



Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Maestría en Toxicología Industrial y Ambiental

“Evaluación del riesgo toxicológico por cadmio y plomo en granos de arroz (*Oryza sativa*) comercializados en la ciudad de Cuenca”

**Tesis previa a la obtención del título de
Magíster en Toxicología Industrial y Ambiental**

Autor:

Bqf. Juan Fernando Huiracocha Piedra

C.I: 0104289053

Directora:

Dra. Silvana Patricia Donoso Moscoso MSc.

C.I: 0102590569

Cuenca, Ecuador

Septiembre, 2018

RESUMEN

La seguridad alimentaria es uno de los problemas de salud pública más importantes en todo el mundo. Por ello, este trabajo propuso evaluar el riesgo toxicológico que implica la presencia de cadmio y plomo en los granos de arroz blanco e integral, comercializados en la ciudad de Cuenca, ya que el arroz es un alimento esencial en la dieta de los cuencanos y son conocidos los efectos perjudiciales sobre la salud debido a la exposición a dichos metales. En este estudio, se realizó una encuesta ($n=385$), con el fin de obtener los datos de lugar de toma de las muestras, tipo de arroz, cantidad consumida, entre otros. Los análisis de las concentraciones se realizaron mediante Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA), previa digestión ácida, obteniéndose concentraciones de plomo en el arroz integral ($n= 10$, $\bar{X}=0.31\text{mg/Kg}$, $SD=0.02\text{ mg/Kg}$) superiores a los límites máximos establecidos en el Codex Alimentarius (0.2 mg/Kg). Las concentraciones de cadmio en los granos de arroz integral, así como de cadmio y plomo en arroz blanco ($n=5$), estuvieron por debajo del límite de detección ($Cd=0.05\text{ mg/Kg}$, $Pb=0.2\text{ mg/Kg}$). Se determinó el riesgo toxicológico, para hombres, mujeres, mujeres embarazadas y niños, cuyos cocientes de peligro (HQ) son de: 0.31, 0.63, 1.87 y 1.86 respectivamente. Los valores obtenidos del HQ para niños y mujeres embarazadas son preocupantes, debido sobre todo a la probabilidad de manifestar efectos adversos, principalmente en el desarrollo neurológico de los niños. Por otro lado el riesgo carcinogénico a estos niveles de exposición en la población es bajo.

Palabras clave: Riesgo toxicológico, arroz, contaminación, cadmio, plomo.

ABSTRACT

Food safety is one of the most important public health problems in the world. Therefore, this study proposed to evaluate the toxicological risk that implies the presence of cadmium and lead in white and brown rice grains, commercialized in the city of Cuenca. Since the rice is an essential food in the diet of the inhabitants of Cuenca and it is known the harmful effects on health due to exposure to these metals. In the present study a survey ($n=385$) was conducted in order to obtain the data of place of sampling, type of rice, amount consumed, among others. The analyses of concentrations of both metals were determined by Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), previous acid digestion. It was obtained lead concentrations in brown rice ($n=10$, $\bar{X}=0.31\text{mg/kg}$, $SD=0.02\text{ mg/kg}$), which were above the established maximum limits in the Codex Alimentarius (0.2 mg/Kg). The concentrations of cadmium in the grains of brown rice, as well as of cadmium and lead in white rice ($n=5$), were below the limit of detection (Cd=0.05 mg/Kg, Pb=0.2 mg/Kg). The toxicological risk was determined for men, women, pregnant and children, whose Hazard Quotient (HQ) are: 0.31, 0.63, 1.87 and 1.86 respectively. The values obtained from HQ, for children and pregnant women (> 1), are worrying, due above all to the probability of manifesting adverse effects, mainly in the neurological development of children. On the other hand, the carcinogenic risk, at these levels of exposure in the population, is low.

Key words: Toxicological risk, rice, contamination, cadmium, lead.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Arroz	15
2.1.1. Generalidades.....	15
2.1.2. Clasificación del arroz	15
2.1.3. Crecimiento y desarrollo de la planta	17
2.1.4. Procesamiento del arroz.....	20
2.1.5. Producción mundial del arroz	21
2.1.6. Arroz en Ecuador	21
2.2. Contaminación de arroz con metales pesados	22
2.3. Cadmio.....	23
2.3.1. Propiedades físico - químicas	24
2.3.2. Exposición al cadmio.....	24
2.3.2.1. Alimentos.....	24
2.3.2.2. Agua.....	25
2.3.2.3. Aire	26
2.3.3. Toxicocinética del cadmio	26
2.3.4. Toxicodinamia y toxicidad del cadmio.....	29
2.3.5. Valores referenciales de los niveles de cadmio	30
2.4. Plomo	30
2.4.1. Propiedades físico – químicas.....	31
2.4.2. Exposición al plomo	31
2.4.2.1. Alimentos.....	33
2.4.2.2. Agua.....	34
2.4.2.3. Aire	35
2.4.2.4. Suelo	35
2.4.3. Toxicocinética del plomo.....	36
2.4.4. Toxicodinamia y toxicidad del plomo	38
2.4.5. Valores referenciales de los niveles de plomo	39
2.5. Evaluación de riesgo toxicológico	40
2.5.1. Identificación del peligro	40

2.5.2. Evaluación Dosis – Respuesta	40
2.5.3. Evaluación de la exposición.....	41
2.5.4. Caracterización del riesgo.....	41
2.5.5. Manejo del riesgo.....	42
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.1. Tipo de estudio.....	43
3.2. Variables e indicadores	43
3.3. Metodología	43
3.3.1. Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en arroz	46
3.3.1.1. Materiales, equipos y procedimiento de análisis de muestras de arroz	48
3.3.2. Análisis de datos	50
3.3.3. Estimación del riesgo de exposición dietaria de cadmio y plomo por el consumo de granos de arroz blanco e integral	51
3.3.3.1. Evaluación de la exposición.....	51
3.3.3.2. Caracterización del riesgo.....	52
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	54
4.1. Caracterización de la población encuestada	54
4.1.1. Género	54
4.1.2. Edad	54
4.1.3. Peso	56
4.1.4. Consumo de arroz	57
4.2. Concentración de Cd y Pb en granos de arroz blanco e integral	59
4.3. Análisis estadísticos	61
4.3.1. Comparación de la concentración media de Pb con el Codex Alimentarius	61
4.3.2. Diferencias de las concentraciones de Pb entre los granos de arroz blanco e integral.....	62
4.3.3. Diferencias de las concentraciones de Pb entre las diferentes marcas comerciales del arroz integral.....	62
4.4. Estimación del riesgo de exposición dietaria de cadmio y plomo por el consumo de granos de arroz blanco e integral	63
4.4.1. Evaluación de exposición	63
4.4.1.1. Dosis de exposición	63
4.4.2. Caracterización del riesgo.....	64
4.4.2.1. Cociente de peligro y margen de exposición	64
4.4.2.2. Riesgo individual y riesgo poblacional.....	64



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	67
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
6.1. Conclusiones	69
6.2. Recomendaciones	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS	89
ANEXO 1. Encuesta	89
ANEXO 2. Modelo visual de la cantidad de arroz cocido por porciones expresada en gramos	90
ANEXO 3. Puntos generados aleatoriamente con el software Arcgis por parroquias.....	91
ANEXO 3-A. Puntos aleatorios generados en la parroquia Bellavista	91
ANEXO 3-B. Puntos aleatorios generados en la parroquia Cañaribamba	92
ANEXO 3-C. Puntos aleatorios generados en la parroquia El Batán	93
ANEXO 3-D. Puntos aleatorios generados en la parroquia El Sagrario	94
ANEXO 3-E. Puntos aleatorios generados en la parroquia El Vecino	95
ANEXO 3-F. Puntos aleatorios generados en la parroquia Gil Ramírez Dávalos	96
ANEXO 3-G. Puntos aleatorios generados en la parroquia Hermano Miguel.....	97
ANEXO 3-H. Puntos aleatorios generados en la parroquia Huayna Capac.....	98
ANEXO 3-I. Puntos aleatorios generados en la parroquia Machángara.....	99
ANEXO 3-J. Puntos aleatorios generados en la parroquia Monay	100
ANEXO 3-K. Puntos aleatorios generados en la parroquia San Blas	101
ANEXO 3-L. Puntos aleatorios generados en la parroquia San Sebastian	102
ANEXO 3-M. Puntos aleatorios generados en la parroquia Sucre	103
ANEXO 3-N. Puntos aleatorios generados en la parroquia Totoracocha	104
ANEXO 3-O. Puntos aleatorios generados en la parroquia Yanuncay.....	105
ANEXO 4. Ficha de muestreo de los granos de arroz blanco e integral	106
ANEXO 5. Resultados de las concentraciones de Cd y Pb en muestras de arroz	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Composición aproximada de arroz con cáscara y sus fracciones (14 % de humedad/100g)	16
Tabla 2: Tipo de grano en función de su longitud	17
Tabla 3: Tipo de grano en función a la proporción largo – ancho	17
Tabla 4: Las nueve etapas de crecimiento de la planta de arroz	18
Tabla 5: Etapas involucradas en la molienda del arroz.....	21
Tabla 6: Concentraciones de Cd en algunos productos alimenticios.....	24
Tabla 7: Ingesta diaria de cadmio según país	25
Tabla 8: Concentración media de Pb en algunos alimentos	33
Tabla 9: Ingesta media diaria de la población adulta.....	34
Tabla 10: Número de encuestas por parroquia urbana de Cuenca.....	44
Tabla 11: Índices toxicológicos para cadmio y plomo	51
Tabla 12: Estadísticos descriptivos del género de la población.....	54
Tabla 13: Estadísticos descriptivos de la edad de la población	55
Tabla 14: Frecuencia de la población de acuerdo al rango de edad.....	55
Tabla 15: Estadísticos descriptivos del peso de la población	56
Tabla 16: Media del peso según el rango de edad	56
Tabla 17: Porcentaje de la población que consume arroz.....	57
Tabla 18: Porcentaje de la población que consume arroz de acuerdo al genero.....	57
Tabla 19: Porcentaje de consumo con respecto al tipo de arroz	57
Tabla 20: Porcentaje de consumo del tipo de arroz con respecto al género	58
Tabla 21: Cantidad de consumo de acuerdo al tipo de arroz	59
Tabla 22: Cantidad de arroz consumida por la población de acuerdo al rango de edades	59
Tabla 23: Concentraciones de Cd y Pb en las muestras de arroz blanco e integral	60
Tabla 24: Estadísticos descriptivos de la concentración de Pb en granos de arroz integral	61
Tabla 25: Prueba t para comparar medias con el valor del Codex Alimentarius.....	62
Tabla 26: Dosis de exposición de acuerdo a los diferentes rangos de edad en mg/Kg/día.....	64
Tabla 27: Cociente de peligro de acuerdo a los diferentes rangos de edad	64
Tabla 28: Riesgo individual de acuerdo a los diferentes rangos de edad	65
Tabla 29: Número de habitantes en Cuenca	65
Tabla 30: Población de Cuenca que consume arroz integral según el género	65
Tabla 31: Riesgo poblacional de acuerdo a los diferentes rangos de edad	65
Tabla 32: Cálculo de indicadores de riesgo toxicológico	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de crecimiento de la planta de arroz desde la germinación hasta el macollaje	19
Figura 2. Etapas de crecimiento de la planta de arroz desde el encañado hasta la floración.....	19
Figura 3. Morfología del grano de arroz	20
Figura 4. Toxicocinética del cadmio.....	27
Figura 5. Fuentes y rutas de exposición al plomo.....	32
Figura 6. Parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca	45
Figura 7. Puntos aleatorios generados mediante el software Arcgis	45
Figura 8. Frecuencias absolutas de lugares de compra, por parte de la población, de arroz blanco	46
Figura 9. Frecuencias absolutas de lugares de compra, por parte de la población, de arroz integral	47
Figura 10. Frecuencias absolutas de las marcas más consumidas, por parte de la población, de arroz blanco.....	47
Figura 11. Frecuencias absolutas de las marcas más consumidas, por parte de la población, de arroz integral	48
Figura 12. Porcentaje de la población encuestada según el género	54
Figura 13. Porcentaje de datos de mujeres de acuerdo al rango de edad.....	55
Figura 14. Porcentaje de datos de hombres de acuerdo al rango de edad.....	56
Figura 15. Porcentaje de consumo según el tipo de arroz.....	58
Figura 16. Concentración de Pb en las muestras de arroz	60
Figura 17. Diagrama de caja de las concentraciones de Pb por tipo de arroz.....	63
Figura 18. Diagrama de caja de las concentraciones de Pb por marca comercial	63



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

2

Juan Fernando Huiracocha Piedra en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Evaluación del riesgo toxicológico por cadmio y plomo en granos de arroz (*Oryza sativa*) comercializados en la ciudad de Cuenca”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de septiembre de 2016

Juan Fernando Huiracocha Piedra

C.I: 0104289053



Cláusula de Propiedad Intelectual

Juan Fernando Huiracocha Piedra, autor del trabajo de titulación "Evaluación del riesgo toxicológico por cadmio y plomo en granos de arroz (*Oryza sativa*) comercializados en la ciudad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 26 de septiembre de 2018

Juan Fernando Huiracocha Piedra

C.I: 0104289053

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

ATSDR: (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades

CAS RN: (Chemical Abstracts Service Registry Number) Número de Registro del Servicio de Abstractos Químicos

DE: Dosis de exposición

DRf: Dosis de Referencia

EFSA: (European Food Safety Authority) Autoridad Europea para la Seguridad de los Alimentos

FAO: (Food and Agriculture Organization) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura

FDA: (Food and Drug Administration) Administración de Medicamentos y Alimentos

FP: Factor de pendiente

HI: (Hazard Index) Índice de Peligro

HQ: (Hazard Quotient) Cociente de Peligro

IARC: (International Agency for Research on Cancer) Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer

IDA: Ingesta Diaria Admisible

IDT: Ingesta Diaria Tolerable

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

INIAP: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropucuarias

IST: Ingesta Semanal Tolerable

ISTP: Ingesta Semanal Tolerable Provisional

MAGAP: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca

ME: Mérgen de Exposición

NAS: (National Academy of Sciences) Academia Nacional de Ciencias

NOAEL: (No Observed Adverse Effect Level) Máximo nivel de exposición experimental a la cual no se observan efectos tóxicos

p.c.: peso corporal

RI: Riesgo Individual

RP: Riesgo Poblacional

s. f.: sin fecha

U.S. EPA: (United States Environmental Protection Agency) Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

UE: Unión Europea

\bar{X} : Media aritmética de la muestra

SD: (Standard Deviation) desviación estándar de la muestra

σ : Desviación estándar de la población



AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo me gustaría agradecer a la Universidad de Cuenca y al Centro de Estudios Ambientales por darme la oportunidad de seguir creciendo profesionalmente.

A la Dra. Silvana Donoso por su dedicación y orientación en el presente trabajo.

Al Ing. Vladimiro Tobar, por compartir sus conocimientos para encaminarme en la parte metodológica de este trabajo.

A los miembros del proyecto VLIR de Alimentos, por su excelente disposición y ayuda en el laboratorio, con la cual se logró realizar con éxito los procedimientos de extracción y digestión.

Juan Fernando Huiracocha Piedra.



DEDICATORIA

A mis padres Pablo y Carmita, a mis hermanos, Pablo, Edisson, Katherine, quienes son un pilar fundamental en mi vida, los cuales con su apoyo y cariño, me ayudan cada día a seguir creciendo como persona, gracias a ellos todo esto fue posible.

Juan Fernando Huiracocha Piedra.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria es uno de los problemas de salud pública más importantes en todo el mundo, ya que en la actualidad, con el rápido desarrollo de la industria y la creciente aplicación de fertilizantes, existe una continua acumulación de metales potencialmente peligrosos en los suelos agrícolas, pasando posteriormente a las plantas las cuales acumulan dichos metales causando contaminación de los cultivos (Gao et al., 2016). Por lo tanto, las consecuencias asociadas con una alta concentración de metales pesados en los alimentos son de gran preocupación, sobre todo en productos agrícolas como el arroz y verduras (Rahman et al., 2014).

En Ecuador se han realizado estudios de metales pesados en algunos suelos agrícolas de las provincias de Guayas, Los Ríos, Manabí, El Oro, Azuay, entre otros, en donde se encontraron concentraciones de cadmio (Cd) y plomo (Pb) (Cargua et al., 2010; Félix et al., 2011), superiores a las establecidas por el Ministerio del Ambiente del Ecuador las cuales para el Cd es de 0.5 mg/Kg y para el Pb de 19 mg/Kg (MAE, 2015).

Por otro lado, en plantas de arroz se han encontrado concentraciones de Cd de 10.9, 9.1 y 3.7 mg/Kg, sembrados en suelos de las provincias de Azuay, El Oro y Guayas respectivamente (Cargua et al., 2010). En otro estudio realizado por Pozo et al. (2011), en donde se determinó la presencia de metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas, el plomo se encontró en los siguientes valores promedio: raíz 3.85; tallo 2.3; y hojas 1.9 mg/Kg, valores que superan al límite establecido por el Codex Alimentarius de 0.2 mg/Kg.

Los metales pesados son tóxicos y su acumulación en organismos vivos puede causar efectos graves, especialmente el Cd y el Pb (Roya & Ali, 2016). La acumulación de Cd en el cuerpo humano es perjudicial para la salud humana, causa serias afecciones como: anemia, hipertensión, cáncer, insuficiencia cardíaca, infarto cerebrovascular, enfisema, proteinuria, daño grave en los pulmones, disfunción renal, formación de cataratas en ojos y osteoporosis (Satarug et al., 2003; Godt 2006; Song et al., 2015). Por otra parte, los efectos de la exposición al plomo incluyen: impedimentos cognitivos, reducción del coeficiente intelectual, efectos cardiovasculares, bajo peso al nacer, esperanza de vida disminuida (Caravanos et al., 2014).

La presencia de Cd y Pb en granos de arroz, plantea un riesgo, en función de la concentración y la dosis de exposición a dichos metales, en las poblaciones expuestas, especialmente a ciertos grupos dentro de esas poblaciones como mujeres embarazadas y

niños, es por ello que este estudio propuso evaluar el riesgo que supone el consumo del arroz comercializado en la ciudad de Cuenca, para con ello de ser el caso, tomar las medidas preventivas para evitar su consumo en cantidades que pudieran resultar peligrosas.

La investigación llevada a cabo es un estudio no experimental, descriptivo, analítico, de corte transversal.

CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Arroz

2.1.1. Generalidades

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), define al arroz como los granos enteros o partidos de la especie *Oryza sativa* L (FAO, 1995). Si bien existen 23 variedades de *Oryza*, actualmente se cultivan dos para el consumo humano, una de origen africano *Oryza glaberrima* Steaud y otra de origen asiático *Oryza sativa* L. (Degiovanni et al., 2010). De esta última existen dos variedades principales, diferenciados por el área donde se cultivan y por sus rasgos cuando se cocinan. La variedad japónica crece mejor en ambientes templados y tiene granos de longitud mediana o cortos, los cuales son pegajosos cuando se cocinan. La variedad Índica tiene granos largos que en su mayoría no son pegajosos cuando se cocinan, los cuales, se producen en el sur de Asia y América (Beighley, 2010).

El arroz se cultiva en más de 100 países en todos los continentes, excepto en la Antártida, desde los 50 ° de latitud norte a los 40 ° de latitud sur y desde el nivel del mar hasta una altitud de 3000 m (FAO & Juliano, 1993).

La calidad culinaria es de suma importancia para los molineros y procesadores. Estos rasgos dependen de la composición química del grano. El arroz de grano largo generalmente es seco y esponjoso (no pegajoso) cuando se cocina y se utiliza en productos de arroz pre-cocidos (parbolizado), cocido rápido o procesados. También hay tipos aromáticos de grano largo que tienen un sabor y aroma distintos cuando se cocinan (Beighley, 2010).

La composición química que afecta la calidad del arroz son el almidón, la proteína, el contenido de humedad y todo tipo de metales traza. Entre ellos, cuanto más contenido de traza metálica de Zn, Fe, Cu, Mn, mayor valor nutritivo del arroz (Niu, Xia, & Zhang, 2011). La composición química y nutricional se presenta en la Tabla 1.

2.1.2. Clasificación del arroz

De acuerdo con la FAO (1995), el arroz puede clasificarse de diversas formas, tal como se detalla a continuación:

a. De acuerdo al tratamiento industrial

Arroz con cáscara: es el arroz que ha mantenido su cáscara después de la trilla.

Arroz descascarado: (arroz integral o arroz pardo) es el arroz con cáscara del que sólo se ha eliminado la misma. El proceso de descascarado y manipulación puede ocasionar una pérdida parcial del salvado.

Arroz elaborado: (arroz blanco) es el arroz descascarado del que se han eliminado, total o parcialmente, por elaboración, el salvado y el germen.

Arroz parbolizado: puede ser arroz descascarado o elaborado que se obtiene remojando en agua el arroz con cáscara o descascarado y sometiéndolo a un tratamiento térmico, de forma que se gelatinice completamente el almidón, seguido de un proceso de secado.

Arroz glutinoso; arroz ceroso: granos de variedades especiales de arroz que presentan un aspecto blanco y opaco. El almidón del arroz glutinoso se compone casi totalmente de amilopectina. Despues de cocido tiende a pegarse.

Tabla 1

Composición aproximada de arroz con cáscara y sus fracciones (14 % de humedad/100g)

Parámetro	Arroz con cáscara	Arroz integral	Arroz blanco	Salvado de arroz	Cáscara de arroz
Proteína (g N x 5.95)	5.8 – 7.7	7.1 -8.3	6.3 – 7.1	11.3 – 14.9	2.0 – 2.8
Grasa (g)	1.5 – 2.3	1.6 – 2.8	0.3 – 0.5	15.0 – 19.7	0.3 – 0.8
Fibra (g)	7.2 – 10.4	0.6 – 1.0	0.2 – 0.5	7.0 – 11.4	34.5 – 45.9
Cenizas (g)	2.9 – 5.2	1.0 – 1.5	0.3 – 0.8	6.6 – 9.9	13.2 – 21.0
Carbohidratos disponibles (g)	64 - 73	73 – 87	77 – 89	34 – 62	22 – 34
Contenido energético (kcal)	378	363 – 385	349 – 373	399 - 476	265 - 332
Minerales					
Calcio (mg)	10 - 80	10 - 50	10 - 30	30 - 120	60 -130
Fósforo (g)	0.17 – 0.39	0.17 – 0.43	0.08 – 0.15	1.1 – 2.5	0.03 – 0.07
Hierro (mg)	1.4 – 6.0	0.2 – 5.2	0.2 – 2.8	8.6 – 43.0	3.9 – 9.5
Zinc (mg)	1.7 – 3.1	0.6 – 2.8	0.6 – 2.3	4.3 – 25.8	0.9 – 4.0
Vitaminas					
Tiamina (mg)	0.26 – 0.33	0.29 – 0.61	0.02 – 0.11	1.2 – 2.4	0.09 – 0.21
Riboflavina (mg)	0.06 – 0.11	0.04 – 0.14	0.02 – 0.06	0.18 – 0.43	0.05 – 0.07
Niacina (mg)	2.9 – 5.6	3.5 – 5.3	1.3 – 2.4	26.7 – 49.9	1.6 – 4.2

Fuente: FAO, & Juliano, B. (1993). Rice in human nutrition.

b. De acuerdo con el tamaño del grano

El arroz generalmente se clasifica según la longitud del grano (Tabla 2), también se tiene en cuenta la relación longitud-grosor del tamaño del grano (Tabla 3), para calcularla, hay que dividir la longitud media del grano por su anchura media (European Commission, 2016). De acuerdo con ese criterio existen tres tipos de granos: largos, medios, y cortos (Beighley, 2010).

Tabla 2*Tipo de grano en función de su longitud*

Referencia	Grano largo	Grano medio	Grano corto
Codex Alimentarius	≥ 6.6 mm	6.2 – 6.6 mm	< 6.2 mm
Comisión Europea	> 6.0 mm	5.2 – 6.0 mm	≤ 5.2 mm

Fuente: FAO. (1995). Codex Standard 198-1995: Norma del Codex para el arroz Recuperado a partir de www.fao.org/input/download/standards/61/CXS_198s.pdf; European Commission. (2016, abril 7). Classifying rice.

Tabla 3*Tipo de grano en función a la proporción largo – ancho*

Tipo	Proporción largo - ancho		
	Grano largo	Grano medio	Grano corto
Integral	≥ 3.1	2.1 – 3.0	≤ 2.0
Blanco	≥ 3.0	2.0 – 2.9	≤ 1.9

Fuente: FAO. (1995). Codex Standard 198-1995: Standard for rice. Norma del Codex para el arroz Recuperado a partir de www.fao.org/input/download/standards/61/CXS_198s.pdf.

2.1.3. Crecimiento y desarrollo de la planta

El arroz es una planta herbácea semiacuática anual, la cual crece en una amplia gama de suelos y aguas. (Beighley, 2010). Para el desarrollo normal del cultivo de arroz, se requiere una temperatura entre los 22 a 30°C y una precipitación por ciclo de entre 800 a 1,240 mm de agua (INIAP, 2011), y una cantidad de 1000 horas de sol (heliofania) durante el ciclo vegetativo. (INIAP, 2008).

La mayoría del arroz cultivado crece en campos inundados y en llanuras alimentadas por la lluvia. La producción de arroz en humedales alimentados con lluvia, se produce en áreas del mundo donde se espera y desea agua estancada durante la temporada de crecimiento. La producción de arroz alimentado por lluvia se divide en grupos según la profundidad de la capa de agua: en agua de poca profundidad, el arroz se encuentra en aguas de 0 a 30 cm de profundidad; en agua profunda, el arroz se encuentra en aguas de 30 a 100 cm de profundidad; y el arroz flotante, se encuentra en aguas de más de 100 cm de profundidad. La producción de arroz en tierra seca, se produce cuando el arroz se cultiva en suelo aireado sin agua estancada (Beighley, 2010).

El cultivo inundado, así ideado, posee una serie de ventajas únicas, tales como: el cultivo continuo de arroz en una misma parcela, sin erosión del suelo, una lenta disminución de la fertilidad del suelo, la disponibilidad de minerales y un alto rendimiento por unidad de área, que colectivamente han alcanzado un cultivo de cereal altamente productivo en las regiones cálidas y húmedas (Ikehashi, 2007).

Las tres etapas principales de crecimiento del arroz son: la fase vegetativa, la fase reproductiva y la fase de maduración. La fase vegetativa se refiere al período desde la germinación hasta el macollaje. La fase reproductiva se refiere al período desde la iniciación

de los primordios de la panoja hasta la floración. La etapa de la maduración se refiere al período desde la espigazón a la madurez. Las etapas de crecimiento de la planta de arroz se han codificado de 1 a 9, donde 1 se refiere a la etapa de la germinación y 9 se refiere a la etapa de la madurez, como se observa en la Tabla 4 (FAO, 2003) y se puede apreciar visualmente en las Figuras 1 y 2.

Tabla 4
Las nueve etapas de crecimiento de la planta de arroz

Etapa	Descripción	Código
Germinación	Desde la siembra hasta la emergencia del coleoptilo de la semilla	1
Plántula	Desde la emergencia del coleoptilo hasta la aparición de la quinta hoja (contando como primera hoja, la primera hoja sin lámina)	2
Macollaje	Desde la aparición del primer macollo hasta la iniciación de la panoja	3
Encañado	Desde la iniciación de la panoja (inflorescencia) hasta su completo desarrollo dentro de la vaina de la hoja bandera	4
Espigazón	Desde la aparición de la punta de la panoja fuera de la vaina de la hoja bandera hasta más de 90 % de emergencia de la panoja	5
Floración	Desde la primera floración hasta que se completa la floración de la panoja	6
Estado lechoso	El cariópside desde estado acuoso a lechoso	7
Estado pastoso	El cariópside desde estado de masa blanda a dura	8
Maduración	Maduración de más del 80 % de las espiguillas en la panoja. El cariópside está completamente desarrollado en tamaño, duro y sin tonalidades verdosas	9

Fuente: FAO. (2003). Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz.

Los cambios en el almacenamiento o envejecimiento ocurren particularmente durante los primeros tres a cuatro meses después de la cosecha y también se conocen como maduración después de la cosecha. Los constituyentes del grano probablemente se equilibran a su forma física más estable, lo que da como resultado un grano más duro y de color cremoso. El arroz almacenado se expande más en volumen, lo cual da lugar a un arroz cocido más escamoso con menos sólidos disueltos en el agua de cocción, que el arroz recién cosechado (FAO, 2003).

Existen tres factores que influyen en el rendimiento, los cuales son: el número de panículas por unidad de superficie, el número promedio de granos por panícula o panoja y el peso promedio de los granos individuales. El número de panículas por unidad de tierra depende de la cantidad promedio de macollos por planta. El número de granos por panícula

se ve influenciado a lo largo de la temporada, desde la iniciación de la panícula hasta la emergencia de la cabeza, por las condiciones ambientales, nutricionales y de la planta. El peso promedio de los granos individuales también se ve afectado, tanto por las condiciones de la planta, como las condiciones ambientales (Beighley, 2010).

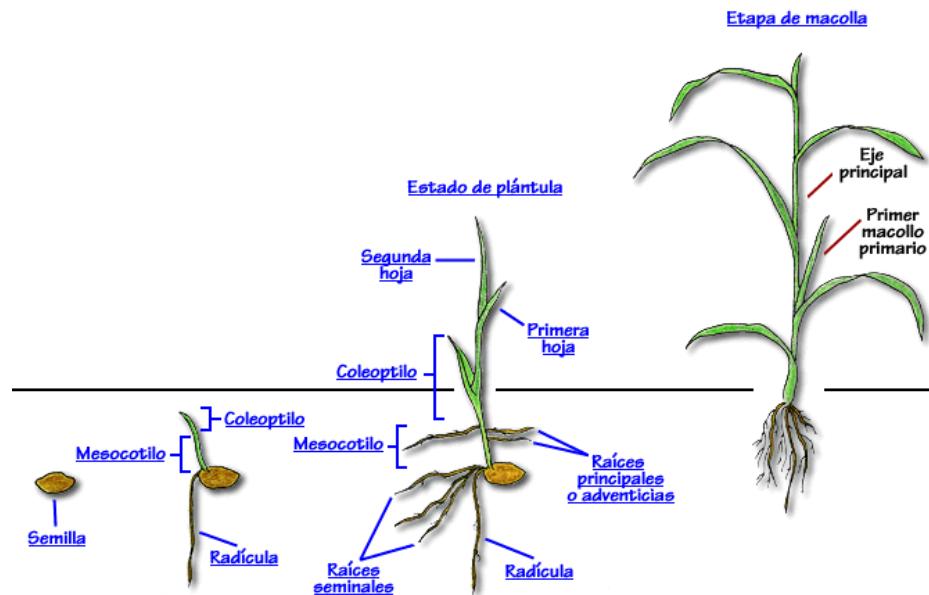


Figura 1. Etapas de crecimiento de la planta de arroz desde la germinación hasta el macollaje

Fuente: UC. Pontificia Universidad Católica de Chile. (s. f.). Arroz. Recuperado a partir de http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/arroz.htm

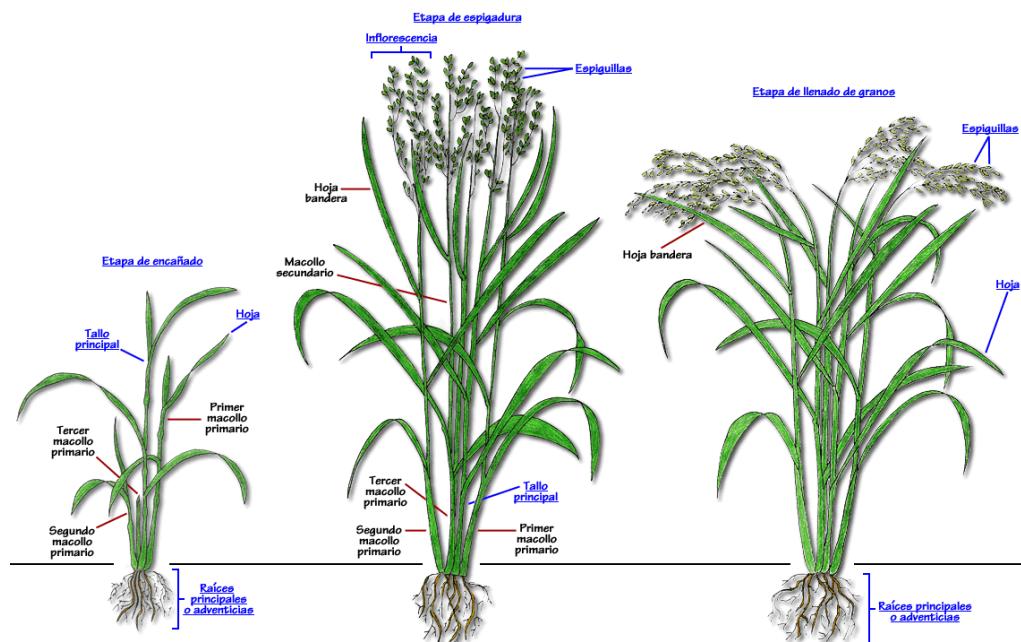


Figura 2. Etapas de crecimiento de la planta de arroz desde el encañado hasta la floración

Fuente: UC. Pontificia Universidad Católica de Chile. (s. f.). Arroz. Recuperado a partir de http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/arroz.htm

El grano de arroz, conocido como semilla, recién cosechado está formado por el cariopse y por cáscara, esta última compuesta de glumas, lo cual corresponde al arroz cáscara conocido industrialmente (Figura 3). El cariopse a su vez está formado por el embrión, el endosperma, capas de aleurona (tejido rico en proteínas), tegmen (cubierta seminal), y el pericarpo (cubierta del fruto) (Olmos, 2007).

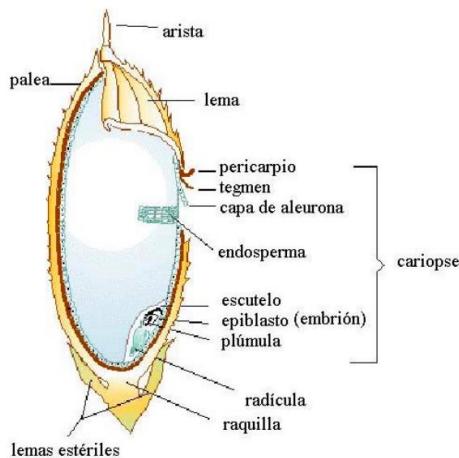


Figura 3. Morfología del grano de arroz

Fuente: Olmos, S. (2007, marzo 1). APUNTE DE MORFOLOGÍA, FENOLOGÍA, ECOFISIOLOGÍA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL ARROZ. Recuperado a partir de <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/academico/Apunte-MORFOLOGIA.pdf>

2.1.4. Procesamiento del arroz

La molienda de arroz es la eliminación o separación de la cáscara (descascarillado) y el salvado (pulido) para obtener la porción comestible (endospermo). Este proceso debe ser llevado a cabo con cuidado para evitar la rotura excesiva del grano y mejorar la recuperación del arroz. La extensión de pérdidas en la porción comestible del grano durante la molienda depende de varios factores como: variedad de arroz, condición de arroz durante la molienda, grado de molienda requerido, el tipo de molino de arroz utilizado, los operadores, la infestación de insectos y otros (Lantin & FAO, 1999).

El producto final la operación de la molienda es: la cáscara o casco, arroz molido o la porción comestible, germen, salvado y los granos rotos. Dependiendo del molino de arroz utilizado, los subproductos salen del molino mezclados o separados. La molienda generalmente se realiza cuando el arroz está seco (alrededor del 14 % de contenido de humedad). El grano suave mojado será pulverizado. Un grano muy seco y frágil se romperá y producirá materiales partidos y en polvo durante las operaciones de molienda (Lantin & FAO, 1999). En la Tabla 5 se muestra las etapas básicas de la molienda del arroz.

Tabla 5*Etapas involucradas en la molienda del arroz*

Etapa	Operación
Secado	El arroz generalmente se cosecha con un contenido de humedad de alrededor del 24 – 26 %. Con este contenido de humedad, el arroz tiene una alta susceptibilidad al ataque de microorganismos, insectos y plagas, lo que aumenta la pérdida cuantitativa y el deterioro cualitativo. El grano recién cosechado con alto contenido de humedad debe por lo tanto secarse en 24 horas a aproximadamente un 14 % para un almacenamiento y molienda seguros o hasta un máximo del 18 % para un almacenamiento temporal de hasta dos semanas en caso de que la capacidad de secado ponga en peligro el secado del resto del arroz húmedo y así evitar que se eche a perder. En la humedad contenido de 14 por ciento o menos, el arroz será menos susceptible a las infestaciones de hongos y es probable que conserven su potencial de germinación. Su vida útil probablemente se prolongará y se preservará su calidad.
Pre descascarado	La operación de pre descascarado incluye el proceso de sancochado, el cual consiste en remojar el arroz con cáscara, tratarlo con vapor y secarlo, lo que facilitará la operación de descascarado, y permite obtener una mayor proporción de grano entero de arroz blanco. El arroz con cáscara sancochado debe secarse antes de procesarlo. Hay dos métodos de secado; el método predominante es el secado al sol. También puede realizarse con secado mecánico. Antes del secado deben retirarse las impurezas para ello generalmente se utiliza una combinación de tamizado y aspirado.
Descascarado	Durante esta operación se elimina la cáscara del arroz para producir arroz integral. Las cáscaras no tienen ningún valor nutricional, y se utilizan para el proceso de secado del grano.
Blanqueo	Consiste en la eliminación de los estratos de salvado como operación posterior al descascarado. Son estratos que están íntimamente adheridos al endosperma y que deben eliminarse frotando contra una superficie abrasiva y contra otros granos.
Pulido	Es la fase final, más suave, del limpiado de las partículas de salvado y polvo de arroz blanco y de alisamiento de su superficie para darle mejor aspecto.
Clasificación	La clasificación del arroz pulido en granos enteros y granos quebrados es necesaria si se quiere vender el arroz blanco, o para poder almacenarlo durante algún tiempo.

Fuente: Lantin, & FAO. (1999). RICE - Post-harvest Operations; Instituto Nacional de Salud INS, & Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Perfil de riesgo de arsénico en arroz en Colombia. *Documentos de evaluación de riesgos en inocuidad de alimentos*.

2.1.5. Producción mundial del arroz

El arroz es el segundo cereal más producido en el mundo (Batista et al., 2010), alcanzando en 2017 una producción mundial de 756,7 millones de toneladas, superando así el record histórico de 2016 por un margen del 0.2 %, de la cual solo en los países asiáticos se producirían 684,2 millones de toneladas, en el continente africano 31,1 millones de toneladas, en América latina y el Caribe 28,4 millones de toneladas (FAO, 2017).

El arroz constituye un alimento esencial de la dieta básica de la población mundial, el cual se considera una de las fuentes más importantes de nutrientes para millones de personas en todo el mundo. (Roya & Ali, 2016; Juliano, 2016). Proporciona el 20 % de la energía per cápita y el 13 % de las proteínas consumidas en todo el mundo (Beighley, 2010).

2.1.6. Arroz en Ecuador

Ecuador es un país productor de arroz, en las cuales siembran al año alrededor de 400 mil ha. de arroz (CORPCOM, 2014), siendo la provincia del Guayas la más importante con un

67.27 % de la producción nacional, le siguen las provincias de Los Ríos y Manabí con 27.49 % y 3.6 % respectivamente, el resto de provincias representan un 1.64 % (MAGAP, 2014).

El arroz es considerado como un alimento básico en la dieta diaria de los ecuatorianos (INIAP, 2008), siendo el segundo producto de mayor consumo según la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los hogares urbanos y rurales, realizada entre abril 2011 y marzo 2012 (INEC, 2012). Además Ecuador es el tercer país con mayor consumo de este cereal en Sudamérica, después de Guayana y Surinam, con un consumo promedio (calculado desde 2005 al 2013) de 122 g/persona/día (FAO, s.f.), por otro lado, para el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), este valor para el 2013 fue de 145 g/persona/día.

2.2. Contaminación de arroz con metales pesados

El uso de fertilizantes sobre todo de fosfatados (Martí et al., 2002), de lodos de depuradoras usados en la agricultura y las actividades antropogénicas como la industria minera, y el escape de los automóviles, han sido identificados como una de las principales causas de dispersión generalizada de metales pesados sobre el suelo y agua (Satarug et al., 2003; Prieto et al., 2009; Cao et al., 2010; Jiang et al., 2017), resultando especialmente peligroso por su carácter no biodegradable, toxicidad y biodisponibilidad (Uraguchi & Fujiwara, 2013), debido a que la planta de arroz tiene la capacidad de absorber elementos tóxicos del suelo y el agua, más eficazmente que otros cultivos, ya que las plantas de arroz se cultivan en condiciones de inundación que permiten que los metales pesados sean absorbidos por su raíz y acumulados en la planta (Praveena & Omar, 2017). Por lo tanto, el arroz puede ser el mejor indicador para el monitoreo ambiental del cadmio (Cd) y plomo (Pb), especialmente en los países productores de arroz (Rivai et al., 1990).

El primer indicio de toxicidad por cadmio registrado, se detectó alrededor del año 1920, en Toyama, una ciudad de Japón, en la cual, la población ingirió arroz contaminado con cadmio (Emmerson, 1970; Mite et al., 2010), el cual se encontraba en concentraciones promedio en arroz de 0.30 a 0.49 mg/Kg (Nogawa et al., 1983). El Ministerio de Salud y Bienestar Social de dicho país en 1968 definió a esta como la enfermedad de Itai-Itai. La mayoría de los pacientes afectados por esta enfermedad eran mujeres de mediana edad o mayores que se quejaban de dolor severo y fracturas óseas desarrolladas con fuerza mínima (Nogawa & Suwazono, 2011).

Actualmente existen varios estudios realizados sobre todo en el continente asiático en donde se reportan altas concentraciones de metales pesados en granos de arroz (Aziz et al.,

2015; Zhang et al., 2015; Huo et al., 2016; Xie et al., 2017). En una encuesta realizada por el Ministerio de Agricultura de China para la Inspección de Calidad de Productos de Arroz y el Centro de Supervisión (2012) mostró que el 10 % de las muestras de arroz contenían más Cd de la concentración nacional máxima admisible (CMA) de 0.2 mg/kg (Yang et al., 2006). Entre los 269 lotes de semillas de arroz japónica extraídos del delta del río Yangtsé, el 4.1 % y el 15.2 % contenían Cd y Pb respectivamente por encima de la CMA (Xie et al., 2017). Por otro lado, en un estudio realizado por Fakhri et al., (2018) muestra concentraciones medias de 0.38 mg/Kg en arroz cultivado en Irán, por otra parte, en el mismo país, otro estudio se evidencia concentraciones superiores cuya media estaba en 9.19 mg/Kg (Ghazanfarirad et al., 2014).

En Lima, Perú en un estudio se determinó que el 37 % y el 30 % de las muestras de arroz superaban el límite establecido por el Codex Alimentarius para el Pb y Cd respectivamente (Chumbipuma & Luján, 2016).

En Ecuador se realizó un estudio de metales pesados en plantas de arroz, en las cuales se encontraron concentraciones de Cd de 10.9, 9.1 y 3.7 mg/Kg, provenientes de las provincias del Azuay, El Oro y Guayas respectivamente (Cargua et al., 2010). En otro estudio realizado por Pozo et al. (2011), en donde se determinó la presencia de metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas, el plomo se encontró en los siguientes valores promedio: raíz 3.85; tallo 2.3; y hojas 1.9 mg/Kg.

Actualmente no existen estudios que determinen la presencia de Cd y Pb en granos de arroz en el país; sin embargo, se realizó un estudio en donde se determinó arsénico en granos de arroz procedentes de las provincias de Guayas y Los Ríos, en el cual mostró que los granos de arroz integral, procedentes de la provincia de Los Ríos, superaba el nivel máximo establecido en el Codex Alimentarius de 0.2 mg/Kg (FAO/OMS, 2017; Atiaga et al., 2016).

2.3. Cadmio

Naturalmente el Cd se encuentra como mineral combinado con otros elementos tales como el oxígeno, cloro o azufre. Todos los suelos, rocas, incluso el carbón y abonos minerales, contienen algo de cadmio. Tiene muchos usos, por ejemplo, en baterías, pigmentos, revestimiento de metales y plásticos, entre otros (ATSDR, s. f.a). Liberado al medio ambiente por centrales eléctricas, sistemas de calefacción, industrias metalúrgicas, incineradores de residuos, tráfico urbano, fábricas de cemento y como subproducto de fertilizantes fosfatados (Sanità di Toppi & Gabbrielli, 1999; Ramírez, 2002; Xing et al., 2018).

2.3.1. Propiedades físico - químicas

El Cd, posee un número de registro CAS RN 7440-43-9 (IRIS - US EPA, s. f.); peso atómico, 112.4; número atómico, 48; densidad, 8.6 g/cm³; punto de fusión, 320,9 °C; punto de ebullición, 765 °C; forma cristalina, hexagonal, metal plateado - blanco maleable; estado de oxidación, +2. De los muchos compuestos inorgánicos de Cd, varios son bastante solubles en agua (por ejemplo, acetato de cadmio, cloruro de cadmio y sulfato de cadmio); el óxido de cadmio y el sulfuro son casi insolubles en agua. Sin embargo, el óxido de cadmio y carbonato de cadmio, podrían ser solubles a pH gástrico. (Nordberg, Nogawa, & Nordberg, 2015)

2.3.2. Exposición al cadmio

La exposición ambiental al Cd puede darse a través de los alimentos, el agua, el aire, el humo del cigarrillo (Bernard & Lauwerys, 1986; Peters et al., 2010; Faroone et al. 2012; Nordberg, et al., 2015; Xing et al., 2018). El aire es especialmente importante en las exposiciones ocupacionales, aunque la piel también puede estar expuesta, los alimentos como las bebidas pueden estar contaminados indirectamente. En regiones altamente industrializadas y áreas de alta densidad de tráfico, el aire puede ser la ruta dominante de exposición a ciertos metales (Elder, Nordberg, & Kleinman, 2015).

2.3.2.1. Alimentos

Los alimentos son la principal fuente de cadmio en personas ocupacionalmente no expuestas. (WHO, 1996). Cuando se cultiva en un suelo contaminado con Cd, algunos cereales, como el arroz, pueden acumular cantidades considerables del metal. Es muy probable que la concentración de cadmio en algunos alimentos básicos (por ejemplo, trigo y arroz) cultivados en países industrializados haya aumentado progresivamente durante el siglo XX (Bernard & Lauwerys, 1986).

Tabla 6

Concentraciones de Cd en algunos productos alimenticios

Alimento	Cd (mg/Kg peso húmedo)	Alimento	(mg/Kg peso húmedo)
Papas	0.01 – 0.06	Riñón de res	0.2 – 1.3
Granos de trigo	0.005 – 0.08	Carne de res	0.005 – 0.02
Arroz, en áreas no contaminadas	0.008 – 0.13	Mariscos (excepto cangrejo)	0.004 – 0.1
Leche	0.00017 – 0.002	Espinacas	0.043 – 0.15
Ostras	0.1 – 4.7	Zanahorias	0.016 – 0.030

Fuente: Nordberg, G. F., Nogawa, K., & Nordberg, M. (2015). Cadmium. En *Handbook on the Toxicology of Metals* (pp. 667–716). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00032-9>

Se han reportado rangos extremadamente amplios de concentraciones de Cd en productos alimenticios de varios países. La mayoría de los alimentos tienen concentraciones de Cd en el rango de 0.005-0.100 mg/kg, como se puede observar en la Tabla 6. Las concentraciones de Cd en arroz integral en áreas japonesas no contaminadas presentan un promedio de 0.06 mg/kg (Nordberg et al., 2015a), La FDA, de datos recopilados de varios países, reportó concentraciones medias de Cd en granos de arroz de 0.0203 mg/Kg (FDA, s. f.)

Tabla 7*Ingesta diaria de cadmio según país*

País	ID (μg/Kg/día)	País	ID (μg/Kg/día)
Australia	0.15	Italia	0.33
Bélgica	0.10	Japón	0.34
Canadá	0.22	Holanda	0.36
China	0.25	Noruega	0.14
República Checa	0.26	Portugal	0.26
Dinamarca	0.28	España	0.30
Finlandia	0.16	Suecia	0.13
Francia	0.22	Reino Unido	0.17
Alemania	0.18	Estados Unidos	0.14
Grecia	0.84	Unión Europea	0.33

Fuente: Nordberg, G. F., Nogawa, K., & Nordberg, M. (2015). Cadmium. En *Handbook on the Toxicology of Metals* (pp. 667–716). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00032-9>

La Tabla 7 enumera la ingesta diaria de Cd en varios países en unidades de μg/kg de peso corporal por día. Compilaciones más recientes de EFSA (2009, 2012a), basados en datos de muchos países europeos, muestran que los valores a menudo estaban por debajo del límite de detección. La cantidad promedio de Cd ingerido en los países europeos y norteamericanos es de 10-20 μg/día. La ingesta de Cd a través de los alimentos solía ser más alta en Japón que en Europa, pero ha disminuido y actualmente es similar a los niveles informados en los países europeos con altas ingestas (Nordberg, et al., 2015a). En un estudio realizado a la leche en polvo comercializada en la ciudad de Guayaquil - Ecuador (Pernía, 2015), se encontró una concentración media de Cd de 0.33 mg/Kg ($SD=0.18$).

2.3.2.2. Agua

En agua natural, el Cd se encuentra principalmente en sedimentos del fondo y partículas suspendidas; generalmente su concentración es baja (Nordberg, et al., 2015a). Las concentraciones de Cd en agua natural no contaminada usualmente están por debajo de 1 μg/L. El máximo valor encontrado fue de 100 μg/L en el Río Rimao en Perú (WHO, 1996).

La contaminación del agua potable puede ocurrir como resultado de las impurezas de Cd en el zinc de las tuberías galvanizadas o de las soldaduras que contienen Cd en sus componentes, calentadores de agua, enfriadores de agua y grifos. La filtración de Cd en las aguas subterráneas desde el sedimento, de óxidos de Cd también puede representar una ruta para la contaminación del agua potable. El agua potable generalmente no tiene concentraciones de Cd que excedan los 0.005 mg/L (Araujo, 2010; Nordberg et al., 2015a). Sin embargo, se han detectado niveles altos de cadmio en suministros de agua cerca de industrias que liberan cadmio de sus procesos (ATSDR, s. f.c).

2.3.2.3. Aire

El Cd (como óxido, cloruro o sulfato) se encuentra en el aire en forma de partículas o vapores, proveniente de procesos que requieren altas temperaturas. Puede ser transportado largas distancias en la atmósfera para ser depositado sobre la superficie del suelo o del agua (ATSDR, s. f.c).

El aire ambiente generalmente tiene una baja concentración de Cd. Fumar cigarrillos contribuye a la concentración de Cd en el aire. El cadmio en el aire ambiente se presenta en forma de partículas. La forma química exacta rara vez se ha informado, pero es probable que el óxido de cadmio sea un componente importante (Nordberg, et al., 2015a).

En un estudio de la concentración de Cd en cigarrillos producidos en varias partes del mundo, dio como resultado una media de 1.15 µg de Cd por cigarrillo, con valores que oscilan entre 0,29 y 3,38 µg. Del cual aproximadamente el 10 % del Cd en los cigarrillos se inhala (Friberg, Elinder, Kjellstrom, & Nordberg, 1985; Watanabe, Kasahara, Nakatsuka, & Ikeda, 1987; Faroone et al., 2012).

Una persona que fuma dos paquetes de cigarrillos comunes por día, en países occidentales, puede acumular una carga corporal adicional de aproximadamente 15 mg de Cd durante un período de 20 años (Lewis, Coughlin, Jusko, & Hartz, 1972).

2.3.3. Toxicocinética del cadmio

La absorción, distribución y excreción del Cd en el ser humano en condiciones normales de exposición ambiental, se puede apreciar esquematizado en la Figura 4. El contenido corporal de cadmio se incrementa con la edad hasta los 50 años. En los adultos, la carga corporal de cadmio puede llegar a 40 mg, dependiendo de la situación geográfica y sobretodo del hábito de fumar, pues en un fumador la carga alcanza el doble (Ramírez, 2002).

Absorción: El cadmio puede ser absorbido por las vías de exposición inhalatoria, oral y dérmica, independientemente de su forma química. Sin embargo, la absorción por la vía dérmica es relativamente insignificante, aunque se absorben pequeñas cantidades por vía percutánea durante un largo período de tiempo (Wester et al., 1992). La absorción es principalmente preocupante por vía oral e inhalatoria (Faroon et al., 2012).

La inhalación no es una ruta importante de exposición al cadmio excepto para personas que viven cerca de industrias que liberan cadmio (ATSDR, s. f.c).

La absorción de cadmio en el tracto gastrointestinal (en cualquier forma química) es relativamente baja en comparación con la cantidad total de cadmio absorbida por la vía de inhalación. En humanos, se ha informado que la absorción de cadmio es de aproximadamente 1-10 %. (Faroon et al., 2012). Una baja ingesta de calcio, zinc o hierro aumenta el grado de absorción (Ramírez, 2002; Nordberg, et al., 2015a).

Aunque el mecanismo involucrado en la absorción intestinal de cadmio no se ha elucidado completamente, hay evidencia de que una o más proteínas transportadoras están involucradas (Faroon et al., 2012).

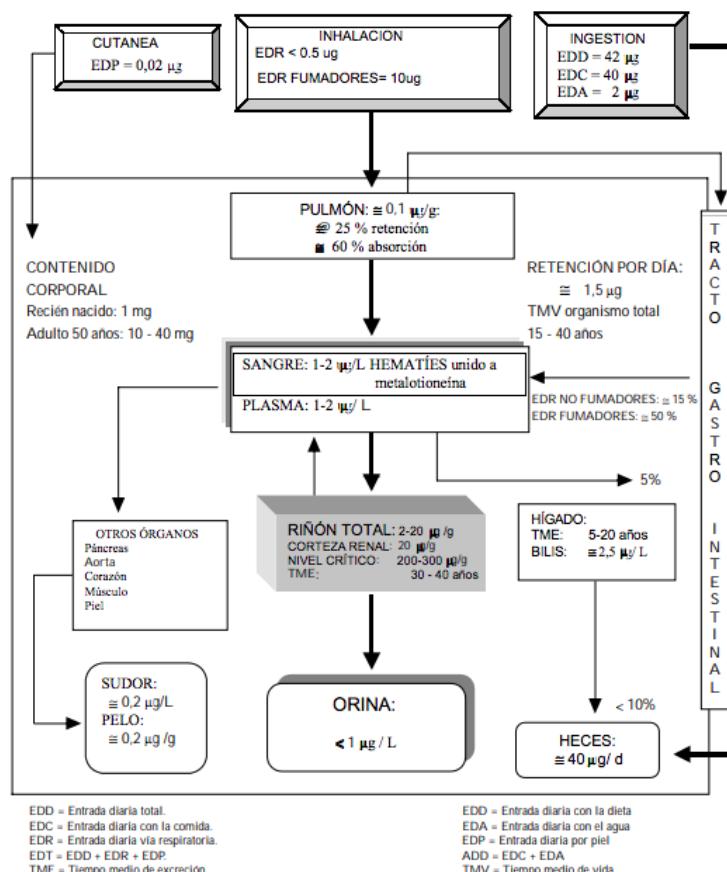


Figura 4. Toxicocinética del cadmio.

Fuente: Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. En *Anales de la Facultad de Medicina* (Vol. 63). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Distribución y metabolismo: El Cd absorbido se distribuye por todo el cuerpo, encontrando concentraciones más altas en hígado y riñones. No se ha comprobado que el Cd experimente conversiones metabólicas directas. Tiene una gran afinidad por los grupos sulfhidrilo de albúmina y metalotioneína (Friberg et al., 1985). El cadmio se transporta en plasma cuando se une a metalotioneína (MT), una proteína de bajo peso molecular, y/o a ciertas proteínas de alto peso molecular. La acumulación de Cd ocurre en muchos tejidos, con semividas particularmente largas (10-30 años) en músculos, huesos, riñones e hígado. (Bernard & Lauwerys, 1986; Nordberg, et al., 2015a).

Una vez absorbido, el Cd se retiene eficientemente en el organismo, en el que se acumula durante toda la vida. En el recién nacido, el cadmio está casi ausente, pero a la edad de 50 años, la carga corporal de cadmio puede aumentar hasta 20-30 mg y en personas expuestas ocupacionalmente, puede alcanzar valores tan altos como 200-300 mg. Además, el cadmio se concentra en órganos vitales, particularmente en los riñones. A niveles bajos de exposición, como ocurre en el entorno general, el 30 al 50 % de la carga corporal de cadmio se encuentra solo en los riñones (Bernard & Lauwerys, 1986).

En los seres humanos, es bien sabido que las mujeres en edad fértil en promedio tienen menores reservas de hierro que los hombres, debido a que mamíferos hembras tienen pérdidas menstruales de hierro, que no se observa en los machos. En un estudio se demostró que las personas, especialmente mujeres, con bajos depósitos de hierro absorbían en promedio cuatro veces más cadmio que aquellos con un almacenamiento de hierro normal. La deficiencia de hierro o las reservas bajas de hierro (indicadas por bajos valores de ferritina sérica) aumentan la absorción de Cd en humanos (Flanagan et al., 1978; Nordberg, Gerhardsson, Mumtaz, Ruiz, & Fowler, 2015).

Muchos estudios muestran que el zinc puede contrarrestar los efectos tóxicos del cadmio. El cadmio y el zinc pertenecen al mismo grupo de la tabla periódica. Se ha especulado que el cadmio puede desplazar o reemplazar el zinc en algunos sistemas esenciales en el organismo, causando así cambios funcionales (Nordberg, et al., 2015b).

Excreción: Por orina, diariamente se elimina el 0.007% del contenido corporal (Ramírez, 2002), y dado que se absorbe una pequeña fracción del Cd, que se presenta en el tracto gastrointestinal, la mayor parte de la dosis oral, se excreta (0.03%) a través de las heces (Ramírez, 2002; Nordberg, et al., 2015a).

La vida media de excreción urinaria es de hasta 40 años. Tan sólo una pequeña fracción del cadmio del compartimento sanguíneo y otra del hígado, a través de la vía biliar, se elimina por heces (Ramírez, 2002).

2.3.4. Toxicodinamia y toxicidad del cadmio

El Cd ha sido reconocido durante mucho tiempo como un factor de riesgo ocupacional y ambiental debido a los efectos tóxicos en muchos órganos (Xing et al., 2018). Siendo el riñón el órgano más sensible al cadmio que pulmón e hígado, el epitelio del túbulo renal proximal es el órgano diana. (Faroon et al., 2012). Su deterioro se pone de manifiesto por el incremento de proteínas de bajo peso molecular, lo que causa “proteinuria de bajo peso molecular”. Concomitantemente, hay alteración de la filtración glomerular, por cambios en la restricción electrostática para la filtración de las proteínas polianiónicas, lo que disminuye su reabsorción y conduce a incrementar la excreción urinaria de proteínas de alto peso molecular, que origina “proteinuria de peso molecular alto”. Teóricamente, pues no se ha demostrado *in vivo*, la acción tóxica del cadmio se debería a su afinidad por radicales de los grupos –SH, –OH, carboxilo, fosfatil, cisteinil e histidil y a su acción competitiva con otros elementos funcionalmente esenciales, Zn, Cu, Fe y Ca. Sus principales interacciones serían:

- Unión fuerte del Cd a los grupos –SH de las proteínas intracelulares, que inhibiría a las enzimas que poseen estos grupos y
- Desplazamiento del Zn de los enlaces -S- y la consiguiente alteración enzimática y de sus procesos bioquímicos, que se refleja en su deficiencia relativa (Ramírez, 2002).

Con lo que resalta a la toxicidad del Cd, está clasificado según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA, 1986a) dentro del grupo B1; probable cancerígeno para humanos, y por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), en el grupo 1: cancerígeno para humanos.

La acumulación de Cd en el organismo plantea serias implicaciones para la salud en humanos, tales como anemia, hipertensión, cáncer, insuficiencia cardíaca, infarto cerebrovascular, enfisema, proteinuria, daño grave en los pulmones, disfunción renal, formación de cataratas en ojos y osteoporosis (Satarug et al., 2003; Godt 2006; Song et al., 2015).

La intoxicación crónica por exposición a cadmio, en lo relativo a exposición/alteración-función renal en personas expuestas al Cd, se ha descrito el desarrollo de la intoxicación en tres fases:

- a. En la primera fase, el cadmio que ingresa al organismo se acumula en la corteza renal y se liga a la metalotioneína. Si la ligazón cadmio - metalotioneína no se satura, la eliminación de cadmio urinario está en relación directa a la cantidad acumulada en la corteza renal.

b. En exposiciones prolongadas, una segunda fase resulta en saturación de los sitios de unión cadmio-metalotioneína y, por tanto, el incremento del cadmio urinario en esta fase reflejará carga corporal.

c. Una tercera fase se caracteriza por disfunción renal, en la que excreción de cadmio está directamente relacionada al daño renal (Ramirez, 2002).

La exposición excesiva al Cd se ha relacionado con el desarrollo de insuficiencia pulmonar, alteraciones renales y osteomalacia, principalmente entre las mujeres posmenopáusicas (Nordberg, et al., 2015a). La exposición ambiental al Cd puede contribuir al desarrollo de Diabetes Mellitus Gestacional (Xing et al., 2018). El Cd también se ha visto implicado en el desarrollo de la hipertensión y de varios tipos de cáncer. En animales de laboratorio, se ha demostrado que el Cd induce cáncer de pulmón, próstata y otros órganos. Los estudios epidemiológicos han encontrado mayores tasas de cáncer de pulmón, y en algunos estudios, también en otros órganos (Bernard & Lauwers, 1986; Nordberg, et al., 2015a).

2.3.5. Valores referenciales de los niveles de cadmio

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2014), al igual que la Comisión del Codex Alimentarius (FAO/OMS, 2017), establecen un límite máximo de Cd en granos de arroz de 0.4 mg/Kg. Por otra parte, la Unión Europea (UE) establece un límite máximo de 0.2 mg/Kg (UE, 2014).

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2011), establece una ingesta semanal tolerable (IST) de Cd de 2.5 µg por kg de peso corporal. Esto se traduce a una ingesta diaria tolerable (IDT) de $3,6 \times 10^{-4}$ mg/Kg/día, mientras que la EPA ha establecido una dosis de referencia oral (DRf) de 1×10^{-3} mg/Kg/día y un nivel de efecto adverso no observable (NOAEL) de 1×10^{-2} mg/Kg/día (U.S. EPA, 1986a).

2.4. Plomo

El plomo es un metal gris-azulado, presente naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. Se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles (ATSDR, s. f.b).

La producción anual promedio (2013 - 2017) de minera de Pb es de aproximadamente 4,9 millones de toneladas métricas (ILZSG, s. f.). Alrededor de la mitad del plomo extraído se

produce en China. Otros productores importantes son Australia, Estados Unidos Estados, Perú y México (USGS, 2012).

Actualmente, el uso predominante de plomo está en baterías, principalmente para vehículos, pero también para electricidad en sistemas de respaldo y baterías industriales. Otros usos son como pigmento y municiones (ILZSG, s.f.). El plomo también se usa en revestimientos de cables, soldaduras, aleaciones (latón y bronce), pesas, cristal y como estabilizador en cloruro de polivinilo. Las pinturas a base de plomo también se usan en los juguetes. Las pinturas de esmalte pueden contener elevadas concentraciones de plomo. La mayor concentración de plomo se encuentra en las pinturas de color amarillo y naranja (Shukla, Shukla, & Tiwari, 2018).

2.4.1. Propiedades físico – químicas

El Pb posee un CAS RN: 7439-92-1; peso atómico, 207.19 ($1 \text{ } \mu\text{g} = 0,004826 \text{ } \mu\text{mol}$; $1 \text{ } \mu\text{mol/L} = 207.19 \text{ } \mu\text{g / L}$); densidad, 11.3g / cm^3 ; punto de fusión, $327.5 \text{ } ^\circ\text{C}$; punto de ebullición, $1740 \text{ } ^\circ\text{C}$; estado de oxidación, el plomo en compuestos inorgánicos generalmente tiene el estado de oxidación II, pero IV también puede presentarse. Solubilidad: 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 (Skerfving & Bergdahl, 2015).

2.4.2. Exposición al plomo

La carga corporal promedio de Pb en la población expuesta, se ha estimado en aproximadamente 1000 veces mayor que la de los humanos prehistóricos (Patterson et al., 1991). Desde aquel estudio, según Skerfving & Bergdahl (2015), para el 2014 esos valores decrecieron, probablemente en orden de 100 veces mayor que los niveles prehistóricos.

Si bien la exposición al Pb en la población general ha disminuido significativamente en los países ricos industrializados, altas exposiciones ambientales al Pb siguen siendo comunes en los países en desarrollo. Además, las más altas exposiciones al plomo son frecuentes en muchas ocupaciones (Skerfving & Bergdahl, 2015).

El Pb es un contaminante con varias rutas y fuentes (Figura 5) que contribuyen a la exposición. Están, por un lado, las fuentes que causan una alta exposición solo en pocos

sujetos y, por otro lado, las fuentes que contribuyen solo un poco, pero a muchas personas, lo cual implica una serie de preocupantes, dado que, aunque el Pb es clínicamente tóxico a altas exposiciones, no parece haber ningún nivel bajo de exposición al cual no ocurra algún efecto (EFSA, 2010a; Skerfving & Bergdahl, 2015).

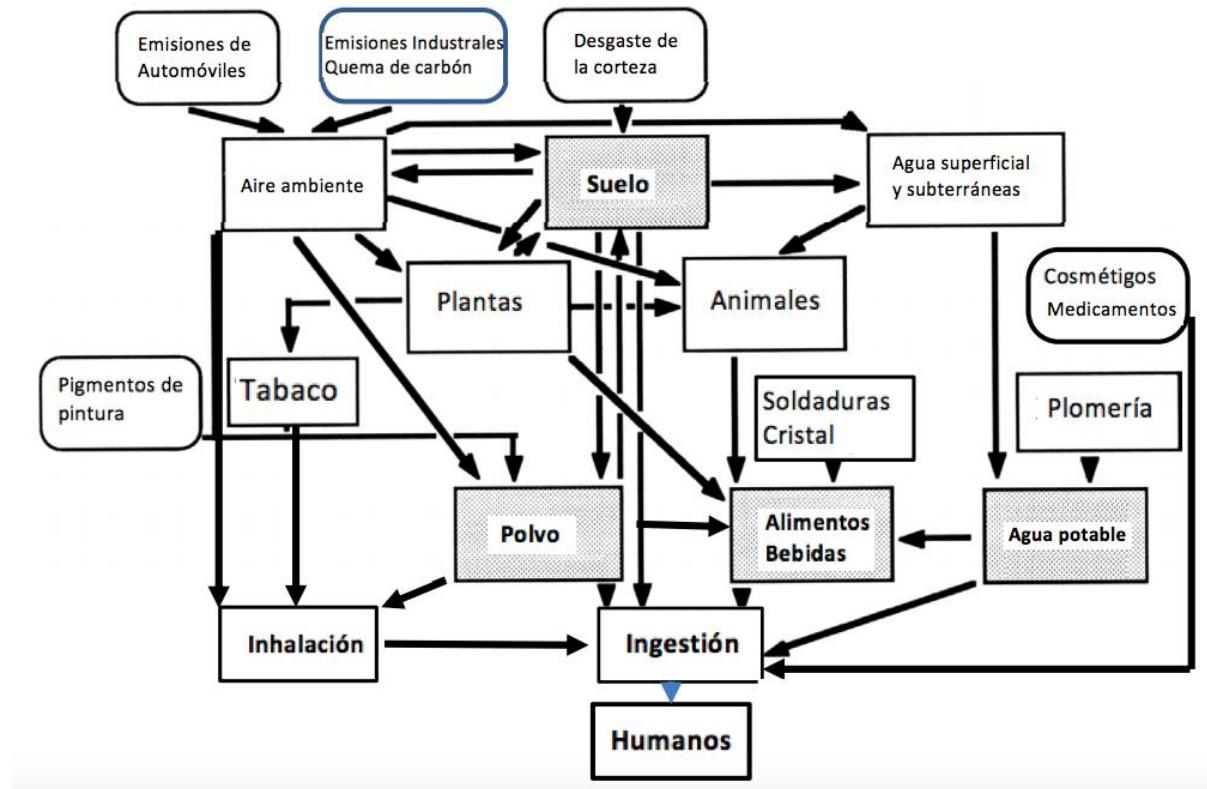


Figura 5. Fuentes y rutas de exposición al plomo

Fuente: Skerfving, S., & Bergdahl, I. A. (2015). Chapter 43 - Lead. En G. F. Nordberg, B. A. Fowler, & M. Nordberg (Eds.), *Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition)* (pp. 911-967). San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00043-3>

La ingestión es la principal ruta de exposición, tanto para la población de niños y adultos. Sin embargo, es necesario considerar que la exposición puede variar a través del tiempo. La dieta y el suelo son fuentes casi constantes de exposición al Pb, aunque existen diferencias espaciales, mientras que el aire puede variar a lo largo tiempo, especialmente a escala local (Pizzol, Thomsen, & Andersen, 2010).

El Pb está presente en diversos medios ambientales: aire, agua, sedimentos, suelo, polvo (Safruk et al., 2017). Las principales fuentes de exposición al plomo incluyen: los alimentos, el aire y el agua potable, otras fuentes de exposición al Pb son: la fabricación de baterías, soldadura, industrias de fabricación de vidrio y otras emisiones industriales. Las emisiones de automóviles fueron una fuente importante de exposición al plomo en el

pasado, pero con el uso de gasolina sin plomo, ahora esto es menos común. El reciclaje de baterías también es una fuente importante de exposición al plomo (EFSA, 2010a; Shukla, et al., 2018).

2.4.2.1. Alimentos

A pesar de que, en últimos años, los contenidos de plomo de los productos alimenticios se han reducido sensiblemente gracias a los esfuerzos realizados para reducir la emisión de plomo desde su origen y por progresos que garantizan la calidad de los análisis químicos, la dieta sigue siendo una fuente importante de exposición de plomo. Uno de los alimentos que ha sido tradicionalmente considerado como una fuente de plomo es el vino (Rubio et al., 2004). Por otro lado, en Guayaquil - Ecuador según Pernía (2015), en la leche en polvo, se encontraron concentraciones de Pb 272 veces mayores al límite máximo establecido en el Codex Alimentarius para leche de 0.02 mg/Kg. Por otro lado, la FDA reportó concentraciones promedio de Pb en granos de arroz de varios países de 0.017 mg/Kg (FDA, s. f.).

En altos niveles de consumo por parte de adultos en Europa, la exposición dietética al plomo oscila entre 0.36 y 1.24, y hasta 2.43 µg/kg de peso corporal (p.c.) por día. En niños de 0.80 a 3.10, hasta 5.51 µg/kg p.c. por día, en altos niveles de consumo. Los cereales contribuyen en mayor medida a la exposición alimentaria al Pb (EFSA, 2010a). 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 cerveza (4.1 %), aunque esto variará según los grupos de edad y las encuestas (EFSA, 2012b). En la Tabla 8 se muestran concentraciones medias en algunos productos alimenticios.

Tabla 8

Concentración media de Pb en algunos alimentos

Alimento	Pb (mg/Kg)	Alimento	Pb (mg/Kg)
Sardina enlatada	<0.002	Cebolla	0.60 – 25.40
Atún enlatado	0.0002	Maíz	0.60 – 25.40
Tilapia (Agua dulce)	0.0072 – 0.0106	Cereales	14.00
Champiñón	0.0013	Pollo (ejemplares de 28 sem.)	0.28
Harina de trigo	0.21	Huevos de gallina	0.51
Papa	5.50	Leche de vaca	0.29
Haba	12.24	Chicles	0.33 – 0.86

Fuente: Adaptado de Rubio, C., Gutiérrez, A. J., Martín Izquierdo, R. E., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, 21(2-3). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.ox?id=91921303>

En la Tabla 9 se indica la ingesta media diaria, que se han estimado para el Pb, para la población adulta de varios países.

Tabla 9
Ingesta media diaria de la población adulta

País	Ingesta Pb ($\mu\text{g}/\text{día}$)	País	Ingesta Pb ($\mu\text{g}/\text{día}$)
España	141.5	Gran Bretaña	26.43
Canadá	53.8	Holanda	34
Croacia	100.14	Polonia	72 – 136
Dinamarca	7	Suecia	12.2
Eslovenia	60.33	China	103.77
Finlandia	12.2	Corea	20.5

Fuente: Adaptado de Rubio, C., Gutiérrez, A. J., Martín Izquierdo, R. E., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, 21(2-3). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=91921303>

2.4.2.2. Agua

El agua potable es una fuente potencial de exposición al Pb, el cual puede representar un riesgo para los humanos, ya que el Pb se usaba en la fabricación de tuberías de agua potable, dando el paso del Pb desde estas al agua que llega al grifo (Renner, 2010; Deshommes et al., 2016; Rajasärkkä et al., 2016; Chowdhury, Kabir, Mazumder, & Zahir, 2018; Salehi, Jafvert, Howarter, & Whelton, 2018). El contenido de Pb en agua potable puede variar considerablemente. Por ejemplo, se han notificado ingestas de aproximadamente 1 $\mu\text{g}/\text{día}$ o menos en Suecia. Por el contrario, un estudio en Hamburgo, Alemania, en un área donde las tuberías de plomo son comunes en las tuberías antiguas, mostró una gran variación en las concentraciones, mostrando un promedio de Pb en agua de grifo de 15 $\mu\text{g}/\text{L}$. Las altas concentraciones de plomo en agua de grifo, son de especial preocupación para los bebés alimentados con biberón, cuando se prepara con fórmula a partir de agua de grifo (Skerfving & Bergdahl, 2015).

Las agencias reguladoras a menudo monitorean Pb en plantas de tratamiento de agua y/o sistemas de distribución de agua. Sin embargo, las personas están expuestas al agua de grifo dentro de la casa, mientras que, el agua puede permanecer en la tubería durante varias horas antes de llegar al grifo. Dependiendo del período de estancamiento y del material de las tuberías, las concentraciones de Pb en el agua de grifo pueden ser significativamente más altas que los sistemas de distribución de agua (Chowdhury, et al., 2018).

2.4.2.3. Aire

La exposición a través del aire ambiente ha dependido en gran medida en el uso de gasolina con Pb. Desde su eliminación, los niveles de plomo en aire son generalmente bajos y solo contribuyen muy poco a la exposición general (Pizzol, et al., 2010). Pero el aire, en áreas con altas concentraciones de Pb, es la fuente predominante de exposición (Ikeda, et al., 2000). A pesar de ello, el aire es claramente un contribuyente menor a la exposición total al Pb. Por otro lado, el aire es la única fuente de exposición que puede ser influenciada por las fuentes actuales de emisión y por lo tanto puede mostrar un cierto grado de variación en función del tiempo (Pizzol, et al., 2010).

La exposición adicional por vía inhalatoria se produce a través del cigarrillo, aunque la asociación entre el tabaquismo y el Pb en sangre puede, hasta cierto punto, confundirse con la ingesta de alcohol (Grandjean et al., 1981). El contenido de plomo en un cigarrillo es de 3-12 µg. Aproximadamente el 2 % de este es inhalado por el fumador activo, dejando la mayor parte del plomo en el humo del tabaco. Como consecuencia, existe una correlación entre la exposición al plomo en niños y el humo de tabaco ambiental. Algunos pasatiempos, como: disparos en interiores; trabajo de cerámica, por la aplicación de esmaltes con Pb; y deportes de motor, debido al escape de automóviles que funcionan a gasolina con Pb, pueden causar exposición por inhalación a este metal, pero también puede dar lugar a la ingesta oral. Con lo cual, al final todas las partículas de plomo en el aire terminan tarde o temprano en el suelo, que puede contaminar los alimentos, el agua potable o las manos, lo que lleva a la ingestión. Como consecuencia, las fuentes de plomo inhalado también son a menudo las del plomo ingerido (Pizzol, et al., 2010).

2.4.2.4. Suelo

Concentraciones de Pb en suelo reflejan emisión pasada y acumulación del contaminante en el compartimiento del suelo, es decir, contaminación histórica y cambios drásticos o a corto plazo, en el nivel de exposición de este medio debido a una reducida contaminación del aire y reducida deposición, no son probables (Pizzol, et al., 2010).

El polvo (tanto en las casas como en las calles) y el suelo pueden presentar altas concentraciones de Pb y representar fuentes importantes de exposición en los niños. En particular, el polvo en hogares pintados con pintura a base de Pb, así como el suelo, alrededor de las industrias que emiten Pb, puede contener altos niveles de Pb (Flores et al., 2012).

2.4.3. Toxicocinética del plomo

Absorción: La exposición al plomo ocurre principalmente a través de los sistemas respiratorio y gastrointestinal. La cantidad de plomo absorbido a través del intestino es del 10-15 %. Del plomo que se inhala, 30-40 % se absorbe (Shukla, et al., 2018).

Las partículas de plomo se pueden inhalar como un aerosol. El patrón de deposición de Pb inhalado en el sistema del tracto respiratorio, depende del tamaño de partícula. Partículas con un diámetro aerodinámico $> 5\mu\text{m}$ se depositan principalmente en las vías aéreas superiores, medianas. Algunas de estas partículas de plomo se absorben luego en el tracto gastrointestinal. Partículas inhaladas por la boca, de tamaño de 0.01-5 μm , del 10 al 60 % se depositan en el tracto alveolar; partículas inhaladas por la nariz, el porcentaje es menor. La mayor parte del plomo depositado en la parte alveolar del pulmón se absorbe. La tasa de absorción depende de la solubilidad de la sustancia química especies de plomo (Skerfving & Bergdahl, 2015).

El Pb ingerido se absorbe en el tracto gastrointestinal, en estudios de consumo de plomo estable en adultos, se observó una absorción promedio de 15-20 % (Hursh y Suomela, 1968). Sin embargo, hay indicios de una mayor absorción gastrointestinal en niños pequeños (Scheuplein et al., 2002).

El estado nutricional también afecta la absorción del Pb. En humanos, una deficiencia de Fe, Ca o Zn, puede causar un aumento en la absorción de plomo (Shukla, et al., 2018). La leche es una fuente importante de estos nutrientes, por lo que, durante más de un siglo, se recomendó la leche como un profiláctico para la toxicidad del Pb. (Skerfving & Bergdahl, 2015). Sin embargo, la leche ha demostrado aumentar la absorción a nivel gastrointestinal. Otros agentes también pueden afectar la absorción del Pb; por ejemplo, el fitato causa una disminución, por otro lado, la vitamina D, o el alcohol aumenta su absorción (James, Hilburn, & Blair, 1985; Nordberg, et al., 2015b).

Por otro lado, la absorción percutánea es baja, entre 0 al 0.3 % del Pb se absorbe, de productos cosméticos que contienen acetato de Pb, durante la aplicación a lo largo de 1 mes (Moore et al., 1980).

Distribución y metabolismo: Una vez absorbido en la circulación, el Pb se une a los eritrocitos con una eliminación promedio de 35 días, se distribuye a los tejidos blandos. El Pb también se almacena en los huesos y este puede persistir durante varios años. Cuando el metabolismo óseo aumenta, como en el embarazo o la osteoporosis posmenopáusica, el Pb almacenado se libera en la circulación y causa toxicidad. El hígado es el mayor depósito de plomo entre los tejidos blandos (Shukla, et al., 2018)

Dentro de la sangre, la mayor parte del plomo está presente en los eritrocitos, quedando menos del 1 % en el plasma. A altas concentraciones de Pb en sangre, la fracción de plomo en el plasma aumenta, dando la relación entre Pb en sangre y plomo en plasma una forma curvilínea (Skerfving & Bergdahl, 2015).

La razón de la localización del Pb en los eritrocitos parece ser su gran afinidad por la enzima ácido δ-aminolevulínico deshidratasa (ALAD). El cual se une con alta afinidad por sitios proteicos específicos, al menos en los eritrocitos (Skerfving & Bergdahl, 2015), cuya afinidad es aproximadamente 20 veces mayor para esta enzima que el zinc (Simons, 1995). Su unión causa la inhibición de la actividad de la enzima, la cual se une a aproximadamente al 80% del Pb en eritrocitos (Bergdahl et al., 1996).

Desde el plasma sanguíneo, el plomo absorbido se distribuye a otros órganos como los tejidos blandos. Entre los tejidos blandos, las concentraciones más altas se alcanzan en el hígado y los riñones (Skerfving & Bergdahl, 2015). El Pb en cierta medida puede atravesar la barrera hematoencefálica. La cantidad de Pb que pasa al sistema nervioso es probablemente más alta en bebés/niños que en adultos. La acumulación de Pb en el hígado y el riñón es más alta que en la sangre, y es más bajo en el sistema nervioso central (SNC). El sistema nervioso periférico (SNP) puede acumular considerablemente más Pb que el SNC. También se distribuye a las gónadas y otras partes del sistema reproductivo masculino. Una gran proporción de plomo absorbido se incorpora al esqueleto. El esqueleto contiene más del 90 % de la carga corporal del Pb; en trabajadores expuestos al Pb, este porcentaje puede ser incluso más alto (Barry, 1975).

Solo existen pruebas circunstanciales para la metilación del plomo inorgánico por microorganismos, y no se sabe si esto ocurre en el tracto gastrointestinal. No hay indicaciones de metilación ni de ninguna otra biotransformación de plomo en los tejidos (Skerfving & Bergdahl, 2015). Los compuestos orgánicos de plomo se metabolizan, al menos en parte, a plomo iónico, tanto en humanos como en animales. El plomo iónico, generado a partir de plomo orgánico, ejerce toxicidad asociadas a las del Pb inorgánico (IARC, s.f.).

Excreción: En humanos el Pb se elimina principalmente del cuerpo en la orina y heces. A exposiciones bajas, la excreción en las heces es aproximadamente la mitad que, en la orina, y a altas exposiciones, es probablemente menor. El Pb también se excreta en menor cantidad, a través de la saliva (Staff et al., 2014; De Souza Guerra et al., 2015), sudor (Omokhodion & Howard, 1991), uñas y cabello (Barrett, 1985; Mehra & Thakur, 2016).

2.4.4. Toxicodinamia y toxicidad del plomo

Los efectos tóxicos del plomo se deben a su combinación con el grupo sulfhidrilo en las proteínas, lo que inhibe las enzimas dependientes de sulfhidrilo. Causa una interrupción en la síntesis de hemoglobina al inhibir las enzimas dependientes de sulfhidrilo como la ferroquelatasa y la ALAD que son críticas para la síntesis del grupo hemo (Rubio et al., 2004). Esto también causa un aumento en la protoporfirina libre de eritrocitos. Las otras enzimas sulfhidrilo inhibidas por el Pb incluyen superóxido dismutasa, G6PD y catalasa, entre otros. La inhibición de estas enzimas conduce a la producción de especies reactivas de oxígeno, causando estrés oxidativo. En el sistema nervioso, el plomo también interfiere con la neurotransmisión excitadora por parte del glutamato, también compite con el calcio en varios sistemas biológicos, incluido el sistema nervioso. Por lo tanto, puede afectar la liberación de neurotransmisor dependiente de calcio (Shukla, et al., 2018).

El Pb es tóxico para la mayor parte de sistemas del cuerpo, el cual interfiere con el metabolismo y la función celular, los efectos tóxicos pueden ocurrir: tanto en el SNC como en el SNP; la sangre; el riñón; los sistemas cardiovascular, endocrino e inmune; el tracto gastrointestinal; el sistema reproductor masculino y femenino. Sus efectos se manifiestan principalmente sobre el SNC, causando generalmente un daño neuroconductual, el cual se ve reflejado en una disminución de la atención, bajos puntajes en pruebas psicométricas y problemas de conducta como la hiperactividad (Jimenez et al., 1993, Skerfving & Bergdahl, 2015).

El Pb funciona como una neurotoxina fuerte, particularmente para los bebés/niños (Jimenez et al., 1993; Cheng et al., 2006; Caravanos et al., 2014). Se han notificado repetidamente efectos adversos en el desarrollo mental de lactantes y niños, los cuales se producen incluso a niveles muy bajos de concentración media de Pb en sangre ($\text{Pb-S} < 10 \mu\text{g/dl}$), sin evidencia de que exista un umbral para este punto final crítico (Lanphear et al., 2000; Canfield et al., 2003; Jusko et al., 2008; EFSA, 2010; CDC, 2013; Safruk et al., 2017). Sin embargo, los expertos del CDC han actualizado sus recomendaciones sobre los niveles de plomo en la sangre de niños a $5 \mu\text{g/dl}$, para identificar a niños con niveles de preocupación de Pb en sangre (ATSDR, s. f.d). Además, el Pb causa un aumento en la presión sanguínea a un promedio de $\text{Pb-S} \leq 10.36 \mu\text{g/dl}$ (Skerfving & Bergdahl, 2015).

Se ha sugerido que, a nivel celular y molecular, el plomo puede permitir o potenciar eventos carcinogénicos involucrados en daños en el ADN. (Nordberg, et al., 2015). El Pb es carcinogénico en experimentos con animales, pero solo hay pruebas limitadas de carcinogenicidad en humanos. Clasificado por la U.S. EPA como B2: Probable cancerígeno

para humanos, basándose en pruebas suficientes de carcinogenicidad en animales, y por la IARC para compuestos de plomo inorgánico, dentro del grupo 2A: probablemente cancerígeno para humanos (IARC, s.f.).

Los síntomas de la toxicidad aguda por Pb pueden ser inespecíficos. La intoxicación aguda por plomo, generalmente es poco común. Manifestándose con: cólico abdominal, estreñimiento, fatiga. A niveles entre 60-80 $\mu\text{g}/\text{dl}$ puede haber neurotransmisión alterada y muerte celular neuronal con neuropatía periférica, hematopoyesis alterada que resulta en anemia y disfunción tubular renal. En los niveles 80-120 $\mu\text{g}/\text{dl}$ puede haber encefalopatía aguda con convulsiones, coma y muerte (Shukla, Shukla, & Tiwari, 2018).

Los pacientes con toxicidad crónica por plomo presentan dolor abdominal de naturaleza de cólico, anemia, hipertensión, deterioro de la audición, deterioro acelerado de la cognición y neuropatía periférica. La insuficiencia renal también es una característica común en individuos expuestos laboralmente. El plomo puede causar daño tubular proximal, esclerosis glomerular y fibrosis intersticial. Puede haber proteinuria, fibrosis túbulo intersticial con o sin insuficiencia renal (Shukla, Shukla, & Tiwari, 2018).

2.4.5. Valores referenciales de los niveles de plomo

La Unión Europea y la comisión del Codex Alimentarius (FAO/OMS, 2017), han establecido un valor límite de 0.2 mg/Kg, para cereales en grano. Sin embargo, el INEN, no ha establecido un límite máximo en los granos de arroz para este metal (INEN, 2014).

La EFSA ha considerado una ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) de 25 μg de Pb por kg de p.c. (EFSA, 2010a). Lo que da una IDT de 3.6×10^{-3} mg/Kg/día. El Panel sobre Contaminantes en la Cadena Alimentaria (CONTAM), concluyó que dicha ISTP, ya no es apropiada, debido a que no hay evidencia de un umbral para efectos críticos inducidos por el plomo. En adultos, niños y bebés, los márgenes de exposición fueron tales, que no se puede excluir la posibilidad de un efecto del plomo en algunos consumidores, particularmente en niños de 1 a 7 años de edad (EFSA, 2010a). El Panel identificó a los niveles de cociente de inteligencia reducido (IQ) en niños pequeños y la presión arterial alta en adultos, como los efectos de salud clave en los que basar su evaluación. (EFSA, 2010b). Con base en los análisis de dosis-respuesta, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) estimó que la ISTP actual se asocia con una disminución de al menos 3 puntos del IQ en niños y un aumento en la presión arterial sistólica de aproximadamente 3 mmHg (0.4 kPa) en adultos (WHO, 2016).

La US EPA no establece una DRf para el plomo; sin embargo, la FDA (1998) establece

una IDT de 6×10^{-3} para niños menores de 6 años, de 6.3×10^{-3} para mujeres embarazadas y de 7.5×10^{-2} mg/día para adultos.

2.5. Evaluación de riesgo toxicológico

Riesgo según la Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, s. f.e), se define como la probabilidad de que se produzca un efecto sobre la salud después de que un individuo haya estado expuesto a una cantidad específica de un peligro. Para la Academia Nacional de Ciencias (NAS por sus siglas en inglés), la evaluación de riesgo es un proceso que consta de dos elementos: la evaluación de riesgo (identificación, evaluación de la exposición, evaluación de la dosis - respuesta y caracterización del riesgo), seguidas del manejo de riesgo (NAS, 1983).

2.5.1. Identificación del peligro

Es un proceso de determinar si un compuesto químico está vinculado con ciertos efectos a la salud. La identificación no contempla su cuantificación, sino que se basa en la revisión de datos epidemiológicos en la población humana y/o toxicológicos disponibles para determinar si la exposición a una sustancia química puede causar consecuencias negativas en la salud, debido a que los datos en humanos no son siempre fáciles de obtener, en este punto por lo general se basa en determinar si una sustancia es tóxica para animales u otros organismos en los que se puedan realizar pruebas de laboratorio (Lema, 2003).

2.5.2. Evaluación Dosis – Respuesta

Describe la relación cuantitativa entre la magnitud de la exposición a una sustancia (dosis) y el grado, frecuencia o intensidad del daño tóxico o enfermedad. Esta relación se expresa bajo la forma de una curva dosis-respuesta. Los datos provienen de estudios de preferencia en animales y, menos frecuentemente, de estudios en poblaciones humanas expuestas. Puede haber tantas curvas diferentes de dosis-respuesta para una sustancia, como diferentes efectos tóxicos adversos cause, bajo condiciones distintas de exposición. Los riesgos de una sustancia no pueden verificarse con algún grado de confianza a menos que se cuantifiquen las relaciones de dosis - respuesta, incluso si se sabe que la sustancia es "tóxica". La curva dosis-respuesta sirve de base para establecer un nivel seguro de exposición humana que se denomina dosis de referencia (DRf) o ingreso diario admisible (IDA), o ingreso diario tolerable (IDT) (U.S. EPA, 1991, 2000).

2.5.3. Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición sirve para identificar a la población afectada y, de ser posible, calcular la cantidad, frecuencia, duración y ruta de exposición. La exposición es un suceso que ocurre cuando hay interacción entre una persona y un determinado contaminante en el medio ambiente, durante un período de tiempo especificado. La evaluación de la exposición se expresa en dosis de exposición (DE), la cual viene dada en unidades de concentración por tiempo (mg/Kg/día) (U.S. EPA, 1991, 2000).

2.5.4. Caracterización del riesgo

Incluye la integración y análisis de datos de los primeros tres componentes, para determinar la posibilidad de que los humanos experimenten cualquiera de las diversas formas de toxicidad asociadas con la sustancia.

Para sustancias no carcinogénicas, la dosis calculada al evaluar la exposición se confronta con los valores de DRf, IDA o IDT, ya establecidos para la sustancia en particular y se concluye si el valor de dicha dosis está por debajo de la DRf, IDA o IDT (seguridad) o por encima (peligro). (U.S. EPA, 1991, 2000). El riesgo para un receptor humano de estar expuesto a un producto químico a través de una vía única se denomina cociente de peligro (HQ). Un índice de peligro (HI), se trata de la suma de HQ para todas las vías y efectos tóxicos similares. (Health Canada 2004; U.S. EPA, 1991, 2015; SESA, 2016). Un valor de HQ y HI menor a 1.0, se considera aceptable (U.S. EPA, 1991, 2015; SESA, 2016). Sin embargo, para la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (CIDA), un valor de HQ menor a 0.2, para cualquier vía dada, a menudo se considera aceptable. Por lo tanto, si el valor del HQ es mayor a 0.2, o el HI es mayor a 1, la evaluación de riesgo debe ser refinada y/o deben tomarse medidas de gestión de riesgos (CIDA, s. f.).

Para sustancias carcinogénicas se calcula primero el riesgo individual (RI) haciendo uso de los valores del factor de pendiente (FP), que son característicos para cada sustancia carcinogénica; el valor obtenido por alguna de estas dos opciones se multiplica por la población total expuesta para obtener así la incidencia de cáncer en exceso que se espera que ocurra como consecuencia de la exposición a la sustancia en particular (U.S. EPA, 2005). Cuando $RI < 10^{-6}$ los consumidores están en el límite seguro; $RI > 10^{-4}$, riesgo umbral; y $RI > 10^{-3}$, riesgo considerable (U.S. EPA, 1991, 2005; Fakhri et al., 2018). Por ejemplo, un riesgo de 1×10^{-6} significa que 1 persona de un millón podría desarrollar cáncer como resultado de una exposición de por vida. Se debe considerar la necesidad de llevar a cabo acciones correctivas (limpieza) en un sitio si el riesgo teórico excede 1×10^{-6} . Por lo general, la EPA

requiere acciones correctivas en lugares donde la cantidad calculada de riesgos carcinogénicos es mayor a 1×10^{-4} (un caso carcinogénico en una población de diez mil personas podría ocurrir potencialmente) (U.S. EPA, 1991).

2.5.5. Manejo del riesgo

Sobre la base de la información obtenida de la evaluación del riesgo, se toman decisiones sobre la mejor manera de abordar la contaminación ambiental y la exposición. El gestor de riesgos también incluye una evaluación de aspectos sociales, legales, económicos y de políticas para determinar el mejor enfoque para abordar un problema de exposición (U.S. EPA, 1995, 2015).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de estudio

La investigación llevada a cabo es un estudio no experimental, descriptivo, analítico, de corte transversal.

3.2. Variables e indicadores

Variables independientes: La concentración de cadmio y plomo en los granos de arroz blanco e integral. La edad, género, peso de la población encuestada, así como el tipo, la marca, y cantidad de arroz consumida.

Variables dependientes: Valores del cálculo del riesgo toxicológico de la población expuesta a las concentraciones de cadmio y plomo presentes en los granos de arroz blanco e integral.

Indicadores: Concentraciones de Cd y Pb por debajo o encima del límite máximo establecido en el Codex Alimentarius ($Pb=0.2 \text{ mg/Kg}$; $Cd=0.4 \text{ mg/kg}$). Valores de Cociente de Peligro por encima o debajo de 1. Valores de riesgo carcinogénico por encima o debajo de 1×10^{-6} .

3.3. Metodología

El estudio consta de dos partes: los análisis de concentración de Cd y Pb en los granos de arroz y la evaluación del riesgo toxicológico que implica su consumo.

Con el objetivo de obtener datos de los lugares de mayor expendio, marca, cantidad, y tipo de arroz consumido, se realizó una encuesta (ANEXO 1). La población para la aplicación de las encuestas estuvo definida por los habitantes de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca.

El tamaño de la muestra para las encuestas, fue calculada mediante la Ecuación 1, con un 95 % de intervalo de confianza, con un error del 5 %, y considerando que no se dispone de una estimación de p , se asume $p = 0.5$ [es decir, $p(1 - p) \leq 0.25$ con igualdad para $p = 0.5$], y esto puede usarse para obtener un límite superior de n . En otras palabras, estamos por lo menos $100(1 - \alpha) \%$ confiados en que el error en la estimación de p es menor que E

(Montgomery & Runger, 2011). Por lo que el número de encuestas realizadas fueron: $n = 385$.

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2}}{E} \right)^2 p(1-p) \quad (1)$$

La aplicación de las encuestas fue aleatoria estratificada proporcional, los estratos estuvieron constituidos por las parroquias de la zona urbana de Cuenca (Figura 6), debido a que el 65,26 % de la población se encuentra en la zona urbana (INEC, 2010a), el número de encuestas para cada parroquia fue calculada mediante la densidad poblacional (Bermeo, 2013), y la superficie de cada parroquia, extraídas mediante el software Arcgis vers. 10.5, este programa también fue utilizado para la creación de los puntos aleatorios (Figura 7), en donde se realizaron las encuestas (ANEXO 3), con la ayuda del mapa cartográfico de la ciudad de Cuenca obtenido del Geoportal del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, s. f.), como se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10

Número de encuestas por parroquia urbana de Cuenca

Parroquia	Densidad poblacional (hab/Km ²)	Superficie (Km ²)	N	%	n
Bellavista	6512	3.57	23248	7.46	29
Cañaribamba	10241.5	1.13	11613	3.73	14
El Batán	4080.5	5.15	21006	6.74	26
El Sagrario	8482	0.75	6333	2.03	8
El Vecino	8482	3.59	30437	9.77	37
Gil Ramírez Dávalos	10241.5	0.62	6380	2.05	8
Hermano Miguel	2334	5.66	13216	4.24	16
Huayna Cápac	2334	4.77	11143	3.58	14
Machángara	2334	14.52	33886	10.87	42
Monay	4080.5	5.50	22447	7.20	28
San Blas	6512	1.23	8003	2.57	10
San Sebastián	4080.5	10.13	41339	13.27	51
Sucre	6512	2.61	16990	5.45	21
Totoracocha	8482	2.85	24142	7.75	30
Yanuncay	4080.5	10.15	41421	13.29	51
Total		72.23	311603	100	385

Fuente: Densidad poblacional, obtenida de: Bermeo, H. (2013). IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES A NIVEL CANTONAL-CUENCA. Recuperado a partir de <http://repositorio.cedia.org.ec/handle/123456789/842>; superficie, extraída mediante el software Arcgis, con el mapa cartográfico de Cuenca, obtenido del geoportal del INEC.

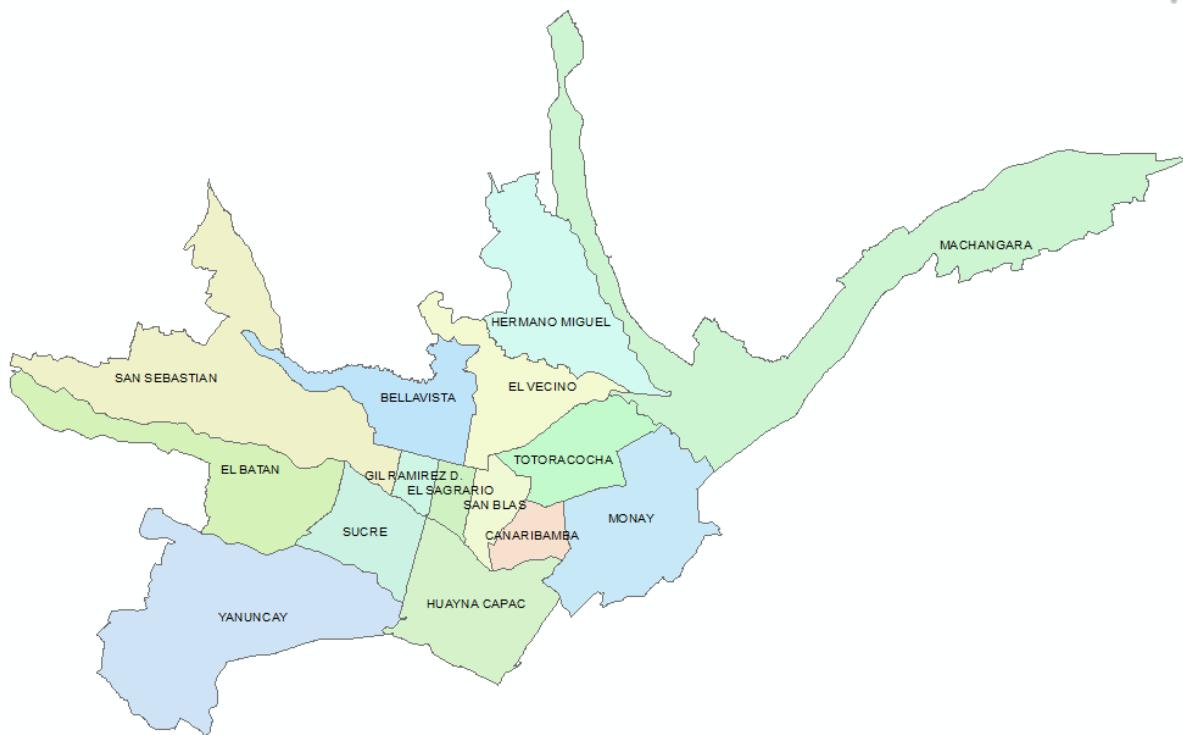


Figura 6. Parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca

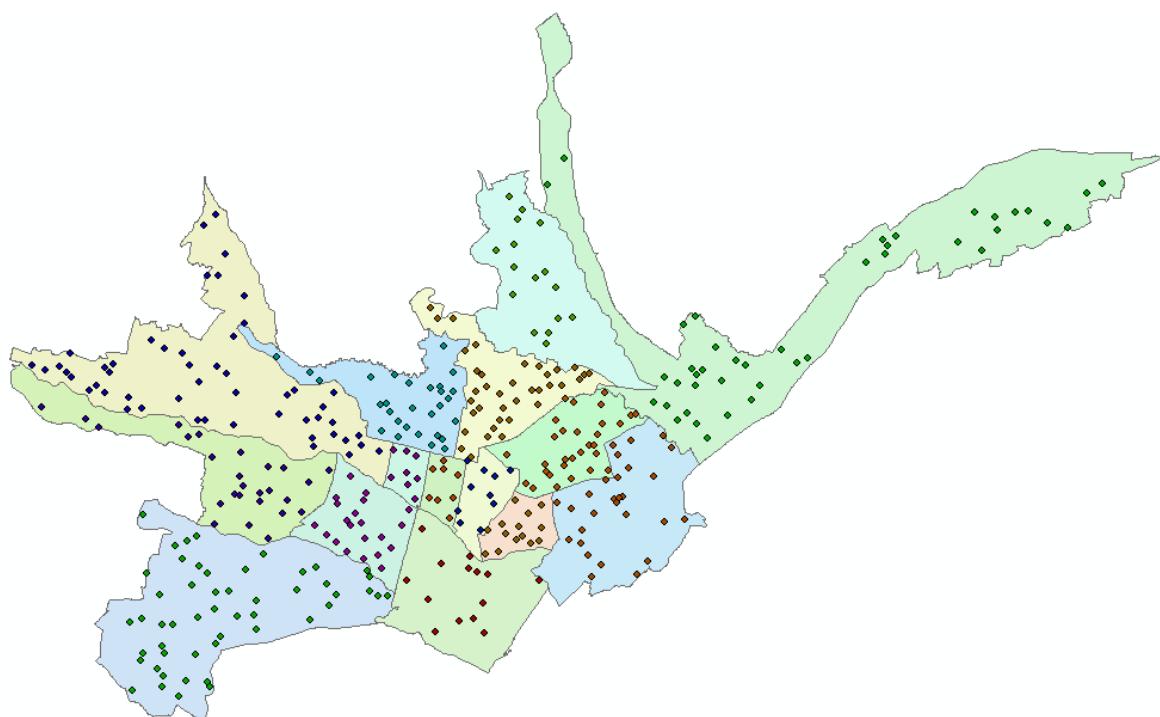


Figura 7. Puntos aleatorios generados mediante el software Arcgis

3.3.1. Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en arroz

En el caso del arroz blanco, debido a que la mayoría de la población encuestada no compra el arroz en un lugar específico (“Indistinto”), y como se puede apreciar en la Figura 8, el lugar donde más acude la población encuestada a comprar este arroz es la “tienda de barrio”, repartidas en todas las parroquias, por lo que no hay una tienda específica en donde realizar el muestreo, es por ello que el lugar de toma de muestras fue en el mercado “12 de abril”. Por otro lado, el lugar de muestreo para el arroz integral, como se puede apreciar en la Figura 9, fue en los supermercados “Supermaxi”, ya que según encuesta es donde más acude la población a comprar dicho arroz.

Muestreo: La recolección de las muestras de arroz blanco se realizó en fundas de polietileno “Ziploc”, aproximadamente 0.25 Kg, a granel, las cuales fueron almacenadas y transportadas al laboratorio del VLIR de Alimentos. Mientras que para las muestras de arroz integral fueron tomadas de los supermercados “Supermaxi”, de sus fundas selladas, las cuales fueron colocadas aproximadamente 0.25 Kg a las fundas “Ziploc”, para su transporte al laboratorio. La cantidad que se ocupó para la digestión, fue de aproximadamente 40 g en cada muestra de arroz blanco e integral (Tabla 23), como se detalla en el punto de la digestión. La ficha de recolección de las muestras se puede apreciar en el ANEXO 4.

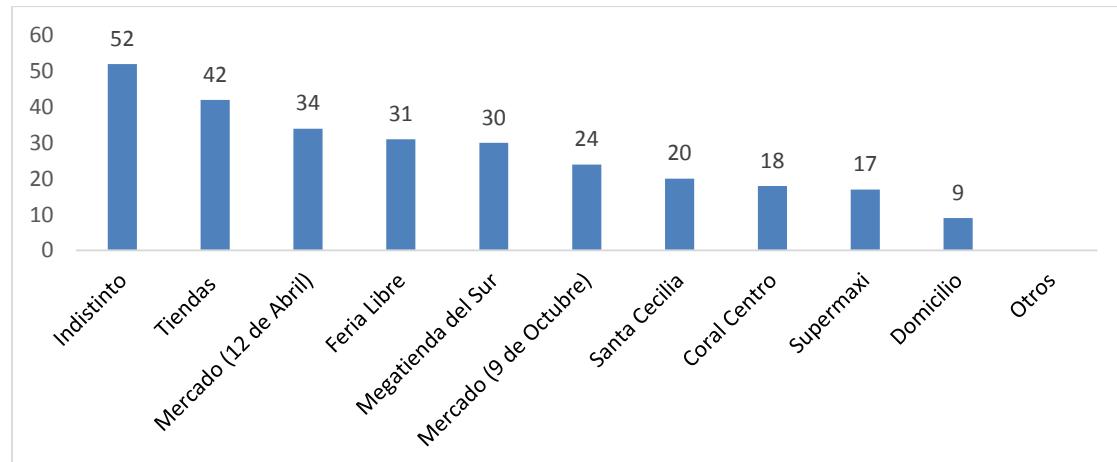


Figura 8. Frecuencias absolutas de lugares de compra, por parte de la población, de arroz blanco

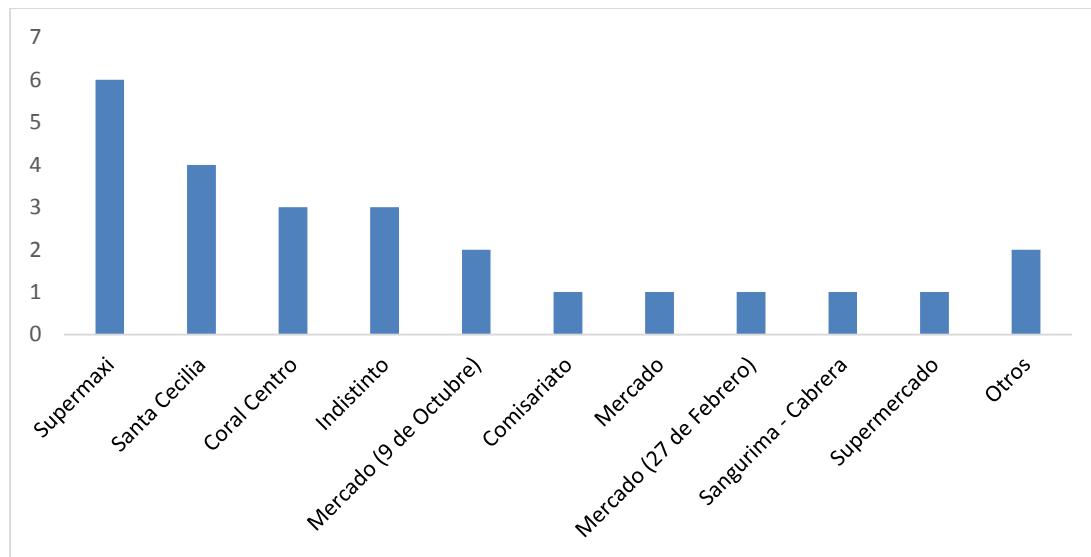


Figura 9. Frecuencias absolutas de lugares de compra, por parte de la población, de arroz integral

Para poder obtener el número de muestras necesarias, para calcular la media de la concentración de ambos metales, se realizó un muestreo piloto, en el caso del arroz blanco ($n = 5$), se tomaron tres muestras de la marca “Conejo” y dos de la marca “Flor”, ya que según encuesta estas son las marcas más consumidas por la población (Figura 10), y para el caso del arroz integral ($n = 5$), se tomaron tres de la marca “Gustadina” y dos de la marca “Schullo” (Figura 11). Con el fin de estimar la desviación estándar (σ) y mediante la Ecuación 2 (Montgomery & Runger, 2011), calcular n para cada metal.

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \sigma}{E} \right)^2 \quad (2)$$

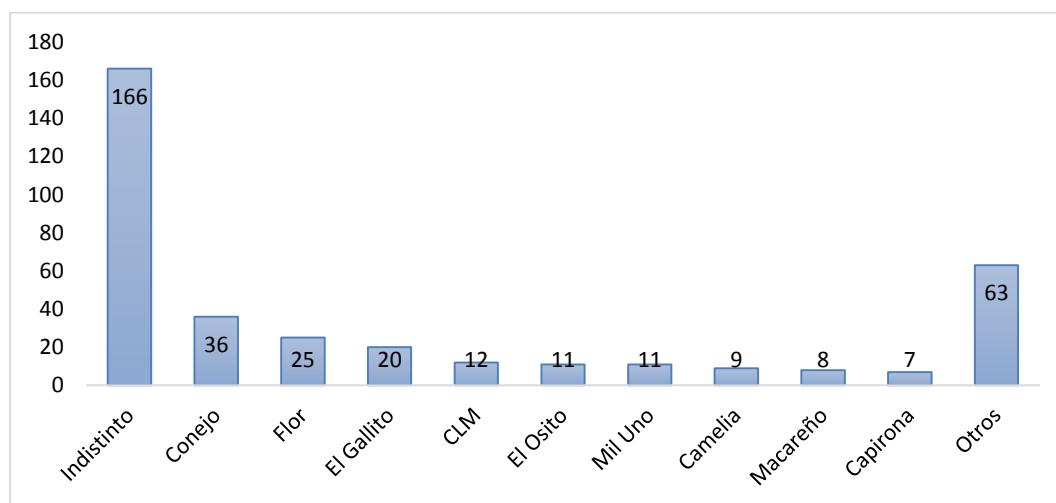


Figura 10. Frecuencias absolutas de las marcas más consumidas, por parte de la población, de arroz blanco

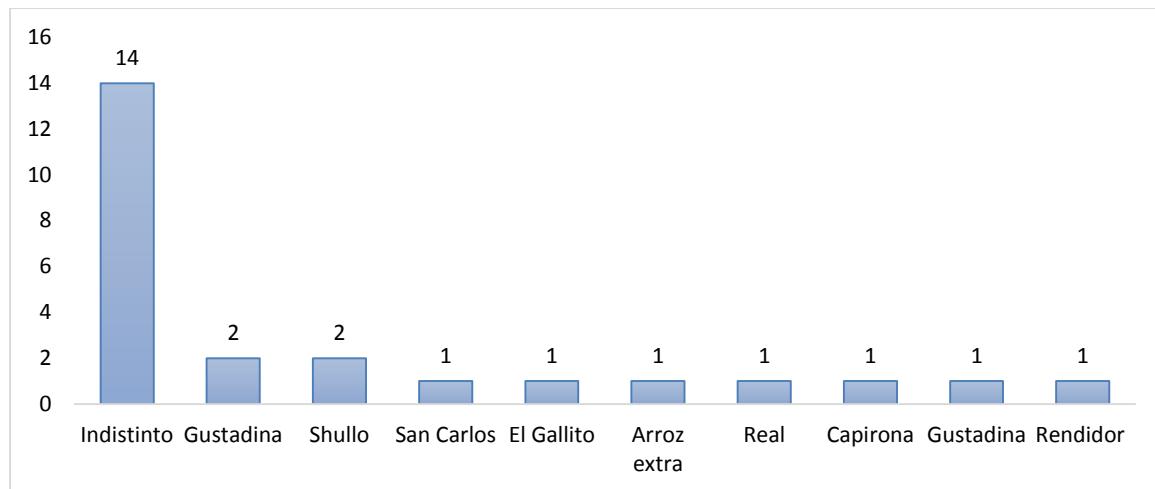


Figura 11. Frecuencias absolutas de las marcas más consumidas, por parte de la población, de arroz integral

En el arroz blanco por medio del muestreo piloto no se obtuvo una σ para la concentración de Cd y Pb, con lo que no se realizó la determinación de la concentración de dichos metales en más muestras. Por otro lado, en el arroz integral se obtuvo una $\sigma=0.029$, para la concentración de Pb, y $\sigma=0$ para el Cd, con lo cual mediante la ecuación 2, se obtuvo el número de muestras necesarias para calcular la media de Pb, la cual con un 95 % de intervalo de confianza y asumiendo un error máximo de .02 mg/Kg se obtuvo $n=9$. Pero para obtener igual número de muestras en ambas marcas, se determinó un total de 5 muestras para la marca “Schullo” y cinco muestras para la marca “Gustadina”.

3.3.1.1. Materiales, equipos y procedimiento de análisis de muestras de arroz

➤ Materiales

- Crisoles de 50 ml de capacidad.
- Varillas de vidrio.
- Lunas de reloj.
- Balones de aforo de 50 ml.
- Embudos.
- Botellas de poliestireno de 100 ml con cierre hermético.

➤ Equipos

- Balanza analítica.
- Placa caliente.
- Estufa.
- Horno mufla programable, Thermo Scientific, Thermolyne Type 1500M

- e. Espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer Aanalyst 100.

➤ **Reactivos**

- a. Ácido Nítrico (65 %).
- b. Ácido Clorhídrico (37 %).
- c. Agua desionizada, resistividad $\geq 18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$.
- d. Estándar de plomo.
- e. Estándar de cadmio.

➤ **Procedimiento**

La determinación de los metales pesados se realizó mediante el método oficial de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC) 999.11 (Latimer, 2016).

Fundamento: Las porciones de muestra se secan y luego se incineran a 450 °C, bajo un gradual incremento de temperatura (≤ 50 °C). Se agrega HCl 6 M, la solución se evapora a sequedad. El residuo se disuelve en HNO₃ 0,1 M, finalmente los analitos son determinados mediante espectrometría de absorción atómica.

➤ **Digestión – método**

- a. En un crisol pesar 20 g de muestra, colocar en la placa caliente a 100 °C.
- b. Colocar el crisol con la muestra en el horno mufla a una temperatura no mayor a 100 °C, incrementar la temperatura a razón máxima de 50 °C/h hasta 450 °C, dejar la muestra a esa temperatura por lo menos 8 h o toda la noche.
- c. Humedecer la ceniza con 3 ml de agua y evaporar en placa caliente.
- d. Colocar el crisol en el horno mufla a temperatura no mayor a 200 °C, incrementar la temperatura (50 - 100°C/h) hasta 450 °C. Proceder con la calcinación a 450 °C por 1 – 2 h o mayor tiempo.
- e. Repetir (c) y (d) hasta que la muestra esté completamente calcinada, la ceniza debería estar gris-blanca o ligeramente coloreada.
- f. Añadir 5 ml HCl 6 M al crisol, asegurándose que toda la ceniza quede en contacto con el ácido, evaporar el ácido en placa caliente.
- g. Disolver el residuo con 15 ml de HNO₃. Agitar con cuidado para que toda la ceniza quede en contacto con el ácido.

- h. Cubrir el crisol con luna de reloj y dejar reposar por 1 – 2 h. Luego agitar la solución completamente con una varilla de vidrio.
- i. Transferir la solución a un balón de 50 ml, y aforar con agua desionizada.
- j. Transferir el contenido a una botella plástica.

La digestión en cada muestra fue realizada por duplicado y llevado a un volumen final de 50 ml, para obtener un total de aproximadamente 37.5 g de muestra en 50 ml de solución, para así concentrar los metales y lograr detectar concentraciones desde 0.2 mg/Kg para el caso del plomo, y concentraciones desde 0.05 mg/Kg para el Cd.

➤ **Determinación de la concentración de cadmio y plomo en el arroz**

La solución obtenida en el proceso de digestión, se entregó al laboratorio del CESEMIN, en el cual mediante Espectrometría de Absorción Atómica (Latimer, 2016), se determinó la concentración de Cd y Pb en unidades de mg/L.

3.3.2. Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron tabulados y analizados utilizando Microsoft Excel, y el programa estadístico “R” versión 3.4.4.

Se realizó estadística descriptiva, para las variables cuantitativas continuas se calcularon, la media como estadígrafo de posición y la desviación estándar como estadígrafo de dispersión.

La estadística inferencial solo se realizó con las concentraciones de Pb en arroz integral, debido a que, tanto las concentraciones de Pb en arroz blanco, como las concentraciones de Cd, en arroz blanco e Integral, estuvieron por debajo del límite de detección.

Se utilizó la prueba paramétrica t - Student (*t*) (Salkind & Rasmussen, 2007). para: determinar diferencias entre la media de un valor teórico, el cual es el límite máximo establecido en el Codex Alimentarius (0.2 mg/Kg); para determinar diferencias de las medias entre el arroz blanco e integral; así como para determinar diferencias de las medias entre las dos marcas comerciales del arroz integral.

En todos los casos el nivel de significación estadística empleada fue: $\alpha=.05$.

3.3.3. Estimación del riesgo de exposición dietaria de cadmio y plomo por el consumo de granos de arroz blanco e integral

La evaluación del riesgo toxicológico para la NAS (1983), y adoptada por la US EPA consta de:

- a.- Identificación del peligro
- b.- Evaluación de la curva dosis - respuesta
- c.- Evaluación de la exposición
- d.- Caracterización del riesgo.

Las dos primeras partes están respaldadas por documentación, revisada en el capítulo II, las partes c y d basados en los índices toxicológicos que se pueden apreciar en la Tabla 11, se calculó de la siguiente manera:

Tabla 11
Índices toxicológicos para cadmio y plomo

Índice	Cadmio	Referencia	Plomo	Referencia
NOAEL	1×10^{-2} mg/Kg/día	U.S. EPA, 1987	—	—
IDT niños	—	—	6×10^{-3} mg/día	Carrington, & Bolger, 1992; FDA, 1998
IDT mujeres embarazadas	—	—	2.5×10^{-2} mg/día	Carrington, & Bolger, 1992; FDA, 1998
IDT Adultos	3.6×10^{-4} mg/Kg/día	EFSA, 2011	7.5×10^{-2} mg/día	Carrington, & Bolger, 1992; FDA, 1998
DRf	1×10^{-3} mg/Kg/día	U.S. EPA, 1987	3.6×10^{-3} mg/Kg/día	EFSA, 2012b
FP	6×10^{-3} $(\text{mg/Kg/día})^{-1}$	Echeverry et al., 2015	8.5×10^{-3} $(\text{mg/Kg/día})^{-1}$	OEHHA, 2011

Fuente: U.S. EPA, 1987; Carrington, & Bolger, 1992; FDA, 1998; EFSA, 2011; OEHHA, 2011; EFSA, 2012b; Echeverry et al., 2015

3.3.3.1. Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición es la determinación (cualitativa y cuantitativa) de la magnitud, frecuencia y duración de la exposición y dosis interna.

➤ Dosis de exposición

La dosis de exposición (DE) se obtuvo mediante las siguientes ecuaciones (ATSDR, s. f.f):

$$DE = \frac{C (\text{mg/Kg}) \times TI (\text{Kg/día}) \times FE}{PC (\text{Kg})} \quad (3)$$

C: Concentración media del metal en los granos de arroz.

TI: Tasa de ingesta del medio contaminado (obtenido mediante encuesta).

FE: Factor de exposición.

PC: Peso corporal (obtenido mediante encuesta).

$$FE = \frac{F \times D}{PV} \quad (4)$$

F: Frecuencia (número de días de exposición por año).

D: Duración de la exposición (años de exposición).

PV: Periodo de vida promedio (365 días x 70 años).

3.3.3.2. Caracterización del riesgo

Para la caracterización del riesgo se determinó mediante las siguientes ecuaciones de cociente de peligro (HQ) y margen de exposición (ME) (Walsh, Killough, & Rohwer, 1978; US EPA, 1991, 2000, 2005).

➤ Cociente de peligro y margen de exposición para efectos no carcinogénicos

$$HQ = \frac{DE}{DRf} \quad (5)$$

DRf: Dosis de referencia oral (Según Tabla 11).

$$ME = \frac{NOAEL}{DE} \quad (6)$$

NOAEL: Máximo nivel de exposición experimental a la cual no se observan efectos tóxicos (Según Tabla 11).

➤ Riesgo Individual y poblacional para efectos carcinogénicos

$$RI = FP \times DE \quad (7)$$

$$PE = RI \times FE \quad (8)$$

RI: Riesgo Individual

RP: Riesgo Poblacional

FP: Factor de Pendiente (Según Tabla 11).

PE: Población Expuesta (número de habitantes en la ciudad de Cuenca).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Caracterización de la población encuestada

4.1.1. Género

En el presente estudio se realizó un total de 385 encuestas, obteniéndose un total de 621 datos, debido a que en algunas encuestas fueron proporcionados datos de más miembros de la familia, de los cuales, 395 corresponden al género femenino, mientras 226 corresponden al género masculino, como se puede apreciar en la Tabla 12. Lo cual representa el 63.6 % y el 36.4 % para mujeres y hombres respectivamente, lo que se puede apreciar de mejor manera en la Figura 12.

Tabla 12
Estadísticos descriptivos del género de la población

	Frecuencia	Porcentaje
Mujeres	395	63.6
Hombres	226	36.4
Total	621	100

Fuente: Autor

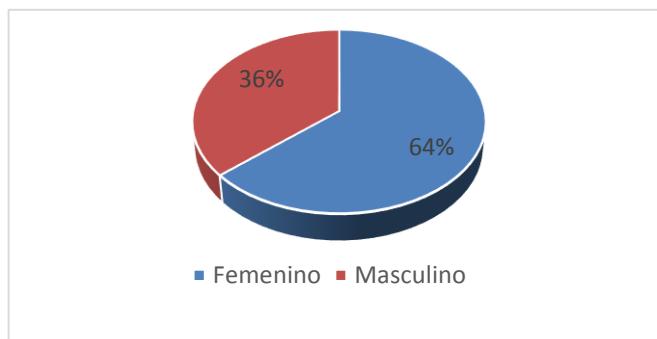


Figura 12. Porcentaje de la población encuestada según el género

4.1.2. Edad

En la Tabla 13 se puede apreciar un resumen de la edad de la población, en la cual se observa que la media de edad, para el caso de las mujeres es de 41.61 años, con una desviación estándar de 20.41 años, y en donde la menor edad es de 2 años, mientras que la mayor edad es de 92 años. Por otro lado, la media de la edad de los hombres es de 36.07 años, con una desviación estándar de 36.07 años, en donde la menor edad es de 1 año y la mayor edad es de 92 años.

Tabla 13
Estadísticos descriptivos de la edad de la población

	Mujeres	Hombres
<i>n</i>	395	226
Mínimo (años)	2	1
Máximo (años)	92	92
Media (años)	41.61	36.07
SD (años)	20.41	21.75

Fuente: Autor

En la Tabla 14 se puede observar la frecuencia de la población encuestada, separada en rangos de edad, en donde se puede apreciar, que la mayoría de los datos obtenidos para el caso de las mujeres y de los hombres, están en el rango de edad que va desde los 25 hasta los 54 años, cuyos porcentajes se distinguen en las Figuras 13 y 14, para el caso de las mujeres y hombres respectivamente.

Tabla 14
Frecuencia de la población de acuerdo al rango de edad

Rango	Mujeres		Hombres	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
1 - 14	30	7,6	41	18,1
15 - 24	54	13,7	42	18,6
25 - 54	200	50,6	90	39,8
55 - 64	43	10,9	20	8,8
65,00 +	68	17,2	33	14,6
Total	395	100	226	100

Fuente: Autor

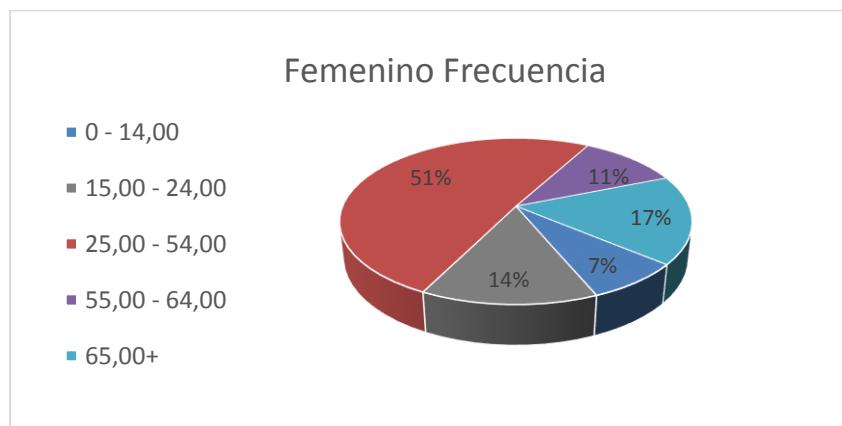


Figura 13. Porcentaje de datos de mujeres de acuerdo al rango de edad

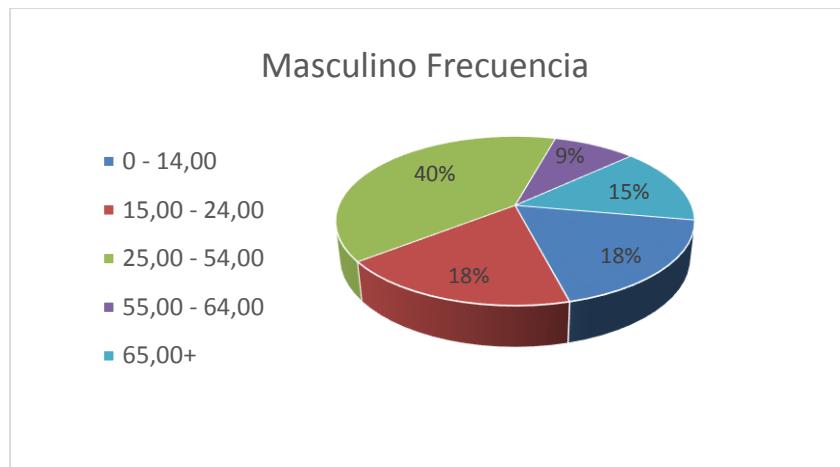


Figura 14. Porcentaje de datos de hombres de acuerdo al rango de edad

4.1.3. Peso

En la Tabla 15 se muestran los estadísticos descriptivos de la población, de acuerdo al género, en la cual la media para el caso de las mujeres es de 60.25 Kg, con una desviación estándar de 9.16 Kg. En el caso de los hombres se obtuvo una media de 67.05 Kg, con una desviación estándar de 14.48 Kg.

Tabla 15
Estadísticos descriptivos del peso de la población

	Mujeres	Hombres
<i>n</i>	266	115
Mínimo (Kg)	39	9.8
Máximo (Kg)	95.8	104.5
Media (Kg)	60.25	67.05
SD (Kg)	9.16	14.48

Fuente: Autor

En la Tabla 16 se puede observar los pesos medios de la población de acuerdo al género, y divididos de acuerdo al rango de edad.

Tabla 16
Media del peso según el rango de edad

Rango de edades	Media de peso (Kg)	
	Mujeres	Hombres
1 - 14	50.44	26.73
15 - 24	55.77	59.72
25 - 54	60.45	72.45
55 - 64	63.6	67.18
65,00 +	60.39	69.1

Fuente: Autor

4.1.4. Consumo de arroz

En la Tabla 17 se muestra el porcentaje de la población que consume arroz. En la cual se observa que el 98.2 % de la población consume arroz, mientras que el 1.8 % restante no lo consume. Mientras que, en la Tabla 18 se observa el porcentaje de la población que consume arroz, con respecto al género. En donde el porcentaje que consume arroz es del 97.5 para el caso de las mujeres y del 99.6 % para el caso de los hombres.

Tabla 17

Porcentaje de la población que consume arroz

	Frecuencia	Porcentaje
Si	610	98.2
No	11	1.8
Total	621	100

Fuente: Autor

Tabla 18

Porcentaje de la población que consume arroz de acuerdo al género

	Femenino		Masculino	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Si	385	97.5	225	99.6
No	10	2.5	1	0.4
Total	395	100	226	100

Fuente: Autor

Para el cálculo en gramos del consumo diario de arroz por parte de la población encuestada se utilizó una lámina con gráficos de las diferentes porciones de arroz (ANEXO 2). En la Tabla 19 se observa el consumo de arroz de la población, con respecto al tipo de arroz. En donde el 91.9 % de la población consume arroz blanco, el 2.1 % de la población consume arroz integral, el 3.7 de la población consume los dos tipos de arroz, los cuales se pueden apreciar de mejor manera en la Figura 15.

Tabla 19

Porcentaje de consumo con respecto al tipo de arroz

Tipo	Frecuencia	Porcentaje
Blanco	571	91.9
Integral	13	2.1
Precocido	3	0.5
Blanco e Integral	23	3.7
No consume	11	1.8
Total	621	100

Fuente: Autor

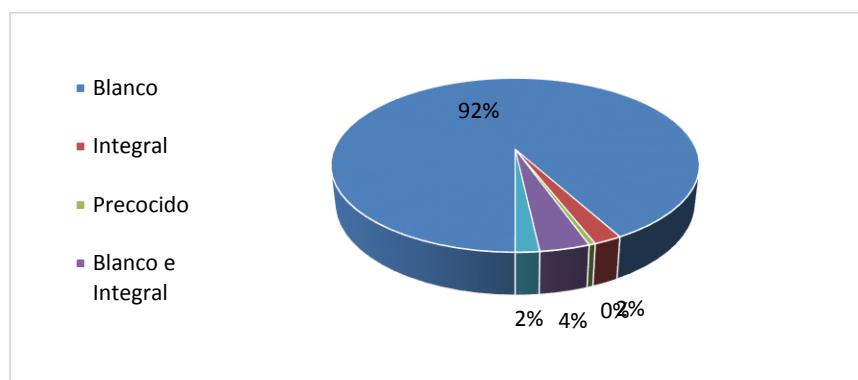


Figura 15. Porcentaje de consumo según el tipo de arroz

En la Tabla 20 se muestra el porcentaje del tipo de arroz, que consume la población de estudio con respecto al género. En donde, para el caso de las mujeres, el porcentaje de consumo de arroz blanco es del 90.63, para el arroz integral es del 2.03 %, y las que consumen ambos tipos de arroz es del 4.30 %. Por otra parte, el porcentaje de consumo de los hombres para el arroz blanco es del 94.25, para el arroz integral es del 2.21 %, y los que consumen ambos tipos de arroz es del 2.65 %.

Tabla 20
Porcentaje de consumo del tipo de arroz con respecto al género

Tipo	Femenino		Masculino	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Blanco	358	90.63	213	94.25
Integral	8	2.03	5	2.21
Blanco e Integral	17	4.30	6	2.65
Precocido	2	0.51	1	0.44
No consume	10	2.53	1	0.44
Total	395	100	226	100

Fuente: Autor

En la Tabla 21 se observa los estadísticos descriptivos de la cantidad de arroz consumida al día, con respecto al tipo de arroz y al género de la población. En donde, para el caso de las mujeres, la media de consumo de arroz blanco es de 52.31 g, con una desviación estándar de 39.77 g, teniendo un máximo consumo de 206.88 g. Mientras que la media de consumo para el arroz integral es de 28.62 g, con una desviación estándar de 31.40 g, y se observa un máximo consumo de 137.92 g. Por otra parte, para el caso de los hombres, se obtuvo una media de consumo de 68.53 g para el arroz blanco, con una desviación estándar de 42.00 g, con un máximo consumo de 206.88 g. En cambio, para el arroz integral, se obtuvo una media

de consumo de 36.49 g, con una desviación estándar de 22.76 g, y observándose un máximo consumo de 68.96 g.

Tabla 21
Cantidad de consumo de acuerdo al tipo de arroz

	Femenino		Masculino	
	Consumo Blanco	Consumo Integral	Consumo Blanco	Consumo Integral
<i>n</i>	375.00	25.00	219.00	11.00
Media (g)	52.31	28.62	68.53	36.49
Mínimo (g)	2.46	2.46	3.69	9.85
Máximo (g)	206.88	137.92	206.88	68.96
SD (g)	39.77	31.40	42.00	22.76

Fuente: Autor

La Tabla 22 indica la media de la cantidad de arroz consumida al día por la población, de acuerdo al tipo de arroz y al rango de edades.

Tabla 22
Cantidad de arroz consumida por la población de acuerdo al rango de edades

Rango	Femenino		Masculino	
	Media Consumo Blanco (g)	Media Consumo Integral (g)	Media Consumo Blanco (g)	Media Consumo Integral (g)
	43.06	34.48	61.45	9.85
1 - 14	67.84	12.93	78.64	14.77
15 - 24	55.09	28.21	75.83	39.41
25 - 54	34.42	28.63	60.46	19.70
55 - 64	46.01	40.88	48.48	53.36
65,00 +				

Fuente: Autor

4.2. Concentración de Cd y Pb en granos de arroz blanco e integral

Para el cálculo de la concentración de Cd y Pb en muestras de arroz blanco e integral, se analizaron un total de cinco muestras para el arroz blanco, de las cuales dos fueron de la marca “Flor” y tres de la marca “Conejo”. Por otra parte, se analizaron un total de diez muestras para el arroz integral, de las cuales cinco fueron de la marca “Schullo” y cinco de la marca “Gustadina”, tal como se puede apreciar en la Tabla 23 y en la Figura 16.

Debido a que los resultados de concentración de Cd y Pb (ANEXO 5), por parte del laboratorio del CESEMIN, están reportados en la solución (mg/L), obtenida con el proceso de digestión, fue necesario realizar los cálculos para obtener la concentración de Cd y Pb en las muestras de arroz (mg/Kg) como se puede observar en la Tabla 23.

Tabla 23
Concentraciones de Cd y Pb en las muestras de arroz blanco e integral

Tipo de arroz	Marca	Código	Peso muestra (g)	Volumen de solución (ml)	Cd en solución (mg/L)	Pb en solución (mg/L)	Cd en muestra (mg/Kg)	Pb en muestra (mg/Kg)
Blanco	Flor	BF1	38.4656	50	N.C.	N.C.	<0.05	<0.2
Blanco	Flor	BF2	38.8258	50	N.C.	N.C.	<0.05	<0.2
Blanco	Conejo	BC1	39.3744	50	N.C.	N.C.	<0.05	<0.2
Blanco	Conejo	BC2	38.1172	50	N.C.	N.C.	<0.05	<0.2
Blanco	Conejo	BC3	38.0066	50	N.C.	N.C.	<0.05	<0.2
Integral	Schullo	IS1	37.8838	50	N.C.	0,26	<0.05	0.343
Integral	Schullo	IS2	37.8816	50	N.C.	0,24	<0.05	0.317
Integral	Schullo	IS3	37.6530	50	N.C.	0,23	<0.05	0.305
Integral	Schullo	IS4	37.8356	50	N.C.	0,24	<0.05	0.317
Integral	Schullo	IS5	37.7160	50	N.C.	0,25	<0.05	0.331
Integral	Gustadina	IG1	37.8045	50	N.C.	0,20	<0.05	0.265
Integral	Gustadina	IG2	38.3409	50	N.C.	0,22	<0.05	0.287
Integral	Gustadina	IG3	38.0745	50	N.C.	0,23	<0.05	0.302
Integral	Gustadina	IG4	37.5747	50	N.C.	0,23	<0.05	0.306
Integral	Gustadina	IG5	37.6205	50	N.C.	0,22	<0.05	0.292

N.C. Concentraciones inferiores al límite de detección (No Cuantificado)

Fuente: Autor

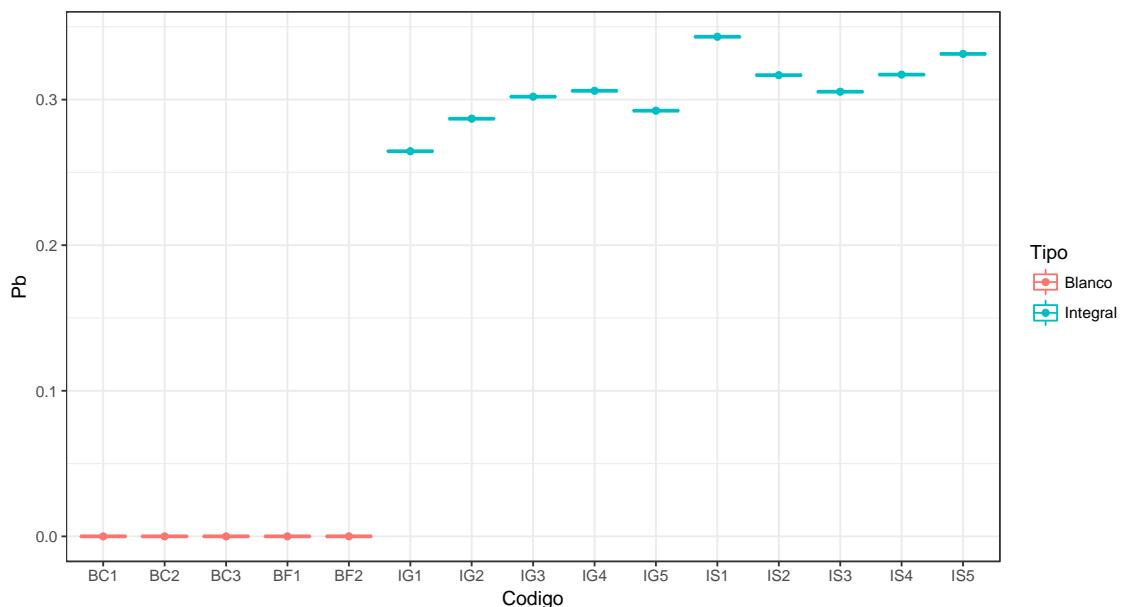


Figura 16. Concentración de Pb en las muestras de arroz

Como se puede observar en la Tabla 23, los resultados de los análisis de las concentraciones de Cd en las muestras de arroz blanco e integral (ANEXO 5), estuvieron por debajo del límite de detección (N.C.), el cual en la solución es de 0.038 mg/L, dando concentraciones en las muestras inferiores a 0.05 mg/Kg.

Por otro lado, como se puede apreciar en la Tabla 23, las concentraciones de Pb en las muestras de arroz blanco, estuvieron por debajo del límite de detección (ANEXO 5), el cual en la solución es de 0.15 mg/L, dando concentraciones en las muestras inferiores a 0.2 mg/Kg.

En la Tabla 24 se puede observar los estadísticos descriptivos de la concentración de Pb en las muestras de arroz integral, en la cual muestra que la media total entre las dos marcas comerciales es de 0.307 mg/Kg, con una desviación estándar de 0.022 mg/Kg, y una concentración máxima de 0.34 mg/Kg.

En la marca “Schullo”, la concentración media de Pb es de 0.32 mg/Kg, con una desviación estándar de 0.014 mg/Kg, y una concentración máxima de 0.34 mg/Kg.

Mientras que, la concentración media de Pb en la marca “Gustadina” es de 0.29 mg/Kg, con una desviación estándar de 0.016 mg/Kg, y una concentración máxima de 0.31 mg/Kg.

Tabla 24

Estadísticos descriptivos de la concentración de Pb en granos de arroz integral

	Total	Schullo	Gustadina
<i>n</i>	10	5	5
Media (mg/Kg)	0.3066	0.3228	0.2904
Mínimo (mg/Kg)	0.26	0.31	0.26
Máximo (mg/Kg)	0.34	0.34	0.31
SD (mg/Kg)	0.0224	0.0146	0.0163

Fuente: Autor

4.3. Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos que a continuación se describen solo se pudieron realizar con las concentraciones de Pb en arroz integral, debido a que, tanto las concentraciones de Cd y Pb en arroz blanco, como las concentraciones de Cd en arroz integral, estaban por debajo del límite de detección como se puede observar en la Tabla 23.

4.3.1. Comparación de la concentración media de Pb con el Codex Alimentarius

Como se puede observar en la Tabla 25, se realizó una prueba de normalidad (Shapiro - Wilk), para los datos de la concentración de Pb, en el arroz integral total, así como de manera individual para cada marca comercial. Obteniendo así, valores de $p=0.9817$ para el arroz integral total, $p=0.7617$ para la marca “Schullo” y para la marca “Gustadina”, $p=0.5059$, con lo cual, para un nivel de significación de .05, se puede aceptar la hipótesis nula en todos los casos, de que los datos siguen una distribución normal.

Luego de verificar la distribución normal de los datos, se puede realizar una prueba t para comprobar la igualdad de las medias con un valor teórico, como se muestra en la Tabla 25.

Para el arroz integral total, se obtuvo: $t(9)=14.99$, $p=1.135e-07$; para la marca “Schullo”, $t(4)=18.74$, $p=4.776e-05$; y para la marca “Gustadina”, $t(4)=12.38$, $p=.000245e-07$. Con lo que se puede decir: que con un nivel de significación de .05, la prueba t de una muestra, para los tres casos, fue estadísticamente diferente de 0.2.

Tabla 25

Prueba t para comparar medias con el valor del Codex Alimentarius

Media (mg/Kg)	Shapiro - Wilk (p)	Prueba t		
		t	gl	p
Total	0.3066	0.9817	14.989	9
Schullo	0.3228	0.7617	18.738	4
Gustadina	0.2904	0.5059	12.376	4

Fuente: Autor

4.3.2. Diferencias de las concentraciones de Pb entre los granos de arroz blanco e integral

Con la prueba F para comprobar igualdad de varianzas de las concentraciones de Pb entre el arroz blanco e integral, se obtuvo un valor de $p< 2.2e-16$, con lo que se puede decir: que con un nivel de significación de .05, las varianzas no son iguales.

Para comprobar la igualdad de la media de la concentración de Pb en el arroz integral con respecto a la concentración de Pb en el arroz blanco, se realizó una prueba t , asumiendo varianzas no iguales, con lo cual se obtuvo que: con un nivel de significación de .05, la media de concentración de Pb en el arroz integral es estadísticamente diferente de la media de la concentración de Pb en el arroz blanco, $t(9)=-43.115$, $p=9.697e-12$. Lo cual se puede apreciar también en el diagrama de caja (Figura 17).

4.3.3. Diferencias de las concentraciones de Pb entre las diferentes marcas comerciales del arroz integral

Con la prueba F para comprobar igualdad de varianzas de las concentraciones de Pb entre ambas marcas comerciales, se obtuvo un valor de $p=0.8387$, con lo que se puede decir: que con un nivel de significación de .05, las varianzas son iguales.

Para comprobar la igualdad de la media de la concentración de Pb en la marca “Schullo” con respecto a la concentración de Pb en la marca “Gustadina”, se realizó una prueba t , asumiendo varianzas iguales, con lo cual se obtuvo que: con un nivel de significación de .05, la media de concentración de Pb en la marca “Schullo”, es estadísticamente diferente de la

media de la concentración de Pb en la marca “Gustadina”, $t(8)=3.3027$, $p=0.01082$. Lo cual se puede apreciar visualmente en el diagrama de caja (Figura 18).

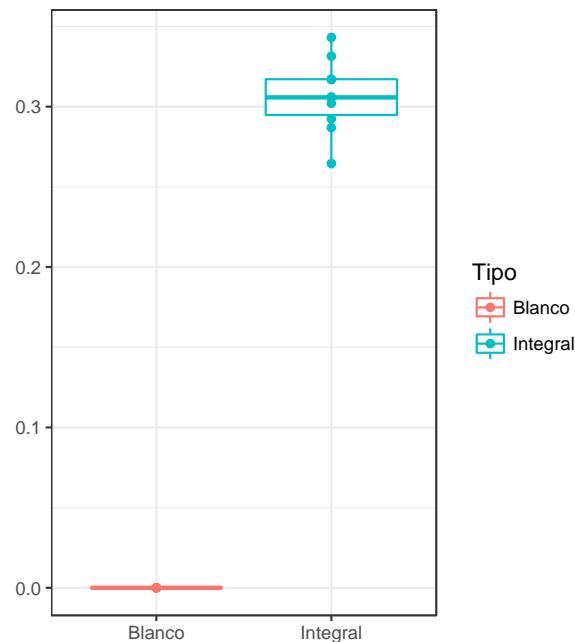


Figura 17. Diagrama de caja de las concentraciones de Pb por tipo de arroz

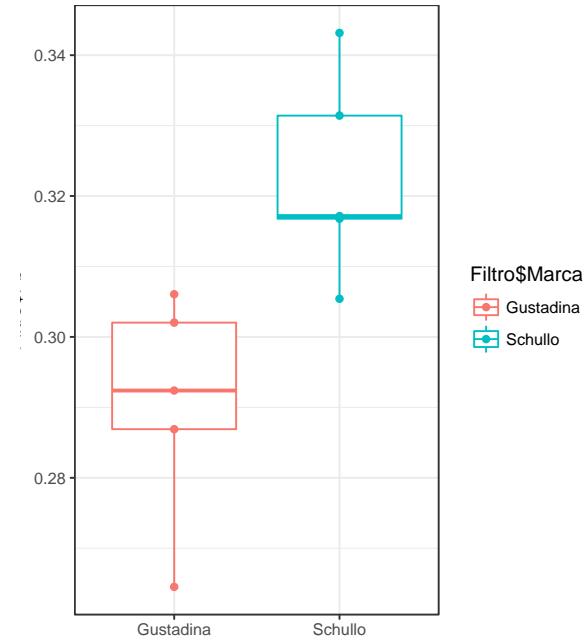


Figura 18. Diagrama de caja de las concentraciones de Pb por marca comercial

4.4. Estimación del riesgo de exposición dietaria de cadmio y plomo por el consumo de granos de arroz blanco e integral

4.4.1. Evaluación de exposición

Los datos y fórmulas necesarias para el cálculo del riesgo toxicológico que a continuación se detalla, se obtuvo tanto del punto 3.6 del capítulo III, así como de los datos obtenidos mediante la encuesta.

4.4.1.1. Dosis de exposición

En la Tabla 26 se detallan los valores calculados de la dosis de exposición unidades de mg/Kg/día, de acuerdo al rango de edad y utilizando para cada género, valores medios de la concentración de Pb en el arroz integral de ambas marcas comerciales (Total), y la concentración media de cada una de las marcas comerciales. Obteniendo así tres columnas para el caso de las mujeres y de los hombres.

Tabla 26*Dosis de exposición de acuerdo a los diferentes rangos de edad en mg/Kg/día*

Rango de edad	Mujeres			Hombres		
	Total	Schullo	Gustadina	Total	Schullo	Gustadina
1 - 14	2,10E-04	2,21E-04	1,99E-04	1,13E-04	1,19E-04	1,07E-04
15 - 24	7,11E-05	7,48E-05	6,73E-05	7,58E-05	7,98E-05	7,18E-05
25 - 54	1,43E-04	1,51E-04	1,36E-04	1,67E-04	1,76E-04	1,58E-04
55 - 64	1,38E-04	1,45E-04	1,31E-04	8,99E-05	9,47E-05	8,52E-05
65 +	2,08E-04	2,19E-04	1,97E-04	2,37E-04	2,49E-04	2,24E-04

Fuente: Autor

4.4.2. Caracterización del riesgo

4.4.2.1. Cociente de peligro y margen de exposición

En este caso sólo fue posible calcular el cociente de peligro, debido a que no existen datos del valor del NOAEL para el Pb, como se observa en la Tabla 27, en se muestran los valores del IP, los cuales fueron calculados con los datos de la DE, así como con la IDT (FDA, 1998). Para calcular la DRf de acuerdo al peso medio de cada rango de edad.

Tabla 27*Cociente de peligro de acuerdo a los diferentes rangos de edad*

Rango de edades	IDT - FDA (mg/día)	DRf Mujeres (mg/Kg/día)	DRf Hombres (mg/Kg/día)	HQ Mujeres			HQ Hombres		
				Total	Schullo	Gustadina	Total	Schullo	Gustadina
1 - 14	6,00E-03	1,19E-04	2,24E-04	1,76E+00	1,86E+00	1,67E+00	5,03E-01	5,30E-01	4,77E-01
15 - 24	7,50E-02	1,34E-03	1,26E-03	5,29E-02	5,57E-02	5,01E-02	6,04E-02	6,36E-02	5,72E-02
25 - 54	7,50E-02	1,24E-03	1,04E-03	1,15E-01	1,21E-01	1,09E-01	1,61E-01	1,70E-01	1,53E-01
55 - 64	7,50E-02	1,18E-03	1,12E-03	1,17E-01	1,23E-01	1,11E-01	8,05E-02	8,48E-02	7,63E-02
65 +	7,50E-02	1,24E-03	1,09E-03	1,67E-01	1,76E-01	1,58E-01	2,18E-01	2,30E-01	2,07E-01

Fuente: Autor

4.4.2.2. Riesgo individual y riesgo poblacional

La Tabla 28 se encuentran los valores para el RI, los cuales fueron calculados mediante los datos de la DE, así como del FP del plomo.

En la Tabla 31 se encuentran los valores para el RP, los cuales fueron calculados mediante los datos del RI, así como los datos de la población, los cuales comprenden los habitantes de Cuenca que se encuentran dentro del rango de edad de 1 a 100 años (Tabla 29), que consumen arroz integral (Tabla 30). Los cuales, dentro de este criterio, estarían el 6.33 % de las mujeres, y el 4.86 % para el caso de los hombres, cuyo valor para mujeres y hombres sería de: 16537 y 11428 respectivamente.

Tabla 28*Riesgo individual de acuerdo a los diferentes rangos de edad*

Rango de edad	Mujeres			Hombres		
	Total	Schullo	Gustadina	Total	Schullo	Gustadina
1 - 14	1,78E-06	1,88E-06	1,69E-06	9,60E-07	1,01E-06	9,10E-07
15 - 24	6,04E-07	6,36E-07	5,72E-07	6,45E-07	6,79E-07	6,10E-07
25 - 54	1,22E-06	1,28E-06	1,15E-06	1,42E-06	1,49E-06	1,34E-06
55 - 64	1,17E-06	1,24E-06	1,11E-06	7,64E-07	8,05E-07	7,24E-07
65 +	1,76E-06	1,86E-06	1,67E-06	2,01E-06	2,12E-06	1,91E-06

Fuente: Autor**Tabla 29***Número de habitantes en Cuenca*

	N	%
Mujeres	266088	52.63
Hombres	239497	47.37
Total	505585	100.00
< 1 año	9199	
1 - 100 años	496386	

Fuente: Adaptado de INEC (2010b). Población por grupos de edad, según provincia, cantón, parroquia y área de empadronamiento. Recuperado a partir de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>

Tabla 30*Población de Cuenca que consume arroz integral según el género*

Rango de edades	N	Población de Cuenca que consume arroz integral			
		Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres
1 - 14	137433	72331	65102	4579	3164
15 - 24	103184	54305	48879	3438	2375
25 - 54	188367	99137	89230	6275	4337
55 - 64	31583	16622	14961	1052	727
65 +	35819	18851	16968	1193	825
Total 1 - 100	496386	261247	235139	16537	11428

Fuente: Adaptado de INEC (2010b). Población por grupos de edad, según provincia, cantón, parroquia y área de empadronamiento. Recuperado a partir de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>

Tabla 31*Riesgo poblacional de acuerdo a los diferentes rangos de edad*

Rango de edad	Mujeres			Hombres		
	Total	Schullo	Gustadina	Total	Schullo	Gustadina
1 - 14	8,16E-03	8,59E-03	7,73E-03	3,04E-03	3,20E-03	2,88E-03
15 - 24	2,08E-03	2,19E-03	1,97E-03	1,53E-03	1,61E-03	1,45E-03
25 - 54	7,63E-03	8,04E-03	7,23E-03	6,15E-03	6,47E-03	5,82E-03
55 - 64	1,23E-03	1,30E-03	1,17E-03	5,56E-04	5,85E-04	5,26E-04
65 +	2,11E-03	2,22E-03	1,99E-03	1,66E-03	1,75E-03	1,57E-03

Fuente: Autor

En la Tabla 32 se muestra un cálculo de los indicadores de riesgo toxicológico, calculados con las medias de edad, media de peso, así como con los datos de máxima

cantidad de consumo de arroz, la máxima concentración de Pb en todo el arroz integral, así como de cada las marcas comerciales. El riesgo poblacional en el caso de las embarazadas fue calculado para 12308 mujeres, de acuerdo a la proyección de nacimientos a nivel cantonal, periodo 2010 – 2020 (INEC, 2017)

Tabla 32*Cálculo de indicadores de riesgo toxicológico*

		DE	DRf	HQ	RI	RP
Media de consumo y concentración de Pb	Mujeres - Integral total	1,46E-04	1,24E-03	1,17E-01	1,24E-06	2,05E-02
	Hombres - Integral total	1,67E-04	1,12E-03	1,49E-01	1,42E-06	1,62E-02
	Embarazadas - Integral total	1,46E-04	4,15E-04	3,52E-01	1,24E-06	1,53E-02
	Mujeres - Schullo	1,53E-04	1,24E-03	1,23E-01	1,30E-06	2,15E-02
	Hombres - Schullo	1,76E-04	1,12E-03	1,57E-01	1,50E-06	1,71E-02
	Embarazadas - Schullo	1,53E-04	4,15E-04	3,69E-01	1,30E-06	1,60E-02
	Mujeres - Gustadina	1,38E-04	1,24E-03	1,11E-01	1,17E-06	1,94E-02
	Hombres - Gustadina	1,58E-04	1,12E-03	1,41E-01	1,34E-06	1,53E-02
	Embarazadas - Gustadina	1,38E-04	4,15E-04	3,33E-01	1,17E-06	1,44E-02
Valores máximos de consumo y concentración de Pb	Mujeres - Schullo	7,78E-04	1,24E-03	6,25E-01	6,61E-06	1,09E-01
	Hombres - Schullo	3,50E-04	1,12E-03	3,13E-01	2,98E-06	3,40E-02
	Embarazadas - Schullo	7,78E-04	4,15E-04	1,87E+00	6,61E-06	8,14E-02

Fuente: Autor

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En el presente estudio, los resultados de los análisis de las concentraciones de Cd en las muestras de arroz blanco e integral, estuvieron por debajo del límite de detección, debido a que el límite de detección es de 0.038 mg/L en la solución (ANEXO 5), con lo que se puede decir que la concentración de Cd en las muestras de arroz blanco e integral, podría estar entre 0 a 0.05 mg/Kg; concentraciones que estarían por debajo del límite máximo establecido en el Codex Alimentarius de 0.4 mg/kg, similares concentraciones encontradas en arroz sembradas en áreas no contaminadas con este metal (FDA, s. f; Nordberg, et al., 2015a).

Al igual que las concentraciones de Cd, las concentraciones de Pb en las muestras de arroz blanco, estuvieron por debajo del límite de detección, con lo que se puede decir que, las concentraciones de Pb en las muestras de arroz blanco, podrían estar entre 0 a 0.2 mg/Kg, debido que el límite de detección es de 0.15 mg/L en la solución (ANEXO 5); concentraciones que estarían por debajo del límite máximo establecido en el Codex Alimentarius de 0.2 mg/kg. Sin embargo, en el 100 % de las muestras de arroz integral, las concentraciones de Pb superan el límite máximo establecido en el Codex Alimentarius, obteniéndose concentraciones medias, mayores en las muestras de arroz integral de la marca “Schullo”, en contraste con las muestras de la marca “Gustadina”.

Debido a que se obtuvieron datos solo de la concentración de Pb en granos de arroz integral, la estimación del riesgo de exposición dietaria, sólo se pudo encaminar a este metal pesado y no al Cd.

La evaluación del riesgo toxicológico, se realizó de acuerdo al rango de edad y según el género de la población expuesta; en el cual se encontró que la mayor dosis de exposición calculada, pertenece al género masculino, que se encuentran en el rango de 65 años en adelante, que consumen granos de arroz integral, de la marca comercial “Schullo”, cuyo valor es de $DE=2,49E-04$ mg/Kg/día, lo cual significa que un hombre con un peso de 70 kg ingerirá 17.43 μ g de plomo al día.

En la caracterización del riesgo, solo fue posible calcular el cociente de peligro, debido a que no existen datos del valor del NOAEL para el Pb y poder calcular el Margen de Exposición. Cuyo máximo valor calculado pertenece al género femenino de menos de 14 años de edad, que consume granos de arroz de la marca “Schullo”, cuyo valor es de $HQ=1.86$. Por otro lado, cuando se calcula el riesgo toxicológico con el máximo valor de concentración de Pb en arroz integral, el cual pertenece a la marca “Schullo” (0.34 mg/Kg), y asumiendo el máximo consumo de arroz integral (137.92 g) por parte de mujeres en estado de

gestación, se obtienen valores del HQ=1.87; valores preocupantes, ya que con un HQ mayor a la unidad (U.S. EPA, 1991, 2015, SESA, 2016), en especial en grupos de riesgo como los niños y mujeres embarazadas, existe la probabilidad que niños expuestos a esta dosis, experimenten algún efecto adverso no carcinogénico, relacionado a la toxicidad del Pb (ATSDR, s. f.d; Lanphear et al., 2000; Canfield et al., 2003; Jusko et al., 2008; EFSA, 2010; CDC, 2013; Safruk et al., 2017).

Con respecto al riesgo carcinogénico relacionado a la exposición a dichos niveles de Pb en el arroz integral, se puede observar que el mayor valor calculado del riesgo individual pertenece al género masculino, que se encuentran en el rango de 65 años en adelante, que consumen granos de arroz integral de la marca comercial “Schullo”, cuyo valor es de RI=2,12E-06, lo cual se considera aceptable, lo que significa que 2 de cada millón de personas puede manifestar algún tipo de cáncer relacionado al Pb (U.S. EPA, 1991). El mayor valor calculado para el riesgo poblacional, pertenece al género femenino que están dentro del rango que va de 1 – 14 años de edad, que consume los granos de arroz integral de la marca comercial “Schullo”, cuyo valor es de RP=8,59E-03, lo cual quiere decir que la probabilidad de que una persona dentro del rango de edad comprendido de 1 a 14 años de edad de la ciudad de Cuenca es muy bajo (U.S. EPA, 1991).

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Con el presente estudio se obtuvieron datos del consumo diario de arroz blanco e integral en la población cuencana. En el cual para el caso de las mujeres, la media de consumo de arroz blanco es de 52.31 g ($SD=39.77$ g), mientras que la media de consumo para el arroz integral es de 28.62 g ($SD=31.40$ g). Por otra parte, para el caso de los hombres, se obtuvo una media de consumo superiores a las mujeres, en ambos tipos de arroz, el cual en el caso del arroz blanco es de 68.53 g ($SD=42.00$ g), en cambio, para el arroz integral, se obtuvo una media de consumo de 36.49 g ($SD= 22.76$ g).

Las concentraciones de cadmio calculadas de acuerdo al límite de detección en muestras de arroz blanco e integral, se presumen en valores inferiores al límite máximo establecido en el Codex Alimentarius, el cual es de 0.4 mg por Kg de arroz.

Las concentraciones de plomo en el caso del arroz blanco, al estar por debajo del límite de detección, se presumen valores inferiores al límite máximo establecido en el Codex Alimentarius, el cual es de 0.2 mg por Kg de arroz.

En cuanto a las concentraciones de plomo en arroz integral, con una media de 0.31 mg/Kg ($SD=0.02$), todas las muestras superaron el límite máximo establecido en el Codex Alimentarius.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p<.05$), entre las concentraciones de plomo en arroz integral, con las concentraciones de plomo en el arroz blanco.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p<.05$), entre las concentraciones de Pb, en las marcas comerciales “Schullo” y “Gustadina”. Con una media de concentración para la marca “Schullo” de 0.32 mg/Kg ($SD=0.01$), mientras que, para la marca “Gustadina”, se obtuvo una media de concentración de 0.29 mg/Kg ($SD=0.01$).

La estimación del riesgo de exposición dietaria, solo fue posible realizarla para el plomo presente en los granos de arroz integral, debido a que, tanto las concentraciones de cadmio y plomo en muestras de arroz blanco, como las concentraciones de cadmio en las muestras de arroz integral, estuvieron por debajo del límite de detección. El cociente de peligro, para la población más sensible, que son los niños y mujeres embarazadas, estuvo por encima de 1, valor que genera preocupación, debido sobre todo a que existe la probabilidad de efectos adversos, sobre todo en el desarrollo neurológico en los niños, que implica la exposición del Pb en estos grupos. El riesgo individual de manifestar algún tipo de cáncer, con los datos

máximos obtenidos, de consumo y de concentración de Pb en el arroz integral, es de 6 en un millón de personas, mientras que, el riesgo de la población expuesta a estos niveles de Pb, de manifestar algún tipo de cáncer, es inferior a una persona ($RP=0.11$). Sin embargo, es importante considerar que la ingestión de arroz no es la única ruta y fuente de exposición al plomo.

6.2. Recomendaciones

En Ecuador se debería establecer un límite máximo de concentración de plomo en granos de arroz, por parte de las autoridades responsables de la seguridad e inocuidad alimentaria, sobre todo debido a que dicho cereal es un alimento básico en la dieta de los ecuatorianos.

Se recomienda realizar estudios de concentración de plomo en sangre, de la población expuesta al consumo de granos de arroz integral, así como estudios de concentración de plomo en aire, y en agua, para tener una mejor perspectiva de la situación real de la exposición al plomo, en los habitantes de Cuenca. Sobre todo, de principal interés en grupos de mayor riesgo como son los niños y las mujeres embarazadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATSDR. Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (s. f.a). Cadmio (Cadmium). Recuperado 18 de enero de 2017, a partir de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.html

ATSDR Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (s. f.b). Plomo (Lead). Recuperado 18 de enero de 2017, a partir de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html

ATSDR Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (s. f.c). Resumen de Salud Pública: Cadmio (Cadmium) | PHS | ATSDR. Recuperado 23 de abril de 2018, a partir de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph5.html

ATSDR. Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (s. f.d). Toxic Substances - Lead. Recuperado 23 de octubre de 2017, a partir de <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxicid=22>

ATSDR. Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (s. f.e). Module Three - Risk Assessment | Toxicology Curriculum for Communities Trainer's Manual | ATSDR. Recuperado 24 de octubre de 2017, a partir de <https://www.atsdr.cdc.gov/training/toxmanual/modules/3/index.html>

ATSDR. Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (s. f.f). Evaluación toxicológica y de vías de exposición. Recuperado 20 de enero de 2017, a partir de https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/pha_professional2/module3/sv7.html

Araujo, C. (2010). *CUANTIFICACION DE PLOMO, MERCURIO Y CADMIO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO DE CINCO COMUNIDADES DE EL SALVADOR POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA*. Universidad de El Salvador, El Salvador.

Atiaga, O., Gallego, A., Escobar, L., Bravo, J., & Fernández, P. (2016). Determination of total arsenic in rice from Ecuador: A first assessment. *Toxicology Letters*, 259, Supplement, S137. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2016.07.353>

Aziz, R., Rafiq, M. T., Li, T., Liu, D., He, Z., Stoffella, P. J., ... Xiaoe, Y. (2015). Uptake of Cadmium by Rice Grown on Contaminated Soils and Its Bioavailability/Toxicity in Human Cell Lines (Caco-2/HL-7702). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(13), 3599-3608. <https://doi.org/10.1021/jf505557g>

Barrett, S. (1985). Commercial Hair Analysis: Science or Scam? *JAMA : the journal of the American Medical Association*, 254, 1041-1045. <https://doi.org/10.1001/jama.1985.03360080053028>

Barry, P. S. (1975). A comparison of concentrations of lead in human tissues. *Occupational and Environmental Medicine*, 32(2), 119-139. <https://doi.org/10.1136/oem.32.2.119>

Beighley, D. (2010). GROWTH AND PRODUCTION OF RICE. En *Encyclopedia of Life Support Systems* (Willy H. Verheyen, Vol. II). Southeast Missouri State University, Malden, Missouri, USA. Recuperado a partir de <http://www.eolss.net/sample-chapters/c10/E1-05A-15-00.pdf>

Bergdahl, I. A., Schütz, A., & Grubb, A. (1996). Application of liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry to the study of protein-bound lead in human erythrocytes. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 11(9), 735-738. <https://doi.org/10.1039/JA9961100735>

Bermeo, H. (2013). IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES A NIVEL CANTONAL-CUENCA. Recuperado a partir de <http://repositorio.cedia.org.ec/handle/123456789/842>

Bernard, A., & Lauwerys, R. (1986). Effects of Cadmium Exposure in Humans. En *Cadmium* (pp. 135-177). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-70856-5_5

Bolan, N. S., Makino, T., Kunhikrishnan, A., Kim, P.-J., Ishikawa, S., Murakami, M., ... Kirkham, M. B. (2013). Chapter Four - Cadmium Contamination and Its Risk Management in



Rice Ecosystems. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 119, pp. 183-273). Academic Press. Recuperado a partir de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124072473000044>

Cao, H., Chen, J., Zhang, J., Zhang, H., Qiao, L., & Men, Y. (2010). Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China. *Journal of Environmental Sciences*, 22(11), 1792-1799. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60321-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60321-1)

Caravanos, J., Dowling, R., Téllez-Rojo, M. M., Cantoral, A., Kobrosly, R., Estrada, D., ... Fuller, R. (2014). Niveles de Plomo en Sangre en México y su Implicación para la Carga Pediátrica de la Enfermedad. *Annals of Global Health*, 80(4), e1-e11. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2014.10.005>

Cargua, J., Mite, F., Carrillo, M., & Durango, W. (2010). DETERMINACION DE LAS FORMAS DE Cu, Cd, Ni, Pb Y Zn Y SU BIODISPONIBILIDAD EN SUELOS AGRICOLAS DEL LITORAL ECUATORIANO. Recuperado a partir de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Cargua-Determinacion-cadmio.pdf>

Carrington, C. D., & Bolger, P. M. (1992). An assessment of the hazards of lead in food. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*: RTP, 16(3), 265-272.

CDC. Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (2013). Reducción de la exposición al plomo y al ruido en campos de tiro al aire libre. Recuperado 18 de noviembre de 2017, a partir de https://www.cdc.gov/spanish/NIOSH/docs/wp-solutions/2013-104_sp/

Cheng, F. M., Zhao, N. C., Xu, H. M., Li, Y., Zhang, W. F., Zhu, Z. W., & Chen, M. X. (2006). Cadmium and lead contamination in japonica rice grains and its variation among the different locations in southeast China. *Science of the Total Environment*, 359(5), 156–166.

Chowdhury, S., Kabir, F., Mazumder, M. A. J., & Zahir, M. H. (2018). Modeling lead concentration in drinking water of residential plumbing pipes and hot water tanks. *Science of The Total Environment*, 635, 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.065>

Chumbipuma, M., & Luján, M. (2016). *Determinación de Plomo, Cadmio y Arsénico en Arroz (ORYZA SATIVA) Expendido en el Mercado Municipal 3 de Febrero – Distrito de la Victoria Provincia de Lima - Período de Junio A Noviembre 2015*. Universidad WIENER, Lima, Perú. Recuperado a partir de <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/43844>

CIDA. Canadian International Development Agency. (s. f.). Hazard Quotient - Persistent Organic Pollutants (POPs) Toolkit. Recuperado 23 de abril de 2018, a partir de <http://www.popstoolkit.com/riskassessment/module/risk+characterization/hi.aspx>

Corporación de industriales arroceros del Ecuador CORPCOM. (2014). La importancia del almacenamiento, 18. Recuperado a partir de https://issuu.com/corpcom/docs/corpcom_ed18_agosto_2014?reader3=1

De Souza Guerra, C., Magna, G. A. M., Machado, S. L., De Capitani, E. M., Ramos, J., Peixoto, I. T. A., ... de Fátima Carvalho, M. (2015). Lead concentrations in whole blood, serum, saliva and house dust in samples collected at two time points (12 months apart) in Santo Amaro, BA, Brazil. *Environmental Research*, 142, 337-344. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.023>

Degiovanni, V., Berrio, L., & Charry, R. (2010). Origen, taxonomía, anatomía y morfología de la planta de arroz (*Oryza sativa L.*). En *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina* (pp. 35-58). Cali, Colombis: CIAT.

Deshommes, E., Andrews, R. C., Gagnon, G., McCluskey, T., McIlwain, B., Doré, E., ... Prévost, M. (2016). Evaluation of exposure to lead from drinking water in large buildings. *Water Research*, 99, 46-55. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.04.050>

Echeverry, G., Zapata, A. M., Páez, M. I., Méndez, F., & Peña, M. (2015). Valoración del riesgo en salud en un grupo de población de Cali, Colombia, por exposición a plomo, cadmio, mercurio, ácido 2,4-diclorofenoxiacético y diuron, asociada al consumo de agua potable y alimentos. *Biomédica*, 35(spe), 110-119. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2464>

EFSA. European Food Safety Authority. (2009). Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *EFSA Journal*, 7(3), 980. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.980>

EFSA. European Food Safety Authority. (2010a). Scientific Opinion on Lead in Food: Lead in Food. *EFSA Journal*, 8(4), 1570. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1570>

EFSA. European Food Safety Authority. (2010b). EFSA assesses health implications of lead in food | European Food Safety Authority. Recuperado 23 de Noviembre de 2017, a partir de <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/contam100420>

EFSA. European Food Safety Authority. (2011). Statement on tolerable weekly intake for cadmium: Tolerable weekly intake for cadmium. *EFSA Journal*, 9(2), 1975. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975>

EFSA. European Food Safety Authority. (2012a). Cadmium dietary exposure in the European population. *EFSA Journal*, 10(1), 2551. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2551>

EFSA. European Food Safety Authority. (2012b). Lead dietary exposure in the European population. *EFSA Journal*, 10(7), 2831. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2831>

Elder, A., Nordberg, G. F., & Kleinman, M. (2015). Chapter 3 - Routes of Exposure, Dose, and Toxicokinetics of Metals. En *Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition)* (pp. 45-74). San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00003-2>

Emmerson, B. T. (1970). “Ouch-Ouch” Disease: The Osteomalacia of Cadmium Nephropathy. *Annals of Internal Medicine*, 73(5), 854. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-73-5-854>

European Commission. (2016, abril 7). Classifying rice. Recuperado 19 de octubre de 2017, a partir de <http://trade.ec.europa.eu/tradetools/classifying-rice>

Fakhri, Y., Bjørklund, G., Bandpei, A. M., Chirumbolo, S., Keramati, H., Hosseini Pouya, R., ... Ghasemi, S. M. (2018). Concentrations of arsenic and lead in rice (*Oryza sativa* L.) in Iran: A systematic review and carcinogenic risk assessment. *Food and Chemical Toxicology: An*

International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association,
113, 267-277. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.01.018>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). FAOSTAT. Recuperado 4 de enero de 2017, a partir de <http://www.fao.org/faostat/es/#compare>

FAO, & Juliano, B. (1993). Rice in human nutrition. Recuperado 13 de enero de 2017, a partir de <http://www.fao.org/docrep/t0567e/T0567E00.htm#Contents>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (1995). Codex Standard 198-1995: Norma del Codex para el arroz. Recuperado a partir de www.fao.org/input/download/standards/61/CXS_198s.pdf

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2003). Guia para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/docrep/006/y2778s/y2778s01.htm#TopOfPage>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). Seguimiento del Mercado del Arroz de la FAO (SMA). Recuperado 16 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.fao.org/economic/est/publications/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>

FAO/OMS. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Organización Mundial de la Salud. (2017). NORMA GENERAL DEL CODEX PARA LOS CONTAMINANTES Y LAS TOXINAS PRESENTES EN LOS ALIMENTOS Y PIENSOS. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/themes/contaminants/es/>

Faroon, O., Ashizawa, A., Wright, S., Tucker, P., Jenkins, K., Ingerman, L., & Rudisill, C. (2012). *HEALTH EFFECTS*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US). Recuperado a partir de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158834/>

FDA. U.S. Food and Drug Administration. (s. f.). Metals - Combination Metals Testing [WebContent]. Recuperado 16 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/Metals/ucm521427.htm>

FDA. U.S. Food and Drug Administration. (1998). Dangers of Lead Still Linger. Recuperado 15 de enero de 2017, a partir de http://www.supremewaterfilters.com/learning/lc_20.pdf

Félix, I., Mite, F., Carrillo, M., & Pino, M., (2011). Avances de investigación del proyecto determinación de metales contaminantes en cultivos de exportación y su repercusión sobre la calidad de los mismos. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.

Flanagan, P. R., McLellan, J. S., Haist, J., Cherian, G., Chamberlain, M. J., & Valberg, L. S. (1978). Increased dietary cadmium absorption in mice and human subjects with iron deficiency. *Gastroenterology*, 74(5 Pt 1), 841-846.

Flores, R., Rico, E., Núñez, J. E., García, E., Carrizales, L., Ilizaliturri, C., & Díaz, F. (2012). Exposición infantil al plomo en sitios contaminados. *Salud Pública de México*, 54(4), 383-392.

Friberg, L., Elinder, C., Kjellstrom, T., & Nordberg, G. (1985). *Cadmium and health: A toxicological and epidemiological appraisal Volume 1: Exposure, dose, and metabolism*.

Gao, Z., Fu, W., Zhang, M., Zhao, K., Tunney, H., & Guan, Y. (2016). Potentially hazardous metals contamination in soil-rice system and it's spatial variation in Shengzhou City, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 167, 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.05.006>

Ghazanfarirad, N., Dehghan, K., Fakhernia, M., Rahmanpour, F., Bolouki, M., Zeynali, F., ... Bahmani, M. (2014). Determination of Lead, Cadmium and Arsenic Metals in Imported Rice into the West Azerbaijan Province, Northwest of Iran, 5.

Godt, J., Scheidig, F., Grosse-Siestrup, C., Esche, V., Brandenburg, P., Reich, A., & Groneberg, D. A. (2006). The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 1, 22. <https://doi.org/10.1186/1745-6673-1-22>



Grandjean, P., Olsen, N. B., & Hollnagel, H. (1981). Influence of smoking and alcohol consumption on blood lead levels. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 48(4), 391-397. <https://doi.org/10.1007/BF00378687>

Huo, Y., Du, H., Xue, B., Niu, M., & Zhao, S. (2016). Cadmium Removal from Rice by Separating and Washing Protein Isolate. *Journal of Food Science*, 81(6), T1576-T1584. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13323>

Hursh, J. B., & Suomela, J. (1968). Absorption of 212pb from the Gastrointestinal Tract of Man. *Acta Radiologica: Therapy, Physics, Biology*, 7(2), 108-120. <https://doi.org/10.3109/02841866809133184>

IARC. International Agency for Research on Cancer. (s.f.) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Recuperado 2 de enero de 2017, a partir de http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php

Ikeda, M., Zhang, Z., Shimbo, S., Watanabe Takao, Nakatsuka Haruo, Moon Chan-Seok, ... Higashikawa Kae. (2000). Exposure of women in general populations to lead via food and air in East and Southeast Asia. *American Journal of Industrial Medicine*, 38(3), 271-280. [https://doi.org/10.1002/1097-0274\(200009\)38:3<271::AID-AJIM5>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/1097-0274(200009)38:3<271::AID-AJIM5>3.0.CO;2-3)

Ikehashi, H. (2007). The Origin of Flooded Rice Cultivation. *Rice Science*, 14(3), 161-171. [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(07\)60023-7](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(07)60023-7)

ILZGS. International Lead and Zinc Study Group. (s. f.). ILZSG - Statistics. Recuperado 17 de abril de 2018, a partir de <http://www.ilzsg.org/static/statistics.aspx?from=11&error=your%20session%20has%20timed%20out%2C%20please%20login>

INEC. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (s. f.). Registro de Descargas Cartográficas. Recuperado 27 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/registro-de-descargas-cartograficas/>

INEC. Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC. (2010a). Censo Población y Vivienda 2010. Recuperado a partir de http://www.inec.gob.ec/cpv/index.php?option=com_content&view=article&id=232&Itemid=128&lang=es

INEC. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010b). Población por grupos de edad, según provincia, cantón, parroquia y área de empadronamiento. Recuperado a partir de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>

INEC. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017). PROYECCIÓN DE NACIMIENTOS A NIVEL CANTONAL, PERÍODO 2010-2020. Recuperado a partir de <http://sni.gob.ec/proyecciones-y-estudios-demograficos>

INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA 1234. GRANOS Y CEREALES. ARROZ PILADO. REQUISITOS. Recuperado a partir de <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>

INIAP. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. (2008). Informe anual 2008. Recuperado a partir de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2149>

INIAP. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. (2011). Guía práctica para la producción artesanal de semilla de arroz. Recuperado a partir de <http://190.12.16.188/bitstream/41000/1192/1/iniap-Bolet%C3%ADn%20T%C3%A9cnico%20No.%20157.pdf>

James, H. M., Hilburn, M. E., & Blair, J. A. (1985). Effects of Meals and Meal Times on Uptake of Lead from the Gastrointestinal Tract in Humans: *Human Toxicology*. <https://doi.org/10.1177/096032718500400406>

Jiang, Y., Chao, S., Liu, J., Yang, Y., Chen, Y., Zhang, A., & Cao, H. (2017). Source apportionment and health risk assessment of heavy metals in soil for a township in Jiangsu Province, China. *Chemosphere*, 168, 1658-1668. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.088>

Jimenez, C., Romieu, I., Palazuelos, E., Muñoz, I., Cortes, M., Rivero, A., & Calatan, J. (1993). Factores de exposición ambiental y concentraciones de plomo en sangre en niños de la ciudad de México. *Salud Pública de México*, 35(6), 599-606.

Juliano, B. O. (2016). Rice: Role in Diet. En *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 641-645). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00595-X>

Lantin, R., & FAO. (1999). RICE - Post-harvest Operations. Recuperado a partir de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compendium_-_RICE.pdf

Latimer, G. W. (Ed.). (2016). *Official Methods of Analysis: of AOAC INTERNATIONAL* (20a ed, Vol. I). New York: AOAC International.

Lema, I. I. (2003). La evaluación de riesgo por sustancias toxicas. *Gaceta Ecológica*, (69), 45-56.

Lewis, G., Coughlin, L., Jusko, W., & Hartz, S. (1972). CONTRIBUTION OF CIGARETTE SMOKING TO CADMIUM ACCUMULATION IN MAN. *The Lancet*, 299(7745), 291-292. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(72\)90294-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(72)90294-2)

MAE Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015, febrero 13). ACUERDO MINISTERIAL No. 028. Recuperado a partir de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155123.pdf>

Martí, L., Burba, J., & Cavagnaro, M. (2002). Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias , 2, 43 - 48.

Mehra, R., & Thakur, A. S. (2016). Relationship between lead, cadmium, zinc, manganese and iron in hair of environmentally exposed subjects. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1214-S1217. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.01.014>

Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca MAGAP. (2014). Arroz: Boletín Situacional. Recuperado a partir de

<http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/bboletin-situacional-arroz-2014-actualizado.pdf>

Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca MAGAP. (2013). Arroz: Boletín Situacional. Recuperado a partir de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/arroz.pdf>

Mite, F., Carrillo, M., & Durango, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de Cacao, suelos y aguas en Ecuador. En *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Recuperado a partir de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/6.-Francisco-Mite.-Cadmio.-INIAP.pdf>

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2011). *Applied statistics and probability for engineers*. Hoboken, NJ: Wiley.

Moore, M. R., Meredith, P. A., Watson, W. S., Sumner, D. J., Taylor, M. K., & Goldberg, A. (1980). The percutaneous absorption of lead-203 in humans from cosmetic preparations containing lead acetate, as assessed by whole-body counting and other techniques. *Food and Cosmetics Toxicology*, 18(4), 399-405. [https://doi.org/10.1016/0015-6264\(80\)90197-2](https://doi.org/10.1016/0015-6264(80)90197-2)

NAS. National Academy of Sciences. (1983). *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process* (National Academy press). Washington. D.C. Recuperado a partir de <https://www.nap.edu/read/366/chapter/1>

Nogawa, K., Yamada, Y., Honda, R., Ishizaki, M., Tsuritani, I., Kawano, S., & Kato, T. (1983). The relationship between itai-itai disease among inhabitants of the jinzu river basin and cadmium in rice. *Toxicology Letters*, 17(3), 263-266. [https://doi.org/10.1016/0378-4274\(83\)90236-9](https://doi.org/10.1016/0378-4274(83)90236-9)

Nogawa, K., & Suwazono, Y. (2011). Itai-Itai Disease. En J. O. Nriagu (Ed.), *Encyclopedia of Environmental Health* (pp. 308-314). Burlington: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00312-3>

Nordberg, G. F., Nogawa, K., & Nordberg, M. (2015a). Chapter 32 - Cadmium. En *Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition)* (pp. 667-716). San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00032-9>

Nordberg, G. F., Gerhardsson, L., Mumtaz, M. M., Ruiz, P., & Fowler, B. A. (2015b). Chapter 11 - Interactions and Mixtures in Metal Toxicology. En *Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition)* (pp. 213-238). San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00011-1>

Niu, X., Xia, L., & Zhang, X. (2011). Classification of Rice According to the Geographic Origin Based on Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry and Chemometrics. En *Advances in Computer Science, Intelligent System and Environment* (pp. 433-438). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23777-5_71

OEHHA. California Office of Environmental Health Hazard Assessment. (2011). Appendix A: Hot Spots Unit Risk and Cancer Potency Values Recuperado 03 de abril de 2017, a partir de <https://oehha.ca.gov/media/CPFs042909.pdf>

Olmos, S. (2007, marzo 1). APUNTE DE MORFOLOGÍA, FENOLOGÍA, ECOFISIOLOGÍA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL ARROZ. Recuperado a partir de <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/academico/Apunte-MORFOLOGIA.pdf>

Omokhodion, F. O., & Howard, J. M. (1991). Sweat lead levels in persons with high blood lead levels: lead in sweat of lead workers in the tropics. *Science of The Total Environment*, 103(2), 123-128. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(91\)90138-5](https://doi.org/10.1016/0048-9697(91)90138-5)

Pernía, B. (2015). Detección de cadmio y plomo en leche de vaca comercializada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Recuperado a partir de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/4024>

Peters, J. L., Perlstein, T. S., Perry, M. J., McNeely, E., & Weuve, J. (2010). Cadmium exposure in association with history of stroke and heart failure. *Environmental Research*, 110(2), 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2009.12.004>

- Pizzol, M., Thomsen, M., & Andersen, M. S. (2010). Long-term human exposure to lead from different media and intake pathways. *Science of The Total Environment*, 408(22), 5478-5488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.077>
- Pozo, W., Sanfeliu, T., & Carrera, G. (2011). Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas. *Maskana*, 2(1), 17–30.
- Praveena, S. M., & Omar, N. A. (2017). Heavy metal exposure from cooked rice grain ingestion and its potential health risks to humans from total and bioavailable forms analysis. *Food Chemistry*, 235, 203-211. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.049>
- Prieto, J., González, C., Román, A., & Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(), 29-44. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- Rajasärkkä, J., Pernica, M., Kuta, J., Lašňák, J., Šimek, Z., & Bláha, L. (2016). Drinking water contaminants from epoxy resin-coated pipes: A field study. *Water Research*, 103, 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.07.027>
- Rahman, M. A., Rahman, M. M., Reichman, S. M., Lim, R. P., & Naidu, R. (2014). Heavy metals in Australian grown and imported rice and vegetables on sale in Australia: Health hazard. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 100, 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.11.024>
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. En *Anales de la Facultad de Medicina* (Vol. 63). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Renner, R. (2010). Algo no está a plomo: cuando el tratamiento del agua causa contaminación con plomo. *Salud Pública de México*, 52, 170-177. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342010000200010>

Rivai, I. F., Koyama, H., & Suzuki, S. Gunma U. S. of M. (1990). Cadmium Content in Rice and Its Daily Intake in Various Countries. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology; (United States)*, 44:6. <https://doi.org/10.1007/BF01702183>

Roya, A. Q., & Ali, M. S. (2016). Heavy metals in rice samples on the Torbat-Heidarieh market, Iran. *Food Additives & Contaminants. Part B, Surveillance*, 1-5. <https://doi.org/10.1080/19393210.2016.1247918>

Rubio, C., Gutiérrez, A. J., Martín Izquierdo, R. E., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, 21(2-3). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=91921303>

Safruk, A. M., McGregor, E., Whitfield Aslund, M. L., Cheung, P. H., Pinsent, C., Jackson, B. J., ... Sigal, E. A. (2017). The influence of lead content in drinking water, household dust, soil, and paint on blood lead levels of children in Flin Flon, Manitoba and Creighton, Saskatchewan. *Science of The Total Environment*, 593-594, 202-210. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.141>

Salehi, M., Jafvert, C. T., Howarter, J. A., & Whelton, A. J. (2018). Investigation of the factors that influence lead accumulation onto polyethylene: Implication for potable water plumbing pipes. *Journal of Hazardous Materials*, 347, 242-251. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.12.066>

Salkind, N. J., & Rasmussen, K. (Eds.). (2007). *Encyclopedia of measurement and statistics*. Thousand Oaks, Calif: SAGE Publications.

Sanità di Toppi, L., & Gabbielli, R. (1999). Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 41(2), 105-130. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(98\)00058-6](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(98)00058-6)

Satarug, S., Baker, J. R., Urbenjapol, S., Haswell-Elkins, M., Reilly, P. E. B., Williams, D. J., & Moore, M. R. (2003). A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population. *Toxicology Letters*, 137(1-2), 65-83. [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(02\)00381-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(02)00381-8)



Scheuplein, R., Charnley, G., & Dourson, M. (2002). Differential Sensitivity of Children and Adults to Chemical Toxicity: I. Biological Basis. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 35(3), 429-447. <https://doi.org/10.1006/rtpb.2002.1558>

SESA. Sociedad Española de Sanidad Ambiental. (2016). LA EVALUACION DE RIESGOS EN SALUD. GUIA METODOLOGICA. Aplicaciones prácticas de la metodología de la evaluación de riesgos en salud por exposición a químicos. Sociedad Española de Sanidad Ambiental. Recuperado a partir de <http://paginas.facmed.unam.mx/deptos/sp/wp-content/uploads/2013/12/LA-EVALUACION-DE-RIESGOS-EN-SALUD.pdf>

Shukla, V., Shukla, P., & Tiwari, A. (2018). Lead poisoning. *Indian Journal of Medical Specialities*. <https://doi.org/10.1016/j.injms.2018.04.003>

Simons, T. J. (1995). The affinity of human erythrocyte porphobilinogen synthase for Zn²⁺ and Pb²⁺. *European Journal of Biochemistry*, 234(1), 178-183.

Skerfving, S., & Bergdahl, I. A. (2015). Chapter 43 - Lead. En G. F. Nordberg, B. A. Fowler, & M. Nordberg (Eds.), *Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition)* (pp. 911-967). San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00043-3>

Song, W., Chen, S., Liu, J., Chen, L., Song, N., Li, N., & Liu, B. (2015). Variation of Cd concentration in various rice cultivars and derivation of cadmium toxicity thresholds for paddy soil by species-sensitivity distribution. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(9), 1845-1854. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60926-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60926-6)

Staff, J. F., Harding, A.-H., Morton, J., Jones, K., Guice, E. A., & McCormick, T. (2014). Investigation of saliva as an alternative matrix to blood for the biological monitoring of inorganic lead. *Toxicology Letters*, 231(2), 270-276. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.09.018>

UC. Pontificia Universidad Católica de Chile. (s. f.). Arroz. Recuperado a partir de http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/arroz.htm

UE. Union Europea. (2014, mayo 12). Reglamento (UE) n °488/2014 de la Comisión, que modifica el Reglamento (CE) n ° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios. Recuperado 26 de junio de 2018, a partir de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A32014R0488>

U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. (s. f.). Cadmium CASRN 7440-43-9 | IRIS | US EPA, ORD. Recuperado 5 de febrero de 2017, a partir de https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=141

U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. (1986a). Cadmium: CASRN 7440-43-9. IRIS. US EPA, ORD. Recuperado 2 de enero de 2017, a partir de https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=141

U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. (1986b). Lead and compounds (inorganic): CASRN 7439-92-1. IRIS. US EPA, ORD. Recuperado 2 de enero de 2017, a partir de https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=277

U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. (1987). Cadmium: CASRN 7440-43-9. IRIS. US EPA, ORD. Recuperado 2 de enero de 2017, a partir de https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=141

U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency (1991, December). Guidelines for developmental Toxicity Risk Assessment. Recuperado a partir de <https://www.epa.gov/risk/guidelines-developmental-toxicity-risk-assessment>

U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. (2000, diciembre). Risk Characterization Handbook. Recuperado a partir de https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/osp_risk_characterization_handbook_2000.pdf

U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. (2005, March). Guidelines for Carcinogen: Risk Assessment. Recuperado a partir de <https://www.epa.gov/risk/guidelines-carcinogen-risk-assessment>

U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. (2015, octubre). NATA: Glossary of Terms [Reports and Assessments]. Recuperado a partir de <https://www.epa.gov/national-air-toxics-assessment/nata-glossary-terms>

Uraguchi, S., & Fujiwara, T. (2013). Rice breaks ground for cadmium-free cereals. *Current Opinion in Plant Biology*, 16(3), 328-334. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2013.03.012>

USGS. U.S. Geological Survey. (2012). MINERAL COMMODITY SUMMARIES 2011. Recuperado a partir de <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf>

Walsh, P. J., Killough, G. G., & Rohwer, P. S. (1978). Composite hazard index for assessing limiting exposures to environmental pollutants: Formulation and derivation. *Environmental Science & Technology*, 12(7), 799-802. <https://doi.org/10.1021/es60143a015>

Watanabe, T., Kasahara, M., Nakatsuka, H., & Ikeda, M. (1987). Cadmium and lead contents of cigarettes produced in various areas of the world. *The Science of the Total Environment*, 66, 29-37.

Wester, R. C., Maibach, H. I., Sedik, L., Melendres, J., DiZio, S., & Wade, M. (1992). In vitro percutaneous absorption of cadmium from water and soil into human skin. *Fundamental and Applied Toxicology: Official Journal of the Society of Toxicology*, 19(1), 1-5.

WHO. World Health Organization, & International Program On Chemical Safety (Eds.). (1996). *Guidelines for drinking-water quality* (2nd ed, Vol. 2). Geneva: World Health Organization.

Xie, L. H., Tang, S. Q., Wei, X. J., Shao, G. N., Jiao, G. A., Sheng, Z. H., ... Hu, P. S. (2017). The cadmium and lead content of the grain produced by leading Chinese rice cultivars. *Food Chemistry*, 217, 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.099>



Xing, Y., Xia, W., Zhang, B., Zhou, A., Huang, Z., Zhang, H., ... Li, Y. (2018). Relation between cadmium exposure and gestational diabetes mellitus. *Environment International*, 113, 300-305. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.01.001>

Yang, Q. W., Lan, C. Y., Wang, H. B., Zhuang, P., & Shu, W. S. (2006). Cadmium in soil–rice system and health risk associated with the use of untreated mining wastewater for irrigation in Lechang, China. *Agricultural Water Management*, 84(1–2), 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.01.005>

Zhang, L., Mo, Z., Qin, J., Li, Q., Wei, Y., Ma, S., ... Zou, Y. (2015). Change of water sources reduces health risks from heavy metals via ingestion of water, soil, and rice in a riverine area, South China. *Science of The Total Environment*, 530–531, 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.100>

ANEXOS

ANEXO 1. Encuesta

Encuestas necesarias para la realización de tesis previa a la obtención del título de Magister en toxicología Industrial y Ambiental: “Evaluación del riesgo toxicológico por cadmio y plomo en granos de arroz (*Oryza sativa*) comercializados en la ciudad de Cuenca”.

ID de la encuesta:

Lugar de la encuesta:

Fecha de la encuesta:

1. ¿Consumo arroz?

Si ____ No ____

2. ¿Qué tipo de arroz consume?

Blanco ____ Integral ____ Otro ____

3. ¿Qué marca de arroz consume?

4. ¿Dónde compra el arroz?

5. ¿Qué día compra?

6. Tabla de cantidad y frecuencia de consumo

Genero	Edad	Peso (Kg)	Tipo de arroz	Frecuencia de consumo (Mensual-semanal)	Frecuencia de consumo diario	Cantidad de consumo por porción	Observaciones

ANEXO 2. Modelo visual de la cantidad de arroz cocido por porciones expresada en gramos

A: porción 50 g.

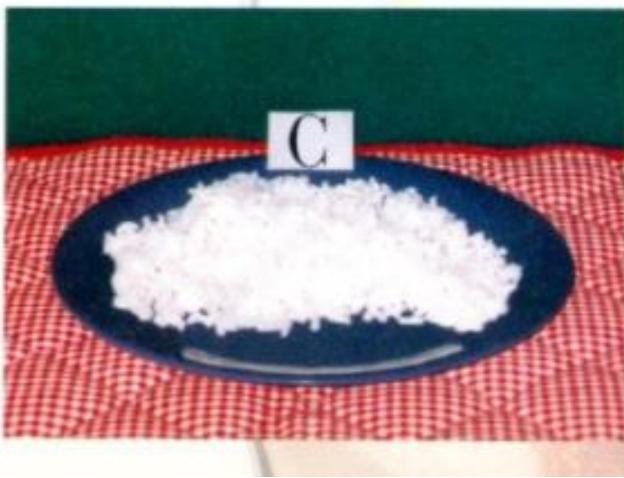
B: porción 100 g.

C: porción 150 g.

D: porción 200 g.

100 g. crudos = 290 g. cocidos

Plato de 22.5 cm. de diámetro



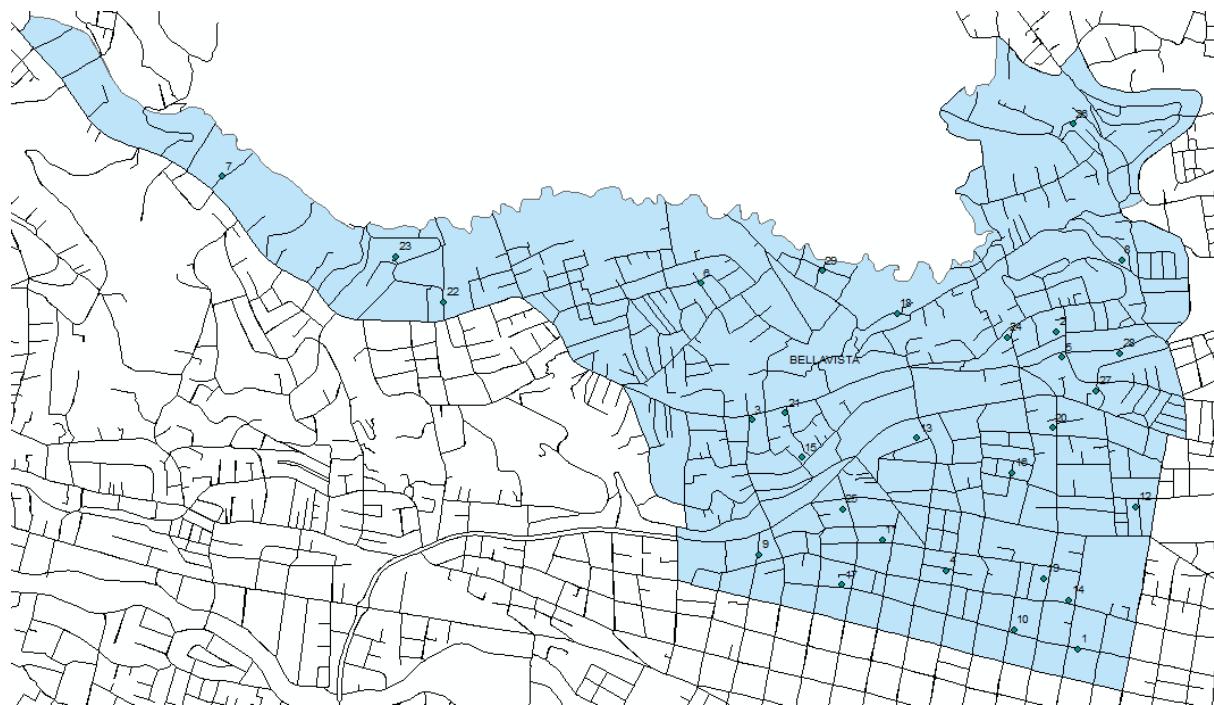
Fuente: Vázquez M., & Witriw A. (1997). *Modelos visuales de alimentos* (1.^a ed.).

Recuperado a partir de <https://es.scribd.com/document/149385272/Vazquez-M-Modelos-Visuales-de-Alimentos>

ANEXO 3. Puntos generados aleatoriamente con el software Arcgis por parroquias

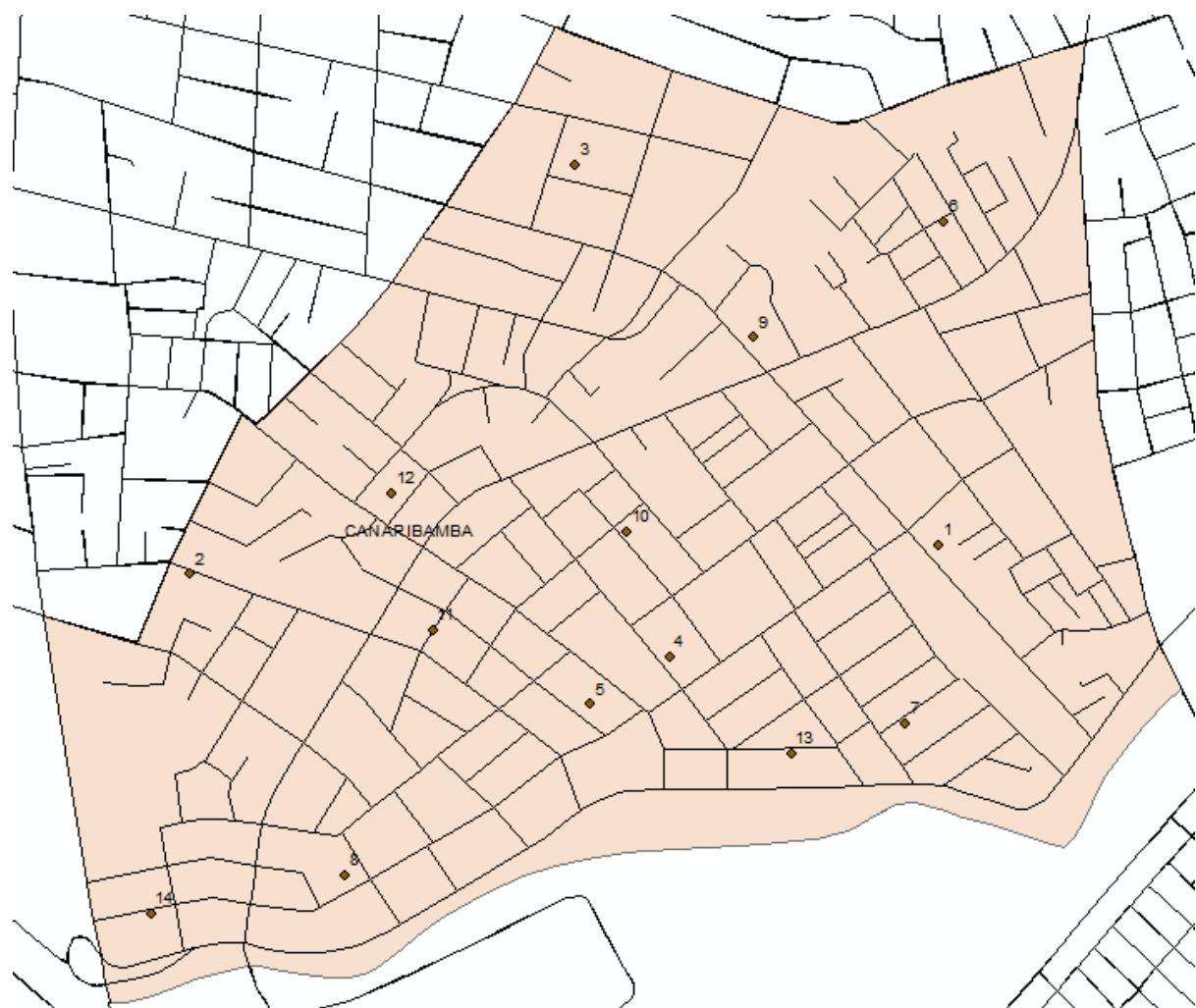
ANEXO 3-A. Puntos aleatorios generados en la parroquia Bellavista

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



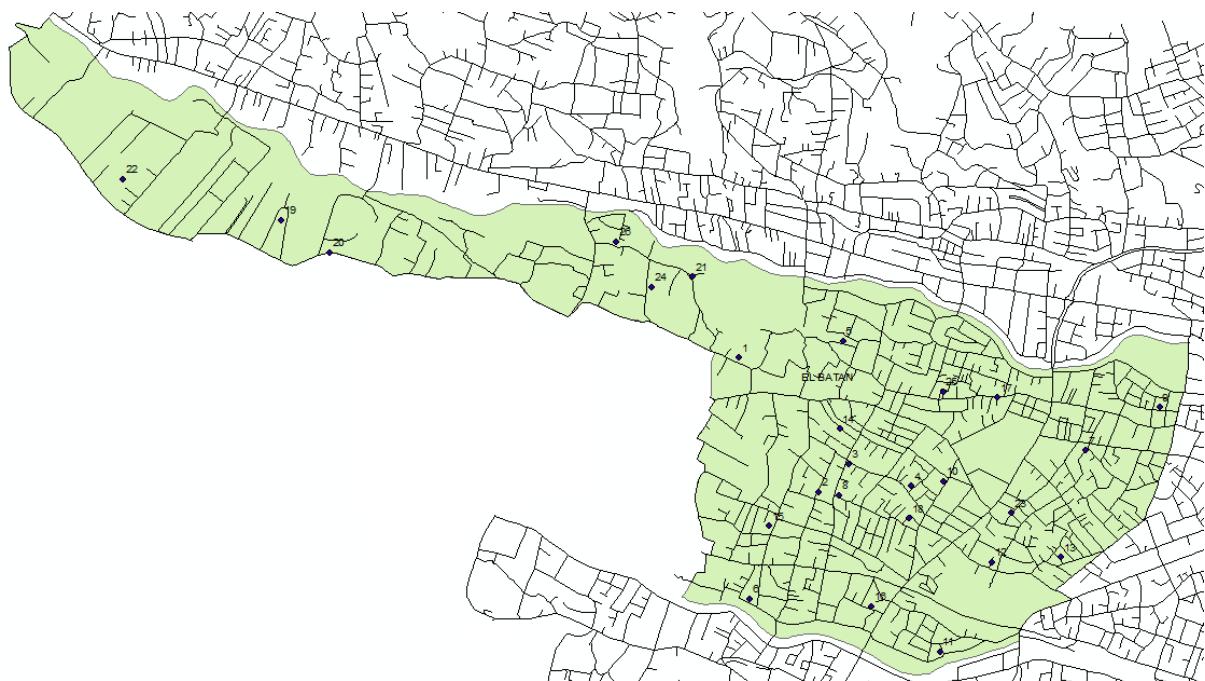
ANEXO 3-B. Puntos aleatorios generados en la parroquia Cañaribamba

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



ANEXO 3-C. Puntos aleatorios generados en la parroquia El Batán

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



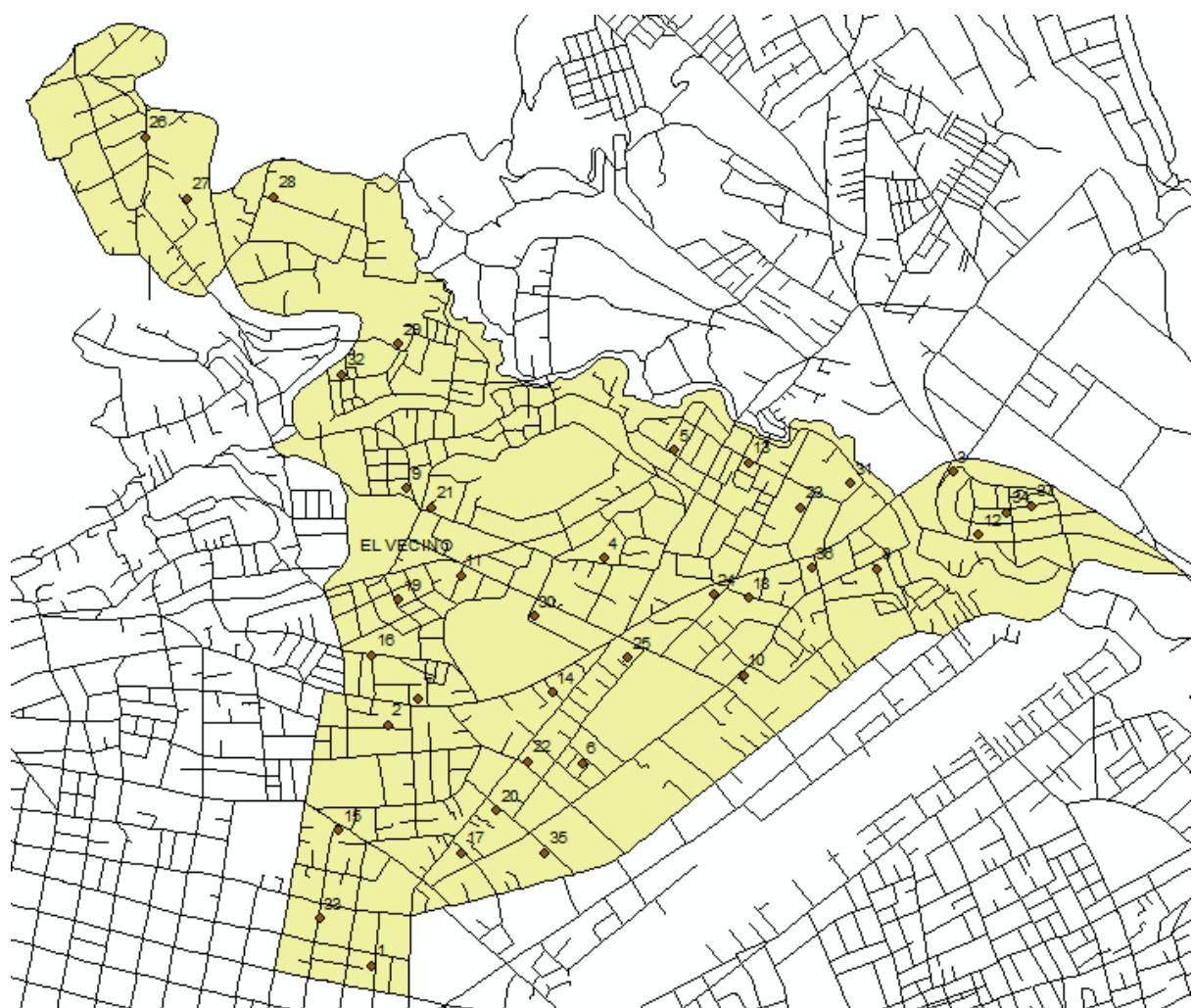
ANEXO 3-D. Puntos aleatorios generados en la parroquia El Sagrario

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



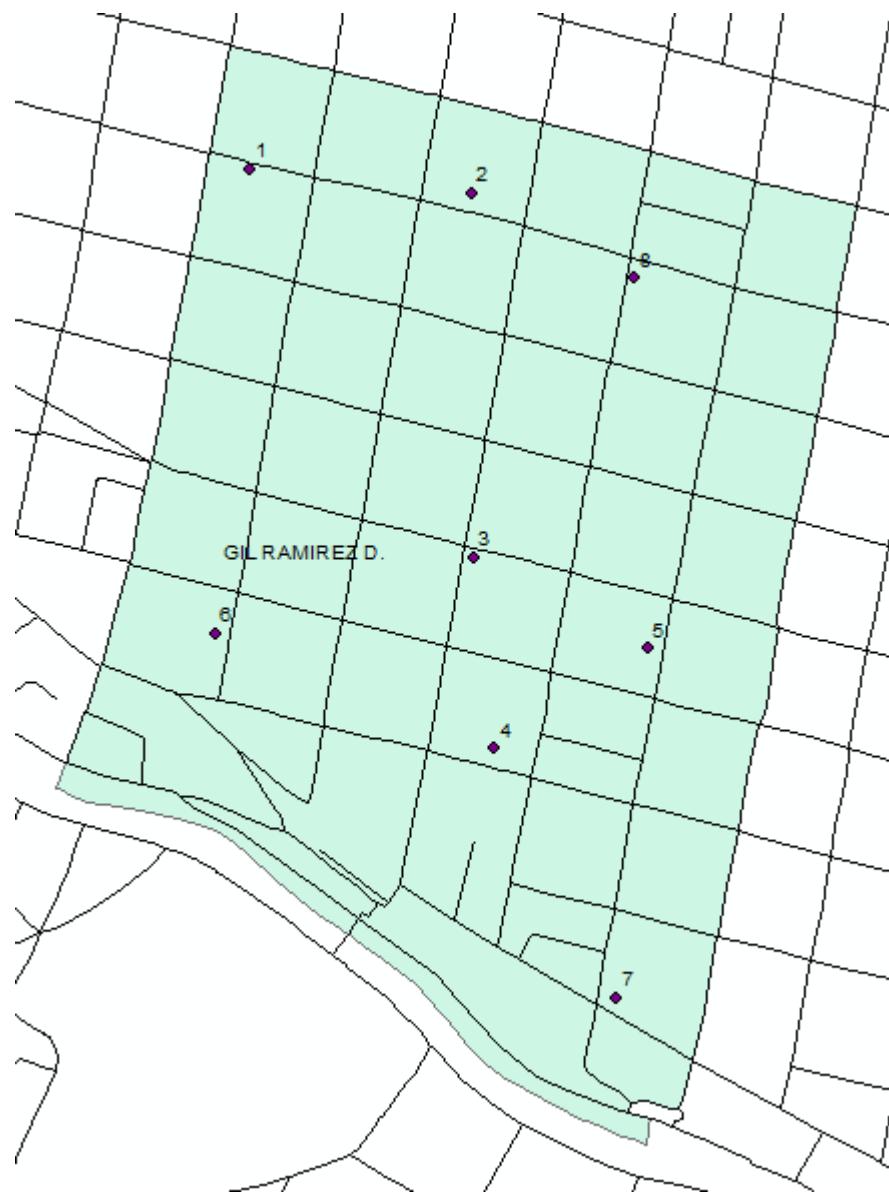
ANEXO 3-E. Puntos aleatorios generados en la parroquia El Vecino

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



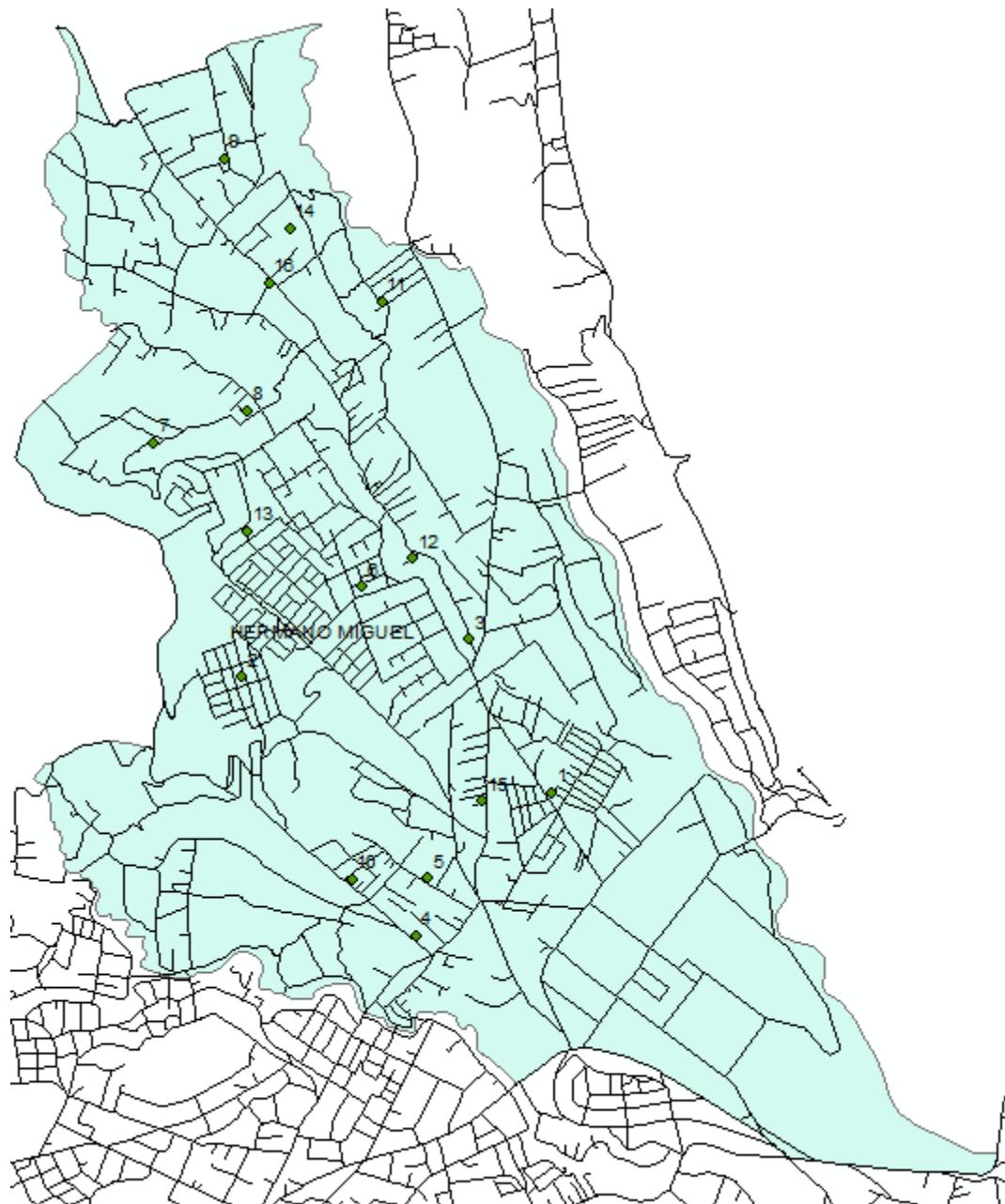
ANEXO 3-F. Puntos aleatorios generados en la parroquia Gil Ramírez Dávalos

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



ANEXO 3-G. Puntos aleatorios generados en la parroquia Hermano Miguel

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



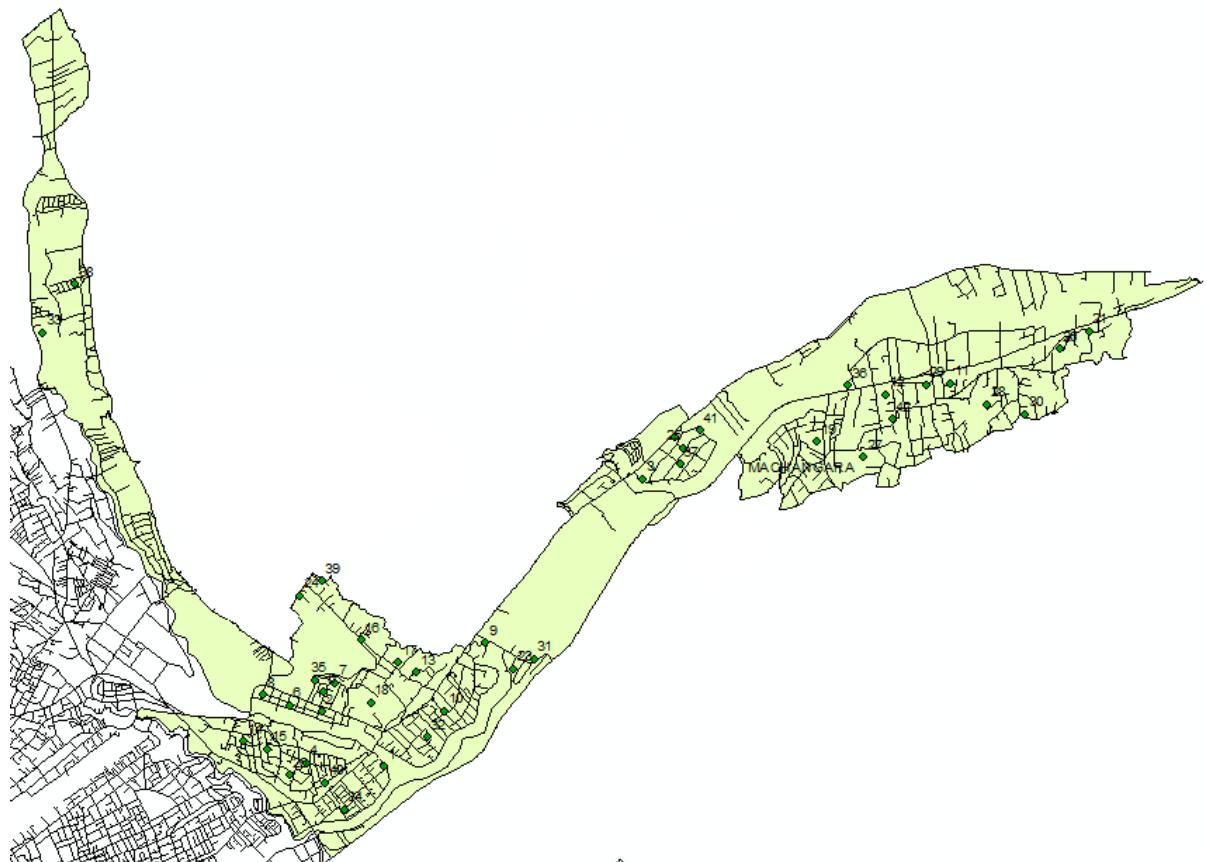
ANEXO 3-H. Puntos aleatorios generados en la parroquia Huayna Capac

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



ANEXO 3-I. Puntos aleatorios generados en la parroquia Machángara

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



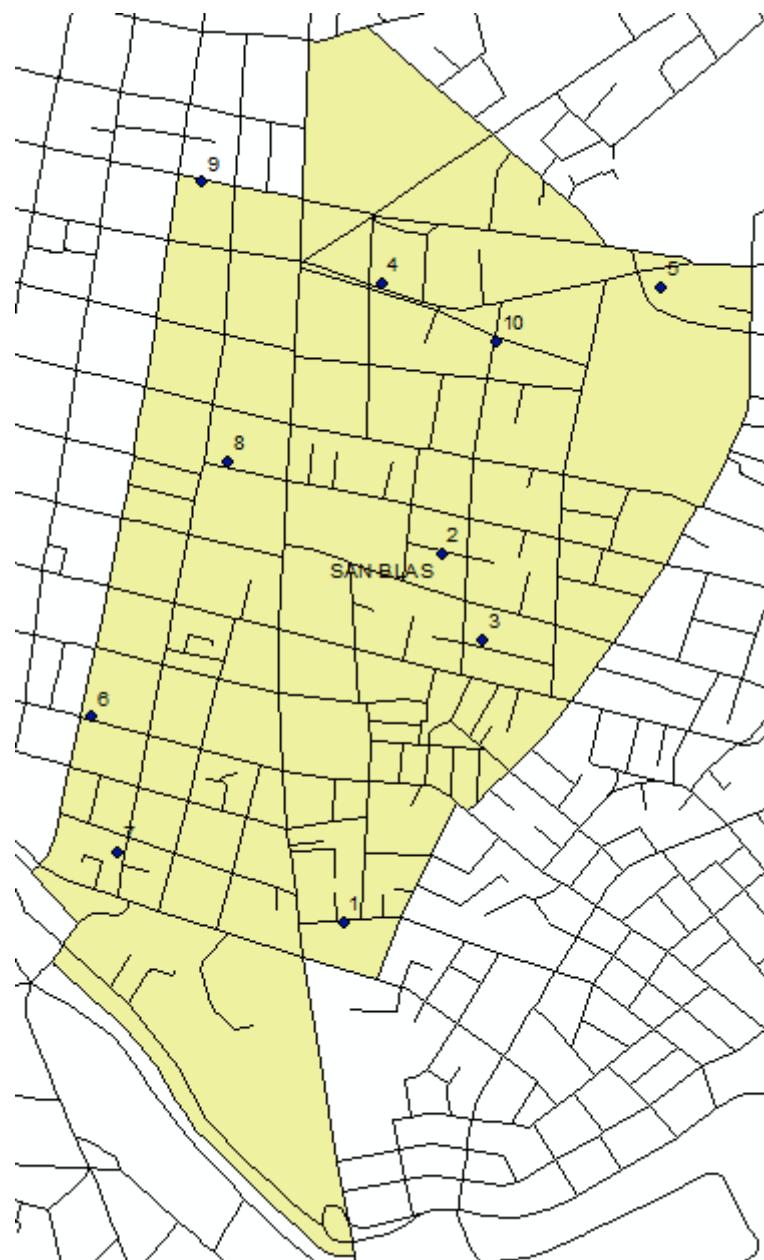
ANEXO 3-J. Puntos aleatorios generados en la parroquia Monay

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



ANEXO 3-K. Puntos aleatorios generados en la parroquia San Blas

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



ANEXO 3-L. Puntos aleatorios generados en la parroquia San Sebastian

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



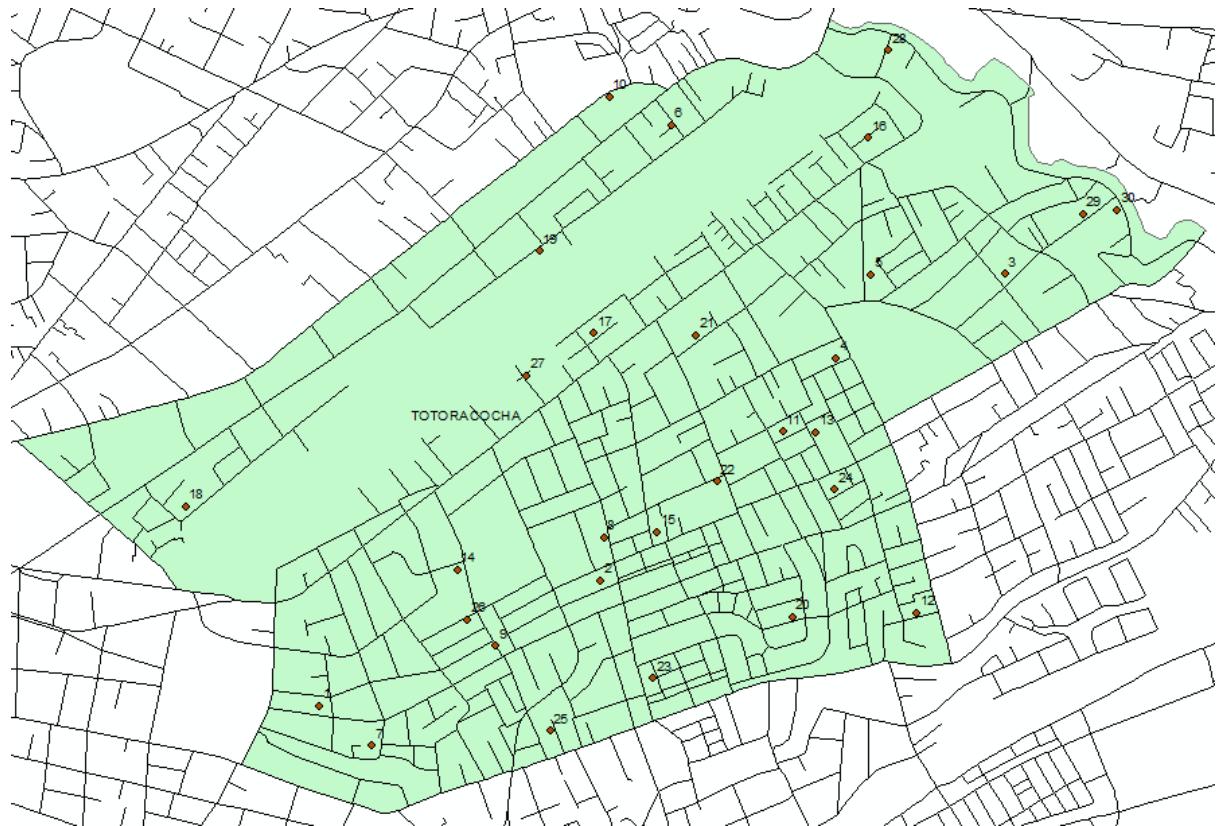
ANEXO 3-M. Puntos aleatorios generados en la parroquia Sucre

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



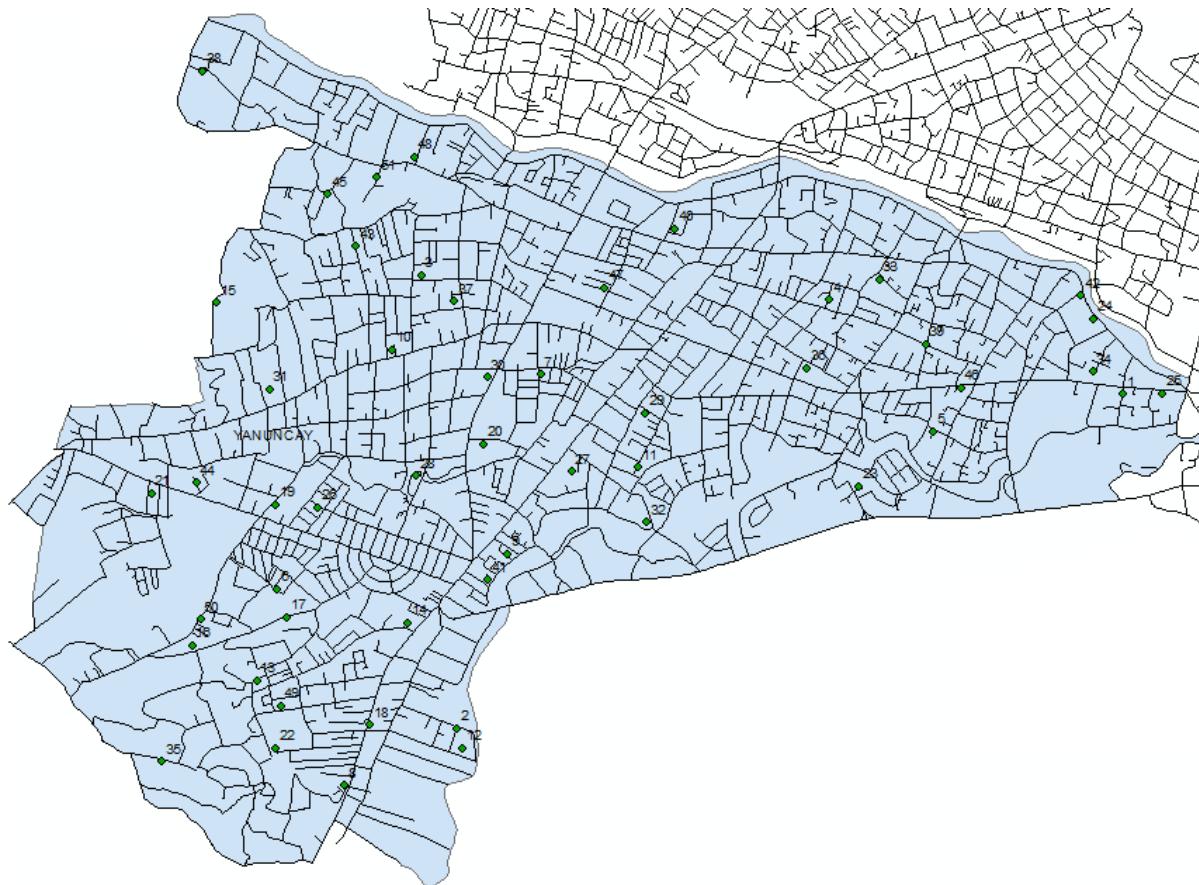
ANEXO 3-N. Puntos aleatorios generados en la parroquia Totoracocha

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



ANEXO 3-O. Puntos aleatorios generados en la parroquia Yanuncay

Puntos generados aleatoriamente en el software Arcgis.



ANEXO 4. Ficha de muestreo de los granos de arroz blanco e integral

Fecha de muestreo	Tipo de arroz	Marca	Lugar de compra	Nº de lote	Código
25/11/2017	Blanco	Flor	Mercado “12 de abril”	A granel	BF1
25/11/2017	Blanco	Flor	Mercado “12 de abril”	A granel	BF2
25/11/2017	Blanco	Conejo	Mercado “12 de abril” (Comercial Tello)	A granel	BC1
25/11/2017	Blanco	Conejo	Mercado “12 de abril” (Comercial Ordoñez)	A granel	BC2
25/11/2017	Blanco	Conejo	Mercado “12 de abril” (Supermercado mega ahorro)	A granel	BC3
25/11/2017	Integral	Schullo	Supermaxi “El vergel”	04417	IS1
25/11/2017	Integral	Schullo	Supermaxi “El vergel”	04917	IS2
25/11/2017	Integral	Gustadina	Supermaxi “El vergel”	9219	IG1
25/11/2017	Integral	Gustadina	Supermaxi “Miraflores”	1299	IG2
25/11/2017	Integral	Gustadina	Supermaxi “Miraflores”	2305	IG3
06/01/2018	Integral	Schullo	Supermaxi “El vergel”	06817	IS3
06/01/2018	Integral	Schullo	Supermaxi “El vergel”	05117	IS4
06/01/2018	Integral	Schullo	Supermaxi “El vergel”	07017	IS5
06/01/2018	Integral	Gustadina	Supermaxi “Miraflores”	1317	IG4
06/01/2018	Integral	Gustadina	Supermaxi “Miraflores”	2352	IG5

ANEXO 5. Resultados de las concentraciones de Cd y Pb en muestras de arroz

 <p>CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos</p>	 <p>UCUENCA-EP ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS, DISEÑO, TECNOLOGÍA Y CONOCIMIENTOS AVANZADOS CÁtedra Proyecto de UNIVERSIDAD DE CUENCA</p>	<p>Nº RMG 1592-1602</p> <p>Hoja 1 de 2</p>
REPORTE DE RESULTADOS		

CLIENTE:**Juan Fernando Huiracocha Piedra****MUESTRA:**

LÍQUIDO CON PRESENCIA DE PRECIPITADO (11) DE TESIS
EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO POR CADMIO Y PLOMO
EN GRANOS DE ARROZ (ORYZA SATIVA) COMERCIALIZADOS EN LA
CIUDAD DE CUENCA.

FECHA:

2017-12-22

ANÁLISIS QUÍMICO

MUESTRA	Cd mg/L	Pb mg/L
B	N.C	N.C
BC1	N.C	N.C
BC2	N.C	N.C
BC3	N.C	N.C
BF1	N.C	N.C
BF2	N.C	N.C
IG1	N.C	0,20
IG2	N.C	0,22
IG3	N.C	0,23
IS1	N.C	0,26
IS2	N.C	0,24

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del **CESEMIN**.
El laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC2302-01

Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
Cuenca - Ecuador
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>

ANEXO 5. Resultados de las concentraciones de Cd y Pb en muestras de arroz

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos	 UCUENCA-EP <small>ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS - CENTRO DE INVESTIGACIÓN UNIVERSIDAD DE CUENCA</small>	N° RMG 1620-1625 Hoja 1 de 1
REPORTE DE RESULTADOS		

CLIENTE:**Juan Fernando Huiracocha Piedra****MUESTRA:**

LÍQUIDO CON PRESENCIA DE PRECIPITADO (6) DE TESIS
 EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO POR CADMIO Y PLOMO
 EN GRANOS DE ARROZ (ORYZA SATIVA) COMERCIALIZADOS EN LA
 CIUDAD DE CUENCA.

FECHA:

2018-02-05

ANÁLISIS QUÍMICO

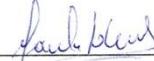
MUESTRA	Cd mg/L	Pb mg/L
B	N.C	N.C
IS3	N.C	0,23
IS4	N.C	0,24
IS5	N.C	0,25
IG4	N.C	0,23
IG5	N.C	0,22

OBSERVACIONES:

1. Método: Lectura directa por Espectrometría Absorción Atómica.
 Equipo: PERKIN ELMER AANALYST 100
2. N.C. No cuantificado
3. Límite de detección del Cadmio: 0,038 mg/l
4. Límite de detección del Plomo: 0,15 mg/l
5. Fecha de recepción de muestra: 2018-01-31



Responsable Área Metales



Director CESEMIN (E)

 cc. archivo
 mig

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del **CESEMIN**.
 El laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC2302-01

 Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
 Cuenca - Ecuador
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>