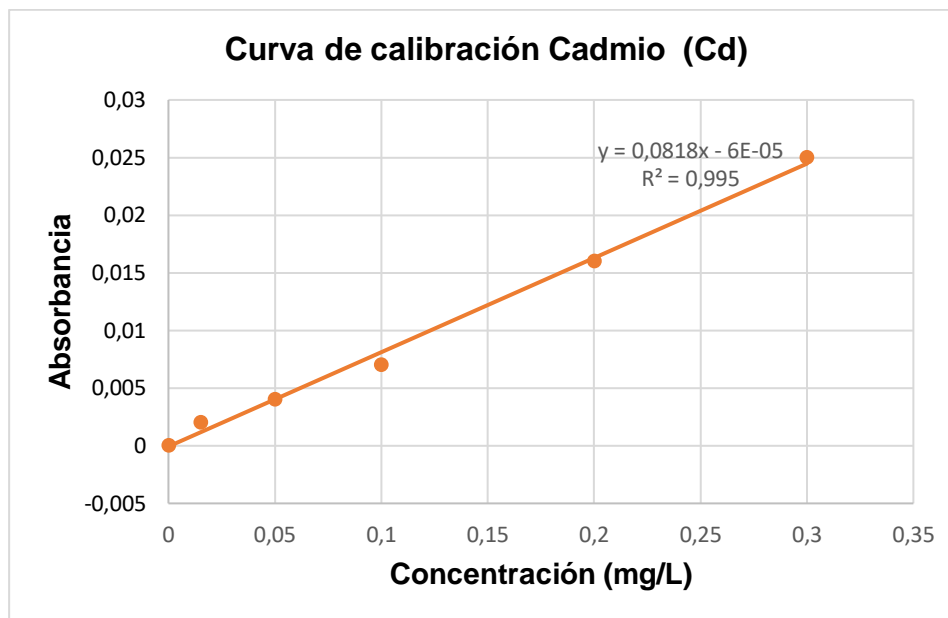
$$y = 0,0222x - 0,0003$$

Con un

$$R^2 = 0,9985$$

**Figura 30**

*Curva de calibración para el Cd*



La curva de calibración tiene una intersección en 0,000 lo que indica que no hay masa inicial de Cd, su pendiente es 0,0818.

La ecuación para el Cd:

$$y = 0,0818x - 0.00006$$

Con un

$$R^2 = 0.995$$

#### **4.3. Resultados de las muestras**

Se realizó el análisis de muestras para determinar la concentración de los metales de interés (Fe, Zn, Pb, Cd, Mn, Cr, Ni), para lo cual se realizó tres replicas para analizar cada uno de los metales, obteniéndose un promedio, el cual se presentara como resultado.

Los datos de las réplicas realizadas para cada metal presente en las muestras de oca, mashua, melloco, zanahoria blanca, papa china, chocho, camote amarillo, camote morado, achira, harina de cáscara de banano, pulpa de banano, harina de cáscara de banano + pulpa de banano, se registran en el ANEXO A , donde encontramos la media, desviación estándar y el %RSD.

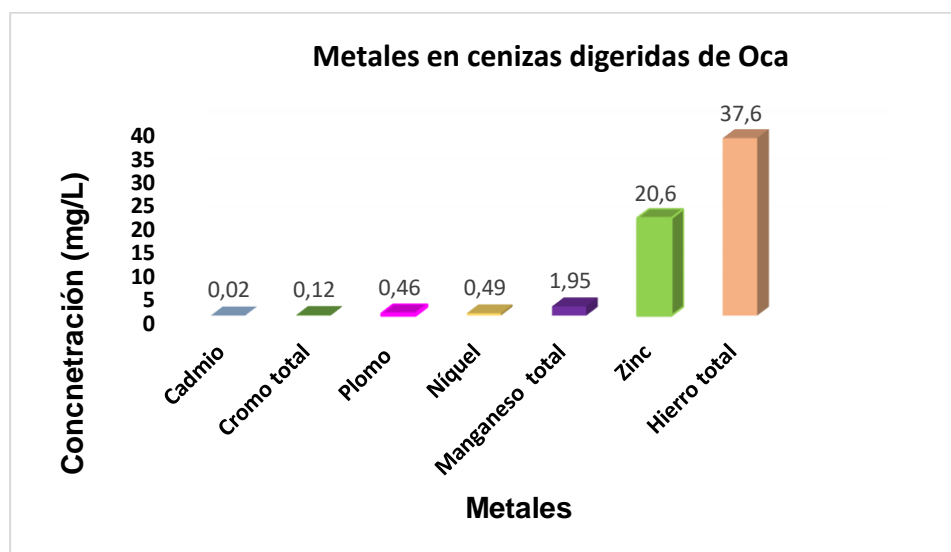
A continuación se presentan gráficas de los resultados proporcionados por el laboratorio AQLAB para cada una de las muestras.

## Oca

Al analizar la muestra de ceniza de oca, para el caso del zinc y del hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 31 se observa que el hierro se encuentra en mayor proporción con 37,6 mg/L, seguido de 20,6 mg/L; 1,95 mg/L; 0,49 mg/L; 0,46 mg/L; 0,12 mg/L; 0,02 mg/L que corresponde a zinc, manganeso, níquel, plomo, cromo y cadmio respectivamente.

**Figura 31**

*Concentración de metales en ceniza de oca en (mg/L)*

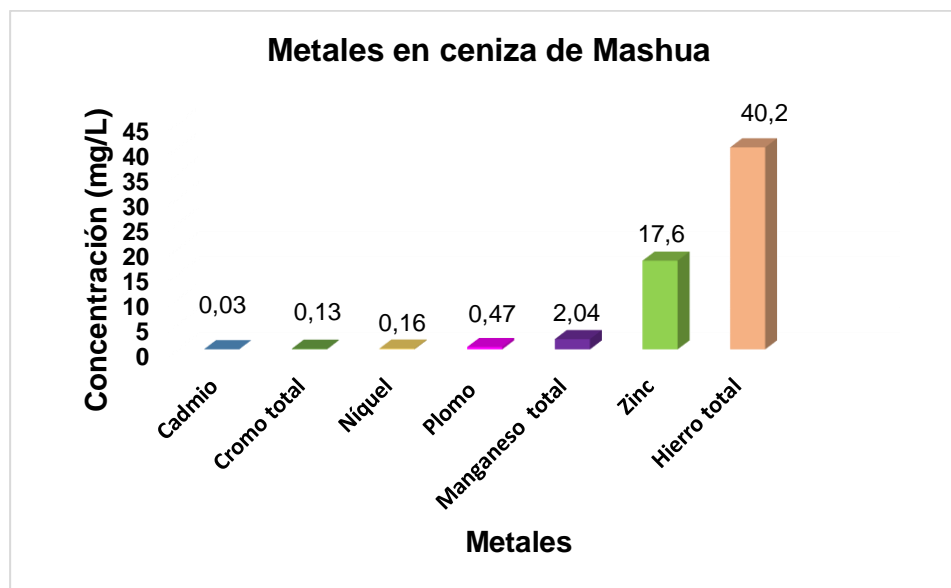


## Mashua

Al analizar la muestra de ceniza de mashua, para el caso del zinc y del hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 32 se observa que el hierro se encuentra en mayor proporción con 40,2 mg/L, seguido de 17,6 mg/L; 2,04 mg/L; 0,47 mg/L; 0,16 mg/L; 0,13 mg/L; 0,03 mg/L que corresponde a zinc, manganeso, plomo, níquel, cromo y cadmio respectivamente.

**Figura 32**

*Concentración de metales en ceniza de mashua en (mg/L)*



## Melloco

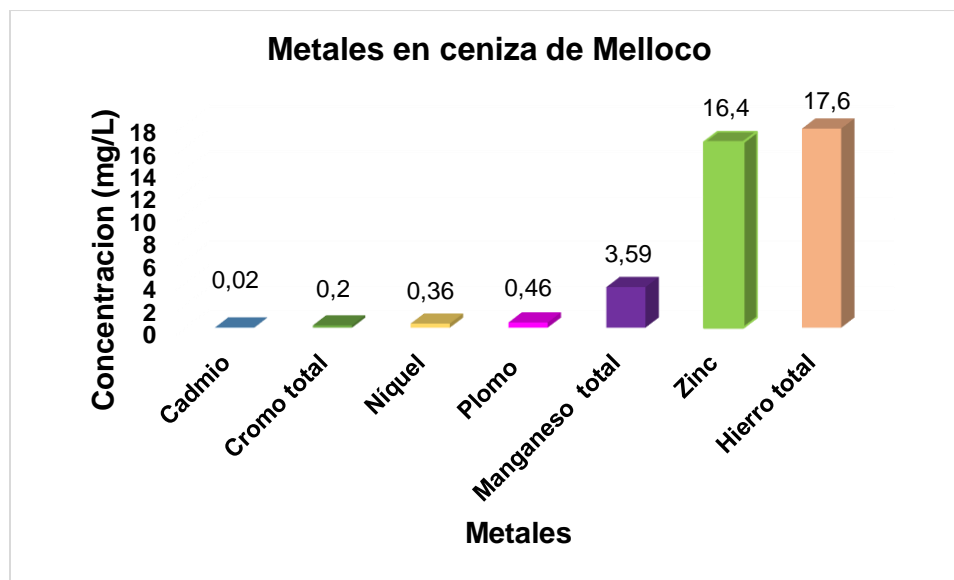
Al analizar la muestra de ceniza de melloco, para el caso del manganeso, zinc y hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 33 se observa que el hierro se encuentra en mayor proporción con 17,6 mg/L, seguido de 16,4 mg/L; 3,59 mg/L; 0,46 mg/L; 0,36 mg/L; 0,2



mg/L; 0,02 que corresponde a zinc, manganeso, plomo, níquel, cromo y cadmio respectivamente.

**Figura 33**

*Concentración de metales en ceniza de melloco en (mg/L)*

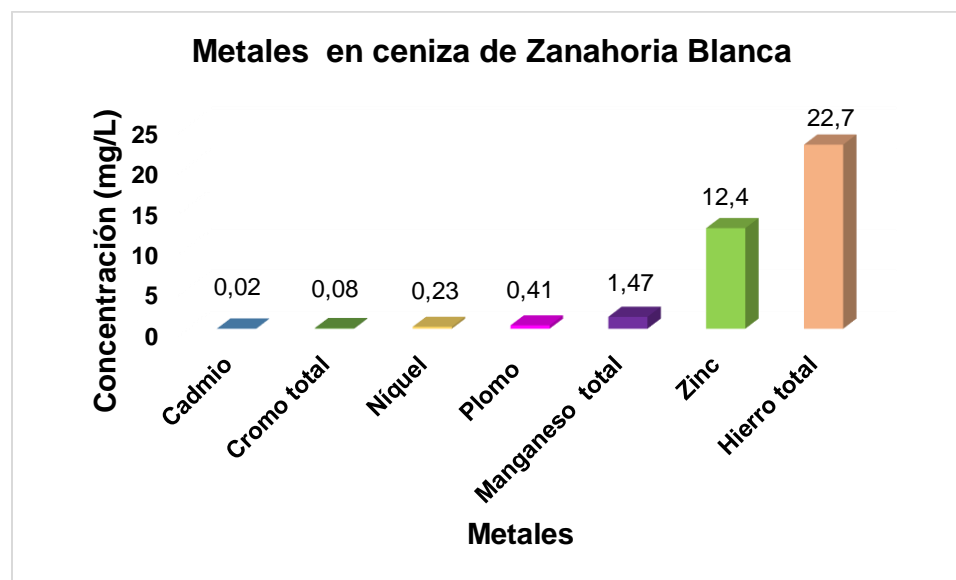


### Zanahoria Blanca

Al analizar la muestra de ceniza de zanahoria blanca, para el caso del manganeso, zinc y hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 34 se observa que el hierro se encuentra en mayor proporción con 22,7 mg/L, seguido de 12,4 mg/L; 1,47 mg/L; 0,41 mg/L; 0,23 mg/L; 0,08 mg/L; 0,02 que corresponde a zinc, manganeso, plomo, níquel, cromo y cadmio respectivamente.

**Figura 34**

Concentración de metales en ceniza de zanahoria blanca en (mg/L)

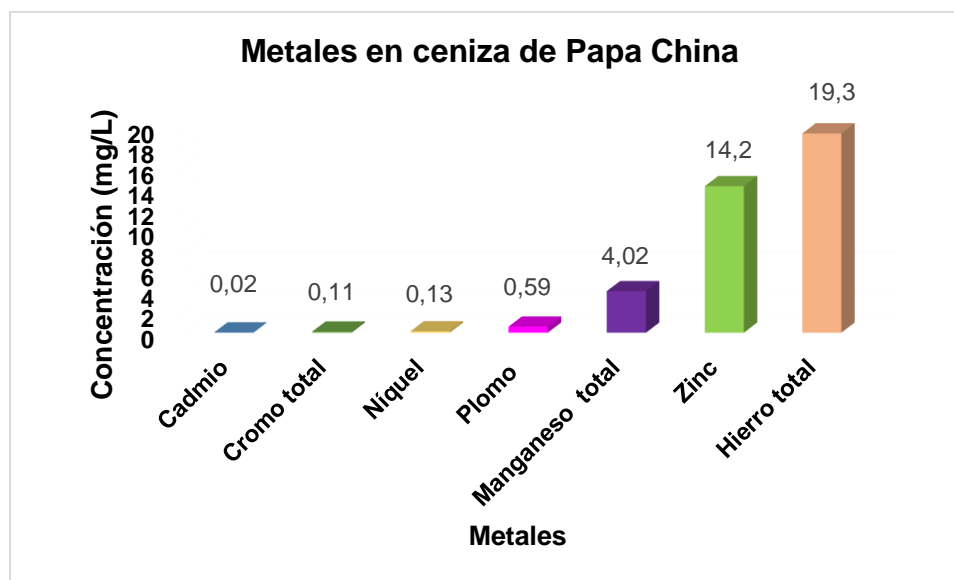


### Papa China

Al analizar la muestra de ceniza de papa china, para el caso del manganeso, zinc y hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 35 se observa que el hierro se encuentra en mayor proporción con 19,3 mg/L, seguido de 14,2 mg/L; 4,02 mg/L; 0,59 mg/L; 0,13 mg/L; 0,11 mg/L; 0,02 que corresponde a zinc, manganeso, plomo, níquel, cromo y cadmio respectivamente.

**Figura 35**

Concentración de metales en ceniza de papa china en (mg/L)



### Chocho

Al analizar la muestra de ceniza de chocho, para el caso del manganeso, zinc y hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 36 se observa que el hierro se encuentra en mayor proporción con 60,6 mg/L, seguido de 23,7 mg/L; 14,1 mg/L; 0,34 mg/L; 0,07 mg/L; 0,06 mg/L; 0,01 que corresponde a zinc, manganeso, plomo, cromo, níquel y cadmio respectivamente.

**Figura 36**

Concentración de metales en ceniza de chocho en (mg/L)

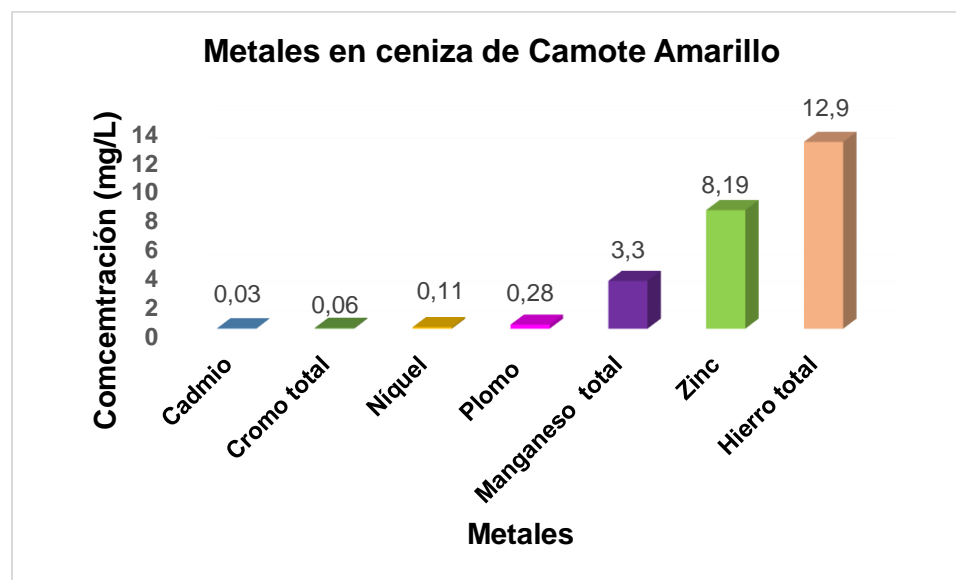


### Camote Amarillo

Al analizar la muestra de ceniza de camote amarillo, para el caso del manganeso, zinc y hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 37 se observa que el hierro se encuentra en mayor proporción con 12,9 mg/L, seguido de 8,19 mg/L; 3,3 mg/L; 0,28 mg/L; 0,11 mg/L; 0,06 mg/L; 0,03 que corresponde a zinc, manganeso, plomo, níquel, cromo y cadmio respectivamente.

**Figura 37**

Concentración de metales en ceniza de camote amarillo en (mg/L)

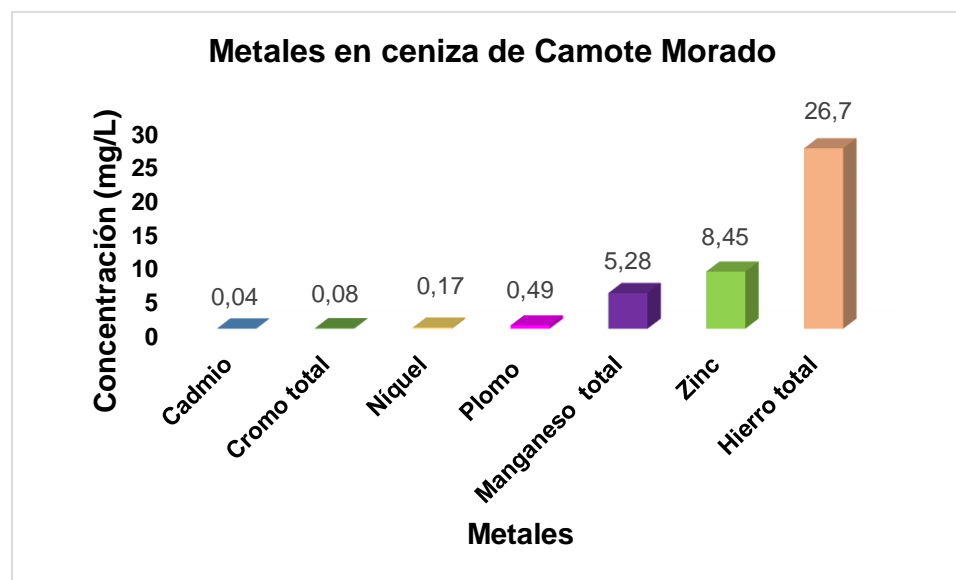


### Camote Morado

Al analizar la muestra de ceniza de camote amarillo, para el caso del manganeso, zinc y hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 38 se observa que el hierro se encuentra en mayor proporción con 12,9 mg/L, seguido de 8,19 mg/L; 3,3 mg/L; 0,28 mg/L; 0,11 mg/L; 0,06 mg/L; 0,03 que corresponde a zinc, manganeso, plomo, níquel, cromo y cadmio respectivamente.

**Figura 38**

Concentración de metales en ceniza de camote morado en (mg/L)



### Achira

Al analizar la muestra de ceniza de achira, para el caso del zinc y hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 39 se observa que el hierro se encuentra en mayor proporción con 13 mg/L, seguido de 8,26 mg/L; 1,37 mg/L; 0,38 mg/L; 0,09 mg/L; 0,06 mg/L; 0,01 que corresponde a zinc, manganeso, plomo, níquel, cromo y cadmio respectivamente.

**Figura 39**

Concentración de metales en ceniza de achira en (mg/L)

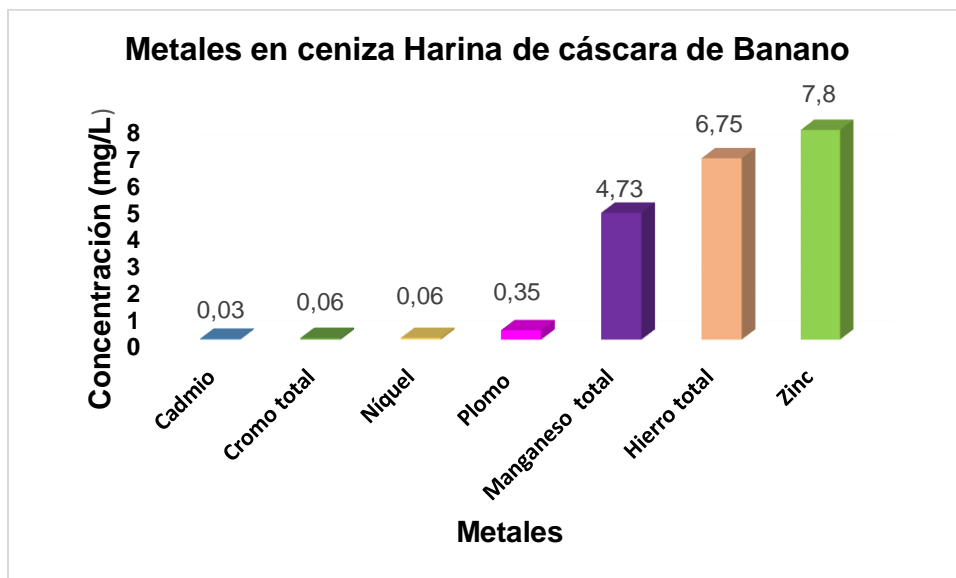


#### Harina de cáscara de Banano

Al analizar la muestra de ceniza de harina de cáscara de banano, para el caso del manganeso, zinc y hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 40 se observa que el zinc se encuentra en mayor proporción con 7,8 mg/L, seguido de 6,75 mg/L; 4,73 mg/L; 0,35 mg/L; 0,06 mg/L; 0,06 mg/L; 0,03 que corresponde a hierro, manganeso, plomo, níquel, cromo y cadmio respectivamente.

**Figura 40**

Concentración de metales en ceniza de harina de cáscara de banano en (mg/L)



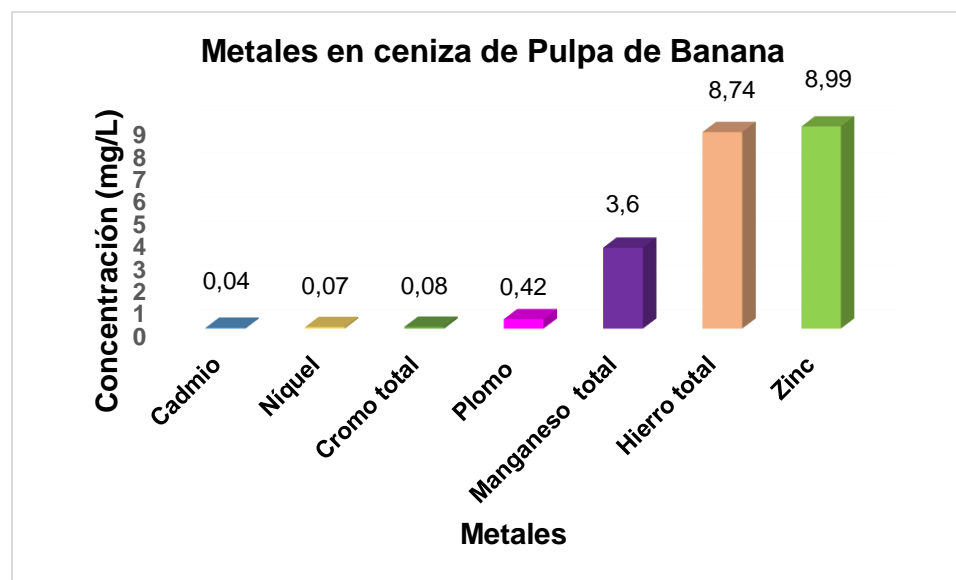
### Pulpa de Banano

Al analizar la muestra de ceniza de pulpa de banano, para el caso del manganeso, zinc y hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 41 se observa que el zinc se encuentra en mayor proporción con 8,99 mg/L, seguido de 8,74 mg/L; 3,6 mg/L; 0,42 mg/L; 0,08 mg/L; 0,07 mg/L; 0,04 que corresponde a hierro, manganeso, plomo, cromo, níquel y cadmio respectivamente.



**Figura 41**

Concentración de metales en ceniza de Pulpa de Banano en (mg/L)

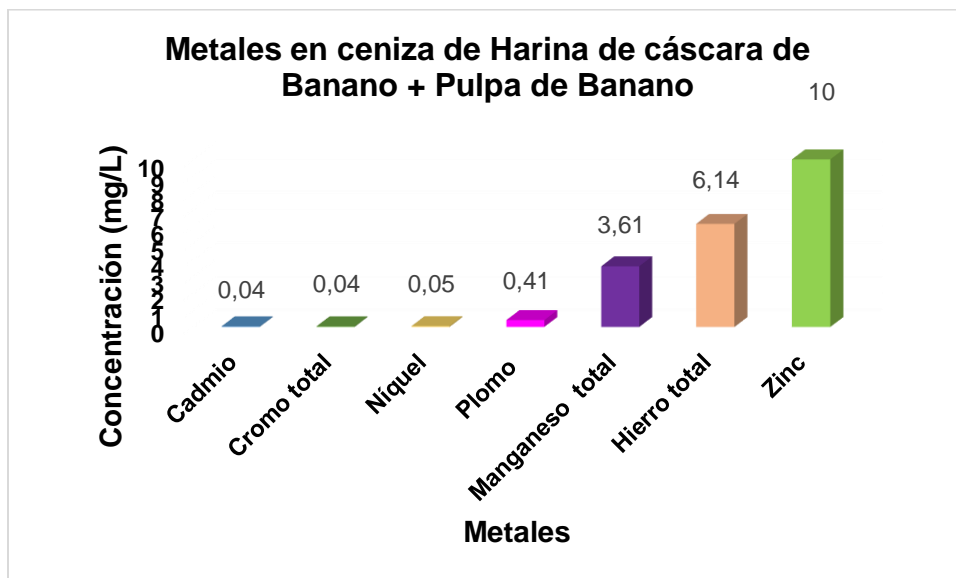


#### Harina de cáscara de Banano + Pulpa de Banano

Al analizar la muestra de ceniza de harina de cáscara de banano + pulpa de banano, para el caso del manganeso, zinc y hierro se realizaron diluciones para que el valor se encuentre dentro de la curva de calibración realizada, en la figura 42 se observa que el zinc se encuentra en mayor proporción con 8,99 mg/L, seguido de 8,74 mg/L; 3,6 mg/L; 0,42 mg/L; 0,08 mg/L; 0,07 mg/L; 0,04 que corresponde a hierro, manganeso, plomo, cromo, níquel y cadmio respectivamente.

Figura 42

Concentración de metales en ceniza de harina de cáscara de Banano + Pulpa de Banano en (mg/L)



#### 4.4. Cálculos Base seca y Base Húmeda

Con los datos proporcionados por la Universidad Técnica de Ambato sobre el % de humedad y % de cenizas se realizó los cálculos para transformar los resultados a base seca y base húmeda, mismos que están  $mg/Kg$  base seca y  $mg/Kg$  base húmeda respectivamente.

En las tablas que se muestra a continuación se presenta la concentración de metales base seca y base húmeda para cada una de las muestras analizadas.

**Tabla 11***Concentración de metales para la oca en base seca y húmeda*

| Oca            |       |       |        |       |       |       |        |
|----------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| Elemento       | Cd    | Cr    | Fe     | Ni    | Mg    | Pb    | Zn     |
| mg/kg          | 0,036 | 0,218 | 68,382 | 0,891 | 3,546 | 0,837 | 37,465 |
| base<br>seca   |       |       |        |       |       |       |        |
| mg/kg          | 0,031 | 0,184 | 57,673 | 0,752 | 2,991 | 0,706 | 32,598 |
| base<br>húmeda |       |       |        |       |       |       |        |

**Tabla 12***Concentración de metales para la mashua en base seca y húmeda*

| Mashua         |       |        |         |       |       |       |        |
|----------------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|--------|
| Elemento       | Cd    | Cr     | Fe      | Ni    | Mg    | Pb    | Zn     |
| mg/kg          | 0,091 | 0,0394 | 121,697 | 0,484 | 6,176 | 1,423 | 53,28  |
| base<br>seca   |       |        |         |       |       |       |        |
| mg/kg          | 0,074 | 0,319  | 98,757  | 0,393 | 5,012 | 1,155 | 43,237 |
| base<br>húmeda |       |        |         |       |       |       |        |

**Tabla 13***Concentración de metales para el melloco en base seca y húmeda*

| Melloco        |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Elemento       | <b>Cd</b> | <b>Cr</b> | <b>Fe</b> | <b>Ni</b> | <b>Mg</b> | <b>Pb</b> | <b>Zn</b> |
| mg/kg          | 0,053     | 0,529     | 46,517    | 0,951     | 9,488     | 1,216     | 43,345    |
| base<br>seca   |           |           |           |           |           |           |           |
| mg/kg          | 0,051     | 0,507     | 44,577    | 0,912     | 9,093     | 1,165     | 41,538    |
| base<br>húmeda |           |           |           |           |           |           |           |

**Tabla 14***Concentración de metales para la zanahoria blanca en base seca y húmeda*

| Zanahoria Blanca |           |           |           |           |           |           |           |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Elemento         | <b>Cd</b> | <b>Cr</b> | <b>Fe</b> | <b>Ni</b> | <b>Mg</b> | <b>Pb</b> | <b>Zn</b> |
| mg/kg            | 0,047     | 0,19      | 53,784    | 0,545     | 3,483     | 0,971     | 29,38     |
| base<br>seca     |           |           |           |           |           |           |           |
| mg/kg            | 0,044     | 0,178     | 50,455    | 0,511     | 3,267     | 0,911     | 27,561    |
| base<br>húmeda   |           |           |           |           |           |           |           |

**Tabla 15***Concentración de metales para papa china en base seca y húmeda*

| Papa China     |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Elemento       | <b>Cd</b> | <b>Cr</b> | <b>Fe</b> | <b>Ni</b> | <b>Mg</b> | <b>Pb</b> | <b>Zn</b> |
| mg/kg          | 0,059     | 3,323     | 56,614    | 0,381     | 11,792    | 1,731     | 41,654    |
| base<br>seca   |           |           |           |           |           |           |           |
| mg/kg          | 0,055     | 0,302     | 53,03     | 0,357     | 11,046    | 1,621     | 39,017    |
| base<br>húmeda |           |           |           |           |           |           |           |

**Tabla 16***Concentración de metales para el Chocho en base seca y húmeda*

| Chocho         |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Elemento       | <b>Cd</b> | <b>Cr</b> | <b>Fe</b> | <b>Ni</b> | <b>Mg</b> | <b>Pb</b> | <b>Zn</b> |
| mg/kg          | 0,016     | 0,11      | 95,204    | 0,094     | 22,151    | 0,534     | 37,233    |
| base<br>seca   |           |           |           |           |           |           |           |
| mg/kg          | 0,015     | 0,102     | 88,54     | 0,088     | 20,601    | 0,497     | 34,627    |
| base<br>húmeda |           |           |           |           |           |           |           |

**Tabla 17***Concentración de metales para el camote amarillo en base seca y húmeda*

| Camote Amarillo |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Elemento        | <b>Cd</b> | <b>Cr</b> | <b>Fe</b> | <b>Ni</b> | <b>Mg</b> | <b>Pb</b> | <b>Zn</b> |
| mg/kg           | 0,058     | 0,117     | 25,151    | 0,214     | 6,434     | 0,546     | 15,968    |
| base<br>seca    |           |           |           |           |           |           |           |
| mg/kg           | 0,053     | 0,106     | 22,855    | 0,195     | 5,847     | 0,496     | 14,51     |
| base<br>húmeda  |           |           |           |           |           |           |           |

**Tabla 18***Concentración de metales para el camote morado en base seca y húmeda*

| Camote Morado  |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Elemento       | <b>Cd</b> | <b>Cr</b> | <b>Fe</b> | <b>Ni</b> | <b>Mg</b> | <b>Pb</b> | <b>Zn</b> |
| mg/kg          | 0,071     | 0,142     | 47,472    | 0,302     | 9,388     | 0,871     | 15,024    |
| base<br>seca   |           |           |           |           |           |           |           |
| mg/kg          | 0,066     | 0,133     | 44,368    | 0,282     | 8,774     | 0,814     | 14,041    |
| base<br>húmeda |           |           |           |           |           |           |           |

**Tabla 19***Concentración de metales para la achira en base seca y húmeda*

| Achira         |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Elemento       | <b>Cd</b> | <b>Cr</b> | <b>Fe</b> | <b>Ni</b> | <b>Mg</b> | <b>Pb</b> | <b>Zn</b> |
| mg/kg          | 0,043     | 0,256     | 55,539    | 0,385     | 5,853     | 1,623     | 35,289    |
| base<br>seca   |           |           |           |           |           |           |           |
| mg/kg          | 0,04      | 0,241     | 52,212    | 0,361     | 5,502     | 1,526     | 33,175    |
| base<br>húmeda |           |           |           |           |           |           |           |

**Tabla 20***Concentración de metales para Harina de cáscara de Banano en base seca y húmeda*

| Harina de cáscara de Banano |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Elemento                    | <b>Cd</b> | <b>Cr</b> | <b>Fe</b> | <b>Ni</b> | <b>Mg</b> | <b>Pb</b> | <b>Zn</b> |
| mg/kg                       | 0,105     | 0,21      | 23,597    | 0,21      | 16,536    | 1,224     | 27,268    |
| base<br>seca                |           |           |           |           |           |           |           |
| mg/kg                       | 0,095     | 0,19      | 21,323    | 0,19      | 14,942    | 1,106     | 24,639    |
| base<br>húmeda              |           |           |           |           |           |           |           |

**Tabla 21**

*Concentración de metales para la pulpa de banano en base seca y húmeda*

| Pulpa de Banano |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Elemento        | <b>Cd</b> | <b>Cr</b> | <b>Fe</b> | <b>Ni</b> | <b>Mg</b> | <b>Pb</b> | <b>Zn</b> |
| mg/kg           | 0,06      | 0,12      | 13,058    | 0,105     | 5,379     | 0,628     | 13,432    |
| base<br>seca    |           |           |           |           |           |           |           |
| mg/kg           | 0,053     | 0,106     | 11,526    | 0,092     | 4,748     | 0,554     | 11,856    |
| base<br>húmeda  |           |           |           |           |           |           |           |

**Tabla 22**

*Concentración de metales en harina de cáscara de banano+ pulpa de banano en base seca y húmeda*

| Harina de cáscara de Banano + Pulpa de Banano |           |           |           |           |           |           |           |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Elemento                                      | <b>Cd</b> | <b>Cr</b> | <b>Fe</b> | <b>Ni</b> | <b>Mg</b> | <b>Pb</b> | <b>Zn</b> |
| mg/kg   | 0,085     | 0,085     | 12,984    | 0,106     | 7,634     | 0,867     | 21,147    |
| base<br>seca                                  |           |           |           |           |           |           |           |
| mg/kg   | 0,075     | 0,075     | 11,514    | 0,094     | 6,77      | 0,769     | 18,753    |
| base<br>húmeda                                |           |           |           |           |           |           |           |



#### 4.5. Discusión y comparación de resultados

##### Cadmio

Las concentraciones en mg/ kg peso seco de Cd en las muestras analizadas oscilaron entre 0,105-0,016 mientras que en mg/kg peso húmedo oscilan entre 0,095-0,015, habiendo mayor presencia de este metal en la muestra de harina de cáscara de banano, según (Ekholm et al., 2007) en su investigación menciona que las concentraciones de Cd en cereales oscilan entre <0,01 mg / kg peso seco.

Por otra parte (Apau, Acheampong, Appiah, & Ansong, 2014) menciona que el rango de Cd es de 0,33- 0,66 mg/ peso seco en muestras de tubérculos como la papa china y la yuca, mientras que (Ekholm et al., 2007) tiene rangos de Cd en tubérculos de 0,03-0,57 mg/kg peso seco, así mismo (Akinyele & Shokunbi, 2015) informa que las concentraciones de cadmio en tubérculos están en el rango de 0.03–0.28 mg / kg peso seco.

Además en (FSSAI, 2011) y (Europea, 2006) coinciden en que el límite máximo de cadmio presentes en hortalizas de raíz y tubérculos, harinas y cereales es de 0,1 mg/Kg peso húmedo mientras que para granos el límite máximo es 0,2 mg/kg peso húmedo, lo que demuestra que las muestras de oca, mashua, melloco, zanahoria blanca, papa china, camote amarillo, camote morado, achira, harina de cáscara de banano, pulpa de banano y harina de cáscara de banano + pulpa de banano con valores de concentración de 0,031; 0,074; 0,051; 0,044; 0,055; 0,053; 0,066; 0,040; 0,095; 0,053; 0,075 en mg/ kg peso húmedo respectivamente están dentro del rango permitido, así como el chocho que tiene una concentración de cadmio de 0,015 mg/ kg peso húmedo, el contenido de Cd de las muestras de alimentos analizados en esta investigación están dentro de los límites presentados en la literatura.

## **Cromo**

Se identificó la presencia de cromo en todas las muestras analizadas, las concentraciones en mg/ kg peso seco de Cr en las muestras analizadas oscilaron entre 0,524-0,015, mientras que en mg/kg peso húmedo oscilan entre 0,507-0,075, habiendo mayor presencia de este metal en la muestra de melloco.

Los niveles de cromo en los productos andinos infrautilizados son limitados en la literatura, por otra parte (Chain, 2014) menciona que no hay niveles máximos establecidos para el cromo en los alimentos sólo para el agua potable, tanto para el agua de consumo humano como para las envasadas. Sin embargo (Akinyele & Shokunbi, 2015) expresa en su investigación que para leguminosas la concentración de cromo es 0,05-0,60 mg / kg peso seco, de la misma manera (Lendinez, Lorenzo, Cabrera, & López, 2001) infirma en su investigación rangos de 0,58-0,60 mg/ Kg peso húmedo para la zanahoria y de 0,28- 0,71 mg/kg peso húmedo para la papa.

Por lo tanto los resultados obtenidos en nuestra investigación para las muestras de oca, mashua, melloco, zanahoria blanca, papa china, camote amarillo, camote morado, achira, harina de cáscara de banano, pulpa de banano y harina de cáscara de banano + pulpa de banano son exclusivos.

## **Hierro**

Este metal es el más abundante en todas las muestras analizadas, las concentraciones en mg/ kg peso seco de Fe en las muestras oscilaron entre 121,697-12,984, mientras que en mg/kg peso húmedo oscilan entre 98,757- 11,514, existe mayor presencia de este metal en la muestra de mashua.

Por otro lado (Ekholm et al., 2007) menciona que en hortalizas de raíz hay un rango de 18-65 mg/kg peso húmedo, así mismo (Tantaquilla Cueva & Zavaleta

Rodriguez, 2010) menciona que la oca tiene 18,8 mg/kg de peso húmedo mientras que en nuestra investigación tenemos 57,673 mg/kg de peso húmedo, para el caso del camote (Carpio, Sotelo, & Grüneberg, 2017) menciona en su investigación un rango de 41-96 mg/kg de peso húmedo lo que demuestra que el camote amarillo y camote morado con concentraciones de hierro de 22,855-44,368 en mg/kg peso húmedo respectivamente están dentro de los rangos presentados en literatura, para la zanahoria blanca (Jiménez, 2005) menciona que tiene una concentración de 12 mg/kg de peso húmedo mientras que en nuestra investigación tenemos 50,455 mg/kg peso húmedo, en el caso de la papa china (Njoku & Ohia, 2007) ,(Alinnor & Akalezi, 2010), (Bhandari, Kasai, & Kawabata, 2003) informa un valor de concentración de hierro de 82,8; 59,07;2,92-29 mg/Kg peso húmedo respectivamente, para nuestra muestra el resultado fue de 53,030 en mg/Kg de peso húmedo lo que indica que está dentro de los rangos de literatura, para la achira se encuentra 51mg/kg peso seco en (CHIMBO, 2009) mientras que nuestro resultado es 55,539 mg/kg peso seco

En el caso de la harina de cáscara de banano tenemos una concentración de hierro de 14,4 kg/peso seco según (Uyaguari & Efrén, 2014) pero en nuestro análisis tenemos 23,597 mg/kg peso húmedo, para el caso de la muestra de pulpa de banano y harina de cascarea de banano + pulpa de banano tenemos valores similares que corresponde a 11,526 y 11,514 mg/kg peso seco pero en la literatura (Casallas Malaver) informa que en la pulpa de banano hay 4,2 mg/kg peso seco de Fe.

En la literatura no hay un límite máximo de hierro en los alimentos, por lo que cada investigación presenta los resultados obtenidos.

## Níquel

Para las muestras analizadas la concentración de Ni en mg/kg peso seco varían entre 0,912-0,094 mientras que en mg/kg peso húmedo varían entre 0,912-0,088, tenemos mayor concentración de níquel en la muestra de melloco.

En la literatura (Bhandari et al., 2003) menciona que la concentración de Ni en vegetales es de 0,045 mg/kg peso húmedo, por otro lado (Onianwa, Lawal, Ogunkeye, & Orejimi, 2000) informa que los rangos para Ni en tubérculos es de 0,93- 1,79 mg/Kg peso seco En vegetales 0.08–9,22 mg/Kg peso seco, además (Olivares Arias et al., 2015) cita que en batatas y patatas el Ni está en un rango 0,027-0,547 mg/kg peso húmedo, mientras que (Tejera et al., 2013) informa que en harina de trigo en Ni esta entre 0,08-0,059 mg/ kg peso húmedo.

Así mismo (Akinyele & Shokunbi, 2015) aluce que los niveles de Ni oscilaban entre 0,06-0,14 mg / kg peso seco en tubérculos, legumbres y cereales, así en los resultados obtenidos de Ni en mg/kg peso seco para las muestras de oca, mashua, melloco, zanahoria blanca, papa china, camote amarillo, camote morado, achira, harina de cáscara de banano, pulpa de banano y harina de cáscara de banano + pulpa de banano tienen concentraciones de 0,891;0,484; 0,951;0,545; 0,381; 0,094; 0,214; 0,302; 0,385; 0,210; 0,105; 0,106 respectivamente.

Los valores de Ni reportados en este trabajo están dentro de los rangos de la literatura aunque es importante señalar que en las normas nacionales e internacionales consultadas no contemplan límites máximos de níquel, por lo que no se puede diferenciar entre el níquel cuando pasa de esencial a tóxico en la especie(Cahuasqui, 2011)

## Manganeso

Para las muestras analizadas la concentración de Mn en mg/kg peso seco varían entre 22,151-3,483 mientras que en mg/kg peso húmedo varían entre 20,601-2,991, tenemos mayor concentración de manganeso en la muestra de chocho.

(Akinyele & Shokunbi, 2015) informa niveles de Mn en los tubérculos en el rango de trazas de 15.93 mg / kg peso seco, así también (Ekholm et al., 2007) menciona un rango de 2- 30 mg/ Kg peso seco en tubérculos, por otra parte (Montes Hernandez, Oropeza Gonzalez, Diaz Romero, Rodriguez Rodriguez, & Arias Leon, 2010) ha informado concentración de Mn de 0,70-3,08 mg/kg peso fresco en variedad de batatas, en tubérculos de ñame silvestre según (Bhandari et al., 2003) menciona que el Mn oscila entre 1,4-3,5 mg/Kg peso húmedo.

También se ha informado que los niveles de manganeso en leguminosas son de 13,21 a 25,80 mg / kg peso seco (Sanchez-Castillo et al., 1998), 16,00-22,00 mg / kg peso seco (Iqbal, Khalil, Ateeq, & Khan, 2006) 17,90–38,10 mg / kg peso seco (Demirel, Tuzen, Saracoglu, & Soylak, 2008) y en harina de ñame el Mn está entre 4,8 y 22,1 mg / kg peso húmedo así lo informa (Baah, Maziya-Dixon, Asiedu, Oduro, & Ellis, 2009).

Por lo tanto resultados obtenidos de Mn en mg/kg peso seco para las muestras de oca, mashua, melloco, zanahoria blanca, papa china, camote amarillo, camote morado, achira, harina de cáscara de banano, pulpa de banano y harina de cáscara de banano + pulpa de banano tienen concentraciones de 3,546; 6,176; 9,488; 3,483; 11,792; 22,151; 6,234; 9,388; 5,853; 16,536; 5,379; 7,634 respectivamente.

Los datos reportados respecto al manganeso en este estudio se encuentran dentro del rango encontrado en la literatura.

## Plomo

Para las muestras analizadas la concentración de Pb en mg/kg peso seco varían entre 1,731-0,546 mientras que en mg/kg peso húmedo varían entre 1,621- 0,496, tenemos mayor concentración de plomo en la muestra de papa china.

Los límites máximos en concentración de metales pesados establecidos por la legislación de la Unión Europea para el plomo es 0,1 mg/Kg peso seco para raíces y tubérculos al igual que para hortalizas de bulbo, para cereales, verduras y legumbres secas es de 0,2 mg/Kg peso húmedo.(Europea, 2006).Por otra parte (Ekholm et al., 2007) informa en su investigación rangos para el Pb en tubérculos, verduras y cereales de 0,05-0,36mg/kg peso, 0,04-0,12 mg/kg peso seco, 0,04-0,23 mg/kg peso seco respectivamente.

En el estudio de investigación que realiza (Akinyele & Shokunbi, 2015) para tubérculos, cereales y legumbres reporta una concentración de Pb menor a <0,08 mg / kg peso seco , además en hortalizas cubanas se ha registrado < 0,08-0,28 mg/kg peso húmedo (OLIVARES RIEUMONT et al., 2013)

En el estudio realizado las muestras de oca, mashua, melloco, zanahoria blanca, papa china, camote amarillo, camote morado, achira, harina de cáscara de banano, pulpa de banano y harina de cáscara de banano + pulpa de banano se encontró concentraciones de Pb que corresponden a 0,837; 1,423; 1,216; 0,971; 1,731; 0,534; 0,546; 0,871; 1,623; 1,224; 0,628; 0,867 en mg/kg peso seco respectivamente.

Se evidencia que todas las muestras analizadas sobre pasan los niveles permitidos de plomo establecidos en la legislación europea, esto posiblemente se debe a que los cultivos fueron regados con aguas residuales o efluentes industriales.

También a la variación de nutrientes del suelo donde fueron cultivados así como la capacidad de absorción de cada producto. En el suelo de terrenos no cultivados se han encontrado de 8 a 20 mg Pb/Kg mientras que en terrenos cultivados puede llegar a encontrarse por encima de 360 mg Pb/Kg y cerca de fuentes de contaminación industrial, el suelo alcanza contenidos de 10 gr Pb/Kg o más. (Rubio et al., 2004)

## **Zinc**

Todas las muestras analizadas presentaron concentración de Zn los valores oscilaron de 53,280-13,432 mg/kg peso seco y 43,237-11,856 en mg/kg peso húmedo, teniendo mayor presencia de este metal en la muestra de mashua.

En hortalizas cubanas se ha registrado 6,08-14,2 mg/kg peso húmedo de Zn (OLIVARES RIEUMONT et al., 2013), por otro lado (Cabrera, Lloris, Gimenez, Olalla, & Lopez, 2003) informa en su estudio que el Zn en legumbres varia de 50-37 mg/kg peso húmedo.

Las concentraciones de zinc de los tubérculos, legumbres y cereales evaluados por (Akinyele & Shokunbi, 2015) oscilan entre 6,65 mg / kg seco y 46,99 mg / kg peso seco mientras que (Sanchez-Castillo et al., 1998) informa niveles de Zn en tubérculos en trazas de 11,98 mg / kg seco. Además (Onianwa, Adeyemo, Idowu, & Ogabiela, 2001) reportaron niveles de Zn en tubérculos y cereales de 3.00-10.00 mg / kg seco y 3.54-33.40 mg / kg seco respectivamente. Para verduras y legumbres informaron niveles de 32,00-68,00 mg / kg seco (Iqbal et al., 2006) y 20,9-7,16 mg/Kg peso seco (Radwan & Salama, 2006) respectivamente.

Los niveles de Zn en este estudio mostraron un contenido más alto que el indicado en la literatura para muestras de mashua, melloco, papa china, chocho, zanahoria blanca y achira el resto de las muestras analizadas están dentro del rango

que menciona (Ekholm et al., 2007) para hortalizas de raíz que oscilan de 10-24 mg/ kg peso seco.



## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Después de realizar la digestión acida de las muestras y observar que las mismas variaron de color, se concluye que las muestras de productos andinos infrautilizados pueden ser digeridas con agua regia y posteriormente analizadas por espectroscopia de absorción atómica.

Después de realizar las curvas de calibración las cuales reflejan un  $R^2 = 0,99$  para todas las muestras y de encontrar las condiciones óptimas de flujo de combustible mostradas en la tabla 10 para cada elemento, se concluye que las muestra analizada están optimizadas y dentro del rango adecuado

Al realizar el análisis por espectroscopia de absorción atómica se obtuvo la concentración de micrometales dentro de los cuales tenemos el manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn) y cromo (Cr) y como metales pesados el cadmio (Cd), plomo (Pb) y níquel (Ni).

El contenido de plomo en todas las muestras analizadas sobrepasa el 0,1 mg/kg peso seco que menciona la legislación europea como límite máximo de este metal en alimentos, por lo que las muestras analizadas no pueden utilizarse como materia prima para realizar productos alimenticios, esto puede deberse a que los productos son regados con descargas industriales.

No se puede realizar un análisis sistemático y en serie de micronutrientes, macronutrientes y metales pesados presentes en cultivos andinos infrautilizados (mashua, oca, zanahoria blanca, camote morado, camote amarillo, achira, melloco, chocho, papa china) y residuos agroindustriales (cáscara de banano, pulpa de banano y

cáscara +pulpa de banano) debido a que cada muestra necesita diferentes diluciones para ser analizadas por el método de espectroscopia de absorción atómica.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda la digestión ácida por microondas, ya que evita la generación y exposición a vapores, contaminación de la misma y representa un ahorro de tiempo y recursos al ser un sistema automatizado.

Para obtener un  $R^2 > 0,99$  se recomienda realizar la mayor cantidad de réplicas posibles para cada una de las muestras a ser analizadas.

Se propone realizar un estudio del suelo donde cultivan los productos andinos y del agua que se utilizan para regarlos, con la finalidad de determinar la causa de la alta concentración de plomo presente en dichos cultivos, mismos que exceden los límites permitidos.

Los productos andinos infrautilizados son una materia prima potencial tanto en la industria alimentaria como petroquímica, debido a la cantidad de almidón micronutrientes y macronutrientes que posee, por lo tanto, se recomienda realizar más estudios que permitan determinar nuevos procesos para la obtención de productos con un valor agregado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADARVE-COBO, M. A., & MEJIA-GIRALDO, L. M. (2012). OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE ALMIDÓN FERMENTADO DE ARRACACHA (ARRACACIA XANTHORRIZA). *Vitae*, 19(1), S255-S257.
- Aguilar-Galvez, A., Pedreschi, R., Carpentier, S., Chirinos, R., García-Ríos, D., & Campos, D. (2020). Proteomic analysis of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) tubers subjected to postharvest treatments. *Food Chemistry*, 305, 125485.
- Akinyele, I., & Shokunbi, O. (2015). Concentrations of Mn, Fe, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb, Ni in selected Nigerian tubers, legumes and cereals and estimates of the adult daily intakes. *Food Chemistry*, 173, 702-708.
- Alarcón, N. E. M., Pinargote, L. A. C., Menendez, J. D. P., Betancourt, C. E. A., & Muentes, M. E. A. (2016). Alternativas de siembra del camote (*Ipomoea batatas* L.) para el canton Jaramiijo, provincia de Manabi. *Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103*, 7(1), 7-14.
- Alinnor, I., & Akalezi, C. (2010). Proximate and mineral compositions of *Dioscorea rotundata* (white yam) and *Colocasia esculenta* (white cocoyam). *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(10), 998-1001.
- Álvarez de la Torre, D. M. (2016). *Determinación de sodio, potasio, hierro, calcio y zinc en arveja, lenteja y harina de haba, por espectrofotometría de absorción atómica de llama*. PUCE.
- Andrade-Mahecha, M. M., Pelissari, F. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2015). Achira as a source of biodegradable materials: Isolation and characterization of nanofibers. *Carbohydrate polymers*, 123, 406-415.
- Apau, J., Acheampong, A., Appiah, J., & Ansong, E. (2014). Levels and health risk assessment of heavy metals in tubers from markets in the Kumasi metropolis, Ghana. *Int J Sci Technol*, 3(9), 534-539.

- Arias, M. C. C. (2015). Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) una planta con potencial nutritivo y medicinal. *Revista Bio Ciencias*, 3(3), 163-172.
- Baah, F., Maziya-Dixon, B., Asiedu, R., Oduro, I., & Ellis, W. O. (2009). Nutritional and biochemical composition of *D. alata* (*Dioscorea* spp.) tubers.
- Barrera, V. H. (2003). *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* (Vol. 4): International Potato Center.
- Bhandari, M. R., Kasai, T., & Kawabata, J. (2003). Nutritional evaluation of wild yam (*Dioscorea* spp.) tubers of Nepal. *Food Chemistry*, 82(4), 619-623.
- Bonete, M., Urquiza, C., Guevara, R., & Yáñez, P. (2016). Estudio de cuatro tubérculos y raíces tuberosas no tradicionales de la sierra centro de Ecuador y su potencial de uso en platos de autor. *Qualitas*, 12, 37-67.
- Cabrera, C., Lloris, F., Gimenez, R., Olalla, M., & Lopez, M. C. (2003). Mineral content in legumes and nuts: contribution to the Spanish dietary intake. *Science of the total environment*, 308(1-3), 1-14.
- Cahuasqui, S. (2011). Determinación de metales pesados (plomo, cadmio y níquel) en el cilantro (*Coriandrum sativum* L) en Aloag, cantón Mejía, provincia de Pichincha por espectrofotometría de absorción atómica de llama. *Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador*.
- Caicedo, G. (2004). El cultivo de achira: Alternativa de producción para el pequeño productor. *Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación*(11), 149-156.
- Carpio, R. V., Sotelo, A., & Grüneberg, W. J. (2017). Contenido de  $\beta$ -Caroteno, Hierro y Zinc, Efecto de Almacenamiento y Tipo de Cocción en Genotipos de Camote (*Ipomoea batatas* L). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(2), 242-254.

- Casallas Malaver, L. F. Evaluación del análisis fisicoquímico del banano común (*musa sapientum* L.) transformado por acción de la levadura *Candida guilliermondii*.
- Castanha, N., Villar, J., da Matta Junior, M. D., dos Anjos, C. B. P., & Augusto, P. E. D. (2018). Structure and properties of starches from Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots. *International journal of biological macromolecules*, 117, 1029-1038.
- Correa, L. M. Q., Dioses, O. D. C., Mora, E. O. M., Delgado, F. M. M., & Valarezo, H. M. G. (2019). Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de papa china (*Colocasia esculenta*) sobre las propiedades reológicas de la masa y sensoriales de galletas dulces. *Alimentos Hoy*, 27(47), 49-63.
- Chain, E. P. o. C. i. t. F. (2014). Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of chromium in food and drinking water. *EFSA Journal*, 12(3), 3595.
- CHIMBO, L. C. (2009). *APLICACIÓN DEL ALMIDÓN DE LA ACHIRA EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS EN LA GASTRONOMÍA TRADICIONAL Y MODERNA*.
- Chirinos, R., Betalleluz-Pallardel, I., Huamán, A., Arbizu, C., Pedreschi, R., & Campos, D. (2009). HPLC-DAD characterisation of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 113(4), 1243-1251.
- de Souza Gomes, D., do Prado Cordoba, L., Rosa, L. S., Spier, M. R., Schnitzler, E., & Waszczyński, N. (2018). Thermal, pasting properties and morphological characterization of pea starch (*Pisum sativum* L.), rice starch (*Oryza sativa*) and arracacha starch (*Arracacia xanthorrhiza*) blends, established by simplex-centroid design. *Thermochimica Acta*, 662, 90-99.
- Demirel, S., Tuzen, M., Saracoglu, S., & Soyak, M. (2008). Evaluation of various digestion procedures for trace element contents of some food materials. *Journal of Hazardous Materials*, 152(3), 1020-1026.

- Dini, I., Tenore, G. C., & Dini, A. (2009). Saponins in Ipomoea batatas tubers: Isolation, characterization, quantification and antioxidant properties. *Food Chemistry*, 113(2), 411-419.
- Ebert, A. W. (2014). Potential of underutilized traditional vegetables and legume crops to contribute to food and nutritional security, income and more sustainable production systems. *Sustainability*, 6(1), 319-335.
- Ekholm, P., Reinivuo, H., Mattila, P., Pakkala, H., Koponen, J., Happonen, A., . . . Ovaskainen, M.-L. (2007). Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(6), 487-495.
- Ellong, E. N., Billard, C., & Adenet, S. (2014). Comparison of physicochemical, organoleptic and nutritional abilities of eight sweet potato (Ipomoea batatas) varieties. *Food and Nutrition Sciences*, 2014.
- Europea, U. (2006). Reglamento (CE) No 1881/2006 de la comisión de 19 de diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea L*, 364, 20.
- Federation, W. E., & Association, A. P. H. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA*.
- FiFer, G. (2018). Cultivos subutilizados que daran abundancia a fincas pequeñas.
- FSSAI. (2011). Food Safety, and Standards (Contaminants, Toxins, and Residues) Regulations. *Notification No. 2-15015/30/2010*.
- Gallego Picó, A. (2012). Características de los alimentos y control de calidad. *Aldaba*, 36, 13-34.

- García-Yi, J. (2014). Market-based instruments for the conservation of underutilized crops: In-store experimental auction of native Chili products in Bolivia. *Sustainability*, 6(11), 7768-7786.
- Guerra, D., & Pozo, P. (2018). Análisis proximal y perfil de aminoácidos del aislado proteico del chocho andino ecuatoriano (*Lupinus mutabilis*). *infoANALÍTICA*, 6(1), 55-66.
- Guevara-Freire, D. A., Valle-Velástegui, L., Barros-Rodríguez, M., Vásquez, C., Zurita-Vásquez, H., Dobronski-Arcos, J., & Pomboza-Tamaquiza, P. (2018). Nutritional composition and bioactive components of mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21(1).
- Harris, D. C. (2018). *Análisis químico cuantitativo*: Reverté.
- Horton, D. (2014). Investigación colaborativa de granos andinos en Ecuador.
- Iqbal, A., Khalil, I. A., Ateeq, N., & Khan, M. S. (2006). Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry*, 97(2), 331-335.
- Jacobsen, S.-E., & Mujica, A. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de los andes centrales*, 28(1), 458-482.
- Jiménez, F. (2005). Características nutricionales de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y sus perspectivas en la alimentación. *Publicación Virtual Red Peruana de Alimentación y Nutrición*. Lima, Perú. 22p. Disponible desde Internet en: <http://www.rpan.org/monografias/monografia002.pdf> (con acceso 12/05/09).
- Leidi, E. O., Altamirano, A. M., Mercado, G., Rodríguez, J. P., Ramos, A., Alandía, G., . . . Jacobsen, S.-E. (2018). Andean roots and tubers crops as sources of functional foods. *Journal of Functional Foods*, 51, 86-93.

- Lendinez, E., Lorenzo, M., Cabrera, C., & López, M. (2001). Chromium in basic foods of the Spanish diet: seafood, cereals, vegetables, olive oils and dairy products. *Science of the total environment*, 278(1-3), 183-189.
- León, M., & Villacorta, M. (2010). Valor nutritivo de pan con sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft), fortificado. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 244-261.
- Linares, L., Ureña, M., & Ruales, J. (2015). Efecto del curado sobre las propiedades térmicas del almidón de camote (*Ipomoea batatas* L.). *Agroindustrial Science*, 5(1), 27-35.
- Melo, V., & Cuamatzi, O. (2020). *Bioquímica de los procesos metabólicos*: Reverte.
- Montes Hernandez, A. I., Oropeza Gonzalez, R. A., Diaz Romero, C., Rodriguez Rodriguez, E. M., & Arias Leon, J. J. (2010). Mineral composition and comparison of storage roots of sweet potatoes varieties (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) cultivated in the island of La Palma, Spain. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 1-19.
- MORALES, E. B., PEÑAFIEL, M., & BARAHONA, M. (2016). EFFECT OF SILICON IN TARO CROP (*COLOCASIA ESCULENTA*) IN COMBINATION WITH TWO LEVELS OF ORGANIC MATTER. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 18, 807-814.
- Njoku, P., & Ohia, C. (2007). Spectrophometric estimation studies of mineral nutrient in three cocoyam cultivars. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6(6), 616-619.
- Olivares Arias, V., Valverde Som, L., Quiros Rodríguez, V., García Romero, R., Muñoz, N., Navarro Alarcón, M., & Cabrera Vique, C. (2015). Níquel en alimentos y factores influyentes en sus niveles, ingesta, biodisponibilidad y toxicidad: una revisión. *CyTA-Journal of Food*, 13(1), 87-101.



- OLIVARES RIEUMONT, S., García Céspedes, D., Lima Cazorla, L., Saborit Sánchez, I., Llizo Casals, A., & Pérez Alvares, P. (2013). Niveles de Cadmio, Plomo, Cobre y Zinc en Hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de la Habana, Cuba. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(4), 285-294.
- OMS. (2020). Nutrient. from <https://www.who.int/elena/nutrient/en/>
- Onianwa, P., Adeyemo, A., Idowu, O., & Ogabiela, E. (2001). Copper and zinc contents of Nigerian foods and estimates of the adult dietary intakes. *Food Chemistry*, 72(1), 89-95.
- Onianwa, P., Lawal, J., Ogunkeye, A., & Orejimi, B. (2000). Cadmium and nickel composition of Nigerian foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 13(6), 961-969.
- Orozco, M. C. A., Garcés, C. L. S., & Rivera, C. H. (2014). Valoraciones agronómicas y de rendimiento en la cosecha de “papa china”(Colocasia esculenta L.) en el trópico húmedo colombiano. *RIAA*, 5(2), 169-180.
- Radwan, M. A., & Salama, A. K. (2006). Market basket survey for some heavy metals in Egyptian fruits and vegetables. *Food and chemical toxicology*, 44(8), 1273-1278.
- Rai, P. K., Lee, S. S., Zhang, M., Tsang, Y. F., & Kim, K.-H. (2019). Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*, 125, 365-385.
- Rubio, C., Gutiérrez, A., Izquierdo, R. M., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de toxicología*, 21(2-3), 72-80.
- Sanchez-Castillo, C. P., Dewey, P. J., Aguirre, A., Lara, J. J., Vaca, R., de la Barra, P. L., . . . James, W. P. T. (1998). The mineral content of Mexican fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 11(4), 340-356.

- Santacruz, S. (2004). *Characterisation of starches isolated from Arracacha xanthorriza, Canna edulis and Oxalis tuberosa and extracted from potato leaf* (Vol. 486).
- Sastre, J., Sahuquillo, A., Vidal, M., & Rauret, G. (2002). Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: microwave-assisted total digestion versus aqua regia and nitric acid extraction. *Analytica Chimica Acta*, 462(1), 59-72.
- Scheldeman, X., Rojas, W., Valdivia, R., Peralta, E., & Padulosi, S. (2003). *Retos y posibilidades del uso de especies olvidadas y subutilizadas en un desarrollo sostenible*. Paper presented at the Memorias del XI Congreso Internacional de Cultivos Andinos, Cochabamba, Bolivia.
- SENPLADES. (2017). Plan Nacional para el Buen Vivir (2017-2021) Recuperado de: <https://www.gob.ec/regulaciones/plan-nacional-buen-vivir-2017-2021>. *Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021. pdf*.
- Silva, P. (2012). Digestión en horno de microondas para determinación de contenido de hierro y zinc totales en alimentos. *Revista Tecnología en Marcha*, 25(3).
- Skoog, D., Holler, F., & Crouch, S. (2008). Principios de análisis instrumental 6ta edición. Ed. Cengage Learning Editores. México DF.
- Skoog, D., Holler, F. J., West, D. M., & Crouch, S. R. (2015). Fundamentos de química analítica (Novena edición ed.). México: CENGAGE Learning.
- Suquilanda, M. (2011). Producción orgánica de cultivos andinos. Ecuador: UNOCANC.
- Tantaquilla Cueva, A. M., & Zavaleta Rodriguez, E. G. (2010). Cuantificación de macronutrientes, micronutrientes y vitamina ce identificación de vitaminas liposolubles presentes en el tubérculo de oxalis tuberosa molina "oca" del caserío de Huangamarca–Otuzco–La Libertad.
- Tejera, R. L., Luis, G., González-Weller, D., Caballero, J. M., Gutiérrez, Á. J., Rubio, C., & Hardisson, A. (2013). Metals in wheat flour; comparative study and safety control. *Nutricion hospitalaria*, 28(2), 506-513.

- Uyaguari, C., & Efrén, E. (2014). *Valoración de la harina de banano musa sapientum según sus grados de cosecha en las variedades valery cavendish gigante y filipino*. Machala: Universidad Técnica de Machala.
- Vidal, A. R., Zaucedo-Zuñiga, A., & Ramos-García, M. (2018). Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batatas* L.) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2), 1-15.
- Villacres, E., Peralta, E., Cuadrado, L., Revelo, J., Abdo, S., & Aldáz, R. (2009). *Propiedades y Aplicaciones de los Alcaloides del Chocho*: INIAP Archivo Historico.
- Zumbado Fernández, H. (2020). *Análisis químico de los alimentos: métodos clásicos*: Editorial Universitaria (Cuba).

# ANEXOS