



Universidad  
Norbert Wiener

Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE FARMACIA**  
**Y BIOQUÍMICA**

**TESIS**

Determinación cuantitativa de arsénico, cadmio y plomo en razas de maíz  
(*Zea mays L.*) Raza *cusco gigante*, raza *kculli*, raza *jora* y raza *chaparreño*  
expandidas en mercado caqueta de enero – diciembre 2020

**Para optar el Título Profesional de**  
Químico Farmacéutico

**Presentado por:**

**Autora:** López Ambolalla Gisela Leonor

**Autora:** Pilares Salas Rosa

**Asesor:** Mg. Lizano Gutiérrez, Jesús Víctor

**Código Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-8926-1893>

**Línea de Investigación**

Toxicología

**Lima – Perú**

**2021**

	DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA Y DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN		
	CÓDIGO: UPNW-GRA-FOR-033	VERSION: 01 REVISIÓN: 01	FECHA: 08/11/2022

Yo, Pilares Salas Rosa egresada de la Facultad de Farmacia y Bioquímica y  Escuela Académica Profesional de Farmacia y Bioquímica/  Escuela de Posgrado de la Universidad privada Norbert Wiener declaro que el trabajo académico **“DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE ARSÉNICO, CADMIO Y PLOMO EN RAZAS DE MAIZ (*Zea mays L.*) RAZA CUSCO GIGANTE, RAZA KULLI, RAZA JORA Y RAZA CHAPARREÑO EXPENDIDAS EN MERCADO CAQUETA DE ENERO – DICIEMBRE 2020”**. Asesorado por el docente: Jesús Víctor Lizano Gutiérrez DNI 09148490 ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8926-1893> tiene un índice de similitud de 18 (dieciocho) % con código oid: verificable en el reporte de originalidad del software Turnitin.

Así mismo:

1. Se ha mencionado todas las fuentes utilizadas, identificando correctamente las citas textuales o paráfrasis provenientes de otras fuentes.
2. No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquella señalada en el trabajo.
3. Se autoriza que el trabajo puede ser revisado en búsqueda de plagios.
4. El porcentaje señalado es el mismo que arrojó al momento de indexar, grabar o hacer el depósito en el turnitin de la universidad y,
5. Asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión en la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas del reglamento vigente de la universidad.



.....  
 Firma de autor 1  
 Gisela Leonor Lopez Ambolalla  
 DNI: 45080989



.....  
 Firma de autor 2  
 Rosa Pilares Salas  
 DNI: 10646420



.....  
 Firma  
 Jesús Víctor Lizano Gutiérrez  
 DNI: 09148490

	DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA Y DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN		
	CÓDIGO: UPNW-GRA-FOR-033	VERSION: 01 REVISIÓN: 01	FECHA: 08/11/2022

Yo, Lopez Ambolalla Gisela Leonor, egresado de la Facultad de Farmacia y Bioquímica y  Escuela Académica Profesional de Farmacia y Bioquímica/  Escuela de Posgrado de la Universidad privada Norbert Wiener declaro que el trabajo académico "DETERMINACION CUANTITATIVA DE ARSENICO,CADMIO Y PLOMO EN RAZAS DE MAIZ (*Zea mays L.*) RAZA CUSCO GIGANTE, RAZA KULLI,RAZA JORA Y RAZA CHAPARREÑO EXPENDIDAS EN MERCADO CAQUETA DE ENERO – DICIEMBRE 2020"Asesorado por el docente: Lizano Gutiérrez Jesús Víctor DNI 0914849 ORCID tiene un índice de similitud de % con código oid: <https://orcid.org/0000-0002-8926-1893> verificable en el reporte de originalidad del software Turnitin.

Así mismo:

1. Se ha mencionado todas las fuentes utilizadas, identificando correctamente las citas textuales o paráfrasis provenientes de otras fuentes.
2. No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquella señalada en el trabajo.
3. Se autoriza que el trabajo puede ser revisado en búsqueda de plagios.
4. El porcentaje señalado es el mismo que arrojó al momento de indexar, grabar o hacer el depósito en el turnitin de la universidad y.
5. Asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión en la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas del reglamento vigente de la universidad.



.....  
 Firma de autor 1  
 Lopez Ambolalla Gisela Leonor  
 DNI: 45080989



.....  
 Firma de autor 2  
 Pilares Salas Rosa  
 DNI: 10646420



.....  
 Firma  
 Dr. Jesús Víctor Lizano Gutiérrez  
 DNI: 0914849

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser la luz de mi camino, a mis amados padres que me enseñaron a no rendirme y siempre me acompañaron para poder culminar mis estudios, y a todos aquellos que incentivaron mis esfuerzos para alcanzar mi meta.

**Gisela Leonor López Ambolalla**

A mi querido padre, Mariano Pilares Quispe, quien, con sus consejos y ejemplo, inculcó en mí los principios del estudio y la superación personal; a mi madre quien acompañó mis días buenos y me alentó en los malos, a toda mi familia, amigos y a Dios que siempre está con nosotros.

**Rosa Pilares Salas**

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestra universidad, alma mater de ciencia y sabiduría, a nuestros docentes que acompañaron nuestra formación y a nuestro asesor Mg. Jesús Víctor Lizano Gutiérrez por su invaluable esfuerzo para ayudarnos a conseguir nuestro objetivo.

## INDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
INDICE GENERAL.....	vi
INDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	16
INTRODUCCIÓN .....	17
CAPITULO I: EL PROBLEMA .....	19
1.1 Planteamiento del problema.....	19
1.2 Formulación del problema .....	21
1.2.1 Problema general.....	21
1.2.2 Problemas específicos .....	21
1.3 Objetivos de la investigación .....	22
1.3.1 Objetivo General .....	22
1.3.2 Objetivos Específicos.....	22
1.4 Justificación de la investigación.....	22
1.4.1 Teórica.....	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	24
2.1 Antecedentes de la investigación .....	24

2.1.1	Antecedentes internacionales .....	24
2.1.2	Antecedentes nacionales .....	26
2.2	Bases Teóricas .....	27
2.2.1	El “maíz” (Zea mays L.) .....	28
2.2.1.1	Clasificación Taxonómica .....	28
2.2.1.2	Variedades de “maíz” en el Perú.....	28
2.2.1.3	Clasificación de Razas de “maíz” .....	29
a)	Cusco gigante.....	29
b)	Kculli .....	29
c)	Jora .....	30
d)	Chaparreño.....	31
2.2.2	Metales pesados .....	32
2.2.2.1	Fuentes de contaminación del suelo por metales pesados.....	32
a)	Natural.....	32
b)	Antropogénico .....	33
c)	Residuos orgánicos.....	33
d)	Agua de riego y productos químicos .....	34
e)	Minerías y refinerías .....	34
f)	Fertilizantes .....	34
2.2.2.2	Arsénico .....	35
a)	Propiedades físico –químicas.....	35
b)	Exposición al arsénico .....	36

c) Toxicocinetica del arsénico.....	36
d) Toxicodinamia del arsénico .....	37
e) Efectos a la salud por exposición al arsénico .....	37
2.2.2.3 Cadmio.....	38
a) Propiedades físico – químicas .....	38
b) Exposición al cadmio .....	39
c) Toxicocinetica del cadmio .....	40
d) Toxicodinamia del cadmio .....	41
e) Efectos a la salud por exposición al cadmio.....	41
2.2.2.4 Plomo.....	42
a) Propiedades físico –químicas.....	43
b) Exposición al plomo .....	43
c) Toxicocinetica del plomo.....	44
d) Toxicodinamia del plomo .....	46
e) Efectos a la salud por exposición al plomo .....	46
2.2.2.5 Metalotioneinas .....	47
a) Función de la tioneina en las intoxicaciones con metales.....	48
2.3 Formulación de la Hipótesis .....	48
2.3.1 Hipótesis General.....	48
2.3.2 Hipótesis Específicas .....	48
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGIA.....</b>	<b>50</b>
3.1 Método de investigación.....	50

3.2	Enfoque investigativo .....	50
3.3	Tipo de investigación .....	50
3.4	Diseño de la investigación .....	50
3.5	Población, muestra y muestreo .....	50
3.5.1	Población .....	50
3.5.2	Muestra y muestreo .....	51
3.6	Variables y operacionalización .....	51
3.6.1	Variables .....	51
3.6.1.1	Variable 1 .....	51
3.6.1.2	Variable 2 .....	51
3.6.2	Operacionalización de variables .....	51
3.7	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	52
3.7.1	Técnicas de laboratorio para medir niveles de arsénico, cadmio y plomo .....	52
3.7.1.1.	Procesamiento de las muestras .....	52
3.7.1.2.	Descripción .....	53
c)	Espectroscopia de absorción atómica c para plomo y cadmio .....	54
3.7.2	Instrumentos .....	55
3.7.2.1.	Equipos .....	55
3.7.2.2.	Reactivos .....	55
3.7.2.3.	Materiales .....	56
3.8	Procesamiento y análisis de datos .....	56
3.8.1	Recolección de datos .....	56

3.8.2 Análisis estadístico.....	56
3.9 Aspectos éticos .....	57
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	58
4.1 Resultados .....	58
4.1.1 Análisis descriptivos de resultados para plomo por horno de grafito .....	58
4.1.2 Criterios de lectura para cadmio .....	60
4.1.3 Parámetros del generador de hidruro para lectura de arsénico.....	62
V. DISCUSIÓN .....	83
VII. RECOMENDACIONES.....	87
VIII. BIBLIOGRAFÍA .....	88
IX. ANEXOS .....	95
Anexo A: Matriz de consistencia .....	95
Anexo B: Operacionalización de variables .....	97
Anexo C: Informe de laboratorio .....	98

## INDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Variable independiente.....	51
Tabla 2. Variable dependiente.....	52
Tabla 3. Parámetros del horno grafito para plomo.....	58
Tabla 4. Parámetros del sistema de calibración para plomo. ....	58
Tabla 5. Parámetros del sistema de medición de muestras para plomo.....	58
Tabla 6. Curva de calibración para plomo. ....	59
Tabla 7. Parámetros del horno de grafito para cadmio. ....	60
Tabla 8. Parámetros de calibración para cadmio. ....	60
Tabla 9. Parámetros del sistema de medición para cadmio.....	60
Tabla 10. Curva de calibración lineal para cadmio.....	61
Tabla 11. Parámetro del generador de hidruros para arsénico. ....	62
Tabla 12. Parámetros del sistema de calibración para arsénico. ....	62
Tabla 13. Curva de calibración lineal para arsénico. ....	63
Tabla 14. Determinación de la concentración de arsénico, cadmio y plomo en las muestras de “maíz” ( <i>cusco gigante, kculli, jora y chaparreño</i> ).....	64
Tabla 15. Valores de arsénico detectados en las muestras de “maíz”, <i>cusco gigante, kculli, jora y chaparreño</i> . ....	66
Tabla 16. Valores de cadmio detectados en las muestra de “maíz”, <i>cusco gigante, kculli, jora, y chaparreño</i> . ....	67
Tabla 17. Valores de plomo detectados en las muestras de “maíz”, <i>cusco gigante, kculli, jora, y chaparreño</i> .....	68

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. “maíz” raza <i>Cusco gigante</i> .....	29
Figura 2. “maíz” raza <i>Kculli</i> .....	30
Figura 3. “maíz” raza <i>Jora</i> .....	31
Figura 4. “maíz” raza <i>Chaparroño</i> .....	31
Figura 5. Curva de calibración: relación de la absorbancia y la concentración de plomo .....	59
Figura 6. Curva de calibración: relación de la absorbancia y la concentración del cadmio.....	61
Figura 7. Curva de calibración de arsénico absorbancia y la concentración de arsénico.....	63
Figura 8. Concentración de arsénico, cadmio y plomo en razas de “maíz”, <i>cusco gigante</i> , <i>kculli</i> , <i>jora</i> , y <i>chaparroño</i> .....	65
Figura 9. Valores de arsénico hallados en las muestras de razas de “maíz”, del mercado Caquetá y comparadas con el límite máximo permisible de MERCOSUR (0.3 mg/kg).....	69
Figura 10. Muestras razas de “maíz” según límite máximo permitido MERCOSUR arsénico (0.3 mg/kg). .....	70
Figura 11. Valores de cadmio hallados en las muestras de razas de “maíz” obtenidos del mercado Caquetá y comparadas con <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> (0,1 mg/kg) .....	70
Figura 12. Muestras de razas de “maíz” obtenidas del mercado Caquetá comparado con <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> para Cadmio (0,1 mg/kg). .....	71
Figura 13. Valores de plomo hallados en las muestras de razas de “maíz” obtenidos del mercado Caquetá y comparadas con <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> (0,3 mg/kg). .....	71
Figura 14. Muestras de razas de “maíz” obtenidas del mercado Caquetá comparado con <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> para plomo (0,3 mg/kg). .....	72
Figura 15. Valores de plomo hallados en las muestras de razas de “maíz” obtenidas del mercado Caquetá y comparadas con <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> (0,2 mg/kg). .....	72
Figura 16. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>cusco gigante</i> obtenidas del mercado Caquetá y	

comparadas según el límite máximo permitido MERCOSUR (0,3 mg/kg). .....	73
Figura 17. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>kculli</i> , obtenidas del mercado Caquetá y comparadas con <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> (0,3 mg/kg). .....	73
Figura 18. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>jora</i> comparado según el límite máximo permitido MERCOSUR para arsénico (0,3 mg/kg) .....	74
Figura 19. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>chaparreño</i> obtenidas del mercado Caquetá comparado según límite máximo permitido MERCOSUR (0,3 mg/kg). .....	74
Figura 20. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>cusco gigante</i> comparado con <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> para cadmio (0,1 mg/kg). .....	75
Figura 21. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>kculli</i> comparado con el <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> para cadmio (0,1 mg/kg). .....	75
Figura 22. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>jora</i> comparado con el <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> para cadmio (0,1 mg/kg). .....	76
Figura 23. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>chaparreño</i> comparado con el <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> para cadmio (0,1 mg/kg). .....	76
Figura 24. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>cusco gigante</i> según límite máximo permitido por el MERCOSUR para plomo (0,2 mg/kg). .....	77
Figura 25. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>kculli</i> comparado con límite máximo permitido por el MERCOSUR para plomo (0,2 mg/kg). .....	77
Figura 26. Muestras de razas “maíz”, raza <i>jora</i> comparado con límite máximo permitido por el MERCOSUR para plomo (0,2 mg/kg). .....	78
Figura 27. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>chaparreño</i> comparado con límite máximo permitido por el MERCOSUR para plomo (0,2 mg/kg). .....	78
Figura 28. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>cusco gigante</i> comparado con límite máximo permitido por el MERCOSUR para plomo (0,3 mg/kg). .....	79
Figura 29. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>cusco gigante</i> comparado con el <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> para plomo (0,3 mg/kg). .....	79
Figura 30. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>jora</i> comparado con el <i>CODEX ALIMENTARIUS</i>	

para plomo (0,3 mg/kg).....	80
Figura 31. Muestras de razas de “maíz”, raza <i>chaparreño</i> comparado con el <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> para plomo (0,3 mg/kg).....	80
Figura 32. Correlación entre los valores de arsénico y cadmio en muestras de razas de “maíz”, según el Coeficiente de correlación de Pearson.....	81
Figura 33. Correlación entre los valores de cadmio y plomo en muestras de razas de “maíz”, según el Coeficiente de correlación de Pearson.....	81
Figura 34. Correlación entre los valores de plomo y arsénico en muestras de razas de “maíz”, según el Coeficiente de correlación de Pearson.....	82

## RESUMEN

El “maíz” constituye hoy en día un alimento básico para diferentes poblaciones y llega a la mesa de los hogares más alejados, alimentando así a millones de personas alrededor del mundo; sin embargo, este importante alimento también podría encontrarse contaminado por metales pesados, constituyéndose en un problema de salud pública por sus efectos tóxicos para la salud. **Objetivo.** Determinar la concentración de arsénico, cadmio y plomo en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*) *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, comercializadas en mercado de abastos de la avenida Caquetá en la ciudad de Lima durante el periodo de enero – diciembre 2020. **Métodos.** Se realizó una investigación de tipo básico, de diseño no experimental, nivel descriptivo, de corte transversal, con un método de muestreo por conveniencia. Se seleccionaron 05 muestras por cada raza de “maíz”, con un total de 20 muestras. La técnica utilizada fue la espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito para plomo y cadmio y con generador de hidruros para arsénico. Los datos obtenidos fueron comparados con los límites máximos permitidos por las normas del MERCOSUR y del *CODEX ALIMENTARIUS*. **Resultados.** La concentración media de arsénico (0,236 mg/kg), no superó el límite máximo establecido por el MERCOSUR; las concentraciones medias de cadmio (0,105 mg/kg) y plomo (0,206 mg/kg) superaron en 5% y 3% el límite máximo permitido por el *CODEX ALIMENTARIUS* y el MERCOSUR respectivamente. La concentración media de plomo no superó el límite máximo permitido por el *CODEX ALIMENTARIUS*. **Conclusión.** Los promedios en los niveles de concentración de metales pesados no muestran importantes incrementos; sin embargo, 10 muestras mostraron niveles superiores para cadmio, 08 muestras para plomo y 04 muestras para arsénico, algunas de ellas por encima del 50%.

**Palabras clave:** Metales pesados, razas de “maíz”, bioacumulación, efectos tóxicos.

## ABSTRACT

"Corn" today constitutes a basic food for different populations and reaches the table of the most distant homes, thus feeding millions of people around the world; however, this important food could also be contaminated by heavy metals, becoming a public health problem due to its toxic effects on health. **Objective.** To determine the concentration of arsenic, cadmium and lead in the races of "corn" (*Zea mays L.*) *giant cusco*, *kculli*, *jora* and *chaparreño*, commercialized in the food market of Caquetá Avenue in the city of Lima during the period of January – December 2020. **Methods.** A descriptive, cross-sectional research design was used, with a convenience sampling method. 05 samples were selected for each race of "corn", with a total of 20 samples. The technique used was atomic absorption spectrophotometry with a graphite furnace for lead and cadmium and with a hydride generator for arsenic. The data obtained were compared with the maximum limits allowed by the MERCOSUR and *CODEX ALIMENTARIUS* standards. **Results.** The average concentration of arsenic (0.236 mg/kg), did not exceed the maximum limit established by MERCOSUR; the average concentrations of cadmium (0.105 mg/kg) and lead (0.206 mg/kg) exceeded the maximum limit allowed by *CODEX ALIMENTARIUS* and MERCOSUR by 5% and 3%, respectively. The average concentration of lead did not exceed the maximum limit allowed by the *CODEX ALIMENTARIUS*. **Conclusion.** The averages in the concentration levels of heavy metals do not show significant increases; however, 10 samples showed higher levels for cadmium, 08 samples for lead and 04 samples for arsenic, some of them above 50%.

**Keywords:** Heavy metals, "corn" races, bioaccumulation, toxic effects.

## INTRODUCCIÓN

El “maíz”, originario de América y posteriormente extendido a nivel mundial, constituye uno de los alimentos fundamentales consumidos por diversas comunidades en todo el planeta desde tiempos remotos. Al igual que el arroz y el trigo, el “maíz” figura entre los cereales más ampliamente distribuidos, proporcionando sustento a millones de personas en prácticamente todos los países<sup>1</sup>.

El cultivo del “maíz” en Perú posee un valor estratégico significativo, ya que está geográficamente distribuido en todas las regiones y forma parte de la dieta diaria en los hogares. Este cereal florece en las tres regiones naturales del país: Costa, Sierra y Selva. Además de ser consumido directamente en los hogares, también se destina a la alimentación industrial en empresas avícolas. El tipo de “maíz” más predominante es el amarillo duro, que representa aproximadamente el 56% de la producción nacional. El “maíz” amiláceo, por otro lado, se siembra principalmente en la zona andina, aunque también se cultiva en menor medida en otras regiones. En suma, el cultivo del “maíz” sustenta tanto empleos directos como indirectos para alrededor de ocho millones de personas en el país. Este hecho subraya la importancia vital del “maíz” para proporcionar sustento económico y social, especialmente en los sectores más desfavorecidos. Por esta razón, se aboga por impulsar la producción y el consumo de “maíz” a través de intervenciones estatales, con el objetivo de fomentar el desarrollo en el Perú<sup>1</sup>.

Sin embargo, las actividades agrícolas en nuestro país están estrechamente vinculadas a la contaminación del aire, el agua y el suelo, especialmente por la presencia de metales. Esta contaminación del suelo con metales puede tener consecuencias graves para la salud de la población y afectar la calidad de los alimentos, como el “maíz”. Muchos de estos metales, presentes en la corteza terrestre, pueden volverse tóxicos a concentraciones específicas<sup>2</sup>.

Los metales pesados, también conocidos como metales tóxicos, pertenecen a un grupo de elementos con un peso atómico que oscila entre 63.5 y 200.6. Esta categoría incluye elementos como arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sn) y zinc (Zn). En el pasado, estos elementos han sido responsables de intoxicaciones alimentarias masivas a nivel global. Ejemplos de ello son la contaminación por mercurio en la Bahía de Minamata en Japón en 1956, que causó intoxicación en la población a través de especies marinas, y la contaminación de semillas de

cereal con fungicidas que contenían compuestos de mercurio, afectando gravemente a los habitantes de Irak, Irán, India y Pakistán en la década de 1960. Estos metales son absorbidos por las raíces de las plantas, como en el caso del cadmio y del plomo, y luego pasan a formar parte de la dieta tanto de seres humanos como de animales. Su peligrosidad radica en el proceso de bioacumulación, donde estos metales se acumulan en los tejidos a lo largo del tiempo, convirtiéndose en toxinas potencialmente peligrosas para la salud<sup>2</sup>.

La exposición a metales pesados constituye un desafío importante para la salud pública, ya que puede generar consecuencias perjudiciales para el organismo humano. Este tipo de intoxicación puede ocasionar daño en diversos órganos, incluyendo el cerebro, los riñones, el hígado y los pulmones. Además, puede afectar negativamente el sistema nervioso, óseo, reproductor e inmunológico. En última instancia, la presencia prolongada o en concentraciones elevadas de metales pesados puede estar asociada con la aparición de cáncer y, en casos extremos, conducir al fallecimiento<sup>2</sup>.

En los últimos años, la producción de “maíz” (*Zea mays L.*) ha crecido en 137%, en nuestro en el Perú. Este incremento fue más importante en el caso del “maíz” (*Zea mays L.*) amarillo duro, en respuesta a la dinámica seguida por la industria avícola, principal demandante de alimentos balanceados elaborados con este insumo<sup>3</sup>.

Muchos de estos productos que ingresan a la ciudad de Lima no están exentos del riesgo de contaminación por metales pesados; su exposición a fertilizantes químicos y productos pesticidas, así como a otros factores, como el tipo de suelo, las aguas de riego, la temperatura, pH, aireación, condiciones de oxidación-reducción (redox) y fertilización, pueden hacerlos susceptibles de contaminación con altos grados de concentración de metales tóxicos<sup>4</sup>.

En ese sentido, los investigadores nos hemos propuesto como objetivo determinar si las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo contenidos en las muestras de “maíz” (*Zea mays L.*), *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expendidos en el Mercado Caquetá de la ciudad de Lima, cumplen con los parámetros establecidos por los dos organismos de referencia para la comercialización de los alimentos, el MERCOSUR (Mercado Común del Sur) y el *CODEX ALIMENTARIUS* (conjunto de normas alimentarias internacionales) y adoptadas por el Perú, para su comercialización a nivel poblacional.

## CAPITULO I: EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

La evolución de la industria, el crecimiento de la minería y el progreso en la agricultura son elementos fundamentales para el desarrollo económico a nivel mundial. No obstante, estas iniciativas también han conllevado repercusiones negativas en la calidad del medio ambiente, afectando tanto al suelo como al agua y al aire. Esta situación ha resultado en diversas formas de contaminación, incluida la exposición a metales pesados, lo cual representa una amenaza significativa para la salud de la población. La contaminación ambiental, manifestada en sus diversas modalidades, constituye un riesgo sustancial para la salud humana<sup>5</sup>.

La contaminación ambiental, junto con el deterioro y la explotación de los recursos naturales en todo el mundo, resulta de la propagación y uso de diversos contaminantes, tanto orgánicos como inorgánicos. Estos agentes contaminantes afectan la atmósfera, el agua, el suelo y el subsuelo, emanando de diversas fuentes, ya sean naturales o generadas por la actividad humana. Este deterioro ambiental, especialmente en las áreas destinadas a la producción de alimentos básicos, plantea una seria amenaza. El suelo dedicado a la agricultura es un componente crucial, ya que a través de él se sustenta la alimentación de la población mundial. Su degradación podría poner en peligro el suministro de alimentos para una población en constante crecimiento<sup>6</sup>.

En el suelo, los metales pesados carecen de una función biológica conocida y su presencia resulta altamente tóxica para los organismos vivos, especialmente cuando tienen la capacidad de acumularse en dichos organismos. Los metales tóxicos pueden acumularse en el suelo a través de procesos naturales de descomposición de minerales y rocas, así como debido a la actividad humana, como la industria minera y la aplicación de químicos y fertilizantes en los cultivos, que a menudo contienen altas concentraciones de metales pesados como As, Pb y Cd<sup>6</sup>.

El arsénico es uno de esos elementos pesados que a lo largo de la historia ha generado numerosos casos de intoxicación en el mundo, como el ocurrido en Bangladesh en 1978, o en el oeste de Bengala, con la contaminación de un millón de pozos de agua destinadas al consumo humano. En la India, por el uso del agua y alimentos contaminados, existen cerca de 6 millones de personas conviviendo con la exposición al As, solo el año 2000, se reportaron en la ciudad de Bangladesh unas siete mil personas afectadas por consumo de agua contaminada. En Estados Unidos, más de

350 mil personas consumen agua con niveles de As que superan los 0.5 mg/L, especialmente aquellos que obtienen su suministro de pozos privados. En el Perú, la exposición al As se produce principalmente en contextos relacionados con la minería, y se han identificado áreas con elevadas concentraciones de arsénico en el entorno ambiental<sup>7</sup>.

El cadmio, es otro de los metales pesados que ha generado también importantes brotes epidémicos, uno de ellos ocurrió en el valle del río *Jintsu* en Japón, por la ingesta de pescado y arroz, contaminados por cadmio en el agua de cultivo proveniente de las actividades mineras de zinc y plomo. El brote causó degeneración ósea asociado a daño renal, afectando principalmente a mujeres post menopáusicas, multíparas y personas de mayor edad, reportándose 184 casos desde 1967. En nuestro país, el cadmio que contamina nuestro medio ambiente proviene principalmente de las actividades mineras, las cuales afectan los cultivos y a los trabajadores y poblaciones aledañas que habitan cerca a estas actividades mineras<sup>8</sup>.

El plomo es identificado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como uno de los elementos químicos que ha generado más problemas para la salud pública a nivel mundial, especialmente en trabajadores, mujeres en edad fértil y la población infantil. Las principales fuentes de contaminación incluyen la actividad minera, el reciclaje de baterías, pinturas y gasolina que contienen este metal. Aproximadamente, más del 75% del consumo global se destina a la fabricación de baterías para vehículos motorizados, aunque también se encuentra presente en diversos productos como esmaltes, juguetes, cosméticos y pinturas, entre otros. Adicionalmente, el plomo puede estar presente en las tuberías utilizadas para el suministro de agua, contaminándola debido a la degradación<sup>9</sup>.

En el Perú, según un estudio publicado por la OMS en 2012, aproximadamente 1.6 millones de personas podrían haber estado expuestas a riesgos ambientales debido a su proximidad a zonas mineras. Ejemplos de ello son La Oroya, donde la empresa fundidora puso en peligro la salud de toda la población, y el Callao, vinculado al transporte y depósito de minerales. Otra área afectada por la actividad minera fue la ciudad de Cerro de Pasco, que ha afectado a miles de personas a lo largo de los años de explotación minera. A pesar de la importancia económica de las actividades minero-metalúrgicas en el desarrollo nacional, también son responsables de problemas graves de contaminación en agua, suelos y cultivos debido a los desechos sólidos y los residuos de la minería<sup>10</sup>.

La agricultura desempeña un papel fundamental en nuestra región, con cultivos como caña de azúcar, “maíz” amarillo duro, frejoles y otros productos que dependen del riego. El agua utilizada para el riego de estos cultivos contiene metales que tienden a acumularse en la superficie del suelo, volviéndose accesibles para las raíces de las plantas. El proceso de acumulación de metales pesados en las plantas cultivadas es de particular interés, ya que estos elementos podrían ingresar a la cadena alimentaria y representar riesgos potenciales para la salud humana. Un ejemplo de producto alimenticio que podría verse afectado es el “maíz”, que es el foco de estudio en esta investigación<sup>11</sup>.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál será la concentración de arsénico, cadmio y plomo en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*) *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, comercializadas en el Mercado Caquetá de la ciudad de Lima, durante para el periodo enero - diciembre 2020?

### **1.2.2 Problemas específicos**

¿Cuál será la concentración de arsénico en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*) *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en el Mercado Caquetá de Lima durante el periodo enero - diciembre 2020, comparado con los valores permitidos por el MERCOSUR (Mercado Común del Sur)?

¿Cuál será la concentración de cadmio en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*) *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en el Mercado Caquetá de Lima durante el periodo enero - diciembre 2020, comparado con los valores permitidos por el *CODEX ALIMENTARIUS*?

¿Cuál será la concentración de plomo en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*) *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en el Mercado Caquetá de Lima durante el periodo enero - diciembre 2020, comparado con los valores permitidos por el *CODEX ALIMENTARIUS* y el MERCOSUR?

¿Cuál será la correlación entre las concentraciones obtenidas de arsénico, cadmio y plomo en las diversas razas de “maíz” (*Zea mays L.*) *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en el Mercado Caquetá de Lima durante el periodo enero - diciembre 2020?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar la concentración de arsénico, cadmio y plomo en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*) *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en mercado Caquetá de Lima durante el periodo de enero a diciembre 2020.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Comparar la concentración de arsénico en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*) *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en el Mercado Caquetá de Lima durante el periodo enero - diciembre 2020, con los valores permitidos por el MERCOSUR (Mercado Común del Sur).

Comparar la concentración de cadmio en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*) *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en el Mercado Caquetá de Lima durante el periodo enero - diciembre 2020, con los valores permitidos por el *CODEX ALIMENTARIUS*.

Comparar la concentración de plomo en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*) *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en el Mercado Caquetá de Lima durante el periodo enero - diciembre 2020, comparado con los valores permitidos por el *CODEX ALIMENTARIUS* y el MERCOSUR (Mercado Común del Sur).

Establecer la correlación entre las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*), expandidas en el Mercado Caquetá de Lima durante el periodo enero - diciembre 2020.

### **1.4 Justificación de la investigación**

#### **1.4.1 Teórica**

El estudio buscó generar la reflexión y el debate académico sobre el conocimiento existente acerca de la correlación entre las concentraciones de As, Cd y Pb en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*), expandidas en el Mercado Caquetá de Lima durante el periodo enero - diciembre 2020

#### **1.4.2 Metodológica**

La justificación de este estudio radica en la utilización de la técnica instrumental de espectrofotometría de absorción atómica para medir los niveles de As, Cd y Pb en las muestras. Esta elección de método instrumental aporta un nivel más riguroso y científico a los resultados de la investigación, contribuyendo así al logro de los objetivos planteado.

### **1.4.3 Practica**

En el Perú, el “maíz” es uno de los cereales más importante que se producen en las diferentes regiones naturales, cada año se producen cerca de 273 600 toneladas, principalmente en sus variedades de “maíz” amarillo duro y “maíz” amiláceo, generando en promedio 307 millones de dólares anuales en ingresos<sup>12</sup>. La producción proviene de diferentes regiones del país, algunas de ellas reconocidas zonas mineras, como Cusco, Apurímac, Huancavelica, La Libertad, Ayacucho, Junín, Ancash, entre otras; y mucha de esta producción, que tiene como destino final la ciudad de Lima, podría contener concentraciones elevadas de metales tóxicos como el arsénico, cadmio y plomo, y su consumo podría estar afectando la salud de los consumidores, ya que podrían estar bioacumulándose, aún sin presentar síntomas evidentes de intoxicación<sup>13</sup>.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

**Adegbe A, et al., (2018)**, en su estudio, desarrollado con la Universidad de Estatal de Kogi, del centro de Nigeria, investigaron la respuesta del “maíz” (*Zea mays L.*) a la contaminación por metales pesados (cadmio, cromo, cobre, plomo y zinc), con el objetivo de predecir el potencial de la planta para extraer tóxicos metálicos de campos contaminados en Nigeria. Se realizó un estudio experimental y la técnica empleada fue utilizar un campo para cultivar el “maíz” en suelos contaminados con concentraciones diferentes a metales pesados; el suelo se modificó con cargas crecientes (2–10 kg) de sales metálicas y/ o mezcla de estiércol metal-vaca (relación metal/estiércol de vaca 1:10). Los resultados mostraron que el rango de concentración de metal en el tejido de “maíz” para cadmio, cromo, cobre, plomo y zinc fue 3.50 - 42.80, 3.40 - 21.80, 7.80 - 48.10, 2.50 - 30.40 y 10.20 - 44.75 respectivamente. El análisis detectó al cobre con mayor presencia en el “maíz”, mientras que el cromo fue el menor. Los modelos predijeron muy bien la concentración de metales en la planta de “maíz” y la relación fue significativa ( $0.01 \leq p \leq 0.05$ ). Sin embargo, la extrapolación de los resultados del presente experimento y su aplicación más amplia requieren de otras investigaciones<sup>14</sup>.

**Akenga T, et al., (2017)**, en su estudio de investigación realizado con la Universidad de Eldoret, en el Condado de *Uasin Gishu* en Kenia; con el objetivo de “Determinar la absorción total de metales pesados en granos y hojas de “maíz” (*Zea mays*) en fincas de diferentes zonas agroecológicas en el condado de *Uasin Gishu* en Kenia”. La metodología del estudio fue seleccionar muestras de hojas y granos de “maíz”, al azar de 5 regiones, con el fin de evaluar las concentraciones de plomo, cadmio, cobalto, zinc y cobre utilizando plasma de pareja inductiva. Los resultados de la investigación indicaron que las muestras de granos y hojas de maíz de las cinco regiones contenían plomo, cadmio, zinc, cobre y cobalto, aunque hubo variaciones significativas en los niveles de zinc, plomo y cadmio en granos y hojas en tres de las regiones. Las concentraciones promedio de zinc (0.122 mg/kg), cadmio (0.03 mg/kg), cobre (0.111 mg/kg), cobalto (0.04 mg/kg) y plomo (0.33 mg/kg) en los granos de maíz, así como las concentraciones promedio de zinc (0.115 mg/kg), cadmio (0.04 mg/kg), cobre (0.117 mg/kg), cobalto (0.041 mg/kg) y plomo (0.323 mg/kg) en las hojas de maíz, revelaron que superaban los límites establecidos por la Organización de las

Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO/OMS). El estudio concluye en que se debe realizar un seguimiento regular de los metales pesados en los cultivos alimentarios a fin de evitar la acumulación excesiva de estos metales tóxicos en la población<sup>15</sup>.

**Ibrahim J, et al., (2015)**, en su estudio desarrollado con la Universidad de Kuala Lumpur, en el estado de Melaka en Malasia, con el objetivo de “Determinar la concentración de metales pesados plomo (Pb), cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), níquel (Ni) en partes de plantas del “maíz” *Zea Mays L.* cultivadas en un área agrícola cerca de *Alor Gajah, Melaka, Malasia*”; realizó un estudio de la concentración de metales pesados en la planta de “maíz” cultivada en sitios agrícolas cerca de *Alor Gajah* en el Estado de *Melaka*. La metodología empleada en la investigación se basó en la extracción de metales pesados (plomo, cobre, hierro, zinc, níquel) de diferentes partes del maíz, como el grano, el tallo y el estigma. El trabajo se llevó a cabo utilizando el método de incineración con seca agua regia y los metales pesados biodisponibles en los suelos de las plantas de “maíz” se extrajeron usando agua regia con ácido clorhídrico: ácido nítrico (3: 1 v/v). Los análisis se realizaron utilizando espectrometría de absorción atómica. Los resultados mostraron que, entre los metales estudiados, los niveles de acumulación de plomo y hierro en las plantas de “maíz” estaban por encima de los niveles máximos estipulados por la ley de alimentos de Malasia (1983) y los reglamentos de alimentos (1985). Por su parte, el nivel de plomo fue el más alto (13,72-38,65 mg/kg) en partes del tallo y estigma. Se encontró que el hierro fue el más alto (40,67 -135,53 mg/kg) en las partes de vástago y tallo. El estudio concluye que, la bioacumulación de metales pesados en suelos de todos los sitios estudiados afectó negativamente ( $p < 0.05$ ) a las plantas de “maíz”, lo que sugiere sensibilidad a los tóxicos en las plantas<sup>16</sup>.

**Edem C, et al., (2012)**, en su estudio de investigación realizado con la Universidad de Calabar, en el estado de *Cross River*, sudeste de Nigeria, con el objetivo de “Determinar las concentraciones de arsénico (As), cobalto (Co), cobre (Cu), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), hierro (Fe), plomo (Pb) y manganeso (Mn) en las mazorcas de “maíz” y muestras de tres tierras agrícolas ubicadas a lo largo de las avenidas *Abitu, Effanga Mkpa* y *Anantigha* del sur de Calabar”. La metodología utilizada fue la del espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados revelaron las siguientes concentraciones en las muestras de *Abitu Avenue*: hierro (1.27 mg/kg),

chromo (0.22 mg/kg), manganeso (0.02 mg/kg), cadmio (0.01 mg/kg) y plomo (0.01 mg/kg). En las muestras de *Effanga Mkpá Street*, se observaron concentraciones de hierro (0.91 mg/kg), cromo (0.17 mg/kg), cadmio (0.01 mg/kg) y manganeso (0.01 mg/kg). Mientras que en las muestras de la calle *Anantigha*, se registraron resultados de hierro (0.61 mg/kg), cromo (0.08 mg/kg) y cadmio (0.01 mg/kg). El estudio concluyó que, las concentraciones de hierro, cromo, manganeso y cadmio fueron más altas en las muestras de la avenida *Abitu*, seguidas de las muestras de la calle *Efanga Mkpá*, mientras que las muestras de la calle *Anantigha* tuvieron la menor concentración de los metales. Así, cobalto, cobre y mercurio no se detectaron en muestras de todas las ubicaciones. No se detectaron manganeso en muestras de la calle *Anantigha*, mientras que plomo solo se detectó en muestras de la avenida *Abitu*<sup>17</sup>.

### 2.1.2 Antecedentes nacionales

**Llallahui y Quispe, (2018)**, en su tesis de investigación, desarrollado con la Universidad Norbert Wiener, en el distrito de San Martín de Porres en la ciudad de Lima, con el objetivo de “Determinar las concentraciones de Arsénico, Cadmio y Plomo en especias en polvo: Ají Paprika (*Capsicum annuum, L.*), Ají Panca (*Capsicum chinense*), Pimienta (*Piper nigrum*) y Comino (*Cuminum cyminum*), expendidos en el Mercado Caquetá-San Martín de Porres, Lima en el periodo Enero- 2018”. Realizó un estudio de tipo observacional de corte transversal. La metodología empleada consistió en analizar las concentraciones de As, Cd y Pb en 16 muestras de especias en polvo utilizando la técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica en Horno de Grafito y Generación de Hidruros. Los resultados mostraron que, 2 muestras de páprika superaron el límite máximo de concentración de arsénico (1.26 y 1.59 ppm) fijado por la OMS (1 ppm de arsénico); 7 (44%) de las muestras, 02 de páprika, 03 de pimienta y 02 de comino superaron el límite máximo (con valores entre 0.21 a 0.35 ppm) de Cadmio establecido por la OMS (0.2 ppm de cadmio); y 4 (25%) de las muestras, 01 de páprika, 01 de pimienta y 02 de ají panca superaron el límite máximo (con valores entre 5.47 a 6.54 ppm) de Plomo establecido por la OMS (5.0 ppm de plomo). El estudio concluye que, las muestras de especias en polvo analizadas contienen concentraciones de metales pesados que superan los parámetros establecidos por la OMS, que podría dañar la salud de los consumidores<sup>18</sup>.

**Condezo y Huaraca, (2018)**, en su tesis de investigación, desarrollado con la Universidad Norbert Wiener, en la provincia de Jaén en Cajamarca, con el objetivo

“Cuantificar las concentraciones de plomo, cadmio y arsénico en granos de cacao (*Theobroma cacao L.*) y café (*Coffea arábica L.*) de la zona de Jaén, Cajamarca durante el periodo febrero – julio 2018”. Realizó un estudio de tipo observacional de corte transversal. La metodología empleada consistió en analizar las concentraciones de arsénico, plomo y cadmio en 16 muestras de granos de cacao y café mediante la técnica de absorción atómica en horno de grafito e hidruros. Los resultados obtenidos para los granos de café indicaron que las concentraciones promedio de arsénico (0,11 µg/g), cadmio (0,11 µg/g) y plomo (1,18 µg/g) en su mayoría no superaron los límites máximos permitidos por el MERCOSUR (Mercado Común del Sur). En cuanto a los granos de cacao, se observaron concentraciones de arsénico (0,08 µg/g), cadmio (0,07 µg/g) y plomo (0,10 µg/g). La conclusión del estudio señala que en el 60% de las muestras de los granos analizados, las concentraciones de metales pesados estuvieron por debajo de los límites establecidos por el *CODEX ALIMENTARIUS*, lo que los hace aptos para el consumo masivo<sup>19</sup>.

**Arévalo-Gardini E, et al., (2016)**, en su estudio de investigación, desarrollado con la Universidad Nacional Agraria La Molina en diferentes departamentos del país, tuvieron como objetivo “Determinar los contenidos de metales pesados en los suelos de plantaciones de cacao en las principales áreas de producción del Perú: Zona Norte (Tumbes, Piura, Cajamarca y Amazonas); Zona Central (San Martín, Huánuco y Junín) y Zona Sur (Cuzco)”. El estudio abarcó 70 plantaciones de cacao con edades comprendidas entre 10 y 15 años, ubicadas en las regiones de la Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur. Se llevaron a cabo análisis de suelos tomados de estas plantaciones. Los resultados obtenidos indicaron que los suelos presentan condiciones físicas y químicas adecuadas para el cultivo de cacao. Los niveles de hierro, cobre, zinc, manganeso, cadmio, níquel y plomo se encontraron por debajo de los umbrales considerados como fitotóxicos. Los valores promedio de hierro, zinc, manganeso, níquel y plomo fueron más altos en la zona sur, mientras que en la zona norte se registraron valores superiores de cobre y cadmio. La conclusión del estudio destaca que la presencia de metales pesados está correlacionada con el pH, el contenido de arcilla, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otros atributos del suelo<sup>20</sup>.

## **2.2 Bases Teóricas**

El maíz (*Zea mays L.*) se cultiva con éxito en diversos continentes y se adapta a una variedad de condiciones. Este cultivo, de gran importancia económica, se extiende por las tres regiones naturales de nuestro país. El maíz se utiliza como materia

prima en la producción de alimentos balanceados para aves y cerdos en forma de grano, así como forraje. Además, la población lo incorpora en su dieta diaria, empleando distintas variedades de maíz como ingrediente para la preparación de alimentos como cancha, mote y otros usos<sup>14</sup>.

Sin embargo, la práctica agrícola se encuentra amenazada por la presencia de metales pesados en el suelo, principalmente debido a la liberación de desechos mineros sin tratar. Esto se ha convertido en un riesgo significativo no solo para la integridad ecológica, sino también para la salud humana. La contaminación por metales pesados ha experimentado un aumento, siendo las actividades humanas, como la utilización de las aguas del río Mantaro para el riego en el valle del Mantaro, la principal causa. Estas aguas presentan concentraciones que superan los límites máximos permitidos de arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo y zinc. Estudios realizados por la Pontificia Universidad Católica del Perú confirman la presencia de niveles elevados de arsénico, cadmio y plomo en los suelos, afectando a cultivos como el maíz, con la presencia de elementos pesados que superan los límites permitidos<sup>22</sup>.

En este capítulo abordaremos las bases teóricas del “maíz” *Zea Mays L.*, y sus diferentes razas, así como las bases teóricas de los principales metales pesados que afectan su cultivo.

### **2.2.1 El “maíz” (*Zea mays L.*)**

El maíz (*Zea mays L.*) es miembro de la familia de las gramíneas, perteneciendo a la tribu maideas. Se presume que tuvo su origen en los trópicos de América Latina, con especial atención a los géneros *Zea*, *Ripsacum* y *Euchlaena*. La importancia de estos géneros radica en su relación fitogenética con el género *Zea*<sup>23</sup>.

#### **2.2.1.1 Clasificación Taxonómica**

La clasificación taxonómica del “maíz” (*Zea mays L.*), es: Reino: Vegetal (*Plantae*); División: Angiosperma (*Magnoliophita*); Subdivisión: *Pterapsidae* Clase: *Liliopsida* Subclase: *Monocotiledóneas*; Orden *poales*, Familia: *Poacea*; Subfamilia: *Panicoideae* Tribu: *Maydeae (Andropogoneae)*. Género: *Zea* Especie: (*Zea mays L.*)<sup>16</sup>.

#### **2.2.1.2 Variedades de “maíz” en el Perú**

Las diversas variedades de maíz en Perú exhiben una amplia gama de tipos, formas, dimensiones y colores de grano, superando en diversidad a cualquier otra

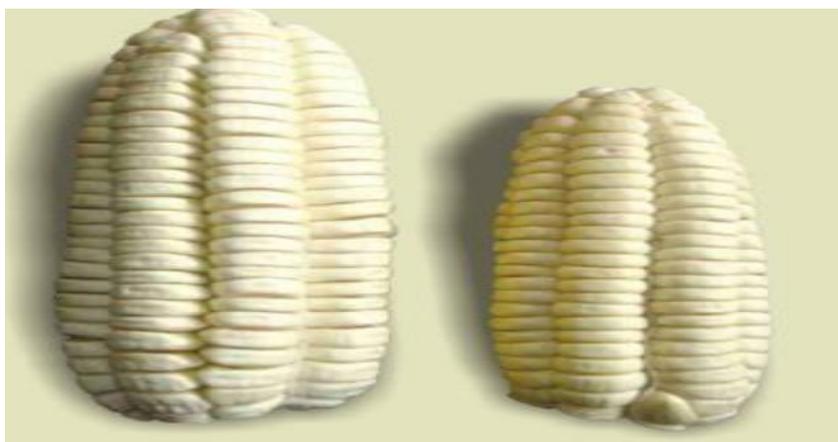
región. Muchas razas de maíz originarias de Perú son cultivadas en otras naciones sudamericanas, y la región central de los Andes destaca por tener la mayor variedad de tipos morfológicos<sup>24</sup>.

### 2.2.1.3 Clasificación de Razas de “maíz”

La clasificación de las distintas variedades de maíz peruano se llevó a cabo en la década de 1950 y fue publicada en 1961 por los autores A. Grobman, W. Salhuana y R. Sevilla. Este estudio de clasificación contó con la orientación de Paul Mangelsdorf, profesor de genética en la Universidad de Harvard en los Estados Unidos<sup>17</sup>.

#### a) Cusco gigante

Este tipo de maíz se cultiva principalmente en el valle de Urubamba, también conocido como el "Valle Sagrado de los Incas", ubicado en el departamento del Cusco. La planta florece a altitudes que oscilan entre los 2,750 y 2,950 metros sobre el nivel del mar. El maíz predominante en esta región es la variante blanco Urubamba, que representa más del 90% del área sembrada. Anualmente, se siembran alrededor de 7,000 hectáreas destinadas a la producción de granos y 1,000 hectáreas para la producción de choclo destinado al consumo familiar. El maíz blanco Urubamba se destaca por su tamaño excepcional, su textura suave y la alta calidad de sus granos<sup>25</sup>.



**Figura 1.** “maíz” raza *Cusco gigante*.

**Fuente:** Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA 2013

#### b) Kculli

La excepcionalidad de estos granos se atribuye a la contaminación de polen proveniente de otra variedad que presenta granos morados debido al color de la aleurona, en lugar del color del pericarpio (que suele ser más bien negro) y al marlo

característico de la raza *kculli* del Perú. La herencia del color de la aleurona en el grano es sumamente compleja, ya que varios genes ubicados en cromosomas diferentes interactúan para producir dicho color.

El color negro que baña al grano es color del pericarpio. Las mazorcas tienen todos los granos del color morado, en esta raza no se dan mazorcas con granos de otro color; todos los granos son negros, morados o rojos sin variantes entre granos.

Por genética, el color del grano es similar al color de la coronta. La raza *kculli* se encuentra entre los 2874 hasta 3274 metros sobre el nivel del mar<sup>26</sup>.



**Figura 2.** “maíz” raza *kculli*.

**Fuente:** Ministerio del Ambiente - Dirección de recursos genéticos y bioseguridad –2018

### c) Jora

Este maíz pertenece al grupo de Raza Incipiente y, en la actualidad, algunas variedades, como esta, se consideran en peligro de extinción debido a su cosecha infrecuente en regiones como Lima, Ancash y Cajamarca. Estas variedades se destacan por ser plantas altas, alcanzando una altura de 2.50 metros, y presentan un característico color verde rojizo.

Florece aproximadamente a los 100 días, sus mazorcas son medianas y cilíndricas de 15 cm. de largo y 5 cm. de diámetro y 14 hileras regulares. Los granos son medianamente anchos, con endospermo de color blanco harinoso o cristalino, la tusa es blanca, roja o marrón. Se produce principalmente en el norte centro del país, en el pequeño valle costero del distrito de Huarmey en Ancash<sup>27</sup>.



**Figura 3.** “maíz” raza *jora*.

**Fuente:** Salhuana W. Diversidad y descripción de las razas de “maíz” del Perú – 2014

#### **d) Chaparreño**

Este maíz, conocido como "*chaparreño*", recibe su nombre de un agricultor del departamento de Arequipa y se cultiva principalmente en diversas zonas de la costa sur del Perú, desde el departamento de Ica hasta Tacna. Las plantas de *chaparreño* alcanzan una altura de 1.70 metros y tienen un color verde distintivo con 12 hojas, tardando aproximadamente 80 días en florecer. Las mazorcas son pequeñas y cilíndricas, con dimensiones de 11 cm de largo y 4 cm de ancho, presentando 14 hileras que se distribuyen de manera irregular. Los granos son de tamaño mediano, alargados y delgados, con un endospermo blanco y harinoso, a veces con tonalidades amarillas. La aleurona puede tener un tono púrpura, el pericarpio es incoloro y la tusa es blanca. El *chaparreño* tiende a florecer principalmente a bajas altitudes, comprendidas entre los 10 y 500 metros sobre el nivel del mar, en los valles que se extienden desde el río Tambo (Arequipa) hasta el valle del río Rímac, cerca de la ciudad de Lima<sup>26</sup>.



**Figura 4.** “maíz” raza *chaparreño*

**Fuente:** Ministerio del Ambiente - Dirección de recursos genéticos y bioseguridad – 2018

### **2.2.2 Metales pesados**

Se trata de un grupo de elementos químicos con una densidad considerablemente alta (superior a 7 g/cm<sup>3</sup>) que se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo de la corteza terrestre. Estos metales pesados ingresan y contaminan las plantas comestibles a través de diversas vías, como el aire, el agua y el suelo. La forma en que los metales pesados ingresan a las plantas varía según la ubicación, que puede estar cerca de actividades mineras, el tipo de suelo presente, así como las prácticas de cuidado y mantenimiento utilizadas en la agricultura. Además, la capacidad de absorber y acumular metales en su estructura difiere entre diferentes tipos de plantas. Este proceso de absorción constituye el primer eslabón para la introducción de metales tóxicos en la cadena alimentaria.<sup>28</sup>

La absorción y acumulación de elementos tóxicos se da principalmente siguiendo el curso desde el suelo, dependiendo de su composición de minerales, a la raíz y luego asciende a la planta en general. Si la planta tiene a un tubérculo como principal elemento comestible, entonces los metales pesados pueden acumularse incluso con altas concentraciones en este elemento comestible.<sup>29</sup>

Una forma de reducir la exposición y acumulación de las plantas a los elementos tóxicos es modificando las propiedades del suelo, ya sea variando su pH entre 6.5 y 7.0, que son los óptimos para mejorar la productividad, trabajar con la materia orgánica para mejorar el potencial de óxido reducción y su capacidad de cambio catiónico. Los metales pesados ingresan principalmente a los organismos vivos, sean animales o humanos, a través de las plantas, por lo que es necesario reducir al máximo la exposición de los suelos con altos niveles de metales tóxicos.<sup>20</sup>

#### **2.2.2.1 Fuentes de contaminación del suelo por metales pesados**

Los suelos se contaminan principalmente por actividades hechas por la mano del hombre, como la explotación minera, los cultivos que utilizan grandes cantidades de componentes químicos, agua de relaves, entre otros, pero también por la composición natural de los suelos producto de la evolución de la corteza terrestre.<sup>30</sup>

##### **a) Natural**

Los metales pesados se concentran de forma natural en los suelos a través del proceso de meteorización, este acúmulo, en los niveles de concentración de los suelos, se traslada a los vegetales de cultivos, los cuales alcanzan niveles tóxicos, que son transportados posteriormente a los individuos que la consumen, y por sus propiedades de bioacumulación, causar también efectos nocivos en los seres vivos. Los elementos

más abundantes en los suelos de la corteza terrestre son el manganeso, cromo, zinc, níquel y plomo. En cambio, el cadmio se genera principalmente por la actividad volcánica desde donde son vertidos a la atmósfera y consecuentemente a los suelos adyacentes.<sup>31</sup>

#### **b) Antropogénico**

La contaminación del suelo, y como resultado, de los cultivos, se origina debido a la intervención humana a través de diversas actividades de explotación. Esto puede incluir la minería, la gestión de relaves, la explotación petrolera que a menudo contamina las fuentes de los ríos, la búsqueda ilegal de oro y la actividad industrial. Además, la contaminación puede surgir de la propia actividad agrícola, especialmente cuando se utilizan grandes cantidades de plaguicidas que contienen compuestos de metales pesados<sup>31</sup>. La introducción de metales en los suelos agrícolas ocurre principalmente a través de diversos medios, como fertilizantes, plaguicidas, estiércol y también a partir de la atmósfera<sup>32</sup>. Un caso ilustrativo sería el aporte significativo de cadmio por parte de los fertilizantes fosfatados. Además, en la gestión de plagas, se han empleado sales de zinc, así como arseniatos de cobre y plomo<sup>33</sup>.

Igualmente, el agua de riego y la creciente adopción de enmiendas orgánicas, como el compost y los residuos vegetales, que representan alternativas a los fertilizantes inorgánicos, así como los biosólidos, incluyendo lodos de depuradora y compostas elaborados a partir de residuos sólidos urbanos o industriales, constituyen fuentes significativas de metales en los suelos agrícolas<sup>34</sup>

Hoy en día, prácticamente, toda la corteza terrestre destinada a cultivos agrícolas ha sido afectada por la mano del hombre, de tal manera que se hace muy difícil encontrar zonas en las que la intervención del hombre no haya tenido que ver con la contaminación de los suelos, sobre todo en el continente europeo, en donde se inició desde hace muchas décadas la contaminación por la mano del hombre.<sup>35</sup>

#### **c) Residuos orgánicos**

Los residuos orgánicos utilizados como enmiendas en los suelos agrícolas incrementan el contenido de materia orgánica, produciendo un efecto positivo gracias a un mayor aporte de micronutrientes, que mejora la producción de la agricultura.<sup>36</sup>

No obstante, cuando las enmiendas se ven afectadas por contaminantes y metales pesados, se limitan sus efectos beneficiosos, lo que reduce la capacidad de los residuos orgánicos para mejorar la calidad del suelo en la agricultura y evita posibles

problemas asociados con un exceso de metales<sup>37</sup>.

#### **d) Agua de riego y productos químicos**

El uso no regulado de fertilizantes y plaguicidas desempeña un papel crucial en la contaminación de suelos destinados a cultivos, ya que estos productos a menudo contienen altos niveles de metales pesados. Cuando se utilizan sin respetar las normativas agronómicas, los residuos químicos de estos compuestos se acumulan en el suelo y el subsuelo, llegando incluso a contaminar el manto freático. Por ejemplo, estudios indican que, de todos los plaguicidas utilizados, menos del 1% actúa efectivamente sobre la plaga, mientras que el resto de los compuestos se dispersa en el medio ambiente, contaminando suelo, agua y la biota. Por este motivo, se vuelve cada vez más necesario adoptar prácticas de cultivo orgánico para reducir el riesgo de acumulación de metales pesados que podrían llegar eventualmente a la mesa de los consumidores<sup>30</sup>

#### **e) Minerías y refinerías**

La explotación minera desempeña un papel crucial en la economía de numerosos países, centrándose en la extracción de metales como cobre, zinc, plata, cadmio y plomo. Sin embargo, cuando esta actividad no está debidamente regulada, tanto las grandes empresas mineras como la minería informal pueden tener un impacto negativo significativo en el medio ambiente. Esto se debe a los desechos mineros, como los relaves, y a las aguas de tratamiento que son vertidas a los ríos, contenidas con altas concentraciones de metales tóxicos. Este impacto afecta al medio ambiente desde el subsuelo hasta los suelos de cultivo, los cuerpos de agua y la atmósfera.<sup>38</sup>

Las operaciones mineras no reguladas, en consecuencia, resultan en la contaminación por metales pesados, que, al afectar las aguas y los suelos de cultivo, inciden directamente en la salud humana a través del consumo de productos vegetales con elevados niveles de estos metales.<sup>39</sup>

#### **f) Fertilizantes**

Los fertilizantes elaborados con elementos fosfatados derivados de la roca fosfórica son una de las vías principales para la contaminación de los cultivos por cadmio, uno de los elementos metálicos considerado como metal pesado. Su falta de regulación en su concentración de los productos fertilizantes fosfatados puede dar lugar a altos contenidos de cadmio en la tierra cultivable que exceda los niveles considerados aceptables. La roca fosfórica ha sido considerada en los últimos tiempos como alternativa económica para reemplazar a muchos fertilizantes que son más caros

en el mercado internacional. En ese sentido, muchos agricultores en el Perú han optado por utilizar esta alternativa, y la importación de fosfato diamónico se ha incrementado, por ejemplo, de 157 298 toneladas en el 2013 a 172 501 toneladas el 2014. Asimismo, dada su creciente demanda, muchos países, entre ellas el Perú, han encontrado importantes reservas para su comercialización, por lo que su consumo en nuestro medio se ha incrementado y consecuentemente se ha elevado el riesgo de exposición a cadmio e incluso de otros oligoelementos.<sup>40</sup>

#### **2.2.2.2 Arsénico**

Pertenece al grupo de los metaloides, también conocidos como semimetales. Este elemento está ampliamente distribuido en la corteza terrestre en sus tres estados alotrópicos: gris, negro y amarillo. Por lo general, el arsénico se encuentra combinado con oxígeno, cloro o azufre, dando lugar al arsénico inorgánico. Cuando se combina con carbono e hidrógeno, se forma el arsénico orgánico. El arsénico gris es la forma más estable, mientras que el arsénico en estado negro es un polvo amorfo que, a 360 grados, se convierte en estado gris. Entre los compuestos de arsénico más utilizados se encuentran el anhídrido arsénico, el arseniato de calcio, el tricloruro de arsénico y los arsenitos. Tanto los compuestos inorgánicos como los orgánicos de arsénico suelen ser polvos de color blanco, sin capacidad de evaporación, sin olor y sin un sabor distintivo. Por esta razón, cuando se encuentra en alimentos, agua o aire, el arsénico puede pasar desapercibido. Sus compuestos más comunes en la naturaleza se forman en sulfuros.<sup>41</sup>

##### **a) Propiedades físico –químicas**

Se trata de un metaloide de color gris metálico que presenta propiedades tanto de metal como de elemento no metálico. Aunque se le denomina con frecuencia como metal, su número atómico es 33 y exhibe cuatro estados de oxidación: -3, 0, +3 y +5. Los compuestos que forma tienen baja conductividad, lo que confiere propiedades tanto metálicas como no metálicas. Cuando se combina con oxígeno (O<sub>2</sub>), azufre (S) y cloro (Cl), se conoce como arsénico inorgánico, y cuando se combina con carbono (C) e hidrógeno (H), se denomina arsénico orgánico. También puede encontrarse en forma de gas arsina. El arsenito (As<sup>+3</sup>) y el arsenato (As<sup>+5</sup>) son los compuestos más comunes de arsénico inorgánico.<sup>42</sup>

La humedad tiene la capacidad de oxidar el arsénico fácilmente, formando una capa de anhídrido arsenioso que lo recubre. Cuando se somete a calor en hornos, la

mayor parte del arsénico se libera en forma de un polvo fino que contamina la atmósfera, adoptando la forma de anhídrido arsenioso, la cual es altamente tóxica para los seres humanos. El arsénico puede formar trihalogenuros al combinarse con halógenos y sulfuros de arsénico al interactuar con azufre. El arsénico no puede ser destruido, solo puede cambiar de forma al vincularse con el aire, el agua o el suelo. En polvo, el arsénico transportado por el viento se presenta en partículas más grandes, pero al unirse a partículas pequeñas puede permanecer suspendido en el aire durante varios días y desplazarse a largas distancias. Algunas formas alotrópicas del arsénico son sensibles a la luz, así como algunos trihalogenuros. El arsénico puede reaccionar con ácidos fuertes como el nítrico o el sulfúrico, dando lugar a reacciones violentas y explosivas. Aunque el arsénico elemental, también conocido como arsénico metálico, es un sólido de color gris acero, en el entorno se encuentra comúnmente combinado con otros elementos como oxígeno, cloro y azufre.<sup>43</sup>

#### **b) Exposición al arsénico**

La presencia de arsénico en los alimentos puede constituir una fuente significativa de exposición para los seres humanos, incluso mayor que la proveniente del agua de consumo. La concentración de arsénico en los alimentos varía; tanto los de origen animal como vegetal generalmente contienen entre 0,1 y 0,9 mg/g de arsénico. La cantidad total de arsénico consumido dependerá de su concentración en los alimentos y del porcentaje que estos representen en la dieta. La leche bovina y los productos cárnicos son elementos fundamentales en la alimentación humana. No obstante, el hígado y los riñones de bovinos son los tejidos donde se registran con frecuencia las concentraciones más altas de arsénico. Esta acumulación de arsénico en estos tejidos podría plantear riesgos para los consumidores. El arsénico puede provenir tanto del agua de consumo como de los alimentos, y existe la posibilidad de que los animales lo bioacumulen en sus tejidos o lo excreten a través de heces y orina. La movilidad del arsénico en el ambiente está vinculada a diversos factores, incluida la composición química del agua y las condiciones climáticas, entre otros.<sup>44</sup>

#### **c) Toxicocinetica del arsénico**

Absorción: El arsenito ( $As+3$ ) muestra una mayor solubilidad en los lípidos, mientras que la absorción del arsenato ( $As+5$ ) es más efectiva en el intestino. La absorción del arsénico inorgánico a través de la vía digestiva, disuelto en agua, alcanza un porcentaje del 95%. Las partículas de arsénico de mayor tamaño tienden a

depositarse en las vías respiratorias superiores, mientras que las partículas más pequeñas, menores de 7  $\mu\text{m}$ , se absorben en un rango de entre el 75% y el 85%.<sup>42</sup>

**Distribución y metabolismo:** Una vez absorbido, el arsenito ( $\text{As}+3$ ) se introduce en el torrente sanguíneo. En las siguientes 24 horas, se distribuye principalmente en el hígado, pulmones, riñones y bazo. Se une principalmente a los grupos tiol de las proteínas, como la queratina, formando conglomerados. En el tejido óseo, compite con el fósforo presente, desplazándolo y pudiendo permanecer allí durante períodos prolongados. El metabolismo principal tiene lugar en el hígado y se sugiere que involucra dos procesos: la reducción del arsenato ( $\text{As}+5$ ) a arsenito ( $\text{As}+3$ ) y la metilación oxidativa del arsenito ( $\text{As}+3$ ) en especies metiladas.<sup>42</sup>

**Excreción:** El arsénico tiene una vida media breve, que oscila entre 4 y 5 días. Se elimina principalmente a través del sistema renal en forma de ácido dimetilarsínico (DMA), representando entre el 50 % y el 70 % del total, mientras que alrededor del 20 % se excreta sin haber experimentado metilación. La capacidad de biotransformación y metilación del arsénico depende de su forma química, la dosis ingerida, el tiempo de exposición, así como de una dieta rica en metionina y proteínas.<sup>42</sup>

#### **d) Toxicodinamia del arsénico**

La toxicodinamia del arsénico es intrincada y depende de varios factores, incluyendo la vía de ingreso, la valencia y la forma química. La intoxicación generalmente es causada por el arsénico de naturaleza inorgánica, siendo la arsina el compuesto más tóxico debido a su acción como potente agente hemolítico. El arsénico forma enlaces covalentes con el azufre presente en los grupos tiol (-SH). Esta reacción implica que el arsénico inorgánico solo puede participar en las reacciones con la asistencia del agua; por lo tanto, sus compuestos inorgánicos en estado sólido no pueden interactuar hasta que sean reducidos.<sup>42</sup>

#### **e) Efectos a la salud por exposición al arsénico**

El arsénico se absorbe a través de la vía digestiva, respiratoria y dérmica. Una vez en el organismo, se une a la hemoglobina y otras proteínas, volviéndose sistémico y afectando órganos como el hígado, bazo, pulmones, intestino y piel. Interfiere e inhibe varios procesos enzimáticos, incluida la fosforilación oxidativa. El arsénico inorgánico, especialmente en su estado trivalente, es altamente tóxico. En contraste, los compuestos de arsénico orgánicos, presentes en peces y mariscos contaminados,

son menos tóxicos cuando se consumen. El trióxido de arsénico, también conocido como arsina, daña los glóbulos rojos al inhibir el glutatión, provocando hemólisis característica. Este metaloide atraviesa la barrera hematoencefálica, causando neurotoxicidad, y la barrera placentaria, lo que puede resultar en niños con bajo peso al nacer, malformaciones o toxicidad fetal. Además, inhibe el sistema inmunitario, afectando a los linfocitos, y aumenta el riesgo de desarrollar cáncer, particularmente en el hígado, la vejiga y los pulmones con exposición crónica.<sup>7</sup>

La intoxicación por arsénico puede manifestarse de dos maneras: como toxicidad aguda y como toxicidad crónica. La inhalación de arsina puede llevar a la muerte en cuestión de minutos si la concentración en el aire alcanza los 5 mg/m<sup>3</sup>.<sup>7</sup>

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer clasifica a los compuestos de arsénico inorgánico como carcinógenos de pulmón y piel, perteneciendo a la Clase I, lo cual indica que hay evidencia suficiente para considerarlos carcinógenos para los seres humanos.<sup>7</sup>

La concentración máxima de arsénico permitida en un entorno industrial es de 0.5 ppm (partes por millón). En alimentos, se permite hasta 3.5 ppm. En el tabaco, se ha encontrado hasta 13 ppm, originado por plaguicidas utilizados en la planta de tabaco.<sup>7</sup>

### **2.2.2.3 Cadmio**

El cadmio es un elemento que se encuentra naturalmente asociado a varios minerales. Su obtención se realiza como subproducto del tratamiento metalúrgico del zinc y del plomo, a partir del sulfuro de cadmio. En este proceso, se produce el óxido de cadmio, un compuesto altamente tóxico.<sup>45</sup>

#### **a) Propiedades físico – químicas**

El cadmio tiene un peso atómico de 112.4, un número atómico de 48, una densidad de 8.6 g/cm<sup>3</sup>, un punto de fusión de 320.9 °C y un punto de ebullición de 765 °C. Su forma cristalina es hexagonal, y se presenta como un metal plateado-blanco maleable. En cuanto a su estado de oxidación, comúnmente se encuentra en el estado de +2.<sup>46</sup>

Las formas solubles del cadmio son las más móviles y se encuentran comúnmente en el agua y el aire. Por otro lado, su forma menos móvil se halla en el suelo, donde puede formar compuestos tanto solubles como insolubles al asociarse con diversos elementos del suelo para crear complejos orgánicos o inorgánicos. Los

halogenuros, como el sulfato y el nitrato, son relativamente solubles, mientras que el óxido, el hidróxido y el carbonato son insolubles en agua.<sup>47</sup>

El cadmio es liberado al medio ambiente durante su proceso de refinación y fundición, principalmente en forma de óxido de cadmio. Este compuesto representa un riesgo potencial para la salud humana y se convierte en uno de los elementos más tóxicos resultado de la contaminación ambiental. El cadmio puede causar efectos adversos debido a su capacidad de bioacumulación, su persistencia en el medio ambiente y su capacidad para transportarse a largas distancias con la ayuda del viento y el flujo de los ríos.<sup>48</sup>

El aumento del contenido de cadmio en el suelo conlleva a un aumento en la absorción de cadmio por parte de las plantas, lo que aumenta la susceptibilidad de la exposición humana a través de los cultivos agrícolas. Las plantas tienden a absorber una mayor cantidad de cadmio del suelo cuando el pH del suelo es bajo. Además, organismos alimentarios que viven en libertad, como crustáceos y hongos, tienen la capacidad de acumular naturalmente cadmio. En seres humanos, caballos y algunos animales terrestres salvajes, la concentración de cadmio tiende a aumentar en el hígado y los riñones. El consumo regular de estos productos puede incrementar la exposición al cadmio.<sup>49</sup>

#### **b) Exposición al cadmio**

Los alimentos constituyen la principal fuente de cadmio en personas que no están ocupacionalmente expuestas. Cuando se cultiva en suelos contaminados con cadmio, algunos cereales, como el arroz, tienen la capacidad de acumular cantidades significativas de este metal.<sup>46</sup>

En los cuerpos de agua naturales, el cadmio se ubica principalmente en los sedimentos del lecho y en partículas suspendidas, generalmente con niveles bajos de concentración. Las cantidades de cadmio en aguas no contaminadas suelen estar por debajo de 1 µg/l. En el contexto del país, específicamente en el Río Rímac, se registró el valor máximo de este metal, alcanzando los 100 µg/l. La contaminación del suministro de agua potable puede derivar de impurezas de cadmio presentes en el zinc de tuberías galvanizadas o en las soldaduras que contienen cadmio, como parte de sus componentes, así como en calentadores de agua, enfriadores y grifos. La infiltración de cadmio desde sedimentos hasta aguas subterráneas, en forma de óxidos de cadmio, también puede representar una vía para la contaminación del suministro de agua

potable. Por lo general, el agua potable no presenta concentraciones de cadmio que superen los 0.005 mg/l. No obstante, se han identificado niveles elevados de cadmio en suministros de agua cercanos a industrias que emiten cadmio como parte de sus procesos.<sup>46</sup>

En la atmósfera, el cadmio, en formas como óxido, cloruro o sulfato, se presenta en partículas o vapores, resultantes de procesos que implican altas temperaturas. Estas partículas o vapores tienen la capacidad de ser transportados a largas distancias en la atmósfera antes de depositarse en la superficie del suelo o del agua. La concentración de cadmio en el aire ambiente suele ser generalmente baja.<sup>46</sup>

### **c) Toxicocinética del cadmio**

**Absorción:** La absorción del cadmio ingerido a través del tracto gastrointestinal normalmente oscila entre el 2 % y el 6%. Sin embargo, en individuos con bajas reservas de hierro y, por ende, bajos niveles de ferritina en su suero, la absorción de cadmio puede aumentar significativamente, alcanzando hasta un 20 % de la dosis ingerida. Además, la absorción de cadmio puede ser más elevada en condiciones de deficiencia de calcio, proteínas y zinc. En cuanto a la absorción a través del sistema respiratorio, esta es la más eficiente, ya que entre el 10 % y el 50 % de las partículas inhaladas se depositan en la región alveolar del pulmón, y la mayoría en el resto de la mucosa traqueobronquial. Estas partículas son posteriormente transportadas a la faringe y depositadas en el tracto gastrointestinal.<sup>50</sup>

**Distribución y metabolismo:** El cadmio que se absorbe se distribuye en todo el cuerpo, siendo el hígado y los riñones los órganos con concentraciones más elevadas. No se ha demostrado que el cadmio experimente conversiones metabólicas directas. Este metal tiene una fuerte afinidad por los grupos sulfhidrilo de la albúmina y la metalotioneína. En el plasma, el cadmio se transporta al unirse a la metalotioneína (MT), una proteína de bajo peso molecular, y/o a ciertas proteínas de alto peso molecular. La acumulación de cadmio se produce en varios tejidos, con semividas particularmente largas (10-30 años) en músculos, huesos, riñones e hígado. Una vez absorbido, el cadmio se retiene eficientemente en el organismo y se acumula a lo largo de la vida. En recién nacidos, la presencia de cadmio es casi nula, pero a la edad de 50 años, la carga corporal puede aumentar hasta 20-30 mg, llegando a valores tan altos como 200-300 mg en personas expuestas ocupacionalmente. El cadmio se concentra especialmente en órganos vitales, como los riñones. A niveles bajos de exposición,

que son comunes en el entorno general, entre el 30 % y el 50 % de la carga corporal de cadmio se encuentra en los riñones. Un estudio reveló que las personas, especialmente las mujeres, con bajos depósitos de hierro absorben aproximadamente cuatro veces más cadmio que aquellas con almacenamiento normal de hierro. La deficiencia de hierro o las reservas bajas de hierro, indicadas por bajos niveles de ferritina sérica, aumentan la absorción de cadmio en seres humanos.<sup>46</sup>

**Excreción:** Una vez que el cadmio es absorbido, se excreta de manera limitada y lenta, lo que resulta en un aumento de la concentración de cadmio con la edad y el tiempo de exposición. La mayor parte del cadmio ingerido o inhalado, aproximadamente el 95 %, se transporta a través de la mucociliar al aparato digestivo, pero no se absorbe de manera significativa en el tracto gastrointestinal, siendo excretado en las heces. Después de la absorción, la principal vía de eliminación del cadmio es a través de la orina, y se considera que el cadmio en la orina refleja la carga corporal total de cadmio. Diariamente, se elimina alrededor del 0.007 % del contenido corporal de cadmio por la orina y el 0.03 % por las heces.<sup>50</sup>

#### **d) Toxicodinamia del cadmio**

El cadmio es un xenobiótico y, por lo tanto, un metal tóxico y no esencial para el organismo que se acumula en los tejidos humanos. El riñón es más susceptible al cadmio que el pulmón e hígado, y el epitelio del túbulo renal proximal es particularmente vulnerable. La afectación se manifiesta mediante el aumento de proteínas de bajo peso molecular, causando "proteinuria de peso molecular bajo". Al mismo tiempo, se produce una alteración en la filtración glomerular debido a cambios en la restricción electrostática para la filtración de proteínas polianiónicas, lo que disminuye su reabsorción y resulta en un aumento de la excreción urinaria de proteínas de alto peso molecular, generando proteinuria de peso molecular alto.<sup>50</sup>

#### **e) Efectos a la salud por exposición al cadmio**

El cadmio puede ingresar al organismo a través de las vías inhalatoria, oral y dérmica. La vía inhalatoria presenta una mayor absorción, y el cadmio está asociado al tabaco, ya que un cigarrillo contiene de 1.5 a 2 µg de cadmio. De esta cantidad, alrededor del 70% se inhala en forma de humo, absorbiéndose cerca del 60% de esta fracción y llegando al torrente sanguíneo. Sin embargo, la forma más común de contaminación, que genera mayores índices de toxicidad, se produce mediante la ingesta de agua y alimentos contaminados, afectando en mayor grado a los niños y

adultos mayores. Cabe destacar que el cadmio casi no se absorbe por la piel, y esta forma de transmisión se considera de poca importancia.<sup>8</sup>

La toxicidad del cadmio depende de la vía de ingreso al organismo, su forma de presentación, la carga de dosis y la solubilidad de sus compuestos. En entornos laborales, la absorción está asociada principalmente a las vías inhalatorias, con concentraciones que superan los 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el ambiente laboral, conocidas como "fiebre por humos metálicos". Concentraciones mayores de 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  se relacionan con neumonitis química, y niveles por encima de los 5.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  se consideran altamente letales. La vía digestiva, absorbida a través de la alimentación, se considera uno de los factores más peligrosos para la salud humana, ya que el cadmio tiene la propiedad de bioacumularse en el organismo. Por lo general, a través de los alimentos se absorben entre 10 y 20  $\mu\text{g}/\text{día}$  de cadmio, cifras comunes en la mayoría de los países. Sin embargo, el consumo de niveles por encima de los 100  $\mu\text{g}$  puede provocar síntomas gastrointestinales, y por encima de los 350  $\mu\text{g}$ , el riesgo para la salud es grave. El cadmio tiene una vida media en el organismo humano que varía entre 15 y 40 años, y al ser bioacumulable, incluso a dosis bajas puede generar concentraciones elevadas debido al tiempo prolongado de exposición.<sup>8</sup>

#### **2.2.2.4 Plomo**

El plomo se encuentra en forma natural en los suelos y se encuentra formando parte del medio ambiente también a través del aire, el agua y la tierra misma. Se encuentra asociado a la producción de pilas, municiones, gasolina y también en las soldaduras y tuberías. Debido a su toxicidad su uso en los últimos años se ha reducido drásticamente prohibiéndose su uso en la gasolina, pinturas, cerámicas, soldadura de tuberías, entre otras. Aun así, continúa siendo utilizado en algunos sectores para la fabricación de baterías, aleaciones metálicas, fertilizantes, pesticidas, entre otros.<sup>51</sup>

El plomo es una sustancia tóxica para el humano, tiene la propiedad de bioacumularse en el organismo principalmente en los dientes y huesos y puede alcanzar el cerebro, el hígado y los riñones; igualmente el plomo es también perjudicial para los animales. El plomo no es un elemento común que se la pueda encontrar en el agua de consumo, sin embargo, es a través de una serie de procesos industriales como es introducido al medio ambiente y a las personas, como la fabricación de pinturas, pigmentos, aditivos de gasolina, entre otros. Por sus propiedades de ser bioacumulables, puede afectar al sistema nervioso, la sangre y los riñones.<sup>52</sup>

Afortunadamente, durante los últimos años las legislaciones de los países han

optado por disminuir el uso de plomo a fin de evitar mayor exposición en las personas, ya sea aboliendo su uso en la gasolina, pero también prohibiéndolo en diversas actividades como las soldaduras, el envasado de alimentos y de bebidas. El plomo, en las aguas contamina los cultivos y la ganadería, y vertidos en los ríos contaminan a los peces, llegando finalmente a contaminar a las personas por su consumo a través de frutas, verduras, vísceras, entre otros. El plomo no cumple ningún papel en el metabolismo del ser humano, sin embargo, puede ser consumida diariamente a través de la corrosión de las tuberías que se degradan y vierten el elemento en el torrente del agua potable.<sup>53</sup>

#### **a) Propiedades físico –químicas**

El plomo posee un peso atómico de 207.19; densidad de 11.3 g / cm<sup>3</sup>; punto de fusión de 327.5 ° C; punto de ebullición de 1740 °C; el plomo en compuestos inorgánicos generalmente tiene el estado de oxidación II, pero IV también puede presentarse. El plomo metálico es difícil de disolver en agua, pero se disuelve en ácido nítrico y ácido sulfúrico concentrado. La mayoría de las sales de plomo (II) son difíciles de disolver (por ejemplo, sulfuro y óxidos de plomo), pero se encuentran excepciones, por ejemplo, el nitrato de plomo, el clorato de plomo, y en cierta medida, el sulfato de plomo y el cloruro de plomo. Además, algunos las sales (por ejemplo, oxalato de plomo) son insolubles con ácidos orgánicos.<sup>46</sup>

#### **b) Exposición al plomo**

A pesar de los esfuerzos recientes para reducir los niveles de plomo en productos alimenticios y mejorar los análisis químicos, la dieta sigue siendo una fuente significativa de exposición al plomo. Se ha observado una reducción considerable en los contenidos de plomo en productos alimenticios, gracias a las medidas para disminuir las emisiones de plomo desde su origen y a los avances en los métodos analíticos para garantizar la calidad. A pesar de esto, algunos alimentos siguen siendo considerados fuentes significativas de plomo. Tradicionalmente, el vino ha sido identificado como uno de estos alimentos, al igual que la leche en polvo, donde se han encontrado concentraciones de plomo hasta 272 veces mayores que el límite máximo establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0.02 mg/Kg para la leche). Otros productos alimenticios que contribuyen a la exposición incluyen pan y bollos (8.5%), té (6.2%), agua del grifo (6.1%), patatas y productos de patata (4.9%), leche fermentada (4.2%), cerveza y bebidas similares a la cerveza (4.1%).<sup>46</sup>

El agua potable representa una fuente potencial de exposición al plomo, lo cual puede plantear riesgos para la salud humana, especialmente porque el plomo se utilizaba en la fabricación de tuberías de agua potable. La concentración de plomo en el agua potable puede variar significativamente. Por ejemplo, se han reportado ingestas de aproximadamente 1 µg/día o menos en Suecia. En contraste, un estudio realizado en Hamburgo, Alemania, en un área con tuberías de plomo comunes en sistemas de tuberías antiguas, reveló una variación considerable en las concentraciones, con un promedio de plomo en el agua del grifo de 15 µg/l. Las agencias reguladoras generalmente supervisan los niveles de plomo en las plantas de tratamiento de agua y/o en los sistemas de distribución de agua. Sin embargo, la exposición al agua potable también ocurre dentro de los hogares.<sup>46</sup>

La exposición a través del aire ambiente ha estado históricamente vinculada al uso de gasolina con plomo. Sin embargo, desde la eliminación de la gasolina con plomo, los niveles de plomo en el aire generalmente son bajos y contribuyen solo mínimamente a la exposición general. Algunas actividades recreativas y profesionales, como disparar en interiores, trabajar con cerámica (especialmente en la aplicación de esmaltes con plomo) y participar en deportes de motor, donde los vehículos utilizan gasolina con plomo, pueden resultar en exposición por inhalación a este metal. Esta exposición también puede conducir a la ingestión oral, ya que las partículas de plomo eventualmente se depositan en el suelo, contaminando alimentos, agua potable o las manos, lo que lleva a su ingestión. En consecuencia, las fuentes de plomo inhalado a menudo también son fuentes de plomo ingerido.<sup>46</sup>

Las concentraciones de plomo en el suelo reflejan emisiones pasadas y la acumulación del contaminante en el compartimento del suelo, lo que significa que representan una contaminación histórica. Cambios drásticos o a corto plazo en el nivel de exposición de este medio debido a una reducción en la contaminación del aire y la deposición reducida no son probables. El polvo, tanto en los hogares como en las calles, así como el suelo, pueden contener concentraciones elevadas de plomo y actuar como fuentes importantes de exposición para los niños. En particular, el polvo en hogares con pintura a base de plomo, así como el suelo alrededor de industrias que emiten plomo, puede contener niveles significativos de este metal.<sup>46</sup>

### **c) Toxicocinética del plomo**

Absorción: Después de la ingestión de plomo, la absorción de este metal

dependerá de factores como la forma, el tamaño, el tránsito gastrointestinal, el estado nutricional y la edad. La absorción es mayor cuando las partículas son pequeñas, hay deficiencia de hierro y/o calcio, se consume una gran cantidad de grasa o hay una ingesta inadecuada de calorías, el estómago está vacío, y en el caso de niños, ya que su absorción de plomo es del 30% al 50%, mientras que en adultos es del 10%. Por vía inhalatoria, la absorción ocurre mediante la inhalación de vapores, humos y polvo fino. El paso del plomo del compartimento pulmonar a la sangre se produce por difusión tras la disolución de las partículas. La absorción por exposición respiratoria varía entre el 50% y el 100%. Condiciones como sales solubles en grasas, presencia de solventes orgánicos, partículas finas, reducción de la humedad, aumento de la frecuencia respiratoria, aumento de la temperatura, reducción de la mucosidad e inflamación pulmonar pueden aumentar la absorción del plomo por esta vía. La absorción a través de la piel solo es relevante en el contacto con compuestos orgánicos, como el tetraetilo de plomo.<sup>50</sup>

Distribución y metabolismo: Después de ser absorbido en la circulación, el plomo se une a los eritrocitos y tiene una eliminación promedio de 35 días, distribuyéndose en los tejidos blandos. Se almacena especialmente en los huesos, donde puede persistir durante varios años. Durante períodos de aumento del metabolismo óseo, como el embarazo o la osteoporosis posmenopáusica, el plomo almacenado en los huesos se libera en la circulación, causando toxicidad. El hígado es el principal depósito de plomo entre los tejidos blandos. En la sangre, la mayor parte del plomo se encuentra en los eritrocitos, con menos del 1 % en el plasma. A concentraciones elevadas de plomo en sangre, la fracción de plomo en el plasma aumenta, generando una relación curvilínea entre el plomo en sangre y el plomo en plasma. Desde el plasma, el plomo distribuido en la sangre se desplaza a otros órganos, incluyendo tejidos blandos. El plomo puede atravesar en cierta medida la barrera hematoencefálica, acumulándose en el hígado y el riñón a concentraciones más altas que en la sangre, siendo más baja en el sistema nervioso central (SNC). El sistema nervioso periférico (SNP) puede acumular considerablemente más plomo que el SNC, y también se distribuye en las gónadas y otras partes del sistema reproductivo masculino. Una proporción significativa del plomo absorbido se incorpora al esqueleto.<sup>46</sup>

Excreción: La eliminación de plomo se realiza principalmente a través de la orina, representando el 76% de la excreción total, mientras que las heces contribuyen

con un 16%. La vía urinaria es claramente la vía principal de eliminación, aunque cantidades menores pueden ser excretadas a través del sudor, la saliva y la leche materna. Además, se eliminan cantidades mínimas de plomo en las uñas y el cabello<sup>50</sup>.

#### **d) Toxicodinamia del plomo**

El plomo tiene efectos en el metabolismo del calcio, especialmente cuando las concentraciones de calcio son bajas. Por ejemplo, interfiere con la bomba de Na-K-ATPasa, lo que resulta en un aumento del calcio intracelular. Esta alteración en el metabolismo del calcio puede tener consecuencias en la neurotransmisión y en el tono vascular, contribuyendo así a la hipertensión y la neurotoxicidad. Además, el plomo afecta la síntesis de hemo, ya que inhibe la formación de hemo en varios puntos del proceso. Las enzimas necesarias para la síntesis de hemo están ampliamente distribuidas en los tejidos de mamíferos, y la inhibición por parte del plomo puede tener efectos significativos en la producción de hemo a nivel celular.<sup>50</sup>

#### **e) Efectos a la salud por exposición al plomo**

El plomo es una sustancia tóxica que se acumula en el organismo, afectando diversos sistemas, con efectos especialmente perjudiciales en los niños pequeños. Se distribuye por todo el cuerpo, llegando al cerebro, hígado, riñones y huesos. Se deposita en dientes y huesos, acumulándose con el tiempo. La exposición al plomo se evalúa comúnmente midiendo su concentración en la sangre. Los niños pequeños son particularmente vulnerables a la intoxicación por plomo, ya que pueden absorber cantidades hasta cuatro o cinco veces mayores que los adultos, dependiendo de la fuente de contaminación.<sup>54</sup>

La exposición al plomo presenta consecuencias graves para la salud de los niños. En casos de exposición elevada, este metal afecta el cerebro y el sistema nervioso central, desencadenando situaciones como el coma, convulsiones e incluso la muerte. Aquellos niños que sobreviven a una intoxicación grave por plomo pueden experimentar secuelas, tales como discapacidad intelectual o trastornos del comportamiento. Se ha observado también que, en niveles de exposición más bajos que no generan síntomas evidentes, el plomo ocasiona daños variados en diversos sistemas del organismo humano. En los niños, este impacto puede influir especialmente en el desarrollo cerebral, resultando en una disminución del cociente intelectual, cambios conductuales, una menor capacidad de concentración y un aumento de conductas antisociales, así como un rendimiento escolar inferior. La

exposición al plomo también conlleva problemas como anemia, hipertensión, disfunción renal, inmunotoxicidad y toxicidad en los órganos reproductores. Se considera que los efectos neurológicos y conductuales asociados al plomo son irreversibles. <sup>(9)</sup>

En cuanto a la toxicidad del metal, esta está vinculada a su biodisponibilidad, que se define como la capacidad del metal para ser transferido de un compartimento ambiental a los organismos vivos. Este proceso se ve afectado por la concentración total del metal, así como por factores fisicoquímicos como el pH, la materia orgánica o el contenido de arcillas. Además, intervienen factores biológicos como la biosorción, la bioacumulación y la solubilización. A diferencia de los compuestos orgánicos tóxicos, los metales no pueden degradarse cuando cambian su estado de oxidación. Existen tres mecanismos a través de los cuales un sistema biológico puede conferir resistencia a metales pesados. El primero implica la disminución de la acumulación de un ion específico mediante su transporte activo fuera de la célula. El segundo implica la segregación de los cationes mediante moléculas que contienen grupos tioles. Por último, se puede dar la reducción de algunos iones metálicos pesados a un estado de oxidación menos tóxico.<sup>55</sup>

#### **2.2.2.5 Metalotioneínas**

Las metalotioneínas (MT) están frecuentemente asociadas con la toxicocinética y bioquímica de metales esenciales y tóxicos como el zinc (Zn), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y cobre (Cu). Descubierta en 1957 por Margoshes y Vallee en células de la corteza renal de caballo, la metalotioneína (MT) fue inicialmente identificada como una proteína con un alto contenido de zinc (Zn). Posteriormente, en 1960, Kagi y Vallee la purificaron y caracterizaron, nombrándola metalotioneína debido a su elevado contenido de metales y residuos de cisteína, marcando así el inicio de una familia de proteínas de bajo peso molecular.<sup>56</sup>

La tioneína unida a metales se conoce como metalotioneína (MT). Cuando la tioneína está unida a un metal en particular, como el zinc, se puede nombrar como zinc-tioneína. Asimismo, cuando contiene dos metales en relaciones atómicas similares, por ejemplo, cadmio y zinc, se denomina (cadmio, zinc)-tioneína.<sup>57</sup>

Las metalotioneínas (MT) aisladas de diferentes órganos de varias especies muestran ciertas propiedades características comunes. Tienen bajo peso molecular (6000-10000), contienen de 6 a 11% de metal y aproximadamente un 30% de cisteína, careciendo completamente de aminoácidos aromáticos. Además, sus iones

metálicos se unen a la proteína a través de los átomos de azufre de tres residuos cisteínicos.<sup>57</sup>

#### a) **Función de la tioneína en las intoxicaciones con metales**

La primera metalotioneína aislada tenía un alto contenido de cadmio, lo que llevó a la suposición de que su función era proporcionar un mecanismo de defensa contra ese catión tóxico y aparentemente no esencial. Piscator (1964) confirmó que en el hígado de conejo se formaban grandes cantidades de metalotioneína en respuesta a la administración repetida de cadmio. Propuso que una vez iniciada la síntesis de tioneína, el animal se hacía resistente al cadmio y podía tolerar altas dosis de este metal. La importancia toxicológica de esta hipótesis estimuló muchas investigaciones sobre la síntesis de metalotioneína en respuesta a la exposición al cadmio y otros cationes bivalentes. Numerosos estudios posteriores demostraron que la exposición prolongada a bajas dosis de cadmio, por inyección o ingestión, puede conducir a la acumulación de altas concentraciones del catión y establecieron claramente que la metalotioneína cumplía una función en la detoxificación. Una alta proporción del cadmio retenido por el animal se acumula en el hígado y los riñones, y la mayor parte se une firmemente a la proteína inducible. Solo una pequeña parte (quizás el 10%) del metal en dichos órganos queda potencialmente disponible para interferir con enzimas esenciales y procesos funcionales. Se reconoce que el mecanismo de detoxificación proporcionado por la síntesis inducible de tioneína no queda restringido al cadmio, sino que probablemente también actúa en condiciones de exposición crónica a bajos niveles de mercurio.<sup>57</sup>

### **2.3 Formulación de la Hipótesis**

#### **2.3.1 Hipótesis General**

Las diversas razas de “maíz” (*Zea mays L.*), *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, comercializadas en el mercado de Caquetá de la ciudad de Lima, durante el periodo de enero a diciembre del 2020, superan los límites de concentración de arsénico, cadmio y plomo, establecidos por los parámetros del *CODEX ALIMENTARIUS* y del MERCOSUR.

#### **2.3.2 Hipótesis Específicas**

Las diversas razas de “maíz” (*Zea mays L.*), *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en el mercado Caquetá – Lima superan la concentración de arsénico establecido por los parámetros del MERCOSUR.

Las diversas razas de “maíz” (*Zea mays L.*), *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en el mercado Caquetá – Lima superan la concentración de cadmio establecido por los parámetros del *CODEX ALIMENTARIUS*.

Las diversas razas de “maíz” (*Zea mays L.*), *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en el mercado Caquetá – Lima, superan la concentración de plomo establecido por los parámetros del *CODEX ALIMENTARIUS* y del MERCOSUR.

Existe correlación entre las concentraciones obtenidas de arsénico, cadmio y plomo en las diversas razas de “maíz” (*Zea mays L.*) expandidas en mercado Caquetá - Lima.

## CAPÍTULO III: METODOLOGIA

### 3.1 Método de investigación

Se empleó el método hipotético-deductivo, que se caracteriza por iniciar con la observación de casos particulares para plantear un problema. A partir de esta observación, se formula una hipótesis mediante un proceso de razonamiento deductivo basado en el marco teórico existente. Posteriormente, se busca validar esta hipótesis a través de evidencia empírica. Este ciclo completo de inducción y deducción constituye el proceso hipotético-deductivo.<sup>58</sup>

### 3.2 Enfoque investigativo

La investigación llevada a cabo adopta un enfoque cuantitativo, que representa una orientación filosófica o método elegido por el investigador para realizar el estudio. Este enfoque se distingue por emplear la recolección y análisis de datos como medios para abordar la formulación del problema de investigación. Además, utiliza métodos y técnicas estadísticas para evaluar la veracidad o falsedad de las hipótesis planteadas.<sup>59</sup>

### 3.3 Tipo de investigación

El estudio llevado a cabo se clasifica como básico, también conocido como investigación teórica, pura o fundamental. Este tipo de investigación tiene como objetivo principal contribuir al desarrollo de un cuerpo organizado de conocimientos científicos y no necesariamente busca obtener resultados de utilidad práctica inmediata.<sup>59</sup>

### 3.4 Diseño de la investigación

El diseño del estudio se ajustó al paradigma no experimental, el cual permite la observación o medición de fenómenos y variables en su contexto natural. En este enfoque, no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente. En este método, las variables independientes ocurren naturalmente y no es posible manipularlas, ya que no se tiene control directo sobre ellas, y no se pueden influir en ellas porque ya han sucedido, al igual que sus efectos.<sup>60</sup>

Asimismo, el estudio fue de nivel descriptivo y corte transversal; en la que se recolectaron las muestras y se midieron las concentraciones de elementos tóxicos como arsénico, cadmio y plomo en las razas de “maíz” (*Zea mays L.*) raza *cusco gigante*, raza *kculli*, raza *jora* y raza *chaparreño* en una sola medición.

### 3.5 Población, muestra y muestreo

#### 3.5.1 Población

La población estuvo conformada por los granos de “maíz” que comercializan diversas razas de “maíz” (*Zea mays L.*) *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, expandidas en mercado Caquetá, durante los meses de enero a diciembre del 2020, las cuales en promedio son 8 kg/día de cada raza, haciendo un total de 240 kg de maíz de cada especie comercializada por mes (30 días), por tanto n= 240 kg.

### 3.5.2 Muestra y muestreo

La muestra fue seleccionada a través del método de muestreo por conveniencia, y estuvo conformada por la selección de 04 tipos de razas de “maíz”, *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, se seleccionaron 05 puestos de expendios de “maíz” y en cada una de ellas se recolectó una porción de 250 gramos de cada raza “maíz”, recolectándose 05 porciones de 250 gramos por cada raza de “maíz”, haciendo finalmente un total de 20 porciones o muestras en las que se determinó las concentraciones de los metales de plomo, cadmio y arsénico.

## 3.6 Variables y operacionalización

### 3.6.1 Variables

#### 3.6.1.1 Variable 1

Razas, *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*.

#### 3.6.1.2 Variable 2

Concentración de plomo, arsénico y cadmio

### 3.6.2 Operacionalización de variables

**Tabla 1. Variable 1**

Variable (X)	Dimensiones	Indicadores
Raza <i>Cusco gigante</i>	5 muestras de “maíz” raza <i>cusco gigante</i> recolectadas de 5 puestos diferentes de enero a diciembre del 2020	“maíz” raza <i>cusco gigante</i> recolectadas de 5 puestos diferentes de enero a diciembre del 2020
Raza <i>kculli</i>	5 muestras de “maíz” raza <i>kculli</i> recolectadas de 5 puestos diferentes de enero a diciembre del 2020	“maíz” raza <i>kculli</i> recolectadas de 5 puestos diferentes de enero a diciembre del 2020
Raza <i>jora</i>	5 muestras de “maíz” raza <i>jora</i> recolectadas de 5 puestos diferentes de enero a diciembre del 2020	“maíz” raza <i>jora</i> recolectadas de 5 puestos diferentes de enero a diciembre del 2020
Raza <i>chaparreño</i>	5 muestras de “maíz” raza <i>chaparreño</i> recolectadas de 5 puestos diferentes de enero a diciembre del 2020	“maíz” raza <i>chaparreño</i> recolectadas de 5 puestos diferentes de enero a diciembre del 2020

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 2. Variable 2**

<b>Variable (Y)</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Niveles de concentración de plomo, arsénico y cadmio.	Concentración de plomo (Pb) mg/kg	MERCOSUR (Mercado Común del Sur) 0,20 mg/kg.
		<i>CODEX ALIMENTARIUS</i> 0,30mg/kg.
	Concentración de arsénico (As) mg/kg	MERCOSUR (Mercado Común del Sur) 0,30 mg/kg.)
	Concentración de cadmio (Cd) mg/kg	<i>CODEX ALIMENTARIUS</i> 0,10mg/kg.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El método analítico empleado en este estudio es la espectrofotometría de absorción atómica con horno grafito y generador de hidruros, que se fue realizado en el laboratorio ACTLABS. El procedimiento se realizó según la metodología para metales GH AAS para el As y GF AAS para el cadmio y Plomo.

#### 3.7.1 Técnicas de laboratorio para medir niveles de arsénico, cadmio y plomo

##### 3.7.1.1. Procesamiento de las muestras

Las muestras fueron sometidas a homogenización con porciones de 100 gramos por cada tipo de muestra y posteriormente se tomaron 50 gramos de cada raza, esto es, raza *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, los cuales fueron procesados en un microondas con la finalidad de depurar la materia orgánica quedando los compuestos metálicos para su cuantificación.

Para obtener un mejor análisis de las muestras, los materiales de laboratorio, como los materiales de vidrio, fueron sometidos a limpieza para evitar sesgos por contaminación y se procedieron a completar los procesos:

- Pesaje de las muestras, con balanzas calibradas.
- Adición de procesos químicos: 6 mL de HNO<sub>3</sub> al 65%, 01 mL de HCl al 37% y 0,5mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%, para su tratamiento en digestor de microondas.
- Posteriormente fueron transportados a Fiolas de 25 mL para su análisis a través del Espectrofotómetro de absorción atómica.

### **3.7.1.2. Descripción**

#### **a) Digestión por microondas para el análisis de química analítica**

“Este tiene un fundamento que reside en que el agua contenida en cualquier sustancia orgánica o inorgánica absorbe con rapidez energía de las ondas. Las frecuencias de las microondas abarcan desde  $10^9$  hasta  $10^{12}$  Hz. El campo eléctrico de una microonda puede hacer girar una molécula de agua en virtud de la carga eléctrica en su interior. Los electrones, de carga negativa, asociados a los átomos de hidrógeno, se desplazan hacia el átomo de oxígeno instados por la fuerte atracción que sienten hacia los ocho protones, cargados positivamente, que tiene el oxígeno. Este desplazamiento hace negativo el lado de la molécula correspondiente al oxígeno y positivo el del hidrógeno. Una carga así distribuida constituye un dipolo eléctrico. De este modo, aunque la molécula, en su conjunto, sea eléctricamente neutra, forma un campo eléctrico a su alrededor y puede girar por efecto de un campo eléctrico exterior. El momento dipolar es el producto de la carga neta en cada extremo por la separación entre ambas. Usualmente, los momentos dipolares del agua están orientados al azar. No obstante, si aparece un campo eléctrico se crea un momento de giro en cada molécula, obligándola a rotar para que coloque su momento dipolar paralelamente al campo. Constantemente, cada molécula de agua se ve agitada por el movimiento térmico aleatorio de las circundantes. Dicho movimiento estocástico, llamado a veces movimiento browniano, está relacionado con la temperatura del agua; El calor comunica a las moléculas más energía cinética, de tal suerte que, en su movimiento aleatorio, colisionan con mayor violencia unas con otras produciéndose así un aumento de la temperatura. Sin duda posee dos grandes ventajas: de una parte, su rapidez (se digieren 8 muestras en 30 minutos) y, por otra parte, al ser un sistema cerrado, evita la pérdida de elementos volátiles”.<sup>61</sup>

#### **b) Espectrofotometría de absorción atómica para detección de metales**

La espectrometría de absorción atómica es una técnica laboratorial que nos permite determinar las concentraciones de metales en diferentes tipos de muestras ya sean ambientales, como el agua, el suelo o el aire, o en alimentos, granos, entre otros. Esta técnica es capaz de analizar la concentración de más de 62 tipos de metales diferentes en una sola muestra. Para cuantificar los niveles de cadmio y plomo la espectrofotometría se realizó con horno de grafito, y para el arsénico con el generador de hidruros.<sup>62</sup>

“En la espectroscopia de absorción atómica (EAA), los elementos como el

analito se transforman en el estado libre atómico en un dispositivo de atomización con la adición de energía térmica. Estos átomos son capaces de absorber radiación específica según el elemento. Para ello, una lámpara específica del elemento con un cátodo hueco hecho con el elemento que se va a investigar se introduce en la trayectoria del haz de luz de un espectrómetro de absorción atómica con el atomizador y un detector. Dependiendo de la concentración del elemento investigado en la muestra, parte de la intensidad de radiación de la lámpara de cátodo hueco es absorbida por los átomos formados. Dos fotomultiplicadores miden la intensidad de la radiación no atenuada y de la radiación después de salir del dispositivo de atomización durante el suministro de una solución de muestra. La concentración del elemento en la muestra puede calcularse a partir de la diferencia entre las dos intensidades”.<sup>62</sup>

#### c) **Espectroscopia de absorción atómica con horno de grafito para plomo y cadmio**

“Es una de las formas de EAA de mayor sensibilidad (permite detectar concentraciones hasta 1000 inferiores que las detectables con llama), siendo por tanto muy útil en el análisis de ultra trazas. Otra gran ventaja es que se requiere muy poca cantidad de muestra (pocos microlitros, normalmente). La energía requerida para la atomización es obtenida mediante la diferencia de potencial eléctrico a través de un tubo de grafito dentro del cual ha sido depositada la muestra. El tubo está alineado con la luz procedente de la lámpara espectral. Así, el vapor atómico generado por la muestra cuando el horno está encendido absorberá luz proveniente de la lámpara del elemento a determinar. En este caso, la señal de absorción es transitoria, en forma de pico, de tal modo que se eleva la concentración y posteriormente cae a medida que los átomos difunden fuera del horno.

Existen 4 pasos fundamentales en la atomización:

- **Secado:** El disolvente es eliminado
- **Mineralización o Calcinación:** destruye la matriz orgánica
- **Atomización:** Aquí los átomos se llevan al estado fundamental
- **Barrido o limpieza:** elimina los restos que puedan quedar en el tubo”.<sup>63</sup>

#### d) **Espectroscopia de absorción atómica con generador de hidruros para arsénico**

“Los hidruros gaseosos de los metaloides son producidos en un frasco de reacción por la adición de un agente reductor como el borohidruro sódico, el cual genera

hidrógeno naciente en contacto con ácidos. Los hidruros gaseosos e hidrógenos producidos son llevados por un gas inerte como el argón hacia una celda de cuarzo, alineada en el paso óptico del espectrofotómetro de absorción atómica. La celda debe ser calentada para algunos elementos (por ejemplo, el arsénico) aproximadamente a 800°C, sin embargo, no precisa dicho calentamiento para otros (por ejemplo, el mercurio). En este último caso se habla de Técnica de Vapor Frío. El vapor de la muestra es atomizado y llevada por un gas inerte de arrastre hacia la celda de cuarzo, se genera una señal en forma gaussiana, cuya altura es proporcional a la cantidad del analito en la muestra problema. Actualmente existen sistemas automatizados de inyección en flujo continuos (FIAS)".<sup>63</sup>

e) **Cuantificación de los niveles de arsénico, cadmio y plomo**

- **Arsénico:** Utilizando un Generador de Hidruros y una lámpara de cátodo hueco con una longitud de onda de 193,70 nm.
- **Cadmio:** con Horno de grafito, utilizando una lámpara de cátodo hueco a una longitud de onda de 228,80 nm y tubo de grafito con plataforma de L'vov.
- **Plomo:** con Horno de grafito, utilizando una lámpara de cátodo hueco a una longitud de onda de 283,30 nm y tubo de grafito con plataforma de L'vov.

### 3.7.2 Instrumentos

#### 3.7.2.1. Equipos

- Espectrofotómetro de absorción atómica - *ANALYST* 600 Perkin Elmer.
- FIAS Sistema de Generación de Hidruros marca Perkin Elmer.
- Campana extractora - Labconco.
- Balanza eléctrica de sensibilidad - Sartorius.
- Equipo para agua ultra pura - Thermo Scientific Barnstead.
- Digestor de microondas Mars 6 marca CEM.
- Lámpara de cátodo para arsénico - Buck Scientific.
- Lámpara de cátodo para plomo - Agilent.
- Lámpara de cátodo para cadmio - Agilent.

#### 3.7.2.2. Reactivos

- Agua ultra pura tipo I
- HNO<sub>3</sub> al 65%
- HCL al 37%.
- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%.

- Solución de arsénico 1000 µg/ mL en HNO<sub>3</sub> al 1%
- Solución de plomo 1000 µg/ mL en HNO<sub>3</sub> al 1%
- Solución de cadmio 1000 µg/ mL en HNO<sub>3</sub> al 1%.
- NaBH<sub>4</sub> ultrapuro.
- IK Q.P.
- Octanol Q.P.
- Bolsas tipo ziploc.

### **3.7.2.3. Materiales**

- Pipetas de 5 mL y 10 mL.
- Beaker vidrio borosilicato clase A de 1000 mL y 500 mL.
- Fiola vidrio borosilicato clase A de 25 mL y 100 mL. con tapa hermética
- Papel Whatman 0,45 µ.
- Matraz vidrio borosilicato clase A aforado de 100 mL.
- Matraz vidrio borosilicato clase A de 100 mL.
- Pipetas automáticas de 100 µL – 1000 µL.
- Pipetas automáticas de 500 µL – 5000 µL.
- Tips de 100 µL – 1000 µL.
- Tips de 500 µL – 5000 µL.

## **3.8 Procesamiento y análisis de datos**

### **3.8.1 Recolección de datos**

Los datos serán introducidos a través de un paquete de datos de análisis estadístico tipo programa SPSS 2020, para el desarrollo del análisis e interpretación de datos.

### **3.8.2 Análisis estadístico**

El análisis se realizó utilizando la metodología basada en la estadística descriptiva, exploratoria, con el fin de determinar patrones de comportamiento en los niveles de concentración de los metales de arsénico, cadmio y plomo en las muestras de “maíz”, y así describir el conjunto de datos, comparándolos con los parámetros establecidos del *CODEX ALIMENTARIUS* y *MERCOSUR*.

Los datos se presentaron en cuadros estadísticos, mediante gráficos y tablas, a través de medidas como razones, proporciones y medias de concentración de los metales pesados, así como de los o valores atípicos, detallando el tipo de muestra y raza de “maíz”.

### **3.9 Aspectos éticos**

Durante la investigación se cumplió con el cuidado y respeto por los aspectos éticos en la recolección de información bibliográfica, así como en la aplicación de los instrumentos. Asimismo, dada la situación actual de pandemia COVID-19, impulsada por el Ministerio de Salud – MINSA, en las actividades realizadas para recabar la información necesaria para esta investigación se han tomado todas las medidas de bioseguridad como uso de mascarillas, protectores faciales, distanciamiento social, entre otras. En esta etapa se tuvieron en cuenta los principios éticos como: beneficencia, autonomía y justicia que debe tener todo trabajo académico.<sup>64</sup>

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Análisis descriptivos de resultados parámetros de lectura para plomo por horno de grafito

**Tabla 3.** Parámetros del instrumento del horno de grafito para plomo

<b>Parámetros de Instrumento</b>	
Tipo de Sistema	Horno
Elemento	Plomo
Matriz	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> al 0,1%.
Corriente de lámpara	5.00 mA
Longitud de onda	283.30 nm
Ancho de corte	0.50 nm
Tamaño de apertura	Reducido
Modo de instrumento	Encender Abs. BC

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 3: se muestran los parámetros del instrumento, para la determinación de plomo, horno-grafito.

**Tabla 4.** Parámetros de calibración para plomo.

<b>Modo de Calibración</b>	<b>LS Lineal a través de Cero</b>
Unidades de concentración	Ppb
Punto decimal de concentración	2
Falla de calibración	No
Acción de fallo de calibración	Continuar
Medir muestra en blanco después de calibración	No
Auto guardar método después de calibración	No

**Fuente:** Elaboración Propia

Tabla 4: nos muestra los criterios de calibración utilizados para el plomo.

**Tabla 5.** Modo de medición de plomo en las muestras estudiadas.

<b>Modo de Medición</b>	<b>Área máxima</b>
Introducción de muestras	Automático
Constante de tiempo	0.00
Replicas	3

**Fuente:** Elaboración propia

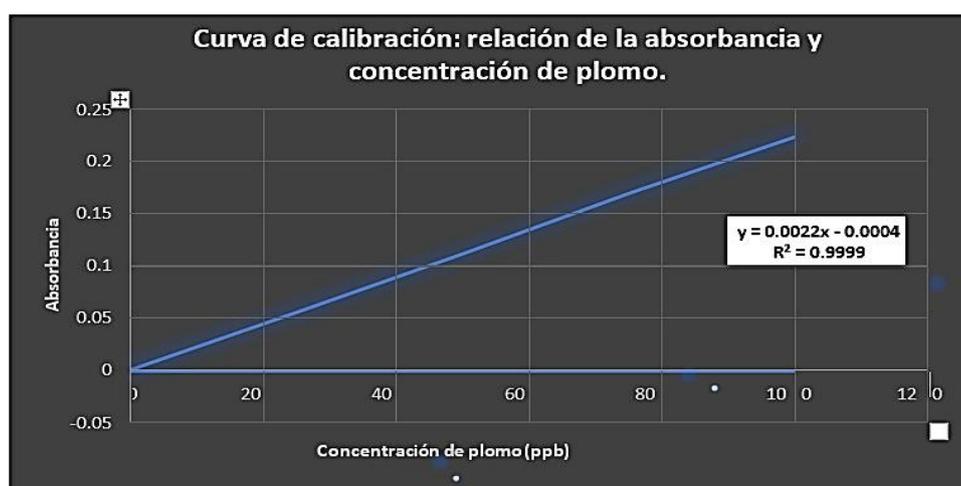
Tabla 5: muestra los criterios utilizados para medir la concentración plomo en las muestras estudiadas.

**Tabla 6.** Curvas de calibración lineal que incluye el cero para plomo.

Muestra etiquetada	Concentración Plomo (ppb)	Media absorbancia
Cal Blanco	-----	0.0000
Estándar 1	25.00	0.0551
Estándar 2	50.00	0.1110
Estándar 3	75.00	0.1689
Estándar 4	100.00	0.2230

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 6: muestra los datos utilizados para la curva de calibración para plomo, para la calibración en blanco se muestra una concentración de plomo vacía de partes por millón, y una absorbancia de 0.0000; para el estándar 1, se muestra una concentración de plomo de 25 partes por millón con una absorbancia de 0.0551; para el estándar 2, se muestra una concentración de 50 partes por millón con una absorbancia de 0.1110; para el estándar 3 se muestra una concentración de plomo de 75 partes por millón con una absorbancia de 0.1689 y para el estándar 4 se muestra una concentración de plomo de 100 partes por millón y una absorbancia de 0.2230.



**Figura 5.** Curva de calibración: relación de la absorbancia y la concentración de plomo

**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 5: muestra la relación entre la absorbancia y la concentración de plomo de partes por millón, para una absorbancia de 0 una concentración de 20 partes por millón de plomo, para una absorbancia de 0.1 una concentración de 40 partes por millón, para una absorbancia de 0.15 una concentración de 60 partes por millón, para una absorbancia de 0.2 una concentración de 80 partes por millón, para una absorbancia de 0.25 una concentración de 100 partes por millón.

#### 4.1.2 Criterios de lectura para cadmio

**Tabla 7.** Condiciones establecidas para el Horno de grafito para lectura de cadmio.

<b>Parámetros del instrumento</b>	
Tipo de sistema	Horno
Elemento	Cadmio
Matriz	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> al 0,1%.
Corriente de lámpara	3.00 mA
Longitud de onda	228.80 nm
Ancho de corte	2.00 nm
Tamaño de apertura	Reducido
Modo de instrumento	Encender abs. BC

**Fuente:** Elaboración propia

Tabla 7: muestra los criterios fijados para la determinación de cadmio con horno de grafito.

**Tabla 8.** Criterios de calibración para cadmio.

<b>Parámetros de calibración</b>	
Modo de calibración	LS Lineal a través de cero
Muestra fuera de rango de acción	No
Unidades de concentración	ppb
Punto decimal de concentración	2
Falla de calibración	No
Acción de fallo de calibración	Continuar.
Medir muestra en blanco después de calibración.	No
Auto guardar método después de calibración	Si

**Fuente:** Elaboración propia

Tabla 8: muestra las condiciones establecidas de calibración para cadmio.

**Tabla 9.** Criterios de medición para cadmio

<b>Puntos de referencia de medición de muestra</b>	
Modo de medición	Área máxima.
Introducción de muestras	Automático
Constante de tiempo	0.00
Replicas	3

**Fuente:** Elaboración propia

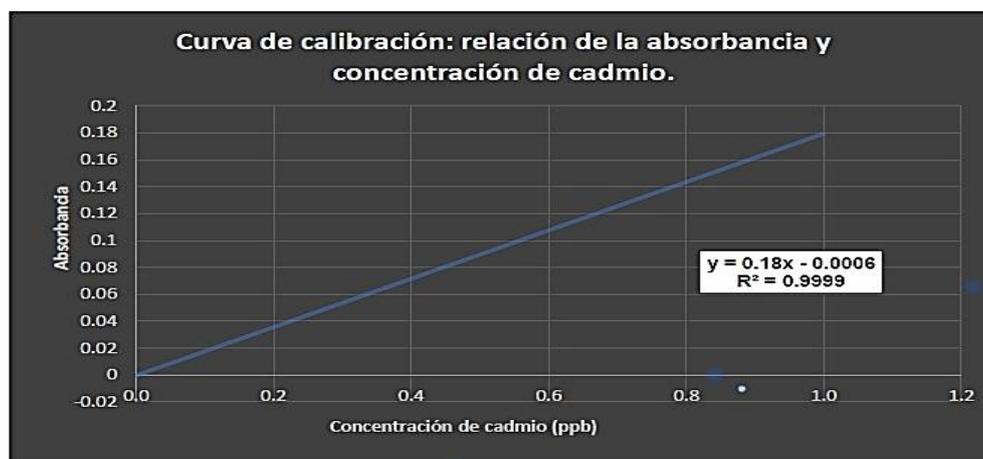
Tabla 9: muestra los criterios establecidos para la medición de muestras para cadmio.

**Tabla 10.** Curvas de calibración lineal para cadmio.

Muestra etiquetada	Concentración cadmio (ppb)	Media absorbancia
Cal. Blanco	-----	0.0000
Estándar 1	0.25	0.0438
Estándar 2	0.50	0.0897
Estándar 3	0.75	0.1333
Estándar 4	1.00	0.1802

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 10: muestra los valores de la curva de calibración para cadmio, para la calibración en blanco se muestra una concentración de cadmio vacía de partes por millón, y una absorbancia de 0.0000, para el estándar 1, se muestra una concentración de cadmio de 0.25 partes por millón con una absorbancia de 0.0438, para el estándar 2, se muestra una concentración de 0.50 partes por millón con una absorbancia de 0.0897, para el estándar 3 se muestra una concentración de cadmio de 0.75 partes por millón con una absorbancia de 0.1333 y para el estándar 4 se muestra una concentración de cadmio de 1.00 partes por millón y una absorbancia de 0.1802.



**Figura 6.** Relación entre la absorbancia y la concentración del cadmio

**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 6: muestra la relación entre la absorbancia y la concentración de cadmio de partes por millón, para una absorbancia de 0 una concentración de 0.2 partes por millón de plomo, para una absorbancia de 0.04 una concentración de 0.4 partes por millón, para una absorbancia de 0.1 una concentración de 0.6 partes por millón, para una absorbancia de 0.14 una concentración de 0.8 partes por millón, para una absorbancia de 0.18 una concentración de 10 partes por millón.

### 4.1.3 Parámetros del generador de hidruro para lectura de arsénico

**Tabla 11.** Criterios del generador de hidruros para arsénico.

<b>Puntos de referencia del generador de hidruros</b>	
Tipo de sistema	Generación de hidruros (FIAS).
Elemento	Arsénico
Matriz	HCl 30%
Corriente de lámpara	8.00 mA
Longitud de onda	193.70 nm
Ancho de corte	2.00 nm
Tamaño de apertura	Reducido
Modo de instrumento	Encender Abs. BC

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 11: se muestran los parámetros del instrumento, para la determinación de arsénico, horno-grafito.

**Tabla 12.** Criterios de calibración para arsénico.

<b>Criterios de calibración</b>	
Modo de calibración	LS Lineal a través de cero
Muestra fuera de rango de acción	No
Unidades de concentración	ppb
Punto decimal de concentración	2
Falla de calibración	No
Acción de fallo de calibración	Parar
Medir muestra en blanco después de calibración	No
Auto guardar método después de calibración	Si
Modo de medición	Integración
Introducción de muestras	Manual.
Constante de tiempo	0.00 s
Replicas	3
Tipo de flama	Aire- acetileno
Combustible	1.100 l/min
Flujo de aire	11.10
Angulo de quemador	0.00 °

**Fuente:** Elaboración propia

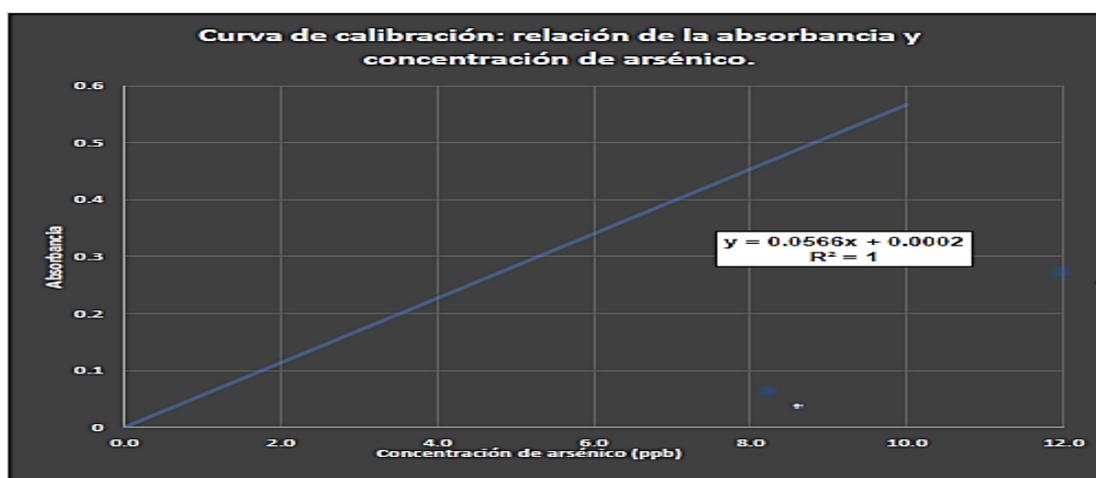
Tabla 12: se muestran para cadmio, modo de calibración y LS lineal a través de cero.

**Tabla 13. Curvas de calibración lineal para arsénico.**

Muestra etiquetada	Concentración As (ppb)	Media absorbancia
Cal. Blanco	-----	0.0000
Estándar 1	2.50	0.142
Estándar 2	5.00	0.284
Estándar 3	7.50	0.424
Estándar 4	10.00	0.567

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 13: se muestra la curva de calibración de arsénico para la calibración blanco una concentración de arsénico vacía de partes por millón, y una absorbancia de 0.0000, para el estándar 1, una concentración de arsénico de 2.50 partes por millón con una absorbancia de 0.142, para el estándar 2, una concentración de 5.00 partes por millón con una absorbancia de 0.284, para el estándar 3 una concentración de arsénico de 7.50 partes por millón con una absorbancia de 0.424 y para el estándar 4 una concentración de arsénico de 10.00 partes por millón y una absorbancia de 0.567.



**Figura 7.** relación entre la absorbancia y la concentración de arsénico

**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 7: muestra la relación entre la absorbancia y la concentración de arsénico de partes por millón, para una absorbancia de 0.1 una concentración de 2.0 partes por millón de plomo, para una absorbancia de 0.2 una concentración de 4.0 partes por millón, para una absorbancia de 0.3 una concentración de partes por millón, para una absorbancia de 0.4 una concentración de 0.8 partes por millón, para una absorbancia de 0.5 una concentración de 10 partes por millón.

**Tabla 14.** Valores de arsénico, cadmio y plomo en muestras de razas de “maíz” (*cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*), encontrados en el mercado de Caquetá.

Muestra	Razas de “maíz”	Código	Arsénico (mg/kg)		Cadmio (mg/kg)		Plomo (mg/kg)		
			Valor	MERCOSUR	Valor	CODEX A.	Valor	MERCOSUR	CODEX A.
1	<i>Cusco gigante</i>	RCG-01	0.310	0.30	0.110	0.10	0.320	0.20	0.30
2		RCG-02	0.360	0.30	0.130	0.10	0.260	0.20	0.30
3		RCG-03	0.270	0.30	0.080	0.10	0.160	0.20	0.30
4		RCG-04	0.220	0.30	0.160	0.10	0.180	0.20	0.30
5		RCG-05	0.230	0.30	0.090	0.10	0.210	0.20	0.30
Promedio <i>Cusco gigante</i>			0.278	0.30	0.114	0.10	0.226	0.20	0.30
Promedio de valores no permisibles <i>Cusco gigante</i>			0.335	0.30	0.145	0.10	0.263	0.20	0.30
6	<i>Kculli</i>	RK-01	0.180	0.30	0.060	0.10	0.130	0.20	0.30
7		RK-02	0.210	0.30	0.130	0.10	0.160	0.20	0.30
8		RK-03	0.120	0.30	0.160	0.10	0.180	0.20	0.30
9		RK-04	0.240	0.30	0.090	0.10	0.110	0.20	0.30
10		RK-05	0.170	0.30	0.150	0.10	0.150	0.20	0.30
Promedio <i>kculli</i>			0.184	0.30	0.118	0.10	0.146	0.20	0.30
Promedio de valores no permisibles <i>kculli</i>			0.184	0.30	0.147	0.10	0.146	0.20	0.30
11	<i>Jora</i>	RJ-01	0.240	0.30	0.060	0.10	0.280	0.20	0.30
12		RJ-02	0.190	0.30	0.070	0.10	0.350	0.20	0.30
13		RJ-03	0.230	0.30	0.050	0.10	0.210	0.20	0.30
14		RJ-04	0.210	0.30	0.040	0.10	0.340	0.20	0.30
15		RJ-05	0.190	0.30	0.030	0.10	0.170	0.20	0.30
Promedio <i>jora</i>			0.212	0.30	0.050	0.10	0.270	0.20	0.30
Promedio de valores no permisibles <i>jora</i>			0.212	0.30	0.050	0.10	0.295	0.20	0.30
16	<i>Chaparreño</i>	RC-01	0.330	0.30	0.170	0.10	0.190	0.20	0.30
17		RC-02	0.190	0.30	0.090	0.10	0.250	0.20	0.30
18		RC-03	0.280	0.30	0.180	0.10	0.180	0.20	0.30
19		RC-04	0.230	0.30	0.110	0.10	0.160	0.20	0.30
20		RC-05	0.320	0.30	0.140	0.10	0.130	0.20	0.30
Promedio <i>chaparreño</i>			0.270	0.30	0.138	0.10	0.182	0.20	0.30
Promedio de valores no permisibles <i>chaparreño</i>			0.325	0.30	0.150	0.10	0.250	0.20	0.30
Promedio Total por tipo de metal			0.236	0.30	0.105	0.10	0.206	0.20	0.30
Promedio de valores no permisibles por tipo de metal			0.330	0.30	0.148	0.10	0.266	0.20	
Promedios de valores no permisibles: Plomo vs CODEX A.							0.337		0.30

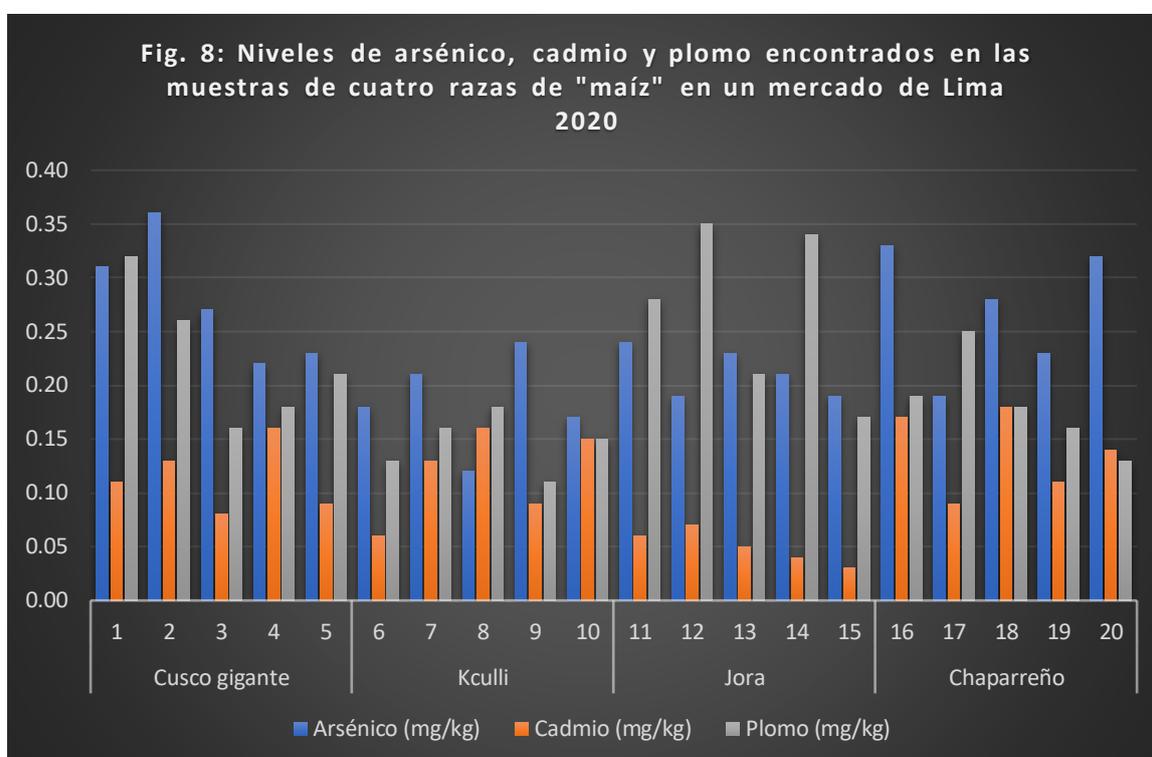
**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 14: nos presenta las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo, detectados en las diferentes razas de “maíz” y su relación con los límites máximos permitidos (LMP),

establecidos por los organismos de referencia, el *CODEX ALIMENTARIUS* y el MERCOSUR.

Se determinaron las concentraciones promedio de cada metal:

Valores hallados:	LMP <i>CODEX A.</i> :	LMP MERCOSUR:
• Arsénico =	0,236 mg/kg.	0.30 mg/kg.
• Cadmio =	0,105 mg/kg.	0.10 mg/kg.
• Plomo =	0,206 mg/kg.	0.20 mg/kg.



**Figura 8.** Niveles de arsénico, cadmio y plomo detectados en las razas de “maíz” *cusco gigante, kculli, jora y chaparreño*

**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 8: muestra los niveles de arsénico, cadmio y plomo encontrados en las razas de “maíz”, *cusco gigante, kculli, jora y chaparreño*.

**Tabla 15.** Valores de arsénico encontrados en las razas de “maíz” (*cusco gigante*, *kulli*, *jora* y *chaparreño*).

Datos estadísticos descriptivos de los valores de Arsénico				
Valor	Razas de “maíz”	Parámetros	Estadístico concentración de arsénico (mg/kg)	Error estándar
Valor de arsénico	<i>Cusco gigante</i>	Media	0.278	0.02596
		Mediana	0.27	
		Varianza	0.003	
		Desviación estándar	0.05805	
		Mínimo	0.22	
		Máximo	0.36	
		Rango	0.14	
		Asimetría	0.592	0.913
	<i>Kulli</i>	Media	0.184	0.02015
		Mediana	0.18	
		Varianza	0.002	
		Desviación estándar	0.04506	
		Mínimo	0.12	
		Máximo	0.24	
		Rango	0.12	
		Asimetría	-0.327	0.913
	<i>Jora</i>	Media	0.212	0.0102
		Mediana	0.21	
		Varianza	0.001	
		Desviación estándar	0.0228	
		Mínimo	0.19	
		Máximo	0.24	
		Rango	0.05	
		Asimetría	0.228	0.913
	<i>Chaparreño</i>	Media	0.27	0.02665
		Mediana	0.28	
		Varianza	0.004	
		Desviación estándar	0.05958	
Mínimo		0.19		
Máximo		0.33		
Rango		0.14		
Asimetría		-0.461	0.913	

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 15: se observan los valores de las concentraciones de arsénico para las diferentes razas de “maíz” (*Zea mays L.*).

Se determinó que la concentración promedio de arsénico, de las 20 muestras analizadas, fue de 0,236 mg/kg; es decir, la media se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el MERCOSUR; sin embargo, 04 muestras (02 de *cusco gigante* y 02 de *chaparreño*) sobrepasaron en 10% el límite máximo permisible (0,30 mg/kg.), con una media de 0,330 mg/kg.

**Tabla 16.** Valores de cadmio encontrados en las razas de “maíz”, *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*.

Datos estadísticos descriptivos de los valores de Cadmio					
Valor	Razas de “maíz”	Parámetros	Estadístico concentración de cadmio (mg/kg)	Error estándar	
Valor de cadmio	<i>Cusco gigante</i>	Media	0.114	0.01435	
		Mediana	0.11		
		Varianza	0.001		
		Desviación estándar	0.03209		
		Mínimo	0.08		
		Máximo	0.16		
		Rango	0.08		
		Asimetría	0.608	0.913	
		Media	0.118	0.01881	
		Mediana	0.13		
	<i>Kculli</i>	Varianza	0.002		
		Desviación estándar	0.04207		
		Mínimo	0.06		
		Máximo	0.16		
		Rango	0.1		
		Asimetría	-0.607	0.913	
		Media	0.05	0.00707	
		Mediana	0.05		
		<i>Jora</i>	Varianza	0	
			Desviación estándar	0.01581	
	Mínimo		0.03		
	Máximo		0.07		
	Rango		0.04		
	Asimetría		0	0.913	
	Media		0.138	0.01715	
	Mediana		0.14		
	<i>Chaparreño</i>		Varianza	0.001	
			Desviación estándar	0.03834	
		Mínimo	0.09		
		Máximo	0.18		
Rango		0.09			
Asimetría		-0.19	0.913		

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 16: se muestra los datos estadísticos descriptivos de los valores de concentración de cadmio. Se determinó que la concentración promedio de cadmio, en las 20 muestras analizadas, fue de 0,105 mg/kg; es decir, por encima del 5% de los parámetros establecidos por el *CODEX ALIMENTARIUS*; sin embargo, 10 muestras, (03 de *cusco gigante*, 03 de *kculli* y 04 de *chaparreño*) sobrepasaron en 47.7% el límite máximo permisible, con una media de 0,148 mg/kg.

**Tabla 17.** Valores de plomo encontrados en las razas de “maíz”, *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*.

<b>Datos estadísticos descriptivos de los valores de Plomo</b>				
<b>Valor</b>	<b>Razas de “maíz”</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Estadístico concentración de plomo (mg/kg)</b>	<b>Error estándar</b>
Valor de plomo	<i>Cusco gigante</i>	Media	0.226	0.02891
		Mediana	0.21	
		Varianza	0.004	
		Desviación estándar	0.06465	
		Mínimo	0.16	
		Máximo	0.32	
		Rango	0.16	
		Asimetría	0.742	0.913
	<i>Kculli</i>	Media	0.146	0.01208
		Mediana	0.15	
		Varianza	0.001	
		Desviación estándar	0.02702	
		Mínimo	0.11	
		Máximo	0.18	
		Rango	0.07	
		Asimetría	-0.183	0.913
	<i>Jora</i>	Media	0.27	0.03536
		Mediana	0.28	
		Varianza	0.006	
		Desviación estándar	0.07906	
		Mínimo	0.17	
		Máximo	0.35	
		Rango	0.18	
		Asimetría	-0.304	0.913
	<i>Chaparreño</i>	Media	0.182	0.01985
		Mediana	0.18	
		Varianza	0.002	
		Desviación estándar	0.04438	
Mínimo		0.13		
Máximo		0.25		
Rango		0.12		
Rango Intercuartil		0.08		

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 17: se muestra los datos estadísticos descriptivos de los valores de concentración de plomo, para las razas de “maíz”.

Se determinó que la concentración promedio de plomo fue de 0,206 mg/kg en las 20 muestras analizadas; es decir, por encima del 3% de los parámetros establecidos por el MERCOSUR; sin embargo, 08 muestras, (03 de *cusco gigante*, 04 de *jora* y 01 de *chaparreño*) sobrepasaron en 32.8% el límite máximo permisible, con una media de 0,266 mg/kg.

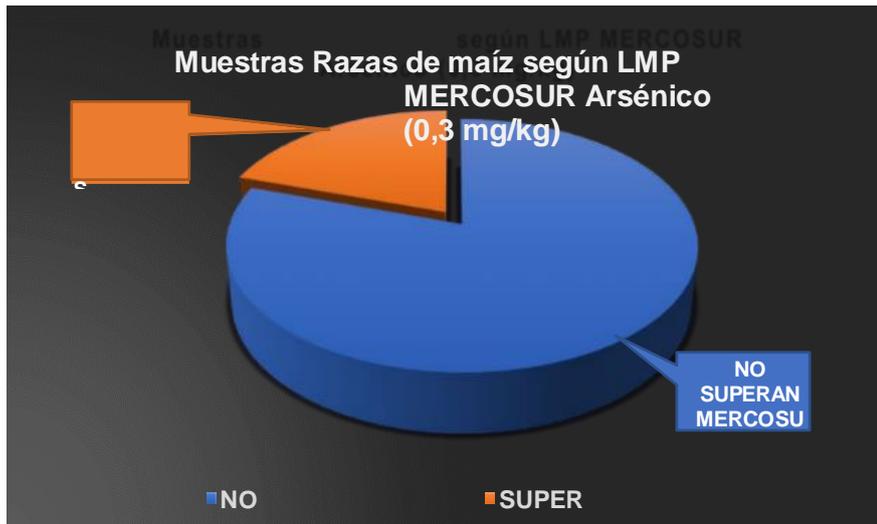
Con respecto a los parámetros establecidos por el *CODEX ALIMENTARIUS*, se observó que 03 muestras (01 de *cusco gigante* y 02 de *jora*), sobrepasaron los valores máximos permisibles en 12.2%.



**Figura 9.** Valores de arsénico encontrados en las razas de “maíz” comparadas con los valores del MERCOSUR (0.3 mg/kg)

**Fuente:** Elaboración propia.

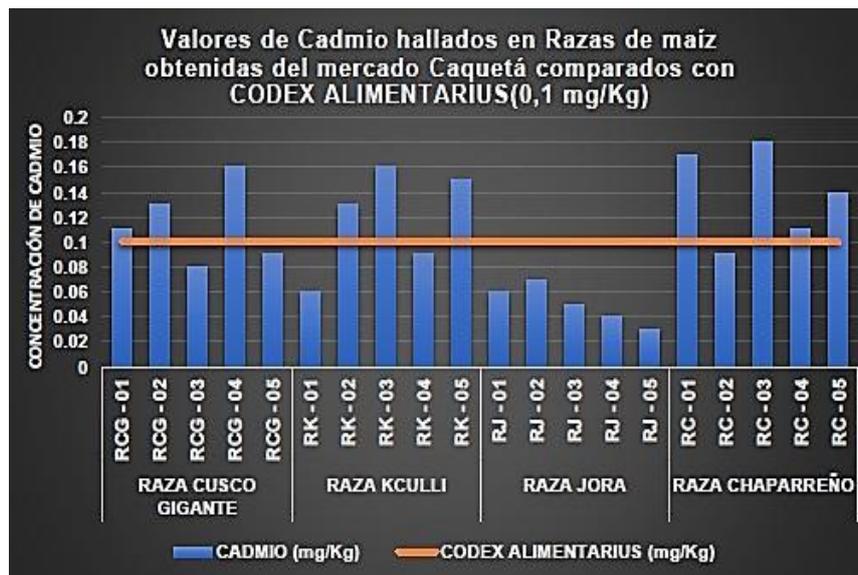
Figura 9: se observa que 04 muestras superaron los valores de arsénico establecidos por el MERCOSUR (0,3 mg/kg), de ellas, 02 muestras fueron de la raza *cusco gigante* y 02 de la raza *chaparreño*.



**Figura 10.** Muestras razas de “maíz” según límite máximo permitido MERCOSUR Arsénico (0.3 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 10: se observa que 04 muestras superaron el límite máximo permitido de concentración de arsénico establecido por el MERCOSUR (0,30 mg/kg).

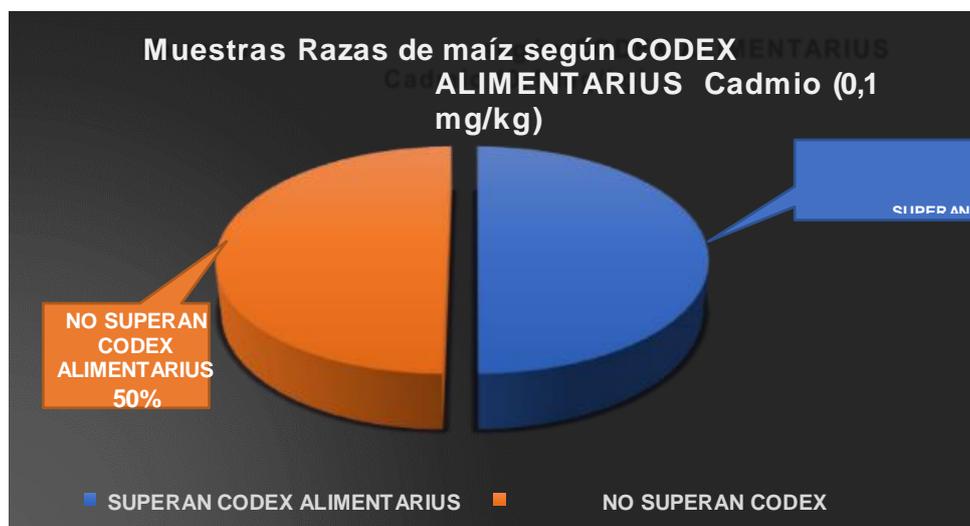


**Figura 11.** Valores de cadmio en las razas de “maíz” vs. valores del *CODEX ALIMENTARIUS* (0,1 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 11: muestra que, 10 muestras superaron el límite máximo permitido de concentración para cadmio establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS*, de ellas, 03 muestras fueron de la raza *cusco gigante*, 03 de la raza *kculli* y 04 de la raza *chaparreneño*. Ninguna de las muestras

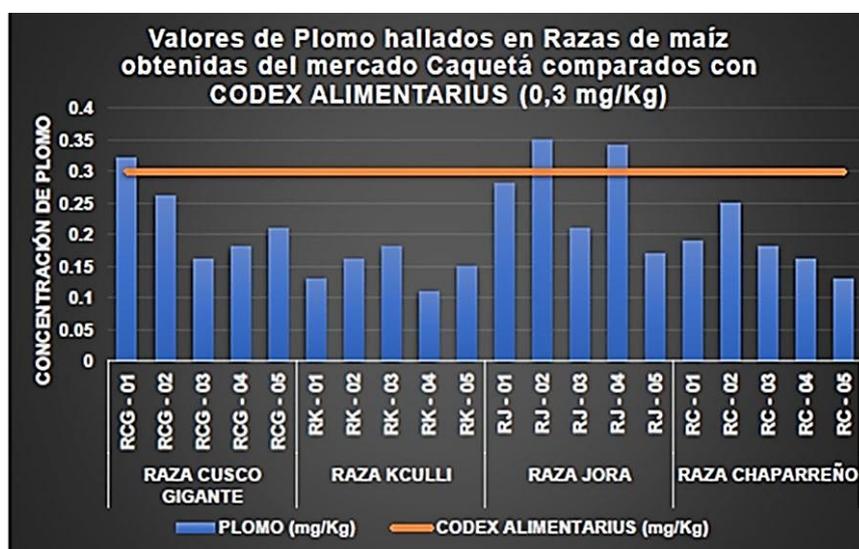
de la raza *jora* superaron el límite máximo permitido del *CODEX ALIMENTARIUS* (0,10 mg/kg).



**Figura 12.** Proporción de muestras de razas de “maíz” que superaron el valor del *CODEX ALIMENTARIUS* para cadmio (0,1 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 12: se observa que 10 muestras superaron el LMP de concentración de arsénico establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0,10 mg/kg).



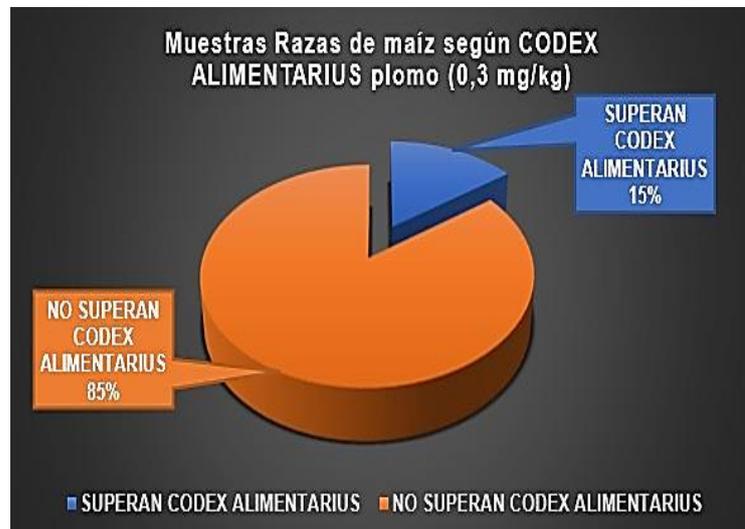
**Figura 13.** Valores de plomo en las razas de “maíz” versus valores del *CODEX ALIMENTARIUS* (0,3 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 13: muestra que, 03 muestras superaron el límite máximo permitido de concentración de plomo establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0,10 mg/kg), de ellas, 01 muestra

fue de la raza *cusco gigante* y 02 muestras de la raza *jora*.

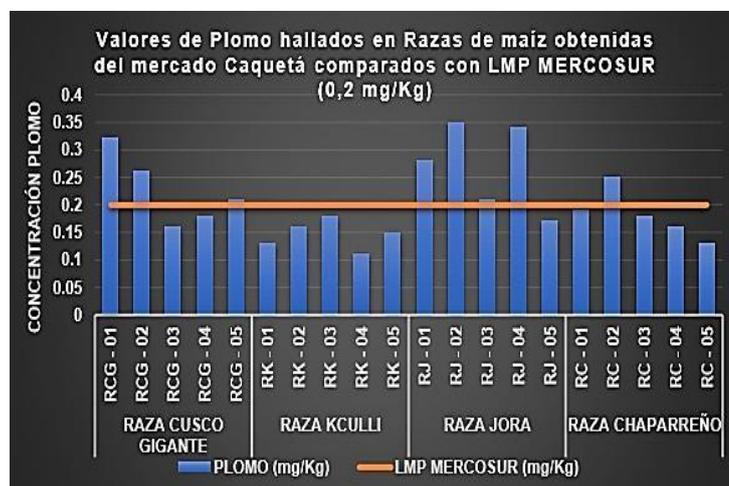
Las razas de “maíz” *kculli* y *chaparreño* se mantuvieron dentro de los parámetros establecidos por el *CODEX ALIMENTARIUS* al no superar el límite máximo permitido.



**Figura 14.** Muestras de razas de “maíz” obtenidas del mercado Caquetá comparado con *CODEX ALIMENTARIUS* para plomo (0,3 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

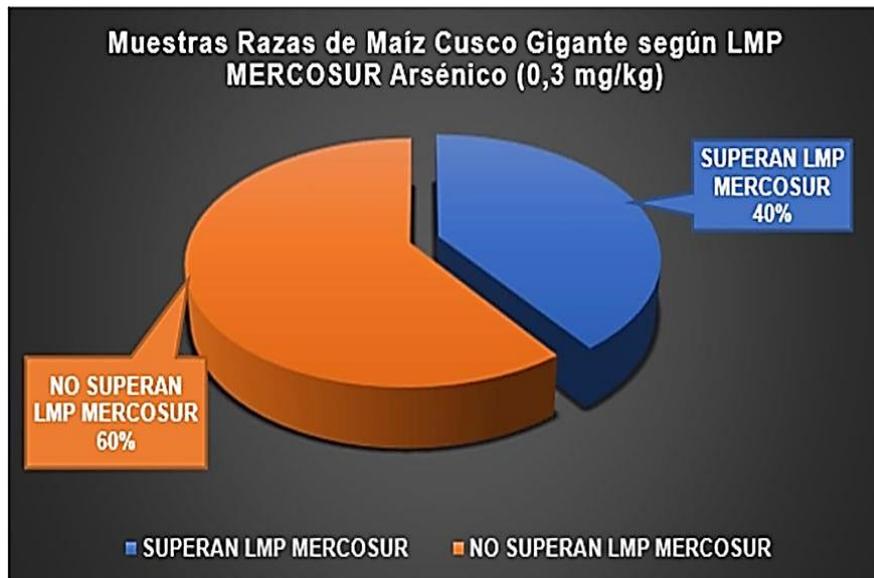
Figura 14: se observa que 03 muestras superaron el límite máximo permitido de plomo establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0,30 mg/kg).



**Figura 15.** Valores de plomo encontrados en las diferentes razas de “maíz” versus los valores del *CODEX ALIMENTARIUS* (0,2 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

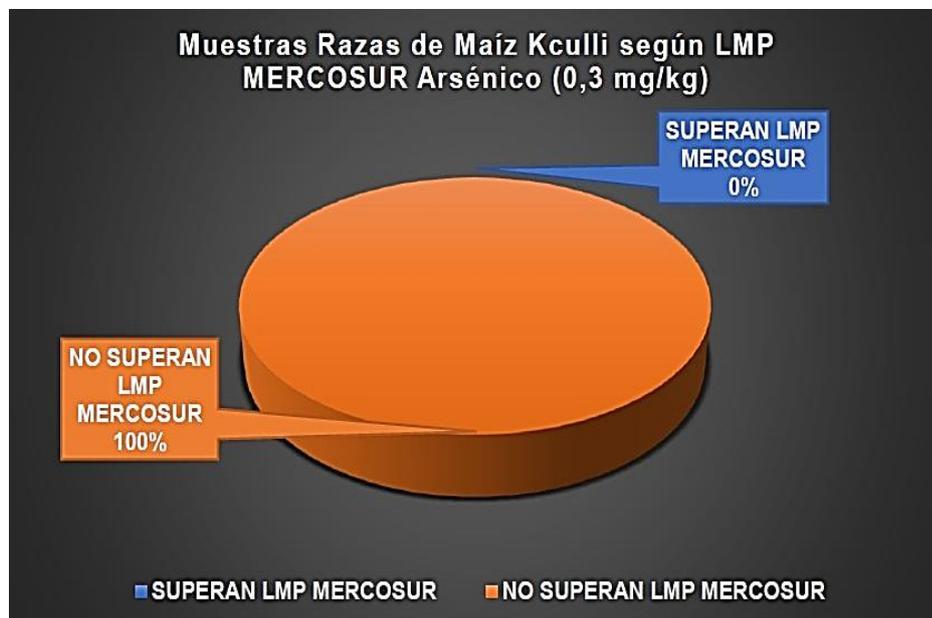
Figura 15: se observa que 08 muestras superaron el límite máximo permitido de plomo establecido por el MERCOSUR; de ellas, 03 muestras fueron de la raza *cusco gigante*, 04 muestras de la raza *jora* y 01 muestra de la raza *chaparreño*. Ninguna de las muestras de la raza *kculli* superó el límite máximo permitido del MERCOSUR (0,20 mg/kg).



**Figura 16.** Muestras de razas de “maíz”, *cusco gigante* obtenidas mercado Caquetá y comparadas según el límite máximo permitido MERCOSUR (0,3 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

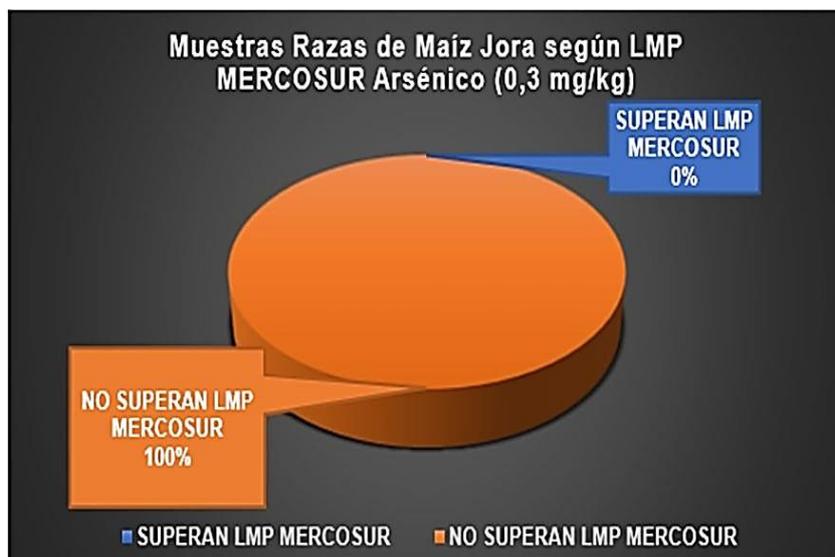
Figura 16: se observa que 02 muestras superaron el límite máximo permitido de arsénico establecido por el MERCOSUR (0,30 mg/kg)



**Figura 17.** Muestras de razas de “maíz”, raza *kculli*, obtenidas del mercado Caquetá y comparadas con *CODEX ALIMENTARIUS* (0,3 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

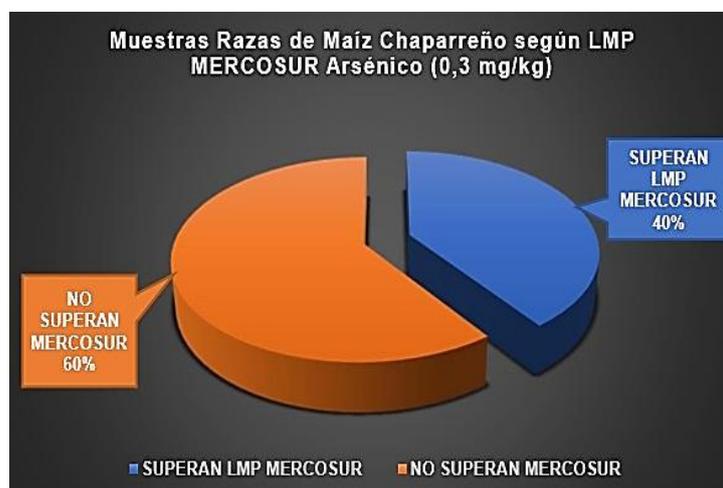
Figura 17: muestra que, ninguna muestra de la raza de “maíz” *kculli*, superó el límite máximo permitido de arsénico establecido por el MERCOSUR (0,3 mg/kg).



**Figura 18.** Muestras de razas de “maíz”, raza *jora* comparado según el límite máximo permitido MERCOSUR para arsénico (0,3 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

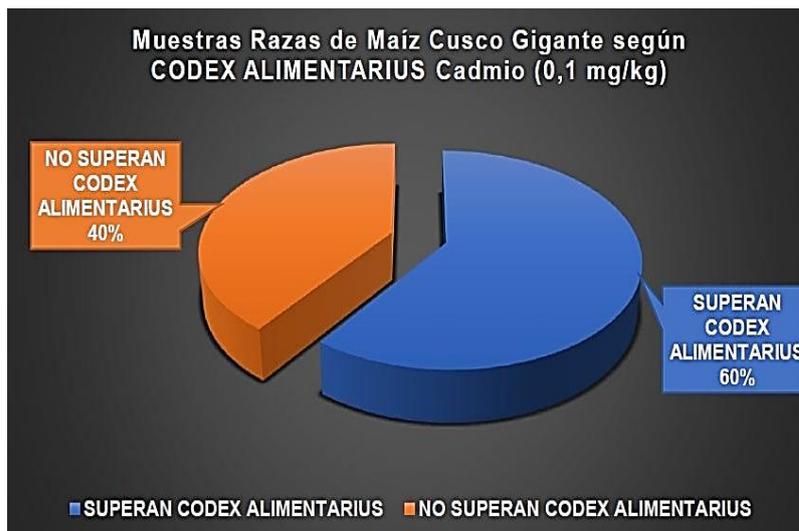
Figura 18: muestra que, ninguna muestra de la raza de “maíz” *jora*, superó los valores de arsénico establecidos por el MERCOSUR (0,3 mg/kg).



**Figura 19.** Muestras de razas de “maíz” *chaparreneño* obtenidas del mercado Caquetá comparado según límite máximo permitido MERCOSUR (0,3 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

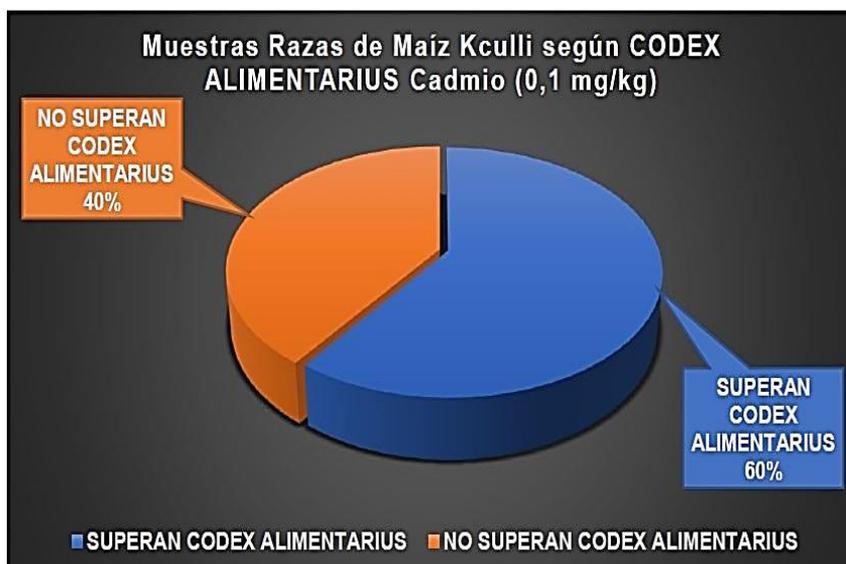
Figura 19: se observa que, 02 muestras, de las 05 analizadas de la raza de “maíz” *chaparreneño*, superaron el límite máximo permitido de arsénico establecido por el MERCOSUR (0,3 mg/kg.).



**Figura 20.** Muestras de razas de “maíz” *cusco gigante* comparado con *CODEX ALIMENTARIUS* para cadmio (0,1 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

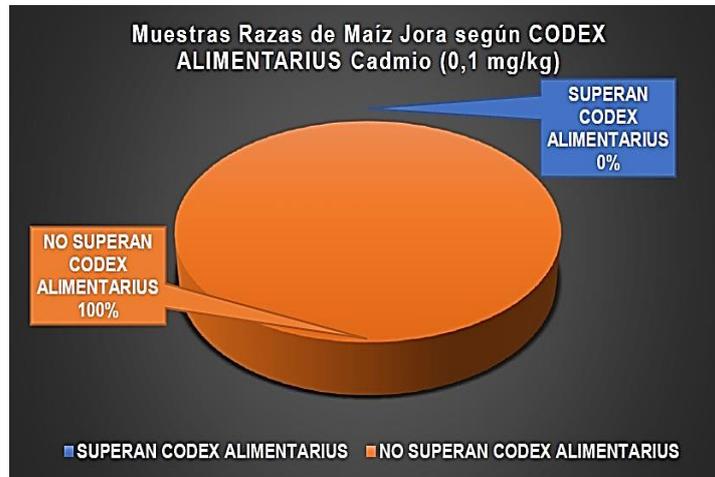
Figura 20: se observa que, 03 muestras, de las 05 analizadas de la raza de “maíz” *cusco gigante*, superaron el límite máximo permitido de cadmio, establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0,1 mg/kg).



**Figura 21.** Muestras de razas de “maíz” raza *kculli* comparado con el *CODEX ALIMENTARIUS* para cadmio (0,1 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

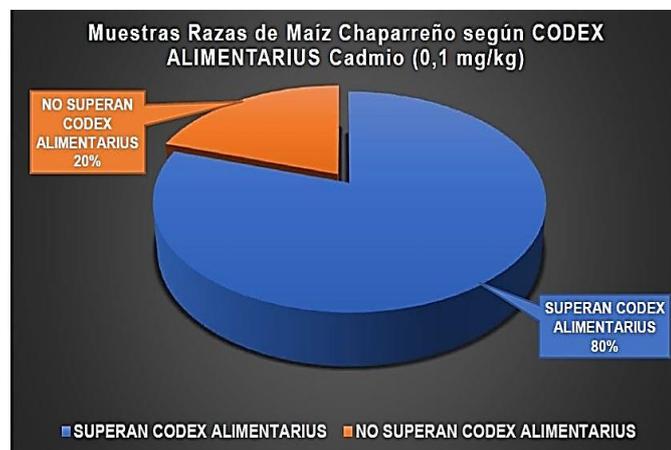
Figura 21: se observa que, 03 muestras de las 05 analizadas de la raza de “maíz” *kculli*, superaron el límite máximo permitido de cadmio establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0,1 mg/kg).



**Figura 22.** Muestras de razas de “maíz” raza *jora* comparado con el *CODEX ALIMENTARIUS* para cadmio (0,1 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

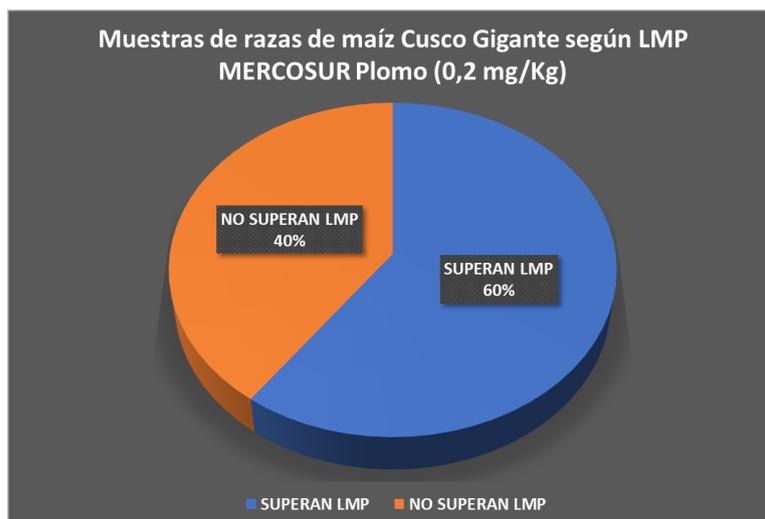
Figura 22: muestra que, ninguna muestra de la raza de “maíz” *jora*, superó límite máximo permitido para cadmio establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0,1 mg/kg).



**Figura 23.** Muestras de razas de “maíz” raza *chaparreño* comparado con el *CODEX ALIMENTARIUS* para cadmio (0,1 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

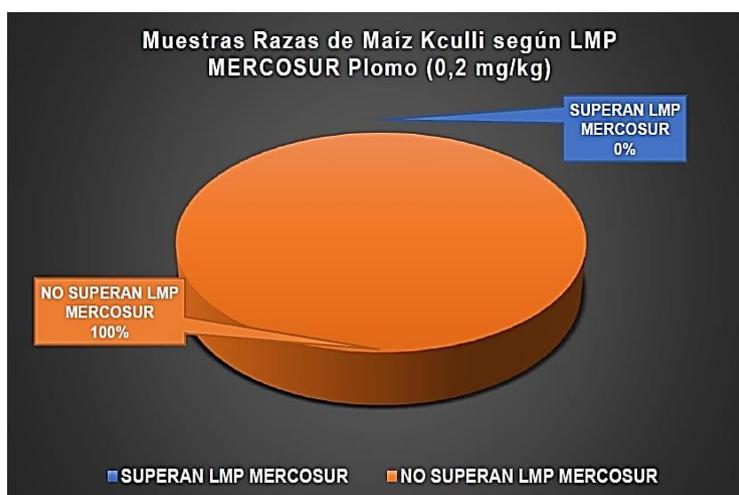
Figura 23: se observa que, 04 de las 05 muestras analizadas de la raza de “maíz” *chaparreño*, superaron el límite máximo permitido para cadmio establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0,1 mg/kg).



**Figura 24.** Proporción de muestras de la raza de “maíz” *cusco gigante* que superaron el nivel de concentración de plomo fijado por el MERCOSUR (0,2 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 24: se observa que, 03 de las 05 muestras analizadas de la raza de “maíz” *cusco gigante*, superaron el límite máximo permitido para plomo, establecido por el MERCOSUR (0,2 mg/kg).



**Figura 25.** Proporción de muestras de la raza de “maíz” *kculli* que superaron el límite establecido para plomo por el MERCOSUR (0,2 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

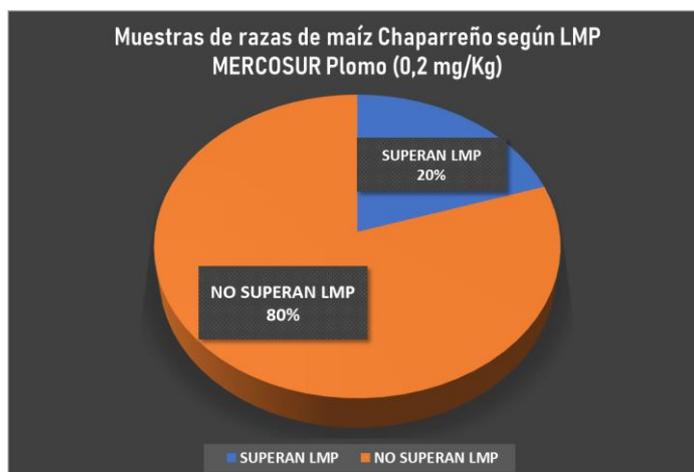
Figura 25: muestra que, ninguna muestra de la raza de “maíz” *kculli*, superaron el límite máximo permitido de plomo, establecido por el MERCOSUR (0,2 mg/kg).



**Figura 26.** Proporción de muestras de la raza de “maíz” *jora* que superaron los valores de concentración para plomo del MERCOSUR (0,2 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

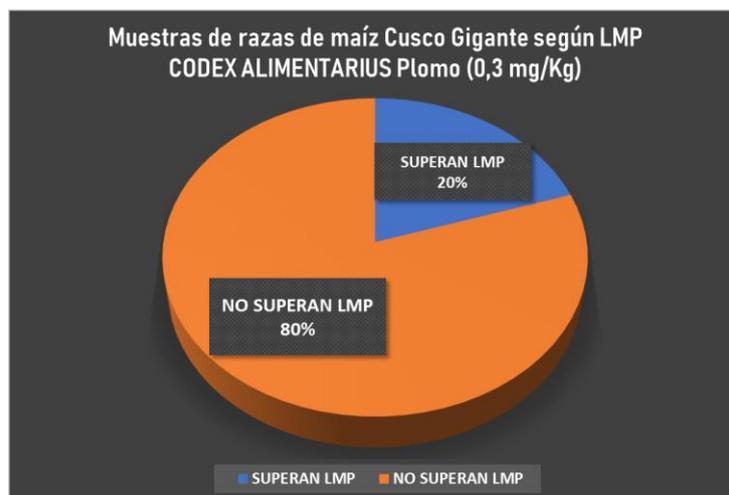
Figura 26: se observa que, 04 de las 05 muestras analizadas de la raza de “maíz” *jora*, superaron el límite máximo permitido para plomo, establecido por el MERCOSUR (0,2 mg/kg).



**Figura 27.** Proporción de muestras de la raza de “maíz” *chaparreneño* que superaron los valores para plomo fijados por el MERCOSUR (0,2 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

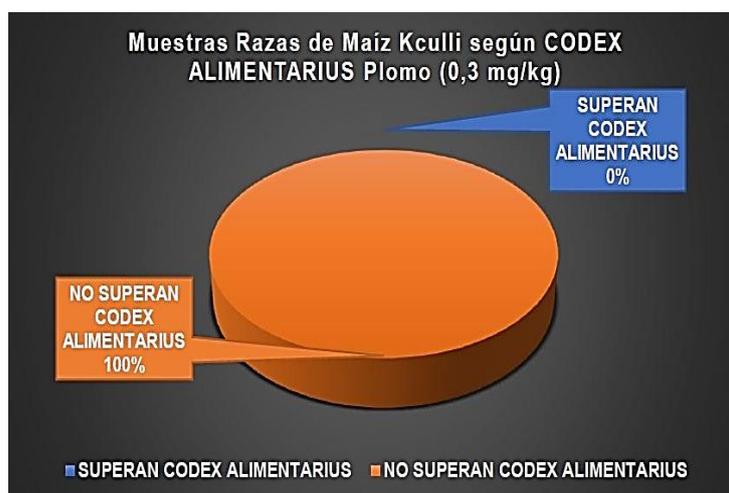
Figura 27: se observa que, 01 de las 05 muestras analizadas de la raza de “maíz” *chaparreneño*, superó el límite máximo permitido para plomo, establecido por el MERCOSUR (0,2 mg/kg).



**Figura 28.** Muestras de razas de “maíz” *cusco gigante* comparado con los valores fijados por el MERCOSUR para plomo (0,3 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

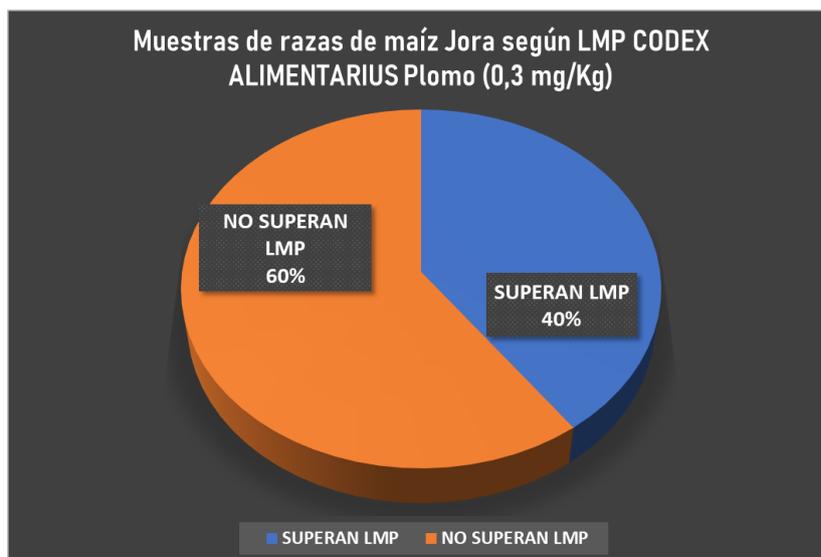
Figura 28: se observa que, 01 de las 05 muestras de la raza de “maíz” *cusco gigante*, superó el límite máximo permitido para plomo, establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0,3 mg/kg)



**Figura 29.** Muestras de razas de “maíz” *kculli* comparado con el *CODEX ALIMENTARIUS* para plomo (0,3 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

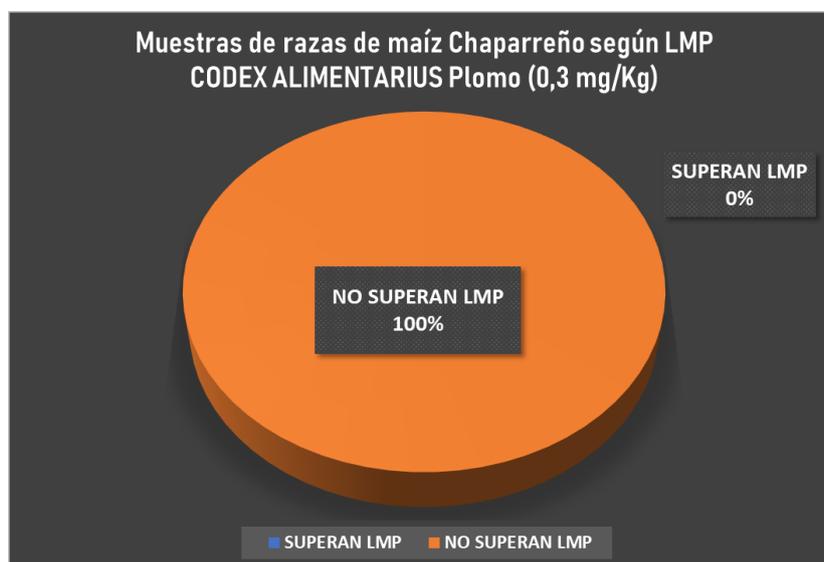
Figura 29: se observa que, todas las muestras de la raza de “maíz” *kculli*, no superaron el límite máximo permitido para plomo, establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0,3 mg/kg).



**Figura 30.** Muestras de razas de “maíz” raza *jora* comparado con el *CODEX ALIMENTARIUS* para plomo (0,3 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

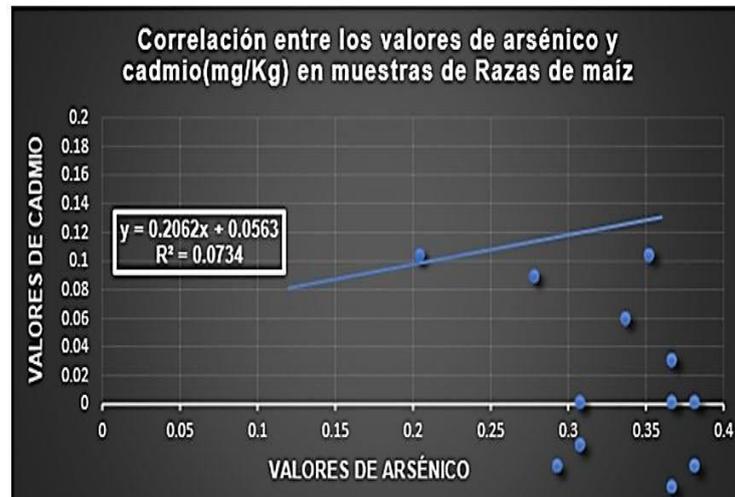
En la figura 30 se observa que, 02 de las 05 muestras analizadas de la raza de “maíz” *jora*, superaron el límite máximo permitido para plomo, establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0,3 mg/kg).



**Figura 31.** Muestras de razas de “maíz” *chaparreño* comparado con el *CODEX ALIMENTARIUS* para plomo (0,3 mg/kg).

**Fuente:** Elaboración propia.

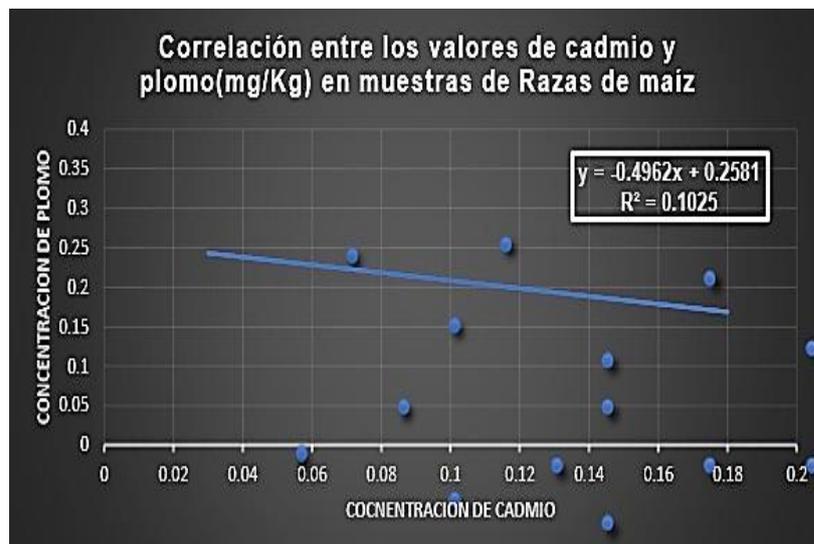
Figura 31: muestra que, todas las muestras de la raza de “maíz” *chaparreño*, no superaron el límite máximo permitido para plomo, establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0,3 mg/kg).



**Figura 32.** Correlación entre los valores de arsénico y cadmio en muestras de razas de “maíz”, según el Coeficiente de correlación de Pearson

**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 32: se observa una baja o débil correlación del coeficiente de Pearson (de 0.27) entre las concentraciones de arsénico y cadmio, lo que indica que sus grados de concentración en los granos de “maíz” se encuentran correlacionados débilmente.



**Figura 33.** Correlación de niveles de concentración de cadmio y plomo en las razas de “maíz”, según el Coeficiente de correlación de Pearson

**Fuente:** Elaboración propia.

Figura 33: se observa, de acuerdo con el coeficiente de Pearson de -0.32, una moderada

correlación entre el cadmio y el plomo, pero en sentido negativo, lo que significa que el aumento moderado en la concentración de uno indica el descenso moderado del otro.



**Figura 34.** Correlación entre los valores de plomo y arsénico en muestras de razas de “maíz”, según el Coeficiente de correlación de Pearson

**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 34: se observa que, de acuerdo con el coeficiente de Pearson de 0.08, la correlación es escasa o inexistente, entre los valores de plomo y arsénico, lo que significa que estos dos metales no se encontrarían correlacionados.

## V. DISCUSIÓN

Después de recopilar los datos en el trabajo de campo, se procedió a analizar y discutir los resultados en este capítulo. La finalidad fue contrastarlos con los postulados teóricos y los antecedentes del estudio, con el objetivo de generar información que contribuya a abordar la problemática de investigación. En este contexto, el estudio se centra en cuantificar los niveles de arsénico, cadmio y plomo presentes en las muestras de cuatro variedades de maíz (*Zea mays L.*) - *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño* - comercializadas en el mercado Caquetá de la ciudad de Lima. Esto se debe a la alta toxicidad de estos metales y al hecho de que el maíz es uno de los alimentos más consumidos en esta región y en el país.

En la ejecución del estudio, se emplearon métodos analíticos específicos, siendo la Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) la técnica principal. Para la cuantificación de arsénico, se aplicó la EAA con generador de hidruros, mientras que para cadmio y plomo se utilizó la EAA con horno de grafito. Esta elección se basó en la linealidad y sensibilidad demostradas por ambos métodos, así como en la capacidad para minimizar interferencias, en comparación con otras técnicas disponibles.<sup>42</sup>

En este contexto, los resultados de las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo en las 20 muestras de las cuatro variedades de maíz (*Zea mays L.*)—*cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*—comercializadas en el mercado Caquetá de la ciudad de Lima fueron cotejados con los límites máximos permitidos según las regulaciones establecidas por MERCOSUR y el *CODEX ALIMENTARIUS*.

Según la tabla 14 y la figura 9, se determinó que el valor promedio de la concentración de arsénico en las cuatro variedades de maíz fue de 0.236 mg/kg. Sin embargo, se observó que cuatro muestras excedieron los niveles permitidos para este metal: dos de la variedad *cusco gigante* (0.310 y 0.360 mg/kg) y dos de la variedad *chaparreño* (0.330 y 0.320 mg/kg). El promedio de estas cuatro muestras fue de 0.330 mg/kg de arsénico, superando ligeramente el límite máximo establecido por MERCOSUR (0.30 mg/kg). Es relevante destacar que ninguna de las muestras de las variedades *kculli* y *jora* excedió los límites máximos permitidos. En resumen, la concentración promedio de arsénico estuvo un 21.3% por debajo del límite máximo permitido, aunque el 20% de las muestras superaron este límite.

Según la tabla 14 y la figura 11, se determinó que el valor promedio de la concentración de cadmio en las cuatro variedades de maíz fue de 0.105 mg/kg. Sin embargo,

se observó que diez muestras (50%) superaron los niveles permitidos para este metal: tres de la variedad cusco gigante, tres de la variedad *kculli* y cuatro de la variedad *chaparreño*. El promedio de estas diez muestras fue de 0.148 mg/kg de cadmio, superando ligeramente el límite máximo establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0.10 mg/kg). Ninguna de las muestras de la variedad jora superó el límite máximo permisible. En resumen, la concentración promedio de cadmio estuvo solo un 5% por encima del límite máximo permitido, aunque el 50% de las muestras superaron este límite en un promedio del 48%.

Según la tabla 14, el valor promedio de concentración de plomo en las cuatro variedades de maíz fue de 0.206 mg/kg. Con referencia a la figura 13, se observa que tres muestras, una de la variedad cusco gigante y dos de la variedad jora, superaron el límite máximo permitido establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0.30 mg/kg). Mientras que, según las normas del MERCOSUR, según la figura 15, ocho muestras superaron los valores de concentración de este metal: tres de la variedad cusco gigante, cuatro de la variedad jora y una de la variedad *chaparreño*. En promedio, estas ocho muestras tuvieron un valor de concentración de 0.266 mg/kg, en comparación con el límite máximo establecido por el MERCOSUR (0.20 mg/kg). Ninguna de las muestras de la variedad *kculli* superó el límite máximo permisible. En general, la concentración de plomo estuvo solo un 3% por encima del límite máximo permitido, aunque el 40% de las muestras superaron la concentración máxima permitida.

Es importante resaltar que según se describe en la tabla 15, los valores medios de arsénico encontrados en las razas de “maíz” (*cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*) fueron 0.278, 0.184, 0.212 y 0.27 mg/kg respectivamente, valores que se encuentran debajo del límite máximo permisible (0,30 mg/kg.) establecido por MERCOSUR. En cuanto a los valores medios de cadmio encontrados en las razas de “maíz”, *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño* (tabla 16), estos fueron 0.114, 0.118, 0.05 y 0.138 mg/kg respectivamente, se evidenció que se encuentran por encima del valor establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* los del maíz *cusco gigante*, *kculli* y *chaparreño*, pudiendo provocar efectos a la salud humana. Así también, en la tabla 17 se evidencian los valores medios de plomo encontrados en las razas de “maíz”, *cusco gigante*, *kculli*, *jora* y *chaparreño*, los cuales fueron 0.226, 0.146, 0.27 0.182 mg/kg respectivamente, rescatando que las muestras de *cusco gigante*, *jora* y *chaparreño* sobrepasan los parámetros establecidos por el MERCOSUR y con respecto a los parámetros establecidos por el *CODEX ALIMENTARIUS*, las razas de *cusco gigante* y *jora* sobrepasaron los valores máximos permisibles; pudiendo ser perjudicial para la salud humana.

En los resultados de la figura 32 se obtuvo que existe una baja o débil correlación del coeficiente de Pearson (0.27) entre las concentraciones de arsénico y cadmio, lo que indica que sus grados de concentración en los granos de “maíz” se encuentran correlacionados débilmente. También en los resultados de la figura 33 se apreció que existe una baja o débil correlación del coeficiente de Pearson (de 0.27) entre las concentraciones de arsénico y cadmio, lo que indica que sus grados de concentración en los granos de “maíz” se encuentran correlacionados débilmente. Y en la figura 34 se evidenció que existe de acuerdo con el coeficiente de Pearson de 0.08, la correlación es escasa o inexistente, entre los valores de plomo y arsénico, lo que significa que estos dos metales no se encontrarían correlacionados.

## VI. CONCLUSIONES

1. El valor promedio de arsénico para la raza de “maíz” *cusco gigante* fue de 0.278 mg/kg; para la raza *kculli* de 0.184 mg/kg; para la raza *jora* de 0.212 mg/kg y para la raza *chaparreño* de 0.27 mg/kg. En promedio, las 4 razas de “maíz” estuvieron por debajo del límite máximo establecido por el MERCOSUR (0.30 mg/kg); sin embargo, cuatro muestras (20%) superaron los valores máximos permisibles.
2. El valor promedio de cadmio para la raza de “maíz” *cusco gigante* fue de 0.114 mg/kg; para la raza *kculli* de 0.118 mg/kg; para la raza *jora* de 0.05 mg/kg y para la raza *chaparreño* de 0.138 mg/kg. Tres razas de “maíz” tuvieron valores promedios por encima del límite máximo establecido por el *CODEX ALIMENTARIUS* (0.10 mg/kg); 10 muestras (50%) superaron los valores máximos permisibles. Ninguna de las muestras de la raza *jora* estuvo por encima de dicho límite.
3. El valor promedio de plomo para la raza de “maíz” *cusco gigante* fue de 0.226 mg/kg; para la raza *kculli* de 0.146 mg/kg; para la raza *jora* de 0.27 mg/kg y, para la raza *chaparreño* de 0.182 mg/kg. Dos razas de “maíz” tuvieron valores promedios por encima del límite máximo establecido por el MERCOSUR (0.20 mg/kg.); 08 muestras (40%) superaron los valores máximos permisibles. Ninguna de las razas de “maíz” superó en promedio los límites máximos establecidos *CODEX ALIMENTARIUS* (0.30 mg/kg).
4. El coeficiente de Pearson para arsénico y cadmio fue de 0.27, lo que significa una débil señal de correlación, mientras que el coeficiente para cadmio y plomo fue una correlación de fuerza moderada negativa (- 0.32). Por último, el coeficiente para plomo y arsénico fue de 0.08, una correlación escasa o prácticamente inexistente.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Algunas muestras de “maíz” superaron los límites para cadmio, plomo y arsénico, por lo que es recomendable identificar los lugares de procedencia de estos productos y analizar los factores que podrían estar incrementando la concentración de metales pesados, no solo en el “maíz”, sino también en diferentes cultivos.
2. Es recomendable adoptar, como país, los valores establecidos por el MERCOSUR para los niveles de plomo en “maíz”, y no los del *CODEX ALIMENTARIUS*, a fin de reducir el riesgo de exposición en la población.
3. Los resultados de este estudio tienen un carácter exploratorio y pueden proporcionar una aproximación de cómo podría estar siendo el comportamiento de la concentración de metales pesados en los granos de maíz vendidos en el Mercado Caquetá de la ciudad de Lima.
4. Es recomendable desarrollar nuevos estudios de investigación, en otros mercados de la ciudad de Lima, a fin de determinar las concentraciones de metales pesados en las razas de “maíz”, y evaluar el riesgo de exposición en la población.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. García-Mendoza P. El cultivo del “maíz” en el mundo y en Perú. Rev. Investig. Univ. Le Cordon Bleu 4(2), 2017; ISSN: 2409-1537; 73-7. Disponible en: <https://revistas.ulcb.edu.pe/index.php/REVISTAULCB/article/view/65/234>.
2. Instituto Nacional de Higiene “Rafael Rangel”. Editorial: Metales tóxicos en alimentos. Revista. Vol 48 (1-2). 2017. Disponible en: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/06/1000319/editorial-metales-toxicos-en-alimentos.pdf>.
3. Huamanchumo de la Cuba C. La cadena de valor de “maíz” en el Perú. Diagnóstico del estado actual tendencias y perspectivas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) 2013. Disponible en: <http://repositorio.iica.int/handle/11324/265>.
4. García I, Dorronsoro C. Tema 15. Contaminación de los suelos. Universidad de Granada. España. 2011. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/proced.htm>.
5. Ministerio de Salud. Vigilancia Epidemiológica en Salud Pública de Factores de Riesgo e Intoxicación por Metales Pesados y Metaloides. 111201401st ed. Lima. Perú. 2015.
6. Munive-Cerrón R. Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación. Tesis. Repositorio Institucional. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 2018. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3770>.
7. Ministerio de Salud. Guía de Práctica Clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por arsénico. Lima: RM N° 389-2013-MINSA. Perú. 2012.
8. Ministerio de Salud. Guía de Práctica Clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por cadmio. Lima: RM N° 757-2011-MINSA. Perú. 2015.
9. Organización Mundial de la Salud. Intoxicación por plomo. Notas descriptivas. 2021. Acceso 12 de Marzo de 2022. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.
10. Ministerio de Salud. Manual de Atención de Personas Expuestas a Plomo. RM N° 400-2017-MINSA. Lima. Perú. 2017.
11. Flores R. Efectos adversos de metales pesados en la agricultura de la cuenca baja del río Huaura. 2017. Revista Ciencia y Tecnología. Universidad Nacional de Trujillo. Vol. 14

- Núm. 4 (2018). Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2168>.
12. IndexMundi. Producción de maíz en Perú por año. Disponible en: <https://www.indexmundi.com/agriculture/?country=pe&commodity=corn&graph=production>.
  13. Ministerio de Agricultura y Riego. Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de “maíz” Amiláceo. Dirección General de Políticas Agrarias. Lima, Perú. 2018.
  14. Nordberg G. Metales: propiedades químicas y toxicidad. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Sumario 63.1 2nd ed. 2011. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+63.+Metales+propiedades+qu%C3%ADmicas+y+toxicidad>.
  15. Davies, B. Heavy metal pollution of British agricultural soils with special reference to the role of lead and copper mining. United States: N. p., 1977. Disponible en: <https://www.osti.gov/biblio/5202609-heavy-metal-pollution-british-agricultural-soils-special-reference-role-lead-copper-mining>.
  16. Millipore M. Espectroscopia atómica. El Principio analítico. 2014. Disponible en: [http://www.merckmillipore.es/chemicals/the-analyticalprinciple/c\\_K2eb.s1OFCYAAAE dye1RbT2M? CountryName=Spain](http://www.merckmillipore.es/chemicals/the-analyticalprinciple/c_K2eb.s1OFCYAAAE dye1RbT2M? CountryName=Spain).
  17. Adegbe A, Eneji S, Aboiyar T, Wuana R. Modelling of Heavy Metals Concentration in Maize (*Zea mays L.*) Grown in Artificially Contaminated Soil. Asian Journal of Physical and Chemical Sciences. 2018; 5(3): p. 1-13. Disponible en: <https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=2011979>.
  18. Llallahuí M. Determinación de Arsénico, Cadmio y Plomo en especias en polvo: Ají Paprika (*Capsicum annum*, L.), Ají Panca (*Capsicum chinense*), Pimienta (*Piper nigrum*) y Comino (*Cuminum cyminum*), expendidos en el Mercado Caquetá-San Martín de Lima. Universidad Norbert Wiener. 2018.
  19. Condezo M. Cuantificación de plomo, cadmio y arsénico en granos de cacao *Theobroma cacao* L. y café *Coffea arabica* L. de la zona de Jaén-cajamarca durante el periodo febrero – julio. Universidad Norbert Wiener. 2018.
  20. Arévalo-Gardini E, Obando-Cerpa M, Zúñiga-Cernades L, Arévalo-Hernández C, Baligar-Virupax, He Zhenli. Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. Ecol. apl. [Internet]. 2016 Jul [citado

- 2022 Jun 05]; 15(2): 81-89. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162016000200003&lng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162016000200003&lng=es). <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>.
21. Dávalos-Andía A. Diversidad de “maíz” (*Zea mays L.*) en la selva peruana. Lima. Perú. Repositorio Institucional.Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2017. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2829>.
  22. Munive R, Loli O, Azabache A, Gamarra G. Fitorremediación con “maíz” (*Zea mays L.*) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria* 9(4): 551 – 560. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2018.04.11. 2018.
  23. Jara-Calvo W. Manejo del “maíz” amiláceo INIA 618 - Blanco Quispicanchi. Ministerio de Agricultura. Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Estación Experimental Agraria Andenes. Cusco. 2012. Disponible en: <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/113?mode=full>.
  24. Ministerio del Ambiente. Perú. Línea de base de la diversidad genética del “maíz” peruano con fines de bioseguridad. 2018. Disponible en: <https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/Linea-de-base-ma%C3%ADz-LowRes.pdf>.
  25. Mangelsdorf P. Maíz; Su Origen, Evolución y Perfeccionamiento. Harvard University Press. 1974. Disponible en: <https://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674421707>.
  26. Jara W. Manejo del Maíz Amiláceo INIA 618 - Blanco Quispicanchi. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Cusco. Perú. 2012. Disponible en: <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/113>.
  27. Allard R. Principios de la mejora genética de las plantas. Editorial Omega 2da ed. Barcelona. 1967. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/474>.
  28. Grobman A, Salhuana W, Sevilla R. Races of maize in Peru: their origins, evolution and classification. In. Washington : D.C.: NAS-NRC; 2011.
  29. Ministerio de Agricultura. Manual Técnico “maíz” Blanco Urubamba Cusco: Blanco Gigante. Serie Manual N° - 13. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Cusco. Perú. 2013. Disponible en: <https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/87/3/Quevedo->

Manual...maiz\_blanco\_Urubamba.pdf.

30. Xiaodong Wen, Peng Wu, Li Chen, Xiandeng Hou. Determination of cadmium in rice and water by tungsten coil electrothermal vaporization-atomic fluorescence spectrometry and tungsten coil electrothermal atomic absorption spectrometry after cloud point extraction. *Analytica Chimica Acta*, Volume 650, Issue 1, 2009, Pages 33-38, ISSN 0003-2670, <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.01.053>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267009001822>.
31. Fu J, Zhou Q, Liu J, Liu W, Wang T, Zhang Q, Jiang G. High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health. *Chemosphere*. 2008 Apr;71(7):1269-75. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.11.065. Epub 2008 Mar 4. PMID: 18289635.
32. Baars AJ, Theelen RMC, Janssen PJCM, Hesse JM, van Apeldoorn ME, Meijerink MCM, Verdam L, Zeilmaker MJ. Reevaluación de los niveles máximos permisibles de riesgo toxicológico humano. National Institute for Public Health and the Environment (Netherlands). 2009. Disponible en: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.html>.
33. Sánchez G, Goodman J, Stuber W. Isozymatic diversity of the races of maize of the Americas. 185203rd ed.: Maydica. 2010.
34. Weber J, Karczewska A. Biogeochemical processes and the role of heavy metals in the soil environment. 105107th ed. *Geoderma*. 2009.
35. Alloway B, Jackson A. The behavior of heavy metals in sewage sludge amended soils. 151176th ed. *The Science of the Total Environment*. 2013.
36. Tiller K. Heavy metals in soils and their environmental significance. 113142nd ed. *Advances in soil science*. 2012.
37. Nicholson F, Smith S, Alloway B, Carlton-Smith C, Chambers B. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales, *Science of The Total Environment*, Volume 311, Issues 1–3, 2003, Pages 205-219, ISSN 0048-9697. Disponible en; [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00139-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00139-6).
38. Kabata-Pendias A. Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soils. En: *Heavy metals problems and solutions*. 318th ed. In. W. Salomons. 2012.
39. Zheljzkov V, Warman P. Source-separated municipal solid waste compost application to Swiss Chard and Basil.. 542552nd ed. *Journal of Environmental Quality*. Abril. 2016.

40. Sánchez M, et al. Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter.. 325332nd ed. Waste Management. 2004; 24(4).
41. Nriagu J, Pacyna J. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature. 1988 May 12;333(6169):134-9. doi: 10.1038/333134a0. PMID: 3285219.
42. Gutierrez E, Vargas A. Determinación de plomo y arsénico en maquillaje artístico de diferentes marcas que se expenden en Lima Metropolitana. [Tesis de grado]. Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2020
43. Oliver M. Soil and human health: a review. 57339th ed. European Journal of Soil Science. 2012; 48. Disponible en: [https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference\\_id/1327208](https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/1327208).
44. Perez A, Volpedo A, Fernandez A. El arsénico: del agua a los alimentos. Ciencia e investigación. 2015; 65 (2): 38-44
45. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. 2012; p. 73. Disponible en: <https://www.fao.org/publications/card/es/c/ba9ae266-a2cf-56b3-8846-03dc41027c53/>.
46. Huiracocha J. Evaluación del riesgo toxicológico por cadmio y plomo en granos de arroz (*Oryza sativa*) comercializados en la ciudad de Cuenca. [Tesis de Maestro]. Cuenca. Universidad de Cuenca; 2018
47. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. Determinación de arsénico, de sus compuestos en forma particulada y de vapores de trióxido de arsénico en aire - Método de generación de hidruros/Espectrofotometría de absorción atómica. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2012. Disponible en: [https://www.insst.es/documents/94886/359043/MA\\_035\\_A96.pdf/3c16566c-b8b4-4fd1-853c-86f4ae471e8e](https://www.insst.es/documents/94886/359043/MA_035_A96.pdf/3c16566c-b8b4-4fd1-853c-86f4ae471e8e).
48. Colombi A, Maroni M.. Indicadores biológicos para la valoración de la exposición humana a compuestos químicos industriales. Valencia: Cancillería de Sanidad de Valencia.
49. Kjellstrom T, Nordberg G. Kinetic model of cadmium metabolism. Cadmium and

- Health, A Toxicological and Epidemiological Appraisal. 17997th ed. Press C, editor. In Raton B. 2005.
50. Luna R, Rodriguez V. Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta – Cajamarca. [Tesis de grado]. Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2016
  51. Toxicocinética y evaluación de riesgos para la salud producidos por exposición a cadmio. 317th ed.: Medicina y Seguridad del Trabajo. 2011; 35.
  52. Organización Mundial de la Salud. Environmental Health Criteria 134: Cadmium. Geneva. 1992. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38998/9241571349-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
  53. Ramirez A. Toxicología del cadmio - Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. An Fac med [Internet]. 18 de marzo de 2002 [citado 5 de junio de 2022]; 63(1):51-64. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/anales/article/view/1477>.
  54. Organización Mundial de la Salud. Intoxicación por plomo. [Publicado: 11/10/2021]. Acceso: 16/03/2022. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.
  55. Beltran M. Metales pesados (Cadmio, Cromo y Mercurio): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. Investigación, innovación e ingeniería. 2015; 1:82-113
  56. Juárez D, Méndez M. Aspectos funcionales de la metalotioneína en el sistema nervioso central. Arch Neurocienc. 2014; 19 (1): 34-41
  57. Kesten E. Modificaciones de parámetros bioquímicos por efecto del cadmio. [Tesis doctoral]. Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires. 1982. [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n1716\\_Kesten.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n1716_Kesten.pdf)
  58. Bisquerra R. Método de Investigación Educativa (Guía Práctica). CEAC. Barcelona. España; 1998
  59. Valderrama S. Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. (2da Ed.). San Marcos; 2018
  60. Hernández-Sampieri R, Mendoza C. Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativas, cualitativas y Mixtas. McGRAW-HILL Interamericana Editores, S.A. de

C. V; México; 2018

61. García I, Dorronsoro C. Contaminación de los suelos. Tema 15: Contaminación por metales pesados. 2019.
62. Universidad de Granada. Departamento de Medicina Legal Toxicología y Psiquiatría. Determinación de Metales por absorción atómica - Horno de Grafito. España. [Internet] Acceso: 16/03/2022. Disponible en: <https://www.ugr.es/~fgil/proyecto/grafito/fundamento3.html>.
63. De la Cruz-Toribio M. Espectrometría de absorción atómica técnica: Generación de hidruros. [Online]; 2002. Acceso 16 de Marzo de 2022. Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_8f393e64114bd0f0b14d64789f962598/Description](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_8f393e64114bd0f0b14d64789f962598/Description).
64. Franca -Tarrogó, O. Manual de psicoética para psicólogos y psiquiatras. Ed. 2da. España. Desclée de Brouwer, S.A.; 2016. 14 p.

**IX. ANEXOS**  
**Anexo A: Matriz de consistencia**

Planteamiento del problema	Objetivos	Hipótesis	Justificación	Variable	Tipo de variable	Metodología
<p>¿Cuál será la concentración de arsénico, cadmio y plomo en diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) expendidas en el Mercado Caquetá - Lima durante los meses de enero a diciembre 2020?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b></p> <p>¿Cuál será la concentración de arsénico de las diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) expendidas en el Mercado Caquetá de Lima, comparado con los valores permitidos por la MERCOSUR (Mercado Común del Sur)?</p> <p>¿Cuál será la concentración de cadmio en diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) expendidas en el mercado Caquetá de Lima, con los valores</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>➤ Determinar los niveles de concentración de arsénico, cadmio y plomo en diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) expendidas en mercado Caquetá – Lima de enero a diciembre del 2020.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <p>➤ Comparar la concentración de arsénico en diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) expendidas en mercado Caquetá – Lima, con el valor permitido por la MERCOSUR.</p> <p>➤ Comparar la concentración de cadmio en diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) expendidas en mercado Caquetá - Lima, con el valor permitido por el CODEX ALIMENTARIUS.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>➤ Las diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) obtenidas superan los límites permitidos por CODEX ALIMENTARIUS y MERCOSUR en su composición arsénico, cadmio y plomo las cuales son expendidas en el mercado Caquetá - Lima durante enero a diciembre del 2020.</p> <p><b>Hipótesis Específicas:</b></p> <p>➤ Las diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) superan el valor permitido de arsénico en su composición por el MERCOSUR las cuales son expendidas en el mercado Caquetá – Lima.</p> <p>➤ Las diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) superan el valor permitido de cadmio en su composición por el CODEX ALIMENTARIUS las</p>	<p>Dar a conocer los resultados encontrados con la finalidad de evaluar si los valores encontrados superan los límites máximos permisibles del MERCOSUR y el CODEX ALIMENTARIUS</p>	<p>Cuantitativa continua</p>	<p><b>Variable independiente:</b></p> <p>➤ Raza <i>cusco gigante</i></p> <p>➤ Raza <i>kculli</i></p> <p>➤ Raza <i>jora</i></p> <p>➤ Raza <i>chaparreño</i></p> <p><b>Variable dependiente:</b> Concentración de arsénico, cadmio y plomo</p>	<p>Proceso de laboratorio, por espectrofotometría de absorción atómica en horno grafito para plomo y cadmio y con generador de hidruros para evaluar niveles de arsénico.</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> <i>Observacional descriptivo de corte transversal.</i></p> <p><b>Población:</b> Los diferentes granos de “maíz” comercializadas en el mercado de Caquetá, durante los meses de enero a diciembre del 2020</p> <p><b>Muestra:</b> Granos de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) de las razas: <i>cusco gigante, kculli, jora y chaparreño.</i></p>

<p>permitidos por el <i>CODEX ALIMENTARIUS</i>?</p> <p>¿Cuál será la concentración de plomo en diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) expendidas en el mercado Caquetá de Lima, con los valores, permitidos por el <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> y el MERCOSUR?</p> <p>¿Cuál será la correlación entre las concentraciones obtenidas de arsénico, cadmio y plomo en diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) expendidas en mercado Caquetá de Lima?</p>	<p>➤ Comparar la concentración de Plomo en diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) expendidas en mercado Caquetá - Lima, con el valor permitido por el <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> y la MERCOSUR.</p> <p>➤ Establecer la relación entre la concentración de arsénico, cadmio y plomo de diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) expendidas en mercado Caquetá - Lima</p>	<p>cuales son expendidas en el mercado Caquetá – Lima.</p> <p>➤ Las diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) superan el valor permitido de plomo en su composición por el <i>CODEX ALIMENTARIUS</i> y el MERCOSUR (Mercado Común del Sur), las cuales son expendidas en el mercado Caquetá – Lima.</p> <p>➤ Existe relación entre las concentraciones obtenidas de arsénico, cadmio y plomo en las diversas razas de “maíz” (<i>Zea mays L.</i>) expendidas en mercado Caquetá - Lima.</p>				
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--

### Anexo B: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Valores	Criterio de medición	Escala de medición variable	Instrumento de recolección de datos
Concentraciones de plomo, cadmio y arsénico en granos de "maíz"	Evaluar los niveles de concentración de metales pesados en los granos de "maíz" comparados con los estándares internacionales	Niveles de concentración en los granos de "maíz" comparados con los estándares internacionales	Valores de concentración para metales pesados del MERCOSUR y <i>CODEX ALIMENTARIUS</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Arsénico: 0.30 mg/kg (MERCOSUR)</li> <li>➤ Cadmio: 0.80 mg/kg (<i>CODEX ALIMENTARIUS</i>)</li> <li>➤ Plomo: 0.2 mg/kg (MERCOSUR)</li> <li>➤ Plomo: 0.2 mg/kg (<i>CODEX ALIMENTARIUS</i>)</li> </ul>	Niveles de concentración en mg/kg	Cuantitativa	Espectrofotómetro de absorción atómica con horno grafito y generador de hidruros

## Anexo C: Informe de laboratorio



### INFORME DE ENSAYO P20-524

A solicitud de: ROSA PILARES SALAS / GISELA LEONOR LOPEZ AMBOLALLA

Asunto: Análisis Químico de Arsénico, Cadmio y Plomo en variedades de maíz

Atención: Rosa Pilares Salas / Gisela Leonor López Ambolalla

Cantidad de Muestra(s): 20

Fecha de Recepción: Viernes, 11 de Diciembre del 2020

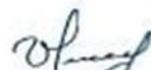
Fecha de Reporte: Lunes, 28 de Diciembre del 2020

Instrucciones de Ensayo: ABSORCION ATOMICA CON GENERADOR DE HIDRUROS PARA As - GH AAS  
ABSORCION ATOMICA CON HORNO DE GRAFITO PARA Cd Y Pb - GF AAS

Total de páginas: 03 (incluida esta)



Innovative Technologies

  
Ing. Verónica Caso Canto  
Jefe de Laboratorio

1

Certificado por



SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERU S.A.C.  
\*Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado de AENOR ER-0174/2019 e IQNET ES-0174/2019\*

Calle Marón de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú  
Central Telefónica: (511) 404 9702 • Móvil: 994 897 262 • Correo: servicio\_cliente@actlabsperu.com • www.actlabsperu.com

## INFORME DE ENSAYO P20-524

ITEM	Símbolo de Análisis Código de Análisis Símbolo de Unidad	As GH AAS ppm
1	RCG -01	0.31
2	RCG -02	0.36
3	RCG -03	0.27
4	RCG -04	0.22
5	RCG -05	0.23
6	FK-01	0.18
7	FK-02	0.21
8	FK-03	0.12
9	FK-04	0.24
10	FK-05	0.17
11	RJ-01	0.24
12	RJ-02	0.19
13	RJ-03	0.23
14	RJ-04	0.21
15	RJ-05	0.19
16	RC-01	0.33
17	RC-02	0.19
18	RC-03	0.28
19	RC-04	0.23
20	RC-05	0.32

Innovative Technologies

2

Certificado por



SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERÚ S.A.C.  
\*Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado de AENOR ER 0174/2019 e IQNET ES-0174/2019\*

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Marango - San Miguel, Lima - Perú

Central Telefónica: (511) 454 9752 • Móvil: 934 837 282 • Correo: servicio\_cliente@actlabsperu.com • www.actlabsperu.com

## INFORME DE ENSAYO P20-524

ITEM	Simbolo de Análito Codigo de Análisis Simbolo de Unidad	Cd GF AAS ppm	Pb GF AAS ppm
1	RCG - 01	0.11	0.32
2	RCG -02	0.13	0.26
3	RCG -03	0.08	0.16
4	RCG -04	0.16	0.18
5	RCG -05	0.09	0.21
6	RK-01	0.06	0.13
7	RK-02	0.13	0.16
8	RK-03	0.16	0.18
9	RK-04	0.09	0.11
10	RK-05	0.15	0.15
11	RJ-01	0.06	0.28
12	RJ-02	0.07	0.35
13	RJ-03	0.05	0.21
14	RJ-04	0.04	0.34
15	RJ-05	0.03	0.17
16	RC-01	0.17	0.19
17	RC-02	0.09	0.25
18	RC-03	0.18	0.18
19	RC-04	0.11	0.16
20	RC-05	0.14	0.13

Innovative Technologies

3

Certificado por



SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERU S.A.C.  
\*Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado de AENOR ER-0174/2019 e IQNet ES-0174/2019\*

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú  
Central Telefónica: (511) 454 9752 • Móvil: 994 897 262 • Correo: servicio\_cliente@actlabsperu.com • www.actlabsperu.com

Recolección de muestras de razas de “maíz”; *Cusco gigante*, *Kculli*, *Jora*, y *Chaparreño*



## Reporte de similitud TURNITIN

### ● 18% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cross

---

#### FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	<b>hdl.handle.net</b> Internet	3%
2	<b>dspace.ucuenca.edu.ec</b> Internet	2%
3	<b>repositorio.upads.edu.pe</b> Internet	2%
4	<b>cybertesis.unmsm.edu.pe</b> Internet	1%
5	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Internet	<1%
6	<b>vsip.info</b> Internet	<1%
7	<b>intra.uigv.edu.pe</b> Internet	<1%
8	<b>repositorio.uroosevelt.edu.pe</b> Internet	<1%
9	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Internet	<1%