

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Método para Análisis de Pb y Cd por Medio de  
Espectrofotometría de Absorción Atómica en Miel de Agave  
Artesanal**

**Carla Valeria Vásquez Ortiz**

**Ingeniería Química**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniera Química

Quito, 20 de diciembre de 2022

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Método para Análisis de Pb y Cd por Medio de Espectrofotometría de  
Absorción Atómica en Miel de Agave Artesanal**

**Carla Valeria Vásquez Ortiz**

**Nombre del profesor, Título académico**

**David Egas, Ph. D.**

Quito, 20 de diciembre de 2022

## © DERECHOS DE AUTOR

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

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

Nombres y apellidos: Carla Valeria Vásquez Ortiz

Código: 00209859

Cédula de identidad: 100378304-8

Lugar y fecha: Quito, 20 de diciembre de 2022

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **AGRADECIMIENTOS**

*A DIOS por haberme permitido cumplir una de mis metas, por ser mi guía y amigo durante este camino, por darme sostén y luz en mi vida.*

*A mis padres Juan y Jacqueline por todo el apoyo brindado a lo largo de mi vida. Por ser mi motor y ayudarme a cumplir todos mis sueños.*

*A mis hermanos Juan Sebastián y Scarlet Valentina por ser una parte muy importante de mi. Por estar siempre conmigo, enseñarme a no rendirme y seguir adelante. A mi familia por el apoyo incondicional.*

*Les dedico a ustedes cada uno de mis logros.*

*A mi tutor David Egas por tu ayuda durante estos meses de aprendizaje, por tu paciencia, motivación y consejos recibidos durante mi vida universitaria..*

*A Juan Luis Guerra por ser mi soporte de vida y motivarme a culminar mis sueños.*

*A Junior, Akira y Frida por ser mi felicidad absoluta.*

***Carla Valeria Vásquez Ortiz***

## RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo plantear un método de detección y cuantificación de plomo (Pb) y cadmio (Cd) mediante el uso de Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS). Se comprobó la efectividad del método mediante el estudio de 3 muestras de distintos lotes de miel de agave artesanal de la empresa Mishky Huarmy en el cantón de Cayambe. Se detectó concentraciones de 1,1 ppm de Pb y 0,8 ppm de Cd en las muestras de estudio dentro de un rango de estudio de 0,2 a 20 ppm. Por ende, se investigó cuales serían las fuentes de contaminación. Se evalúa que las principales fuentes de contaminación son: mediante absorción de metales a través del suelo y por una olla de barro al momento de la cocción y obtención del néctar de agave. Se obtuvo concentraciones de Pb y Cd de 7,3 ppm y 0,6 ppm respectivamente en el estudio de suelo. Además, se encontró una concentración de Cd de 0,06 ppm en la olla de barro a partir de los tiempos de estudio establecidos.

**Palabras clave:** Metales Pesados, Espectrofotometría de Absorción Atómica, Miel de Agave, Fuentes de Contaminación, Suelo, Olla de barro.

## ABSTRACT

This research aims to propose a method of detection and quantification of lead (Pb) and cadmium (Cd) through the use of Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The effectiveness of the method was verified by studying 3 samples from different batches of artisanal agave honey from the company Mishky Huarmy in the canton of Cayambe. Concentrations of 1,1 ppm Pb and 0,8 ppm Cd were detected in the study samples within a study range of 0,2 to 20 ppm. Therefore, the sources of contamination were investigated. It is evaluated that the main sources of contamination are: by absorption of metals through the soil and by a clay pot at the time of cooking and obtaining agave nectar. Pb and Cd concentrations of 7,3 ppm and 0,6 ppm respectively were obtained in the soil study. In addition, a Cd concentration of 0,06 ppm was found in the clay pot from the established study times.

**Keywords:** Heavy Metals, Atomic Absorption Spectrophotometry, Agave Honey, Pollution Sources, Soil, Clay pot.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>METODOLOGÍA</b> .....	15
Metodología de estudio.....	15
Método de digestión.....	16
Variables de medición.....	17
Método de Adición Estándar .....	18
Detección de metales pesados.....	18
Análisis de curvas de calibración.....	19
Análisis de datos estadísticos.....	19
Fuentes de contaminación.....	20
Estudio de suelo .....	20
Estudio de olla de barro .....	21
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	23
Cuantificación de metales .....	23
Análisis de Curvas de Calibración.....	24
Interpretación de datos estadísticos .....	26
Fuentes de contaminación.....	28
Estudio de suelo .....	28
Estudio de olla de barro .....	30
<b>CONCLUSIONES</b> .....	33
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	34
<b>ANEXOS</b> .....	39
Anexo 1.....	39
Anexo 2.....	42
Anexo 3.....	45
Anexo 4.....	48
Anexo 5.....	50



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cuantificación de metales pesados en muestras de agave .....	23
<b>Tabla 2.</b> Desviación Estándar General de las muestras de miel de agave .....	26
<b>Tabla 3.</b> Desviación Estándar de PB para la muestra Alfa .....	26
<b>Tabla 4.</b> Desviación Estándar de CD para la muestra Alfa.....	27
<b>Tabla 5.</b> Desviación Estándar de PB para la muestra Beta .....	27
<b>Tabla 6.</b> Desviación Estándar de CD para la muestra Beta .....	27
<b>Tabla 7.</b> Desviación Estándar de PB para la muestra Gamma.....	27
<b>Tabla 8.</b> Desviación Estándar de CD para la muestra Gamma .....	28
<b>Tabla 9.</b> Cuantificación de metales pesados en suelo de cultivo .....	29
<b>Tabla 10.</b> Cuantificación de metales pesados en olla de barro .....	31
<b>Tabla 11.</b> Método de Digestión de Agave Alfa .....	39
<b>Tabla 12.</b> Absorción de muestra Alfa .....	39
<b>Tabla 13.</b> Cuantificación de Metales Pesados Muestra Alfa .....	40
<b>Tabla 14.</b> Desviación Estándar Muestra Alfa .....	40
<b>Tabla 15.</b> Método de Digestión de Agave Beta .....	42
<b>Tabla 16.</b> Absorción de muestra Beta .....	42
<b>Tabla 17.</b> Cuantificación de Metales Pesados Muestra Beta .....	43
<b>Tabla 18.</b> Desviación Estándar Muestra Beta .....	44
<b>Tabla 19.</b> Método de Digestión de Agave Gamma.....	45
<b>Tabla 20.</b> Absorción de muestra Gamma.....	45
<b>Tabla 21.</b> Cuantificación de Metales Pesados Muestra Gamma.....	46
<b>Tabla 22.</b> Desviación Estándar Muestra Gamma.....	47
<b>Tabla 23.</b> Método de Digestión de Suelo.....	48
<b>Tabla 24.</b> Absorción de muestra de Suelo.....	48
<b>Tabla 25.</b> Cuantificación de Metales Pesados de Suelo.....	49
<b>Tabla 26.</b> Absorción de agua destilada .....	50
<b>Tabla 27.</b> Absorción de muestras estándar Pb y Cd.....	50
<b>Tabla 28.</b> Concentración de Metales en Olla de Barro .....	51
<b>Tabla 29.</b> Obtención de Incertidumbre para muestra Alfa.....	53
<b>Tabla 30.</b> Obtención de Incertidumbre para muestra Beta.....	53
<b>Tabla 31.</b> Obtención de Incertidumbre para muestra Gamma .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Metodología de estudio por medio de AAS .....	15
<b>Figura 2.</b> Digestión de miel de agave .....	17
<b>Figura 3.</b> Muestras de miel de agave .....	18
<b>Figura 4.</b> Digestión de suelo .....	21
<b>Figura 5.</b> Estudio de Olla de barro.....	22
<b>Figura 6.</b> Curva de calibración muestra Alfa.....	24
<b>Figura 7.</b> Curva de calibración muestra Beta.....	25
<b>Figura 8.</b> Curva de calibración muestra Gamma .....	25
<b>Figura 9.</b> Curva de calibración muestra de suelo.....	29
<b>Figura 10.</b> Curva de calibración para Cd de ola de barro en tiempos de estudio .....	31
<b>Figura 11.</b> Curva de Calibración de Olla de Barro para obtención de Concentraciones .....	51
<b>Figura 12.</b> Curva de Calibración de Olla de Barro .....	52

## INTRODUCCIÓN

En Ecuador, la producción artesanal se ha convertido en un gran aporte para la economía del país. <sup>[21] [43]</sup> En la industria alimenticia se utilizan plantas con la finalidad de obtener productos naturales, a partir de nuevas alternativas como la producción de miel a base de agave. <sup>[8] [47]</sup> Existen alrededor de 150 especies de agaves, con distintas propiedades y aspectos. <sup>[5]</sup> El agave es conocido también como cabuya, maguey, entre otros nombres dependiendo de la región. Desde la antigüedad, la raíz, tallo y flores del agave se han utilizado con fines medicinales. <sup>[3] [4] [5] [21] [27] [46]</sup> Con el paso del tiempo se ha ido aprovechando sus beneficios y en la actualidad sus hojas son usadas para elaborar jugos, savias, tequilas, pulque y mezcal. <sup>[8] [21] [46] [47]</sup>

En nuestra región, las especies más comunes son Agave Tequiliana y Agave Americana. <sup>[5] [50]</sup> Esta planta fue introducida debido a su alta producción de azúcares, como la fructosa, <sup>[3]</sup> por esta razón, en la industria se utiliza el agave para elaborar bebidas alcohólicas y productos artesanales como miel, mishqui (aguamiel), mermelada y panela. <sup>[3] [5] [8] [21] [27] [46]</sup> Su aprovechamiento ha incrementado con los años pues está generando un aporte para la economía y la industria alimenticia. <sup>[8] [21] [43]</sup>

El Agave Americana se encuentra en la región sierra, principalmente en las faldas de los volcanes. <sup>[5] [8]</sup> Sin embargo, al crecer en una región montañosa existe la presencia de contaminación de suelos, como metales pesados, <sup>[23]</sup> debido a la actividad volcánica. <sup>[15]</sup> Esto se determina como contaminación por fuentes naturales, debido a que el ambiente posee ciclos biológicos y geográficos, <sup>[17] [21]</sup> por lo cual, la lluvia permite que los metales de roca y minerales sean transportados y mediante la absorción se produce la bioacumulación de metales en plantas y animales de la zona. <sup>[8] [15] [18]</sup>

Otra de las fuentes de contaminación que puede existir en la región es por fuentes antrópicas, las cuales pueden ser puntuales o no puntuales. Las fuentes puntuales antrópicas son fuentes fijas como las carreteras, industrias que se encuentren cerca de la zona y provoquen de manera continua una contaminación directa y/o indirecta. En cambio, las fuentes no puntuales son fuentes móviles como fertilizantes, pesticidas, residuos y humo (transportados por vientos).<sup>[46]</sup>

La contaminación de metales pesados como plomo (Pb) y cadmio (Cd) puede estimular múltiples efectos a la salud.<sup>[1] [6] [13] [16] [28]</sup> El plomo en niveles de baja exposición genera dolores de cabeza y cansancio constante. Sin embargo, una exposición elevada de plomo puede ocasionar discapacidad intelectual, trastornos de comportamiento, desarrollo del cerebro, malas formaciones en periodo de gestación, anemia, hipertensión, toxicidad en los órganos reproductores.<sup>[1] [6]</sup> Mientras que el cadmio a baja escala provoca vómito, diarrea, dolor de cabeza.<sup>[1] [13] [19]</sup> Pero si existe un nivel de contaminación elevado puede incitar a calambres estomacales, fragilidad en los huesos, problemas en el pulmón, enfermedades renales. Ambos metales a largo plazo pueden causar cáncer y la muerte.<sup>[6] [14] [15] [19] [28]</sup>

Para controlar la presencia de metales pesados en los productos alimenticios se ha implementado normas o controles de calidad de manera internacional las cuales establecen límites permisibles para la ingesta de alimentos.<sup>[9]</sup> La concentración permitida de plomo en miel según MERCOSUR es de 0,3 partes por millón (ppm) o 30 partes por billón (ppb).<sup>[22]</sup> La concentración permisible del cadmio en miel de acuerdo a MERCOSUR es de 0,1 partes por millón (ppm) ya que es necesario proteger de niveles toxicológicos la salud pública.<sup>[22]</sup> De acuerdo con SSRG International Journal of Applied Chemistry<sup>[26]</sup> el límite de toxicidad de Pb en el organismo de una persona es de  $> 500 \mu\text{g} / \text{L}$  en la sangre.<sup>[13] [16] [26]</sup> Y para Cd  $200 \mu\text{g}/\text{kg}$  en peso normal.<sup>[13] [19] [26]</sup>

El método más utilizado de acuerdo a la investigación de detección de metales pesados en bajas concentraciones es la Espectrofotometría por Absorción Atómica (AAS).<sup>[11]</sup> El tipo de Espectrometría por Absorción Atómica (AAS) a emplear es por llama (FAAS)<sup>[10][31]</sup>, donde se conoce que tiene un límite de detección de plomo de 50 ppb y de cadmio de 8 ppb. Acorde a los límites de detección especificados por el fabricante, el límite de detección por FAAS son 80 ppb para plomo y 10 ppb para cadmio.<sup>[1] [24]</sup>

Antes de realizar una comparación entre los límites de detección por FAAS y los límites por las normas establecidas a nivel internacional, se debe realizar un tratamiento a las muestras orgánicas para así obtener un análisis adecuado, donde se plantea una variación de volúmenes para estimar análisis estadísticos significativos.<sup>[33]</sup> Con la finalidad de generar mayor sensibilidad para la detección de los metales pesados a estudiar de acuerdo al método de investigación.<sup>[31]</sup>

Se propone un método analítico estandarizado el cual nos permite cuantificar la cantidad de metales pesados como plomo y cadmio presentes en miel de agave artesanal. Para lograr este método se debe realizar muestras las cuales estén por debajo de los límites permitidos según la norma en miel y por encima de los límites de detección según el método de Espectrometría por Absorción Atómica por llama (FAAS).<sup>[10]</sup>

El propósito de la investigación es brindar a los productores de miel de agave artesanal de la ciudad de Cayambe un método por el cual se pueda detectar y cuantificar la cantidad de metales pesados en niveles de Pb y Cd.<sup>[6] [13] [28] [34]</sup> Este tipo de análisis nace de una investigación internacional pasada y es perfeccionada para lograr cuantificar metales. Una de las ventajas en el análisis cuantitativo del método AAS es la rapidez y fiabilidad para la obtención de resultados de un elemento dado, muchas veces con una alta sensibilidad.<sup>[1] [7] [12]</sup>

[24] [31]

La producción artesanal ha crecido debido a la alta demanda de comerciantes y de alimentos los cuales son beneficiosos para la comunidad. En la región sierra, los productores que elaboran miel a partir de agave desconocen los daños que un producto puede causar debido a la presencia de metales pesados.<sup>[20] [21]</sup> Además, este proyecto busca determinar la fuente de contaminación que produce la absorción de metales pesados en miel agave artesanal.<sup>[21]</sup> Al conocer la fuente de contaminación se plantea un estudio tanto del lugar donde se produce el producto que donde se cosecha y/o cultiva la planta.<sup>[7]</sup> Para así analizar si la absorción se produce desde la raíz o en la cocción del producto final.<sup>[21]</sup>

El aporte de la investigación es aprovechar y mejorar la calidad de producción que se realizan por los productores de la región. Así también, dar a proponer métodos de estudio y prevención para evitar contaminación en los productos alimenticios. A partir de la información recopilada se realizará una comparación estadística entre los resultados obtenidos mediante los métodos de estudio AAS para determinar y analizar si el método planteado es eficiente.<sup>[24] [31]</sup>

## METODOLOGÍA

### Metodología de estudio

La Espectrometría por Absorción Atómica (AAS) es un método que se utiliza para cuantificar metales, es decir, se encarga de analizar y determinar la cantidad de metales mediante absorción de átomos o iones gaseosos de la muestra a analizar. Los principales tipos de atomización son: atomizador por llama y electrotérmica.<sup>[10] [24] [52]</sup> Para esta investigación el método de interés es la Espectrometría por Absorción Atómica por llama (FAAS).<sup>[33]</sup> Antes de analizar y usar el método de Espectrometría por Absorción Atómica para muestras sólidas, se debe realizar un pretratamiento, por lo tanto, deben ser disueltas.<sup>[24] [52]</sup>

FAAS tiene como función principal convertir los átomos de la muestra en átomos en estado fundamental.<sup>[33] [52]</sup> Para esto es imprescindible agregar una cantidad de energía lo suficientemente adecuada para que se encargue de disociar las moléculas, romper los enlaces y llevar los átomos a estados fundamentales.<sup>[40]</sup> La temperatura que se produce en este método está entre los 1700 a 3000 °C obteniendo una cantidad de medida de absorción de radiación.<sup>[52]</sup>



**Figura 1.** Metodología de estudio por medio de AAS

Por esta razón, es una técnica donde la muestra en solución ingresa, es nebulizada e introducida dentro de la llama en donde es desolvatada, vaporizada y atomizada. Continuo a esto, los átomos y las moléculas se elevan a estados de excitación por colisiones térmicas con los contribuyentes de los componentes de la llama parcialmente quemados.<sup>[52]</sup> Además, se encargan de emitir radiaciones características de los componentes de la muestra. Esta luz es emitida por un monocromador y analizado hasta llegar a un fotodetector el cual se encarga de medir la potencia de la radiación, la amplifica y envía lo registrado a un dispositivo de lectura.  
[40] [52]

### **Método de digestión**

Para realizar la técnica de digestión se tomó como referencia el método propuesto por James K. Kearns PhD. El cual fue modificado y perfeccionado para cumplir con los objetivos de la investigación.<sup>[40]</sup>

Este método fue recopilado por Lori B. Allen, el cual se refiere a una descomposición química de jarabe o néctar que contiene azúcar.

- a) El procedimiento inició colocando 2 gramos de muestra de agave en un Matraz Erlenmeyer de 50 mL con 6 mL de agua destilada y 6 mL de HNO<sub>3</sub>.
- b) Colocar arena hasta la mitad de la olla de aluminio, poner esta olla en una hornilla hasta conseguir una temperatura de 90 °C.
- c) Ubicar las muestras de Matraz Erlenmeyer dentro de la olla durante 20 minutos o hasta que cese el gas que desprende de la muestra. (Mantenga distancia entre cada una).
- d) Sacar las muestras y dejar que se enfríen durante 15 minutos.
- e) Añadir 8 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30 % en cada una de las muestras y volver a colocar en la olla durante 30 minutos.
- f) Sacar las muestras y dejar que se enfríen durante 15 minutos.



- g) Añadir 10 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30 % en cada una de las muestras y volver a colocar en la olla durante 30 minutos.
- h) Elevar la temperatura hasta 130 °C y reducir el volumen de la muestra digerida hasta 1,5 a 2 mL.
- i) Transferir la mezcla digerida a un matraz de 25 mL con un embudo y papel filtro.

Este método fue modificado para perfeccionar la digestión de miel de agave y sea usado para detección de metales pesados.



*Figura 2.* Digestión de miel de agave

### **Variables de medición**

A partir de los tres frascos de diferentes lotes de miel de agave, se obtuvo 12 muestras las cuales fueron evaluadas mediante el método de digestión. Sin embargo, para lograr una comparación estadística entre las muestras se implementó el método de adición estándar para el primer paso del método de digestión. <sup>[40]</sup>



**Figura 3.** Muestras de miel de agave

### **Método de Adición Estándar**

Este método es aplicable cuando existen interferencias. El método de adición estándar consiste en añadir un volumen conocido de la muestra problema (lo que queremos detectar) a distintos matraces aforados. Los estándares establecidos para el caso de Pb fueron desde 0,15 ppm disminuyendo en tres veces hasta 0 ppm y de igual forma para el caso de Cd los estándares fueron desde 1,5 ppm disminuyendo en tres veces hasta 0 ppm.

Además, se realizó estándares de Pb (Solución de Pb concentración 1000 mg/L Matriz: 2% HNO<sub>3</sub>).<sup>[53]</sup> y Cd (Solución de Cd concentración 1000 mg/L Matriz: 2-5% HNO<sub>3</sub>)<sup>[54]</sup> los cuales son ayudaron a realizar un análisis comparativo y determinar la curva de calibración para el caso de fuentes de contaminación (olla de barro).<sup>[40]</sup>

### **Detección de metales pesados**

Los límites de detección de los metales pesados de los estándares de Pb y Cd se basan en los estándares establecidos de acuerdo a FAAS.<sup>[10]</sup> Para delimitar el LOD del método se estableció la medición de estándares de Pb y Cd disminuyendo desde su máximo de detección hasta la concentración de estándar detectable.<sup>[11]</sup><sup>[9]</sup> Esta investigación tanto para Pb como Cd se mantiene un rango de 0,02 a 20 ppm.

### **Análisis de curvas de calibración**

Se efectuó alrededor de cinco curvas de calibración de los metales Pb y Cd en donde se analizó si las concentraciones con los distintos estándares establecidos varían dependiendo del tipo del lote de miel de agave o si los valores obtenidos mantienen una similitud. Para determinar cuan semejantes son los datos obtenidos se analizará las pendientes de cada una de las gráficas.

Las curvas de calibración tienen un rango de 4 o 5 puntos los cuales corresponden a estándares dentro de un rango de 0,02 a 20 ppm. Para que el método empleado sea válido las curvas de calibración deben tener una curva calibrado aproximado a una recta. Es decir, su coeficiente de determinación debe aproximarse a 1. Para elaborar las curvas de calibración se determinó una relación entre la concentración de los metales a estudiar y la absorbancia obtenida mediante el método AAS. <sup>[21] [24]</sup>

### **Análisis de datos estadísticos**

Se preparó 12 muestras de agave con distintas matrices de estudio mediante los procedimientos de las secciones anteriores y 8 muestras de posibles fuentes de contaminación las cuales serán evaluadas mediante el método estadístico para verificar si los resultados obtenidos son fiables y puedan ser usados como métodos de estudio en otros proyectos.

El análisis estadístico es por medio de desviación estándar. Se obtendrá datos los cuales nos ayudan a verificar si el método planteado funciona y sirve para detectar metales pesados en miel de agave. Este análisis nos permite comparar las tres muestras de estudio y verificar si existe una variación significativa entre los resultados encontrados. Se espera tener resultados semejantes debido a que las muestras de agave deben cumplir un protocolo de calidad en sus productos. Sin embargo, se debe considerar que las tres muestras de estudio pertenecen a tres lotes distintos y cada muestra presenta características distintas tanto en su color como en su textura. <sup>[2]</sup>

## **Fuentes de contaminación**

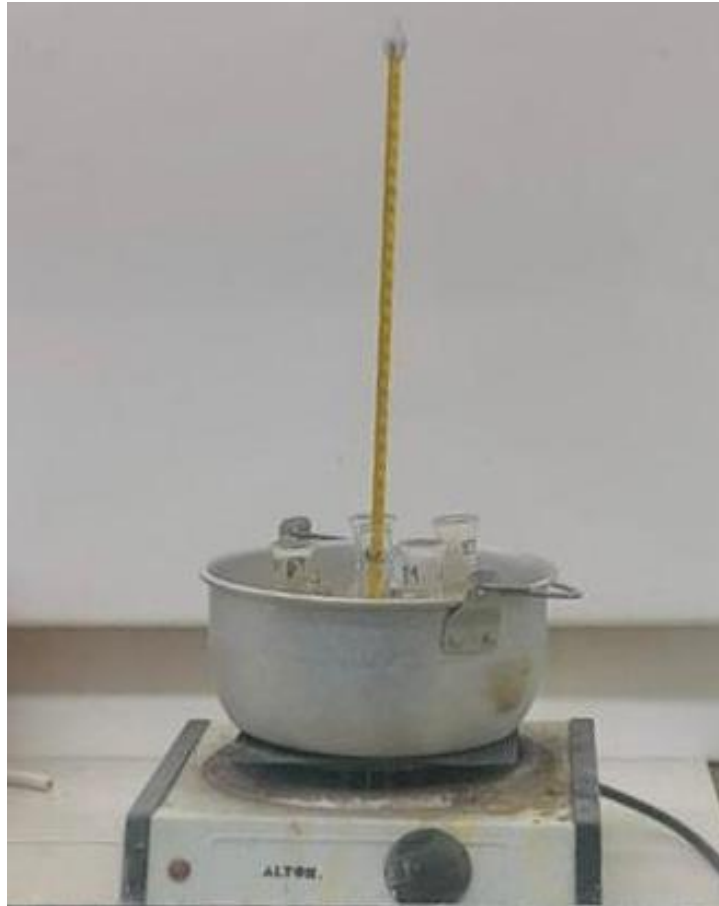
Para descartar que exista contaminación mediante absorción de metales pesados se realizó un estudio para determinar si su fuente de contaminación hacia el producto final nace desde el cultivo de agave. Se plantean dos teorías: en la primera se supone que los metales pesados llegan al producto final mediante la absorción de metales mediante la raíz, es decir, existe abundancia de metales en las zonas de cultivo.

La segunda hipótesis supone que los metales pesados llegan al producto final mediante absorción de metales en la producción del néctar, es decir, la contaminación se produce en la cocción del producto.

Por lo tanto, se realiza un análisis de los datos obtenidos tanto para el estudio de suelos como para el estudio de las ollas en donde se podría cocinar agave para la producción de manera artesanal. Finalmente, se efectúa un plan de prevención el cual debe ser aplicado para evitar contaminación en la ingesta de miel artesanal a partir de agave. <sup>[25]</sup>

## **Estudio de suelo**

Para lograr cuantificar los metales pesados presentes en los suelos de los cultivos, se aplicó el mismo método para la cuantificación de metales en miel de agave. Entonces para poder determinar un estudio de metales en suelos, lo primero que se realizó fue el método de digestión presentado en esta investigación. <sup>[41]</sup>



*Figura 4.* Digestión de suelo

Luego, la solución disuelta obtenida mediante la digestión paso por el método de Espectrometría por Absorción Atómica por llama (FAAS). A partir de este método se obtuvo las concentraciones con exactitud de los metales presentes en el suelo. <sup>[41]</sup>

### **Estudio de olla de barro**

Para determinar cómo se produce la contaminación por metales pesados en una olla de barro se realizó un estudio de metales para ollas de barro y acero inoxidable. Se colocó agua destilada en una olla de barro y la dejamos calentar durante 30 minutos. Posterior a esto, se saca una muestra en el tiempo establecido. Continuamos calentando el agua destilada sobrante durante otros 30 minutos y realizamos una muestra en ese tiempo. Continuamos sacando una muestra cada 30 minutos hasta obtener 4 muestras de estudio.



*Figura 5.* Estudio de Olla de barro

Este proceso se lo realizó con la finalidad de determinar si los metales pesados son transmitidos mediante la cocción del producto. Para obtener un análisis estadístico se mantiene cuatro tiempos de estudio de 30, 60, 90 y 120 minutos.

A continuación, las muestras obtenidas de este proceso son analizadas mediante el método de FAAS. Donde se obtuvo las absorbancias, pero se desconoce la concentración exacta de los metales pesados. Para obtener las concentraciones desconocidas, se realizó mediante métodos estándares de Pb y Cd una curva de calibración la cual nos ayudará a determinar con exactitud el valor desconocido.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Cuantificación de metales

Los resultados presentados en la Tabla 1 nos permite determinar las concentraciones de plomo y cadmio obtenidas de las tres muestras de miel de agave.

**Tabla 1.** Cuantificación de metales pesados en muestras de agave

Agaves	Concentraciones			Promedio
	Alfa	Beta	Gamma	
<b>Plomo [ppm]</b>	0,719	0,887	1,668	1,091
<b>Cadmio [ppm]</b>	0,810	0,670	0,895	0,792

*Fuente 1.* Elaboración propia, 2022

La concentración más elevada de plomo es de  $(1,668 \pm 0,6)$  ppm y pertenece a muestra Gamma. De igual forma, la mayor concentración de cadmio es de  $(0,895 \pm 0,3)$  ppm que pertenece a la misma muestra Gamma. En cambio, la mínima concentración de plomo es de  $(0,719 \pm 0,6)$  ppm de la muestra Alfa y la mínima concentración de cadmio es  $(0,670 \pm 0,3)$  ppm de la muestra Beta. Se puede observar que las concentraciones varían dependiendo del lote de estudio, esto se debe a que existen distintos factores como propiedades fisicoquímicas como densidad y color. (Anexo 6)

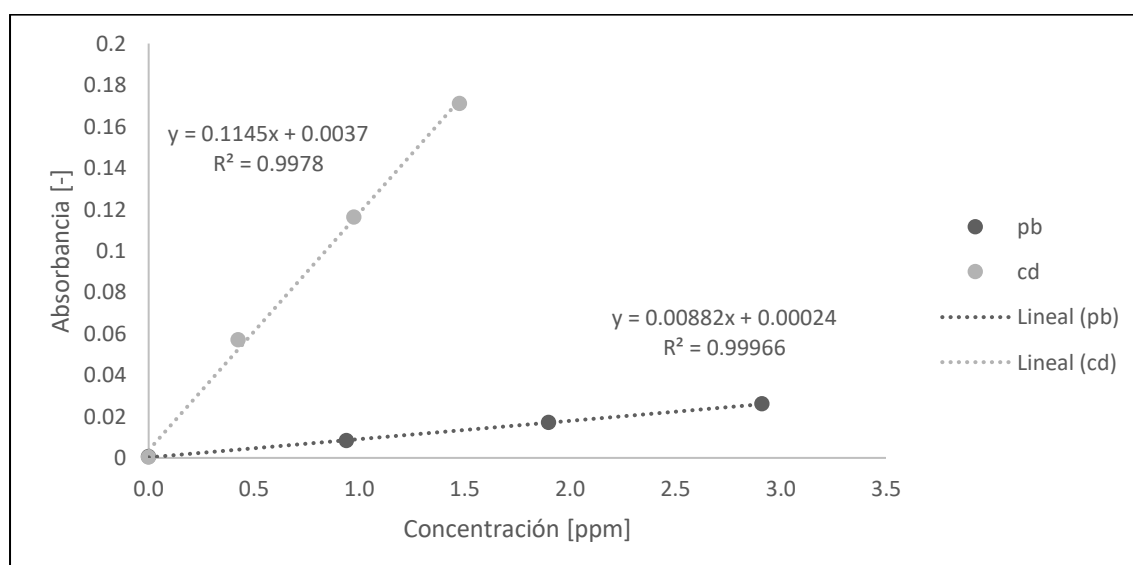
Se puede comprobar que si existe contaminación de metales pesados debido a factores como absorción de metales mediante el cultivo de la planta en zonas volcánicas o por mala práctica en la producción del néctar de miel de agave. De acuerdo la concentración permitida de plomo y cadmio en miel según MERCOSUR, los niveles de concentración obtenidos sobrepasan los límites establecidos. Para las tres muestras de estudio se valora un promedio de Pb y Cd de 1,1 ppm y 0,8 ppm respectivamente. Existe un exceso de metal de 0,7 ppm para Pb y Cd, por ende, se debe tomar precaución con el consumo de este producto pues presenta un alto índice de contaminación.

La presencia de metales pesados en el ambiente en este caso Pb y Cd se considera un peligro para la sociedad. La contaminación se la puede presenciar de manera industrial, atmosférica, a través de suelo, agua y alimentos hacia los seres humanos. Al acumularse estos metales en nuestro cuerpo general complicaciones a nuestra salud debido a que se alojan en nuestros organismos.

Se debe tomar en cuenta que se conoce que una ingesta segura de Pb es 20 a 280 ug/día en adultos y 10 a 275 ug/día en niños. Además, de acuerdo con SSRG-IJAC el límite de toxicidad de Pb en la sangre debe ser mayor o igual que 0,5 ppm, al igual Cd tiene un límite de toxicidad de 0,2 ppm. Cabe mencionar que el Cd puede surgir debido al uso de fertilizantes químicos. En cambio, la presencia del Pb surge debido a las características propias del suelo. Se conoce que el suelo puede llegar a tener 17,6 mg/kg.

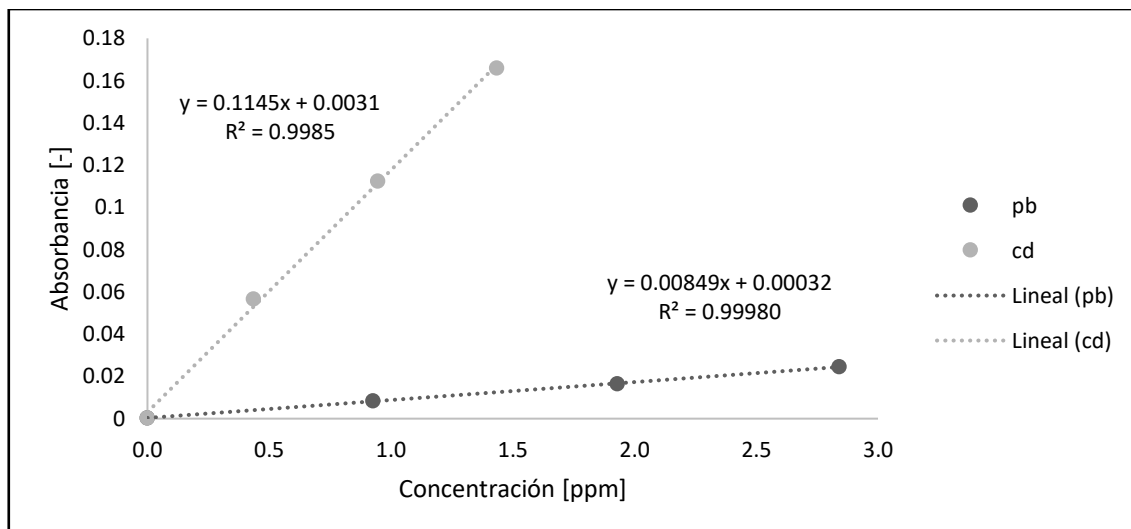
### Análisis de Curvas de Calibración

Los resultados preliminares de AAS muestran que existe contaminación de metales en miel de agave artesanal. [24] Se obtuvieron 3 curvas de calibración funcionales de las distintas etapas del proyecto, donde se analizó las muestras de miel de agave y se obtuvo las siguientes gráficas:

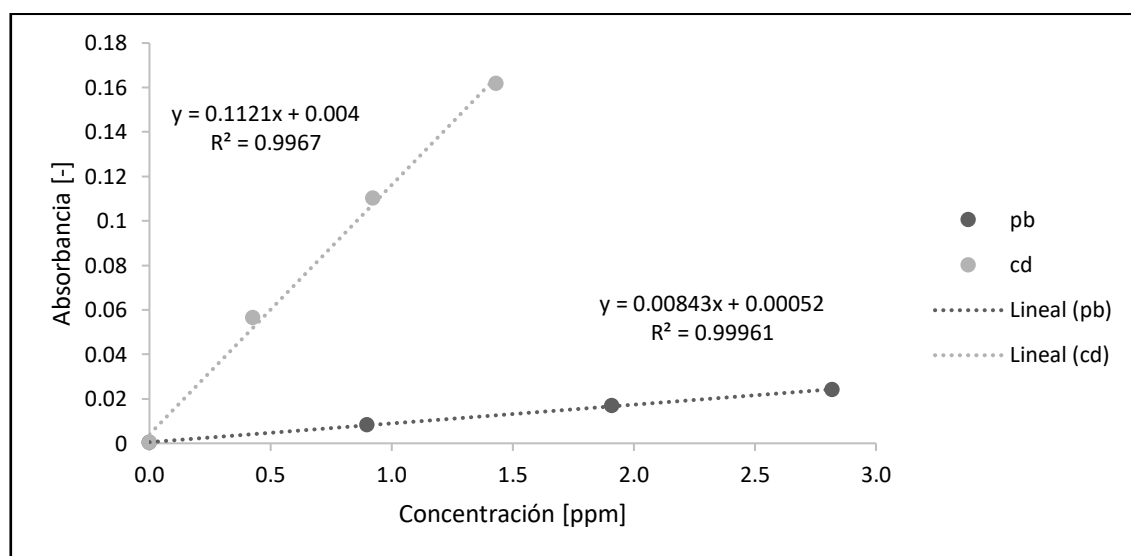


**Figura 6.** Curva de calibración muestra Alfa





**Figura 7.** Curva de calibración muestra Beta



**Figura 8.** Curva de calibración muestra Gamma

En las Figuras 1,2 y 3 se obtuvo curvas de calibración las cuales relacionan la absorbancia vs la concentración de las muestras de estudio. Se puede analizar que los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de las 3 figuras van de entre 2 a 3 nueves. Al obtener una curva de calibración casi perfecta se puede determinar que el método empleado cumple con los objetivos de la investigación. Además, mediante las figuras obtenidas se puede determinar los controles de calidad de un producto. En este caso, se colocaron cinco puntos los cuales superan el valor de  $R^2 > 0,995$ .

Al analizar las desviaciones estándar de Pb se obtuvo un valor superior a 45 %, sin embargo, el Cd obtuvo un valor de 15%. (Tabla 2) Es decir, este método tiene mayor efectividad al realizar un estudio para el metal Cd.

**Tabla 2.** Desviación Estándar General de las muestras de miel de agave

<b>Agaves</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Plomo [ppm]</b>	46,4374
<b>Cadmio [ppm]</b>	14,3715

*Fuente 2.* Elaboración propia, 2022

### **Interpretación de datos estadísticos**

Se determinó desviaciones estándar para las tres muestras de estudio. Se puede analizar como se altera a gran escala los valores al evaluar una muestra sin contaminación de metal.

Se analizó las desviaciones estándar de la muestra Alfa para Pb y Cd y se determinó que el método empleado para la detección de metales tiene mayor aceptación para las muestra que contienen adición estándar. Sin embargo, la muestra que solo contiene la digestión de agave no presenta datos estables debido a que cambia dependiendo de la muestra a estudiar. Además, se comparó que para las 3 muestras de estudio se tiene un promedio de desviación estándar del 0 al 3 %, es decir, el método establecido si cumple y se puede poner en práctica solo para casos que agregen adición estándares para sus muestras. (Anexo 1) (Anexo 2) (Anexo 3)

**Tabla 3.** Desviación Estándar de PB para la muestra Alfa

<b>Pb</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0004	19,3116
<b>E1</b>	0,9408	0,0083	1,3188
<b>E2</b>	1,8995	0,0171	0,0888
<b>E3</b>	2,9124	0,0260	0,2923

*Fuente 3.* Elaboración propia, 2022

**Tabla 4.** Desviación Estándar de CD para la muestra Alfa

<b>Cd</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0003	68,5618
<b>E1</b>	0,4257	0,0569	0,0480
<b>E2</b>	0,9750	0,1161	0,6374
<b>E3</b>	1,4762	0,1709	0,4271

*Fuente 4.* Elaboración propia, 2022

**Tabla 5.** Desviación Estándar de PB para la muestra Beta

<b>Pb</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0004	15,2585
<b>E1</b>	0,9276	0,0082	2,2199
<b>E2</b>	1,9292	0,0165	0,6429
<b>E3</b>	2,8410	0,0246	1,5019

*Fuente 5.* Elaboración propia, 2022

**Tabla 6.** Desviación Estándar de CD para la muestra Beta

<b>Cd</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0004	45,1504
<b>E1</b>	0,4348	0,0565	2,4227
<b>E2</b>	0,9472	0,1122	0,2299
<b>E3</b>	1,4339	0,1658	0,2196

*Fuente 6.* Elaboración propia, 2022

**Tabla 7.** Desviación Estándar de PB para la muestra Gamma

<b>Pb</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0004	37,8712
<b>E1</b>	0,8992	0,0082	2,5128
<b>E2</b>	1,9099	0,0169	2,8482

<b>E3</b>	2,8206	0,0241	0,9864
-----------	--------	--------	--------

*Fuente 7.* Elaboración propia, 2022

**Tabla 8.** Desviación Estándar de CD para la muestra Gamma

<b>Cd</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0002	32,9458
<b>E1</b>	0,4284	0,0563	1,0417
<b>E2</b>	0,9233	0,1101	0,2758
<b>E3</b>	1,4323	0,1617	0,2906

*Fuente 8.* Elaboración propia, 2022

El uso de este método estadístico nos permite observar si existe una dispersión de resultados en las tres muestras de estudio. En este caso existe gran variabilidad en las muestras que carecen del método de adición estándar (Blanco), pero se evidencia una reducción en la dispersión del resultados de las muestras E1, E2 y E3. Para este caso se determina que no existe variabilidad y por ende se considera que el método implementado funciona.<sup>[56]</sup>

### **Fuentes de contaminación**

Se obtuvo los resultados sobre la evaluación tanto de suelos como de la olla de fabricación con la finalidad de determinar el origen de la contaminación hacia el producto de miel de agave. Mediante los resultados se logrará plantear métodos de estudio y previsión para evitar la ingesta de metales pesados en este producto artesanal.

### **Estudio de suelo**

En la Tabla 9, se cuantificó la cantidad de metal que existe en el suelo en el cual se encuentra los cultivos de agave.

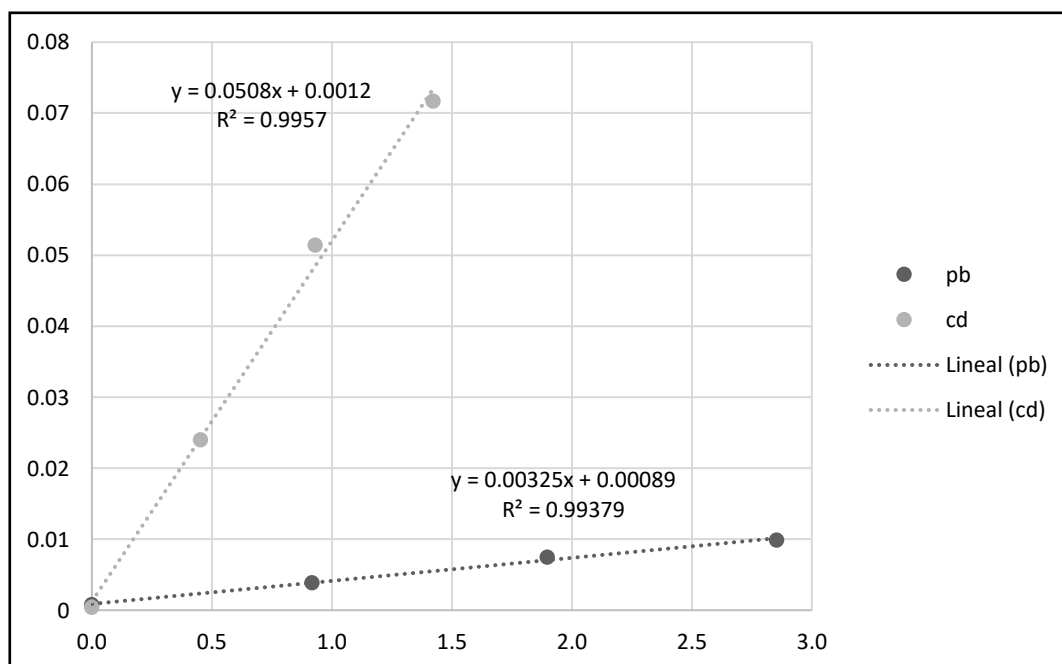
**Tabla 9.** Cuantificación de metales pesados en suelo de cultivo

<b>Metal</b>	<b>Concentración</b>
<b>Cd</b>	0,5497
<b>Pb</b>	7,2984

**Fuente 9.** Elaboración propia, 2022

Se puede analizar que existe un rango de diferencia elevado entre las concentraciones de la Tabla 9. Existe la presencia de Cd, pues este metal se puede transmitir por el suelo y agua. El Pb es un componente muy común que existe en el suelo.

Por esta razón, la concentración que se obtuvo es muy elevada. Además, el Pb es considerado un elemento xenobiótico, es decir, que el ser humano no necesita de este. Por esto, es importante controlar la cantidad de metales que contienen los productos a base de agave. (Anexo 4)

**Figura 9.** Curva de calibración muestra de suelo

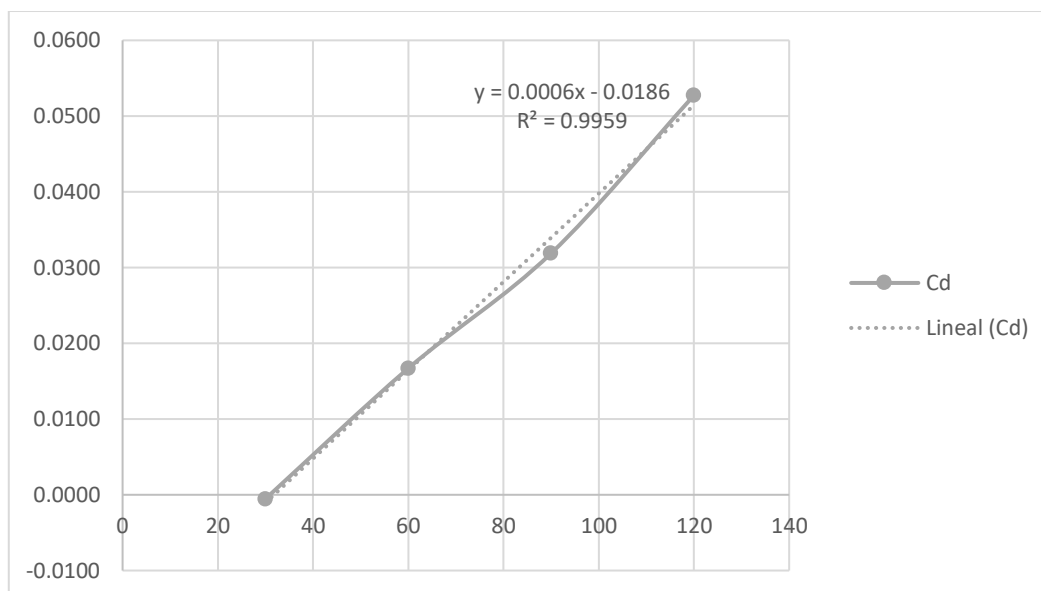
Al igual que las figuras anteriores, mediante una curva de calibración se pudo analizar la viabilidad del método para estudiar mediante una digestión de sólidos. En la que se obtuvo un coeficiente de determinación superior a 0,995.

El agave es cultivado y crece de manera irregular en varias zonas de la región sierra, en su mayoría crece en las faldas de montañas y volcanes.<sup>[15]</sup> Al no estar en contando con la ciudad se estima que no existe contaminación ambiental de manera que todo el Pb presente en las muestra de agave son parte natural del suelo. En cambio, el origen de la contaminación de Cd es una incertidumbre.

Por un lado, se considera ninguna o poca contaminación si la toxicidad de Pb en el suelo no supera los 50 ppm. Asimismo, las concentraciones de Pb puede variar dependiendo del lugar debido al aire y agua, pues juegan un papel fundamental para cuantificar la presencia de Pb en una zona. En efecto, luego de obtener estos resultados no se considera que la fuente de contaminación nazca del suelo.<sup>[15]</sup>

### **Estudio de olla de barro**

Con ayuda de los estándares establecidos por Pb y Cd se logró determinar la cantidad de metales pesados en los cuatro tiempos de estudio. (Tabla 10) Se puede apreciar como incrementa las concentraciones de los metales a medida que el tiempo de cocción aumenta en la olla de barro. Es decir, las concentraciones de metales aumentan a mayor temperatura y cocción del agua destilada en la olla. (Anexo 5)



**Figura 10.** Curva de calibración para Cd de olla de barro en tiempos de estudio

**Tabla 10.** Cuantificación de metales pesados en olla de barro

<b>Tiempos de cocción (min)</b>	<b>Pb (ppm)</b>	<b>Cd (ppm)</b>
<b>30</b>	-0,8522	-0,0005
<b>60</b>	-0,6802	0,0167
<b>90</b>	-0,5629	0,0319
<b>120</b>	-0,4412	0,0527

**Fuente 10.** Elaboración propia, 2022

Las concentraciones negativas representan la ausencia de metal Pb en la olla barro. Sin embargo, existe contaminación de Cd en la olla. Se estima que la cocción de la miel de agave se produce en este tipo de ollas debido a que en la zona de Cayambe las industrias artesanales promueven el uso de materiales ancestrales con la finalidad de mantener las costumbres. <sup>[41]</sup> Al apreciar contagio de metales pesados en el agua de estudio se concluye que de esta manera se produce la contaminación hacia el producto final. Esto se debe al mal uso del material para la elaboración de miel de agave. <sup>[41]</sup>

Las ollas de barro están compuestas por barro y arena, por esta razón, antes de utilizar por primera vez para la elaboración de alimentos se debe curar la olla de barro para evitar una contaminación. Existen distintas curaciones dependiendo del tipo de olla a usar. En esta investigación se utilizó una olla de barro esmaltada. Para curar este tipo de ollas se necesita plátano, leche y manteca. Primero unteremos el plátano por la parte interna de la olla.<sup>[55]</sup> Luego se dejará secar la olla por un par de horas para luego colocar la olla durante 30 min en el horno previamente calentado a 200 °C. Una vez transcurrido el tiempo se debe lavar la olla y retirar los restos con agua tibia y detergente.<sup>[55]</sup>

Continuamos colocando agua hasta la mitad de la olla y agregamos una taza de leche entera. Se la pone a hervir hasta que evapore y dejar que se cocine durante 10 minutos más.<sup>[55]</sup> Dejar enfriar la olla para volver a lavar con agua y detergente. Después, se unta con abundante manteca la olla de barro y se deja reposar hasta secar. Una vez seca la olla, se coloca en el horno durante 30 minutos. Por último, se deja enfria y proseguimos a lavar con agua tibia y detergente.<sup>[55]</sup>

Así pues, se determinó cual fue la fuente de contaminación la cual provoca la ingesta inadecuada de metales pesados. Antes de elaborar un producto de consumo para la población se debe tomar en cuenta los controles de calidad implementados tanto nacional como internacional para los productos alimenticios debido a que puede existir contaminación de manera regular o irregular al consumir un alimento.<sup>[55]</sup>



## CONCLUSIONES

La contaminación de metales pesados en alimentos en la industria ha incrementado debido a aumento de productores artesanales que tiene el país. Muchos se dedican a elaborar estos productos artesanales con el objetivo de general una economía sustentable para su familia. Sin embargo, el método artesanal por el cual lo elaboran no cuenta con el respaldo de las normas industriales que se debe cumplir para la elaboración de un producto.

El método empleado en esta investigación fue exitosa para detectar y cuantificar metales pesados en miel de agave artesanal mediante el método de FAAS. Se obtuvo una sensibilidad adecuada para verificar si las muestras de estudio están contaminadas. Además, los resultados de las concentraciones de Pb y Cd sobrepasan el límite permisible para el consumo de alimentos, en este caso se recomienda mejorar el proceso de elaboración del producto una vez detectado cual es la fuente de contaminación.

En la mayoría de los casos las muestras son contaminadas por la mala elaboración del producto debido al poco conocimiento que se tiene sobre la producción de miel a partir de materia prima. Se recomienda dar cursos y/o charlas sobre el manejo, proceso de calidad y producción para fabricantes y empresas las cuales se dedican a elaborar productos artesanales.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. C. Talio, V. Muñoz, M. Acosta, and L. P. Fernández, “Determination of lead traces in honey using a fluorimetric method,” *Food Chem.*, vol. 298, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125049.
- [2] I. Smetanska, S. S. Alharthi, and K. A. Selim, “Physicochemical, antioxidant capacity and color analysis of six honeys from different origin,” *J. King Saud Univ. - Sci.*, vol. 33, no. 5, p. 101447, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.JKSUS.2021.101447.
- [3] S. Siebenhaller *et al.*, “Lipase-Catalyzed Synthesis of Sugar Esters in Honey and Agave Syrup,” *Front. Chem.*, vol. 6, Feb. 2018, doi: 10.3389/fchem.2018.00024.
- [4] S. K. T. Seraglio *et al.*, “Quality, composition and health-protective properties of citrus honey: A review,” *Food Res. Int.*, vol. 143, p. 110268, May 2021, doi: 10.1016/J.FOODRES.2021.110268.
- [5] A. Santander, C. Toapanta, and A. Arcos, “Análisis del uso aplicado del Miske-Agave en San Antonio de Pichincha del cantón Quito en el Ecuador,” *Rev. Conectividad*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2022, doi: 10.37431/conectividad.v3i1.28.
- [6] D. Sandra *et al.*, “DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE PLOMO Y CADMIO EN FRUTILLA (*Fragaria ananassa*) Y TOMATE (*Solanum lycopersicum*) EN EL QUINCHE,” *Rev. CENIC. Ciencias Biológicas*, vol. 152, no. 3, p. 28, 2016, [Online]. Available: [file:///Users/andreataquez/Downloads/guia-plan-de-mejora-institucional.pdf%0Ahttp://salud.tabasco.gob.mx/content/revista%0Ahttp://www.revista-aalad.com/pdfs/Guias\\_ALAD\\_11\\_Nov\\_2013.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v66n3.60060.%0Ahttp://www.cenetec](file:///Users/andreataquez/Downloads/guia-plan-de-mejora-institucional.pdf%0Ahttp://salud.tabasco.gob.mx/content/revista%0Ahttp://www.revista-aalad.com/pdfs/Guias_ALAD_11_Nov_2013.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v66n3.60060.%0Ahttp://www.cenetec).
- [7] F. A. C. Salazar, “Departamento de ciencias de la vida y de la agricultura,” *Determ. Met. Pesados En Miel Abeja Para Su Evaluación Como Indic. Ambient. En Zo. Contam. En La Prov. Pichincha-Ecuador.*, p. 103, 2015.
- [8] rnéndez, S. R., Castro Morales, L. G., & MaldonaArciniegas Paspuel, O. G., Álvarez Hedo Gudiño, C. W. (2021). Inte- ligencia emocional en estudiantes de la Universidad Autónoma de Los Andes. *Revista Conrado*, 17(78), “INTERNATIONALIZATION PLAN FOR AGAVE LIQUOR PRODUCERS FROM THE CANTON OF NABÓN ‘DON CAPELO’ & ‘DON ISAAC,’” p. 6, 2021.
- [9] G. Pucholobek, C. K. de Andrade, E. S. Rigobello, P. Wielewski, V. de A. A. de Toledo, and S. P. Quináia, “Determination of the Ca, Mn, Mg and Fe in honey from multiple species of stingless bee produced in Brazil,” *Food Chem.*, vol. 367, p. 130652, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.130652.
- [10] U. Politécnica Salesiana Ecuador Gallegos, “LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida,” vol. 15, no. 1, pp. 18–25, 2012, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047399003>.

- [11] P. Pohl, "Determination of metal content in honey by atomic absorption and emission spectrometries," *TrAC Trends Anal. Chem.*, vol. 28, no. 1, pp. 117–128, Jan. 2009, doi: 10.1016/J.TRAC.2008.09.015.
- [12] P. Pohl, "Determination of metal content in honey by atomic absorption and emission spectrometries," *TrAC Trends Anal. Chem.*, vol. 28, no. 1, pp. 117–128, Jan. 2009, doi: 10.1016/J.TRAC.2008.09.015.
- [13] J. C. Pilco Yungan and D. E. García Asencio, "Determinación de cadmio en suelos agrícolas del cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo, Ecuador," *Rev. Científica Ciencias Nat. y Ambient.*, vol. 14, no. 1, pp. 151–172, 2021, doi: 10.53591/cna.v14i1.1288.
- [14] S. Pérez San Martín, J. M. Bauçà, and E. Martínez-Morillo, "Medición del contenido de aluminio en especímenes biológicos: aplicación en el laboratorio clínico," *Adv. Lab. Med.*, vol. 3, no. 2, pp. 160–166, 2022, doi: 10.1515/almed-2022-0014.
- [15] L. Perales-Aguilar, J. A. Esquivel-Rivera, H. Silos-Espino, J. C. Carrillo-Rodríguez, and C. Perales-Segovia, "Tolerance to heavy metals of plants from arid zones," *Terra Latinoam.*, vol. 39, Jan. 2021, doi: 10.28940/TERRA.V39I0.759.
- [16] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea., "Reglamento (UE) 2021/1317 DE LA COMISIÓN de 9 de agosto de 2021, por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 1881/2006 en lo relativo a los contenidos máximos de plomo en determinados productos alimenticios.," *D. Of. la Unión Eur.*, vol. 8, no. 2010, pp. 1–4, 2021.
- [17] M. Oroian, A. Prisacaru, E. C. Hretcanu, S. G. Stroe, A. Leahu, and A. Buculei, "Heavy metals profile in honey as a potential indicator of botanical and geographical origin," *Int. J. Food Prop.*, vol. 19, no. 8, pp. 1825–1836, Nov. 2015, doi: 10.1080/10942912.2015.1107578.
- [18] S. S. Oliveira, C. N. Alves, E. S. Boa Morte, A. de Freitas Santos Júnior, R. G. O. Araujo, and D. C. M. B. Santos, "Determination of essential and potentially toxic elements and their estimation of bioaccessibility in honeys," *Microchem. J.*, vol. 151, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.microc.2019.104221.
- [19] J. Morocho and B. Puente, "Determinación de la concentración de cadmio en suelo urbano y vegetación de Cuenca por espectrometría ICP y cálculo del riesgo de exposición a la población," p. 124, 2019.
- [20] C. Monchanin *et al.*, "Chronic exposure to trace lead impairs honey bee learning," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 212, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112008.
- [21] L. G. Molano Cetina, "Tesis de grado," *Biomédica*, vol. 31, no. sup3.2, 2011, doi: 10.7705/biomedica.v31i0.530.
- [22] MERCOSUR, "RES\_012-2011\_ES.pdf."

- [23] M. Melaku and W. Tefera, "Physicochemical properties, mineral and heavy metal contents of honey in Eastern Amhara Region, Ethiopia," *J. Food Compos. Anal.*, p. 104829, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.JFCA.2022.104829.
- [24] J. R. C. LÓPEZ, "Determinación de niveles de cadmio, plomo, arsénico, níquel y cromo en cigarrillos con filtro que son expedidos en Lima Metropolitana por el método de espectrometría de absorción atómica."
- [25] P. H. S. Kwakman and S. A. J. Zaat, "Antibacterial components of honey," *IUBMB Life*, vol. 64, no. 1, pp. 48–55, Jan. 2012, doi: 10.1002/IUB.578.
- [26] N. Kushwaha, V. Rajeev, and S. Jose, "Human Health and effects of heavy metals," *Int. J. Appl. Chem.*, vol. 4, no. 6, pp. 4–5, 2018, doi: 10.14445/23939133/ijac-v5i1p102.
- [27] S. E. Jurado López and X. S. Sarzosa Pazmiño, "Estudio de la cadena agroindustrial de la cabuya n la producción de miel y licor de cabuya," p. 179, 2009, [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1693/1/CD-2305.pdf>.
- [28] U. Nacional *et al.*, "Determinación de plomo en suelos debido a la contaminación por fábricas aledañas al Asentamiento Humano cultura y progreso del distrito de Ñaña - Chaclacayo," 2009.
- [29] E. Goretti *et al.*, "Heavy metal bioaccumulation in honey bee matrix, an indicator to assess the contamination level in terrestrial environments," *Environ. Pollut.*, vol. 256, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.envpol.2019.113388.
- [30] G. L. GONZÁLEZ and Metales, "Metales esenciales y tóxicos en papas antiguas, papas importadas y otros tubérculos comercializados en la isla de Tenerife. Evaluación toxicológica."
- [31] E. F. Fiorentini, M. N. Oviedo, and R. G. Wuilloud, "Ultra-trace Cr preconcentration in honey samples by magnetic ionic liquid dispersive liquid-liquid microextraction and electrothermal atomic absorption spectrometry," *Spectrochim. Acta Part B At. Spectrosc.*, vol. 169, p. 105879, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.SAB.2020.105879.
- [32] E. F. Fiorentini, B. V. Canizo, and R. G. Wuilloud, "Determination of As in honey samples by magnetic ionic liquid-based dispersive liquid-liquid microextraction and electrothermal atomic absorption spectrometry," *Talanta*, vol. 198, pp. 146–153, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.TALANTA.2019.01.091.
- [33] Dra. Yolanda Dolores Díaz Heredia, "VALIDACIÓN DEL MÉTODO PARA DETERMINAR Pb, Cd, Ni ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LLAMA EN AGUA Y SUELO".
- [34] C. K. De Andrade, V. E. Dos Anjos, M. L. Felsner, Y. R. Torres, and S. P. Quináia, "Direct determination of Cd, Pb and Cr in honey by slurry sampling electrothermal atomic absorption spectrometry," *Food Chem.*, vol. 146, pp. 166–173, Mar. 2014, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2013.09.065.

- [35] P. M. Da Silva, C. Gauche, L. V. Gonzaga, A. C. O. Costa, and R. Fett, "Honey: Chemical composition, stability and authenticity," *Food Chem.*, vol. 196, pp. 309–323, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.09.051.
- [36] A. Cueva, C. Moncada, D. Monteza, R. Ruesta, F. Saldaña, and D. Guerrero, "Diseño del proceso de producción de miel en la localidad de Malingas, región de Piura," *Univ. Piura*, p. 176, 2019, [Online]. Available: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4293/PYT\\_Informe\\_Final\\_Proyecto\\_Miel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4293/PYT_Informe_Final_Proyecto_Miel.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [37] F. S. Costa *et al.*, "Multivariate optimization of an ultrasound-assisted extraction procedure for the determination of Cu, Fe, Mn, and Zn in plant samples by flame atomic absorption spectrometry," *Anal. Methods*, vol. 12, no. 19, pp. 2509–2516, 2020, doi: 10.1039/d0ay00554a.
- [38] Comisión Europea, "Reglamento (UE)2021/1323 de la Comisión de 10 de agosto de 2021 que modifica el Reglamento (CE) n° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en determinados productos alimenticios," *D. Of. la Unión Eur.*, vol. 10, no. 1, pp. 13–18, 2021, [Online]. Available: <https://www.boe.es/doue/2021/288/L00013-00018.pdf>.
- [39] P. Ciursa and M. Oroian, "Rheological behavior of honey adulterated with agave, maple, corn, rice and inverted sugar syrups," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-02951-3.
- [40] D. Ceci, "a Method Development and Determination of Trace Metals in Agave," 2020.
- [41] L. J. Brewer *et al.*, "Cómo reducir el peligro del plomo en los huertos y las áreas de juego," pp. 1–4, 2017.
- [42] A. Belay, W. K. Solomon, G. Bultossa, N. Adgaba, and S. Melaku, "Physicochemical properties of the Harena forest honey, Bale, Ethiopia," *Food Chem.*, vol. 141, no. 4, pp. 3386–3392, 2013, doi: 10.1016/j.foodchem.2013.06.035.
- [43] A. Barreto, R. Annabell, P. Villao, and A. Stefany, "PROYECTO Previo a la obtención del Título Ingeniería Comercial Menciones : Finanzas y Comercio Exterior TÍTULO : Plan de negocios para la producción de la miel de penco o agave en Riobamba y comercialización para consumidores propensos a contraer diabetes," 2015.
- [44] V. Balaram, "Microwave plasma atomic emission spectrometry (MP-AES) and its applications – A critical review," *Microchem. J.*, vol. 159, p. 105483, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.MICROC.2020.105483.
- [45] Y. Bağci, D. Arslan, M. M. Özcan, and N. Dursun, "Determination of mineral contents of bee honeys produced in Middle Anatolia," *Int. J. Food Sci. Nutr.*, vol. 58, no. 8, pp. 668–676, Dec. 2007, doi: 10.1080/09637480701395655.
- [46] D. G. Ayora León and K. J. Quito Tapia, "Proceso de extracción del mishqui y la elaboración de chaguarmishqui en Ñamarín, provincia de Azuay. Propuesta de nuevos

- usos gastronómicos y bebidas,” *Tesis*, p. 173, 2014, [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5022/1/Tesis.pdf>.
- [47] L. Antonio, P. Negrete, V. Quiñones, and A. P. Rodríguez, “Universitaria Extracción de fibras de agave para elaborar papei y artesanias Universitaria,” vol. 20, pp. 77–83, 2010.
- [48] N. Altunay, A. Elik, and R. Gürkan, “Monitoring of some trace metals in honeys by flame atomic absorption spectrometry after ultrasound assisted-dispersive liquid liquid microextraction using natural deep eutectic solvent,” *Microchem. J.*, vol. 147, pp. 49–59, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.MICROC.2019.03.003.
- [49] S. S. Altunatmaz, D. Tarhan, F. Aksu, N. P. Ozsobaci, M. E. Or, and U. B. Barutçu, “Levels of chromium, copper, iron, magnesium, manganese, selenium, zinc, cadmium, lead and aluminium of honey varieties produced in turkey,” *Food Sci. Technol.*, vol. 39, pp. 392–397, Dec. 2019, doi: 10.1590/FST.19718.
- [50] F. A. Alcázar-Medina, C. M. Núñez-Núñez, I. Villanueva-Fierro, C. Antileo, and J. B. Proal-Nájera, “Removal of heavy metals present in groundwater from a northern Mexico mining community using Agave tequilana Weber extracts,” *Rev. Mex. Ing. Quim.*, vol. 19, no. 3, pp. 1187–1199, Sep. 2020, doi: 10.24275/rmiq/Bio1047.
- [51] Z. Ajtony, L. Bencs, R. Haraszi, J. Szigeti, and N. Szoboszlai, “Study on the simultaneous determination of some essential and toxic trace elements in honey by multi-element graphite furnace atomic absorption spectrometry,” *Talanta*, vol. 71, no. 2, pp. 683–690, Feb. 2007, doi: 10.1016/J.TALANTA.2006.05.023.
- [52] “Espectroscopia de emision y absorción atómica.”
- [53] CPA CHEM. “Pb Concentration” Certified Reference Material. C: 1000 mg/l.
- [54] A. STANDARD “Cd Concentration” Atomic Absorcion Standard. C: 1000 mg/l.
- [55] U. Cleanipedia. “Como curar una olla: guía paso a paso”. Cómo lavar las ollas de acero inoxidable - guía paso por paso | Cleanipedia (accessed Dec 01, 2022).
- [56] CCA “Desviación Estándar” Untitled Document (cca.org.mx) (accessed Dec 01, 2022).

## ANEXOS

## Anexo 1

Datos para la obtención de muestra Alfa

*Tabla 11.* Método de Digestión de Agave Alfa

Alfa	Muestra	Plomo	Cadmio	Solución	Conc Pb	Conc Cd	Abs pb	Abs cd
<b>B</b>	1,9972	0,0000	0,0000	51,7153	0,0000	0,0000	0,0004	0,0003
<b>E1</b>	2,1602	0,0484	0,0219	51,4457	0,9408	0,4257	0,0083	0,0569
<b>E2</b>	1,9573	0,0978	0,0502	51,4881	1,8995	0,9750	0,0171	0,1161
<b>E3</b>	2,0469	0,1490	0,0755	51,1598	2,9124	1,4762	0,0260	0,1709

*Tabla 12.* Absorción de muestra Alfa

Abs pb		Abs cd	
b	0,00033	b	0,00040
b	0,00047	b	0,00006
b	0,00048	b	0,00044
e1	0,00813	e1	0,05694
e1	0,00830	e1	0,05690

e1	0,00834	e1	0,05689
e2	0,01705	e2	0,11616
e2	0,01707	e2	0,11539
e2	0,01704	e2	0,11687
e3	0,02593	e3	0,17114
e3	0,02602	e3	0,17010
e3	0,02608	e3	0,17151

**Tabla 13.** Cuantificación de Metales Pesados Muestra Alfa

	<b>Conc og</b>	<b>Conc aga</b>
<b>Cd</b>	-0,0325	0,8439
<b>Pb</b>	0,0277	0,7187

**Tabla 14.** Desviación Estándar Muestra Alfa

<b>Pb</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0004	0,0001	19,3116



<b>E1</b>	0,9408	0,0083	0,0001	1,3188
<b>E2</b>	1,8995	0,0171	0,0000	0,0888
<b>E3</b>	2,9124	0,0260	0,0001	0,2923
<b>Cd</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0003	0,0002	68,5618
<b>E1</b>	0,4257	0,0569	0,0000	0,0480
<b>E2</b>	0,9750	0,1161	0,0007	0,6374
<b>E3</b>	1,4762	0,1709	0,0007	0,4271

## Anexo 2

Datos para la obtención de muestra Beta

**Tabla 15.** Método de Digestión de Agave Beta

<b>Alfa</b>	<b>Muestra</b>	<b>Plomo</b>	<b>Cadmio</b>	<b>Balon</b>	<b>Balon Af</b>	<b>Solución</b>	<b>Conc Pb</b>	<b>Conc Cd</b>	<b>Abs Pb</b>	<b>Abs Cd</b>
<b>B</b>	2,1836	0,0000	0,0000	44,2359	95,5376	51,3017	0,0000	0,0000	0,0004	0,0004
<b>E1</b>	2,1856	0,0480	0,0225	39,4822	91,2311	51,7489	0,9276	0,4348	0,0082	0,0565
<b>E2</b>	1,9885	0,0996	0,0489	45,4832	97,1095	51,6263	1,9292	0,9472	0,0165	0,1122
<b>E3</b>	2,2314	0,1484	0,0749	42,5617	94,7962	52,2345	2,8410	1,4339	0,0246	0,1658

**Tabla 16.** Absorción de muestra Beta

<b>Abs pb</b>		<b>Abs cd</b>	
b	0,0003	b	0,0005
b	0,0004	b	0,0002
b	0,0004	b	0,0003
e1	0,0084	e1	0,0578

e1	0,0082	e1	0,0566
e1	0,0080	e1	0,0551
e2	0,0165	e2	0,1120
e2	0,0164	e2	0,1125
e2	0,0166	e2	0,1123
e3	0,0242	e3	0,1662
e3	0,0249	e3	0,1655
e3	0,0247	e3	0,1657

**Tabla 17.** Cuantificación de Metales Pesados Muestra Beta

	<b>Conc og</b>	<b>Conc aga</b>
<b>Cd</b>	-0,0269	0,6333
<b>Pb</b>	0,0377	0,8865

*Tabla 18.* Desviación Estándar Muestra Beta

<b>Pb</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0004	0,0001	15,2585
<b>E1</b>	0,9276	0,0082	0,0002	2,2199
<b>E2</b>	1,9292	0,0165	0,0001	0,6429
<b>E3</b>	2,8410	0,0246	0,0004	1,5019
<b>Cd</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0004	0,0002	45,1504
<b>E1</b>	0,4348	0,0565	0,0014	2,4227
<b>E2</b>	0,9472	0,1122	0,0003	0,2299
<b>E3</b>	1,4339	0,1658	0,0004	0,2196

### Anexo 3

Datos para la obtención de muestra Gamma

**Tabla 19.** Método de Digestión de Agave Gamma

<b>Alfa</b>	<b>Muestra</b>	<b>Plomo</b>	<b>Cadmio</b>	<b>balon</b>	<b>balon af</b>	<b>Solucion</b>	<b>Conc Pb</b>	<b>Conc Cd</b>	<b>Abs pb</b>	<b>Abs cd</b>
<b>B</b>	1,9707	0,0000	0,0000	44,2357	96,1827	51,9470	0,0000	0,0000	0,0004	0,0002
<b>E1</b>	1,9274	0,0466	0,0222	39,4698	91,2951	51,8254	0,8992	0,4284	0,0082	0,0563
<b>E2</b>	1,9171	0,0997	0,0482	45,4967	97,6981	52,2014	1,9099	0,9233	0,0169	0,1101
<b>E3</b>	2,0098	0,1471	0,0747	42,5726	94,7252	52,1526	2,8206	1,4323	0,0241	0,1617

**Tabla 20.** Absorción de muestra Gamma

<b>Abs pb</b>		<b>Abs cd</b>	
b	0,0004	b	0,0002
b	0,0002	b	0,0001
b	0,0005	b	0,0001
e1	0,0082	e1	0,0567
e1	0,0085	e1	0,0566

e1	0,0080	e1	0,0556
e2	0,0174	e2	0,1100
e2	0,0164	e2	0,1105
e2	0,0168	e2	0,1099
e3	0,0244	e3	0,1614
e3	0,0241	e3	0,1615
e3	0,0239	e3	0,1623

**Tabla 21.** Cuantificación de Metales Pesados Muestra Gamma

	<b>Conc og</b>	<b>Conc aga</b>
<b>Cd</b>	-0,0360	0,9496
<b>Pb</b>	0,0618	1,6315

**Tabla 22.** Desviación Estándar Muestra Gamma

<b>Pb</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0004	0,0001	37,8712
<b>E1</b>	0,8992	0,0082	0,0002	2,5128
<b>E2</b>	1,9099	0,0169	0,0005	2,8482
<b>E3</b>	2,8206	0,0241	0,0002	0,9864
<b>Cd</b>	<b>Concentración</b>	<b>Abs Promedio</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Desv. Est. %</b>
<b>Blanco</b>	0,0000	0,0002	0,0001	32,9458
<b>E1</b>	0,4284	0,0563	0,0006	1,0417
<b>E2</b>	0,9233	0,1101	0,0003	0,2758
<b>E3</b>	1,4323	0,1617	0,0005	0,2906

## Anexo 4

Datos para obtención de datos Suelo

**Tabla 23.** Método de Digestión de Suelo

<b>Alfa</b>	<b>Muestra</b>	<b>Plomo</b>	<b>Cadmio</b>	<b>balon</b>	<b>balon af</b>	<b>Solución</b>	<b>Conc Pb</b>	<b>Conc Cd</b>	<b>Abs pb</b>	<b>Abs cd</b>
<b>B</b>	1,9630	0,0000	0,0000	44,2564	96,7104	52,4540	0,0000	0,0000	0,0007	0,0004
<b>E1</b>	1,9908	0,0482	0,0238	39,4986	91,9711	52,4725	0,9186	0,4536	0,0039	0,0240
<b>E2</b>	1,9828	0,0997	0,0489	45,4996	98,0444	52,5448	1,8974	0,9306	0,0075	0,0514
<b>E3</b>	1,9934	0,1494	0,0745	42,5629	94,8950	52,3321	2,8548	1,4236	0,0099	0,0717

**Tabla 24.** Absorción de muestra de Suelo

<b>Abs pb</b>		<b>Abs cd</b>	
b	0,0007	b	0,0002
b	0,0007	b	0,0006
b	0,0009	b	0,0005
e1	0,0038	e1	0,0236
e1	0,0040	e1	0,0241



e1	0,0038	e1	0,0243
e2	0,0079	e2	0,0517
e2	0,0074	e2	0,0519
e2	0,0072	e2	0,0505
e3	0,0102	e3	0,0714
e3	0,0095	e3	0,0709
e3	0,0098	e3	0,0728

**Tabla 25.** Cuantificación de Metales Pesados de Suelo

	<b>Conc og</b>	<b>Conc aga</b>
<b>Cd</b>	-0,0243	0,5496
<b>Pb</b>	0,2731	7,2983

**Anexo 5**

Datos para la obtención de datos Olla de Barro

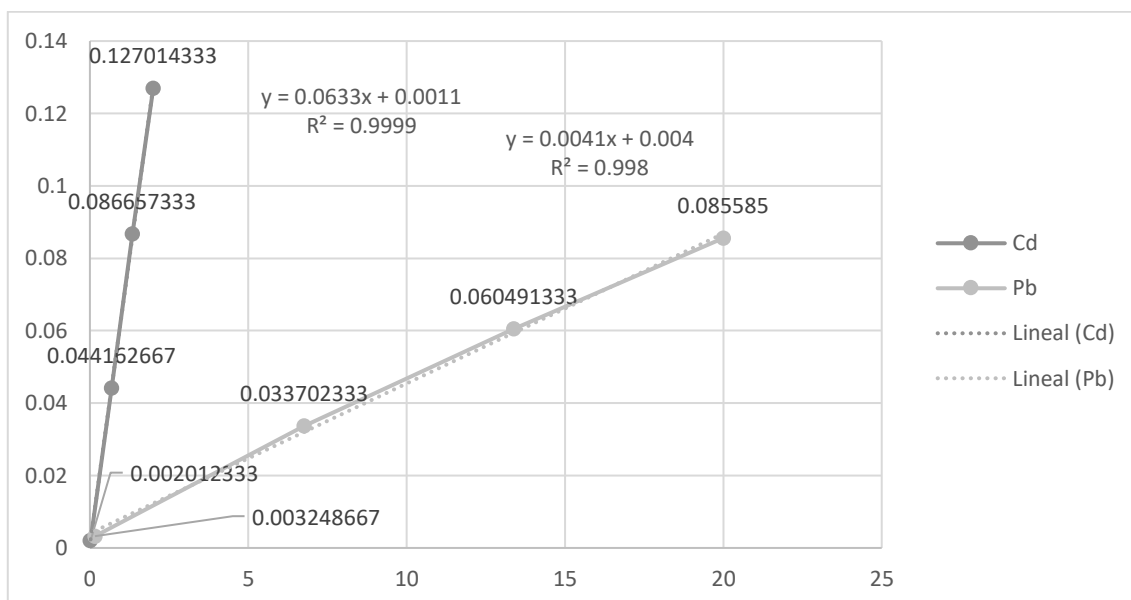
**Tabla 26.** Absorción de agua destilada

<b>Abs pb</b>		<b>Abs cd</b>	
1	0,0005	1	0,0011
1	0,0004	1	0,0011
1	0,0006	1	0,0010
2	0,0013	2	0,0020
2	0,0011	2	0,0023
2	0,0013	2	0,0021
3	0,0017	3	0,0031
3	0,0017	3	0,0031
3	0,0017	3	0,0031
4	0,0022	4	0,0045
4	0,0022	4	0,0044
4	0,0022	4	0,0043

**Tabla 27.** Absorción de muestras estándar Pb y Cd

<b>Abs Pb</b>		<b>Abs Cd</b>	
1	0,0033	1	0,0020
1	0,0032	1	0,0021
1	0,0033	1	0,0020
2	0,0337	2	0,0440
2	0,0335	2	0,0449
2	0,0340	2	0,0436

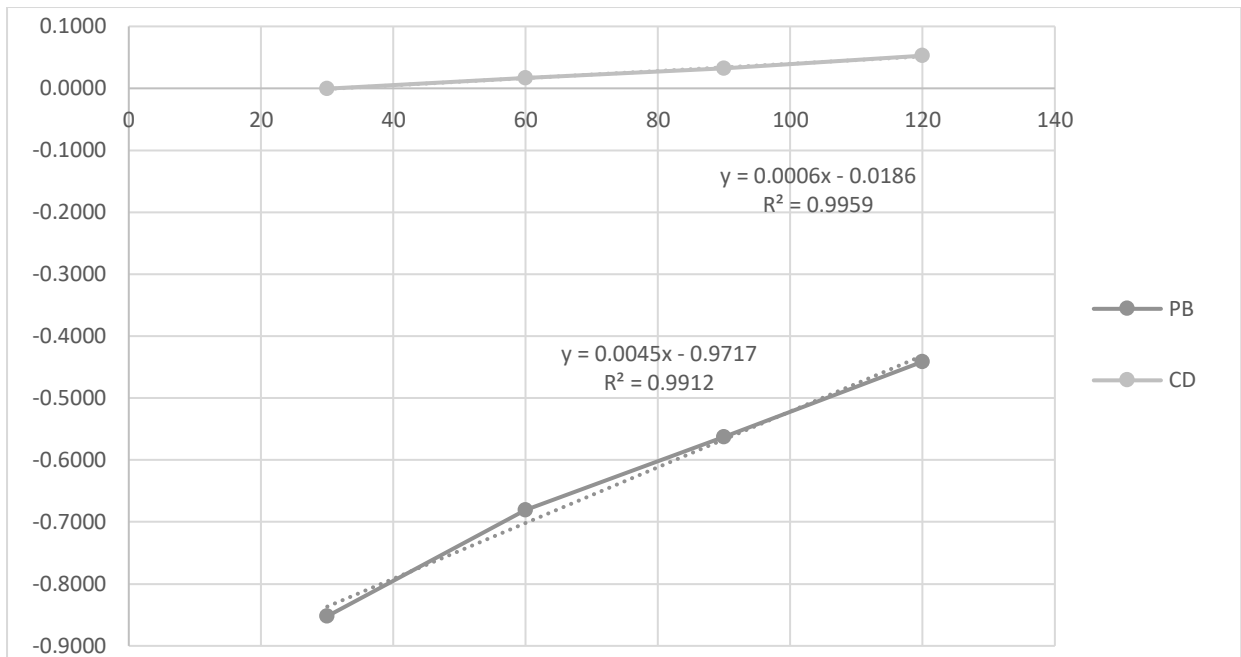
3	0,0601	3	0,0871
3	0,0609	3	0,0864
3	0,0604	3	0,0865
4	0,0856	4	0,1263
4	0,0855	4	0,1277
4	0,0856	4	0,1271



**Figura 11.** Curva de Calibración de Olla de Barro para obtención de Concentraciones

**Tabla 28.** Concentración de Metales en Olla de Barro

Pb	Cd
-0,8522	-0,0005
-0,6802	0,0167
-0,5629	0,0319
-0,4412	0,0527



**Figura 12.** Curva de Calibración de Olla de Barro

**Anexo 6**

Cuantificación de Metales.

Datos para incertidumbre de las 3 muestras de estudio

**Tabla 29.** Obtección de Incertidumbre para muestra Alfa

<b>Pb</b>	<b>Prom</b>	<b>#-Prom</b>	<b>expon 2</b>	<b>todo</b>	<b>incertidumbre</b>
<b>Blanco</b>	1,4382	-1,4382	2,0684	0,6895	0,8303
<b>E1</b>	1,4382	-0,4974	0,2474	0,0825	0,2872
<b>E2</b>	1,4382	0,4613	0,2128	0,0709	0,2663
<b>E3</b>	1,4382	1,4743	2,1735	0,7245	0,8512
					0,5587
<b>Cd</b>	<b>Prom</b>	<b>#-Prom</b>	<b>expon 2</b>	<b>todo</b>	<b>incertidumbre</b>
<b>Blanco</b>	0,7192	-0,7192	0,5173	0,1724	0,4152
<b>E1</b>	0,7192	-0,2935	0,0862	0,0287	0,1695
<b>E2</b>	0,7192	0,2558	0,0654	0,0218	0,1477
<b>E3</b>	0,7192	0,7570	0,5730	0,1910	0,4370
					0,2923

**Tabla 30.** Obtección de Incertidumbre para muestra Beta

<b>Pb</b>	<b>Prom</b>	<b>#-Prom</b>	<b>expon 2</b>	<b>todo</b>	<b>incertidumbre</b>
<b>Blanco</b>	1,4245	-1,4245	2,0291	0,6764	0,8224
<b>E1</b>	1,4245	-0,4969	0,2469	0,0823	0,2869
<b>E2</b>	1,4245	0,5048	0,2548	0,0849	0,2914
<b>E3</b>	1,4245	1,4166	2,0067	0,6689	0,8179
					0,5546

<b>Cd</b>	<b>Prom</b>	<b>#-Prom</b>	<b>expon 2</b>	<b>todo</b>	<b>incertidumbre</b>
<b>Blanco</b>	0,7040	-0,7040	0,4956	0,1652	0,4064
<b>E1</b>	0,7040	-0,2692	0,0725	0,0242	0,1554
<b>E2</b>	0,7040	0,2432	0,0592	0,0197	0,1404
<b>E3</b>	0,7040	0,7299	0,5328	0,1776	0,4214
					0,2809

*Tabla 31.* Obtección de Incertidumbre para muestra Gamma

<b>Pb</b>	<b>Prom</b>	<b>#-Prom</b>	<b>expon 2</b>	<b>todo</b>	<b>incertidumbre</b>
<b>Blanco</b>	1,4074	-1,4074	1,9808	0,6603	0,8126
<b>E1</b>	1,4074	-0,5082	0,2583	0,0861	0,2934
<b>E2</b>	1,4074	0,5025	0,2525	0,0842	0,2901
<b>E3</b>	1,4074	1,4132	1,9970	0,6657	0,8159
					0,5530
<b>Cd</b>	<b>Prom</b>	<b>#-Prom</b>	<b>expon 2</b>	<b>todo</b>	<b>incertidumbre</b>
<b>Blanco</b>	0,6960	-0,6960	0,4844	0,1615	0,4018
<b>E1</b>	0,6960	-0,2676	0,0716	0,0239	0,1545
<b>E2</b>	0,6960	0,2273	0,0517	0,0172	0,1313
<b>E3</b>	0,6960	0,7363	0,5422	0,1807	0,4251
					0,2782