



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

**“DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO TOTAL EN ALIMENTOS A
BASE DE ARROZ PARA NIÑOS DE HASTA 3 AÑOS DE EDAD Y
PARA CELÍACOS”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA

AUTORA: FLOR MARÍA CRUZ PACA

TUTORA: DRA. IRENE GAVILANES

Riobamba- Ecuador

2017

1

©2016, Flor María Cruz Paca

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO TOTAL EN ALIMENTOS A BASE DE ARROZ PARA NIÑOS DE HASTA 3 AÑOS DE EDAD Y PARA CELÍACOS” de responsabilidad de la señorita egresada Flor María Cruz Paca, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Irene Gavilanes DIRECTORA DE TESIS	-----	-----
Dr. Julio Idrovo MIEMBRO DEL TRIBUNAL	-----	-----
Dr. Galo Insuasti PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	-----	-----
DOCUMENTALISTA SISBIB ESPOCH	-----	-----
NOTA TRABAJO ESCRITO	20 puntos	

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Flor María Cruz Paca, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Riobamba, 03 de Febrero de 2017

FLOR MARÍA CRUZ PACA

060445428-0

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y permitirme llegar a este momento tan especial de mi vida. Por derramar sus bendiciones sobre mí y llenarme de fuerza para vencer todos los obstáculos desde el principio de mi vida.

A mi madre, por ser la persona luchadora que con todo su esfuerzo, sacrificio y amor me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil.

A mi esposo, por ser mi compañero, amigo, por confiar en mí y siempre tener una palabra para hacerme sonreír, por su cariño y amor incondicional.

A mi hija, por ser la luz de mis ojos, por ser esa personita especial por la cual doy cada paso, porque su llegada cambio mi vida, es a ella a quien dedico mis logros.

Flor

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento especial a Dios por todas sus bondades para llegar a donde he llegado y hacer realidad el sueño tan anhelado en mi vida.

A mi madre, por ser mi ejemplo de superación y lucha constante, porque gracias a ella, hoy soy la persona que soy, reflejo de su sacrificio y trabajo diario.

A mi esposo y a mi hija Lia que día a día estuvieron apoyándome y me supieron comprender durante todo el transcurso de mi vida estudiantil.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, mi lugar de estudio, por permitirme formar en lo profesional y personal.

A mi tutora y colaborador de trabajo de titulación, Dra. Irene Gavilanes y Dr. Julio Idrovo, por su esfuerzo y dedicación, quienes con sus conocimientos, experiencias, paciencia y motivación han logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

Flor

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
<i>1.1. Antecedentes de la investigación.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2. Conceptos.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3. Bases teóricas.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.1. Arsénico</i>	<i>8</i>
<i>1.3.1.1. Propiedades físico-químicas.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.1.2. Formas de Arsénico.....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.1.2. Ciclo del arsénico.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.1.3. Fuentes de contaminación del arsénico</i>	<i>14</i>
<i>1.3.1.3. Arsénico en alimentos.....</i>	<i>18</i>
<i>1.3.1.4. Toxicocinética del arsénico en el hombre</i>	<i>19</i>
<i>1.3.1.5. Toxicodinamia o Mecanismo de Toxicidad del arsénico.....</i>	<i>22</i>
<i>1.3.1.6. Efectos del arsénico en la salud</i>	<i>23</i>
<i>1.3.1.7. Diagnóstico o confirmación de envenenamiento.....</i>	<i>27</i>
<i>1.3.1.8. Tratamiento</i>	<i>30</i>
<i>1.3.2. Los cereales.....</i>	<i>31</i>
<i>1.3.2.1. Arroz.....</i>	<i>32</i>
<i>1.3.2.2. Taxonomía del Arroz.....</i>	<i>35</i>

1.3.2.3.	<i>Morfología de la planta de arroz</i>	36
1.3.2.4.	<i>Manejo del cultivo de arroz</i>	41
1.3.2.5.	<i>Composición química</i>	51
1.3.2.6.	<i>Propiedades alimenticias</i>	52
1.3.2.7.	<i>Ingesta diaria recomendada (IDR)</i>	53
1.3.2.8.	<i>Forma de contaminación con arsénico</i>	53
1.3.2.9.	<i>Productos a base de arroz</i>	58
1.3.3.	<i>Enfermedad celiaca</i>	61
1.3.3.1.	<i>Manifestaciones clínicas</i>	61
1.3.3.2.	<i>Patogénesis</i>	64
1.3.3.3.	<i>Nutrición</i>	66
1.3.3.4.	<i>Ingesta de cereales</i>	69
1.3.3.5.	<i>Alimentación complementaria para niños pequeños</i>	71
1.3.4.	<i>Método analítico ICP-OES para determinación de arsénico</i>	73
1.3.4.1.	<i>Características del ICP-OES</i>	75
1.3.4.2.	<i>Aplicaciones de la ICP-OES</i>	75
1.3.4.3.	<i>Limitaciones del ICP-OES</i>	76
1.3.4.4.	<i>Instrumentación para ICP-OES</i>	77
1.3.4.1.	<i>Precisión</i>	84
CAPÍTULO II		85
2.	MARCO METODOLÓGICO	85
2.1.	<i>Lugar experimental</i>	86
2.2.	<i>Personal encuestado</i>	86
2.3.	<i>Materiales equipos y reactivos</i>	86
2.3.1.	<i>Muestra</i>	86
2.3.2.	<i>Materiales</i>	86
2.3.3.	<i>Equipos</i>	87
2.3.4.	<i>Reactivos</i>	88

2.4.	<i>Métodos</i>	88
2.4.1.	<i>Fase Experimental</i>	88
2.4.1.1.	<i>Obtención de la muestra</i>	88
2.4.1.2.	<i>Trituración de las muestras</i>	92
2.4.1.3.	<i>Secado de muestras semisólidas</i>	93
2.4.1.4.	<i>Digestión de muestras</i>	94
2.4.2.	<i>Análisis de muestras</i>	94
2.4.2.1.	<i>Determinación de arsénico total por el método ICP-OES</i>	94
CAPÍTULO III		96
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	96
3.1.	<i>Porcentaje de humedad de muestras semisólidas</i>	96
3.2.	<i>Determinación de arsénico en productos a base de arroz</i>	98
3.3.	<i>Grado de consumo de alimentos a base de arroz</i>	100
3.4.	<i>Cálculo de Ingesta Diaria Recomendada (IDR)</i>	103
4.	CONCLUSIONES	108
5.	RECOMENDACIONES	109

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1. Propiedades físico-químicas del Arsénico.....	9
TABLA 1-2. Compuestos de arsénico orgánicos más comunes en humanos y medio ambiente	11
TABLA 1-3. Fuentes antropogénicas de exposición al arsénico y sus derivados.....	16
TABLA 1-4. Datos de Arsénico total en diversos alimentos (del JECFA 2010).....	18
TABLA 1-5. Absorción de arsénico en animales	20
TABLA 1-6. Principales efectos tóxicos agudos	24
TABLA 1-7. Tratamiento en caso de envenenamiento con arsénico.....	30
TABLA 1-8. Clasificación taxonómica del arroz	35
TABLA 1-9. Comparación del clima entre el arroz inundado y arroz seco.....	42
TABLA 1-10. Época y forma de siembra de arroz	44
TABLA 1-11. Principales fertilizantes usados en cultivos de arroz	45
TABLA 1-12. Principales productos químicos (herbicidas) para cultivos de arroz.....	47
TABLA 1-13. Composición química del arroz.....	51
TABLA 1-14. Ingesta Diaria Recomendada (IDR)	53
TABLA 1-15. Elementos en el suelo que interactúan con arsénico (As).....	54
TABLA 3-1. Estimación de arsénico total (As-t) en alimentos a base de arroz para personas con enfermedad celíaca.....	98
TABLA 3-2. Estimación de arsénico total (As-t) en alimentos a base de arroz para niños de hasta 3 años de edad.....	99
TABLA 3-3. Comparación de valores obtenidos en la investigación con valores de laboratorio.....	100
TABLA 3-4. Consumo de alimentos a base de arroz.....	101
TABLA 3-5. Alimentos a base de arroz de mayor consumo en niños de hasta 3 años de edad	102
TABLA 3-6. Consumo semanal de los grupos de alimentos para adultos.....	103
TABLA 3-7. Ingesta diaria de calorías recomendada según el principio de Harris-Benedict ..	105
TABLA 3-8. Consumo semanal de los grupos de alimentos para niños hasta 3 años de edad .	106

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1-1. Ciclo global biogeoquímico del arsénico.	13
GRÁFICO 1-2. Ciclo local agua, aire, As (WHO, 1981)	14
GRÁFICO 1-3. Principales fuentes y rutas de As en el suelo y los ecosistemas acuáticos	17
GRÁFICO 1-4. Biotransformación del arsénico inorgánico (modificado de Offergelt y col., 1992)	21
GRÁFICO 1-5. Síntomas típicos de la arsenicosis: gangrena seca.....	25
GRÁFICO 1-6. Pirámide Nutricional de Harvard	32
GRÁFICO 1-7. Grano de arroz.....	33
GRÁFICO 1-8. Producción y superficie mundiales de arroz en cáscara	33
GRÁFICO 1-9. Principales países productores de arroz (según INEC)	34
GRÁFICO 1-10. Tallo de la planta de arroz	37
GRÁFICO 1-11. Estructura de una espiga de arroz.....	38
GRÁFICO 1-12. Partes de la planta de arroz.....	39
GRÁFICO 1-13. Estructura del grano de arroz.....	41
GRÁFICO 1-14. Fertilizantes	46
GRÁFICO 1-15. Reacción química de competencia entre fosfato y arseniato sobre óxido de hierro	46
GRÁFICO 1-16. Herbicidas	48
GRÁFICO 1-17. Cosecha de arroz mediante máquinas	50
GRÁFICO 1-18. Los posibles mecanismos de absorción de arsénico en las plantas de arroz (adaptado de Ali y col., 2009).....	58
GRÁFICO 1-19. El arroz y sus productos derivados.....	60
GRÁFICO 1-20. Esquema fisiopatología en la enfermedad celíaca.....	65
GRÁFICO 1-21. Límite de detección ($\mu\text{g/L}$) por ICP-AES	74
GRÁFICO 1-22. Conjunto de ICP que muestra los tres tubos concéntricos que componen la antorcha.....	78
GRÁFICO 1-23. Diagramas esquemáticos de tres tipos de nebulizador neumático.....	81
GRÁFICO 1-24. Diagrama transversal de dos píxeles adyacentes en un Detector CCD	82
GRÁFICO 1-25. Componentes principales y disposición de un instrumento ICP-OES típico ..	83

ÍNDICE DE IMÁGEN

IMAGEN 2-1. Ubicación Mi Comisariato (Riobamba).....	89
IMAGEN 2-2. Ubicación Supermaxi (Riobamba).....	89
IMAGEN 2-3. Ubicación Megamaxi (Guayaquil).....	90
IMAGEN 2-4. Ubicación Supermercado Santa María Chillogallo (Quito).....	91

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍA

FOTOGRAFÍA 2-1. Adquisición de productos	91
FOTOGRAFÍA 2-2. Colocación de las muestras en Cooler (Thermopack)	92

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Obtención de productos de los distintos supermercados

ANEXO B. Materiales utilizados para la preparación de la muestra

ANEXO C. Preparación de muestras

ANEXO D. Preparación de muestras semisólidas

ANEXO E. Digestión de muestras

ANEXO F. Modelo de encuesta

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo determinar el arsénico total en alimentos a base de arroz para niños de hasta 3 años de edad y para celíacos por el método de espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Parte de la investigación comprendió realizar un muestreo de los productos a base de arroz en los supermercados de tres ciudades distintas Riobamba (Supermaxi, Mi comisariato), Guayaquil (Megamaxi) y Quito (Santa María); recolectando cuarenta y cuatro muestras de productos, que fueron analizadas por triplicado en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA), ubicado en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Todos los productos sólidos a base de arroz fueron triturados, mientras que los productos semisólidos fueron sometidas al proceso de secado, se continuo con el proceso de trituración con la ayuda de un mortero, luego los productos fueron envasados en fundas ziploc previamente codificadas con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación. Los productos fueron pesados (1,00 g) para luego ser tratadas con ácido nítrico (1:1) y fueron colocados a digestión por el lapso de 2 horas. Las muestras fueron filtradas, aforadas con agua destilada y posteriormente colocadas en envases estériles y codificados. Para la determinación de arsénico total en el equipo ICP, se tomó una alícuota de 1 ml de la muestra preparada. El resultado obtenido de arsénico indicó valores inferiores al límite de detección de 500 µg/kg. Por tal motivo los resultados no pueden ser comparados con la norma CODEX ALIMENTARIUS, 2011 para arsénico. Dicha norma establece que la concentración límite de arsénico permitido en los productos a base de arroz es de 0.3 mg/kg, por lo que se concluye que ninguna de las muestras presenta una concentración máxima establecida. Por lo tanto se recomienda continuar con las respectivas investigaciones sobre este tema, para contribuir a la seguridad alimentaria de los niños y personas celíacas, que ingieren estos productos como parte de su dieta.

Palabras Clave:

<TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <ALIMENTOS>, <ARSÉNICO (METAL PESADO)>, <ARROZ (*Oryza sativa*)>, <ENFERMEDAD CELIACA >, <MÉTODO ICP-OES>, <SEGURIDAD ALIMENTARIA>

ABSTRACT

The purpose of the research was to determine the total arsenic in rice-based food for both, 3-year old children and celiac through (ICP-OES) Inductively coupled plasma optical emission spectrometry. A part of the research was to carry out a sampling of rice-based products in the supermarkets of three different cities such as: Riobamba (Supermaxi, Mi comisariato), Guayaquil (Megamaxi) and Quito (Santa María); forty four samples of the products were collected, these were analyzed in triplicate at (CESTTA) Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental located at the Science Faculty of Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. All the rice-based solid products were crushed while semi solid products were put under a drying process and then the crushing process was carried out with the use of a mortar and pestle, then the products were packed in previously coded ziploc bags in order to avoid any contamination. The products were weighed (1,00 g), then they were treated with nitric acid (1:1) and put to digestion chemical process for 2 hours. The samples were filtered, completed with distilled water and then put into sterilized and coded containers. To determine the total arsenic in the ICP (Inductively coupled plasma) equipment, it was necessary to take a 1-ml aliquot of prepared sample. The arsenic result obtained showed values under the detection limit (500 µg/kg). Thus the results cannot be compared with CODEX ALIMENTARIUS, 2011 norm for arsenic. This norm establishes that the maximum concentration of arsenic allowed for rice-based products is 0,3 mg/kg, so it is concluded that none sample shows a maximum concentration established. Thus, it is recommended to carry out with the corresponding investigations about the topic to contribute to food safety of children and celiac people who have an intake of these products as a part of their diet.

Key words:

<TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <FOOD, ARSENIC (DENSE METAL)>, <RICE (*Oryza sativa*)>, <CELIAC DISEASE>, <ICP-OES METHOD>, <FOOD SAFETY>.

INTRODUCCIÓN

El arroz es un cereal que se cultiva en 113 países, pues se trata de un grano de mayor consumo a nivel mundial, debido a que proporciona un 27% de energía alimentaria y el 20% de la ingesta de proteínas de la dieta (Gil, 2008, p. 6), motivo por el cual este cereal es susceptible a presentar elevadas concentraciones de arsénico y puede por ello ser un factor de riesgo para la salud de los consumidores.

La exposición al arsénico afecta a dos poblaciones, una de ellas requiere una dieta libre de gluten ya sea, por ser alérgicos o intolerantes como es el caso de las personas celiacas y por otra parte los niños que comienzan con la incorporación de alimentos a su dieta, debido a su fácil asimilación. El peligro al que se encuentran expuestos los niños con la explosión a este metal pesado, es el daño que causa en estos seres indefensos, pues sus efectos son más perjudiciales y repercuten en una disminución de la capacidad mental, dificultades de aprendizaje, retardo de crecimiento, irritación del estómago y los intestinos, daño de los vasos sanguíneos, alteraciones de la piel y de los nervios, pudiendo contraer la terrible enfermedad que es el cáncer, cuyo desenlace podría ser la muerte.

En el Ecuador, la población podría estar expuesta a la intoxicación con arsénico debido a que no existen normativas que regulen el contenido de este metal, pues un estudio realizado en Guayas y los Ríos (Otero y col., 2016, p. 1-11) demuestran la presencia de arsénico en el arroz.

Por las razones anteriores esta investigación tuvo como objetivo determinar el arsénico total en alimentos a base de arroz para niños de hasta 3 años de edad y para celiacos, recolectando 44 productos a base de arroz, a las cuales se les determinó arsénico mediante el método ICP-OES (Espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente).

Esta investigación ayudara a demostrar la inocuidad de los productos, para garantizar su consumo, razón por la cual la obligación de un Bioquímico Farmacéutico es velar por la salud de los

ciudadanos ya que la salud es un derecho que garantiza el Estado, por tanto el profesional es pertinente dentro del “Sumak Kawsay” o conocido como el Plan Nacional de Buen Vivir.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Determinar el arsénico total en alimentos a base de arroz para niños de hasta 3 años de edad y para celíacos.

Objetivos Específicos

1. Identificar los productos hechos a base de arroz de los distintos supermercados.
2. Discriminar los productos a base de arroz de mayor consumo tanto para niños de 3 años como los celíacos.
3. Cuantificar el porcentaje de arsénico total en los productos a base de arroz mediante el método analítico ICP.
4. Analizar y comparar los resultados obtenidos de arsénico total en los productos a base de arroz para niños y celíacos para tomar medidas sobre el asunto que se está tratando.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

Los cereales se han convertido en uno de los principales alimentos de la humanidad desde hace siglos, pues a lo largo de la historia muchos pueblos se han sustentado de forma mayoritaria de dichas cosechas, por tal motivo los cereales son la base de la alimentación de los seres humanos y gracias a su bajo contenido de agua supone un alto contenido de nutrientes; además, facilita su conservación por mayor tiempo y sobre todo se lo ha incluido a nuestra dieta por el alto valor energético que aporta a nuestro organismo.

Algunos de los cereales más conocidos y consumidos son el trigo, maíz, arroz, cebada y centeno; muchos de estos cereales se los utiliza conservando su integridad o suelen ser transformados (principalmente en harinas) para elaborar una infinidad de productos derivados. Existen en el mercado varias empresas multinacionales que elaboran productos derivados de los cereales siendo las más reconocidas en la mayoría de los países Kellogg's y Nestlé. El consumo per cápita es de un cuarto de kilo a nivel mundial, mientras que en el Ecuador su consumo es de 0,5 kilo per cápita (GMID, 2015, pp. 2-7).

En este trabajo de investigación analizaremos a los productos derivados del arroz como objeto de estudio debido a la gran problemática que acecha a la humanidad por su posible contaminación con arsénico como se ha indicado en varios estudios realizados en Australia, Brasil, Francia, Japón, Nueva Zelanda, Singapur, España (Codex Alimentarius, 2011, pp.1-2). El motivo de los análisis realizados a varios productos alimenticios a base de arroz es debido a que este cereal carece de gluten en su composición por lo que se convierte en un alimento e ingrediente ideal para productos destinados a personas que padecen de la enfermedad celiaca.

Siendo esta patología poco conocida en el Ecuador, es importante considerar que el arroz suele introducirse en la alimentación complementaria en los bebés a partir de los 4 o 6 meses de edad debido a su fácil digestibilidad, ya que se trata de un alimento muy completo y que formará parte en la alimentación de los niños a lo largo de toda su infancia, esto debido a su facilidad de preparación, su versatilidad además de que suele llamar la atención a los niños por la diversa presentaciones que suele encontrarse en el mercado.

Un problema que acecha a la elaboración de los productos alimentarios a base de arroz a nivel mundial es la contaminación con arsénico de su cultivo, ya que se lo realiza en campos inundados, porque la planta requiere grandes cantidades de agua de riego para su normal desarrollo, las misma que provienen de industrias, ríos, aguas subterráneas, aguas de pozo, cuya carga de metales pesados es mayor, debido a que los niveles de contaminación de esta fuentes hídricas van en aumento año tras año (Senagua, 2010, pp. 1-37). Este tipo de aguas son usadas para riego, pero al no ser tratadas, el arroz se vuelve más susceptible a la contaminación por arsénico (Barcia, 2012, pp. 1-3). Las aguas servidas y aguas de origen industrial no deben ser usadas para riego si no son tratadas y las mismas deberían cumplir con el parámetro de calidad de 0,1 mg/L de arsénico como lo establece (TULSMA, 2014, p. 15).

La cantidad de personas expuestas a niveles inadecuados de arsénico, es un problema muy importante de salud pública mundial, pues se relaciona a este metal pesado con el aumento de la incidencia de cáncer (IARC, 2015, p. 1) y otras patologías que perjudican el estado de salud físico y mental de las personas que la padecen (Morales & Hidalgo, 2015, pp. 1-8).

Con base en lo anterior se han realizado algunos estudios entorno a la presencia de arsénico en productos alimenticios como el arroz, elevando las preocupaciones en salud debido a su gravedad por su alto consumo (Choi y col., 2016, p. 13). Esto debido a que se ha encontrado niveles preocupantes de arsénico en los alimentos básicos para infantes, asociado al hecho de que el arsénico inorgánico es mortal en dosis elevadas.

Las pruebas emitidas por Consumer Reports de arroz incluyen múltiples muestras de más de 60 productos incluyendo arroz blanco y marrón, cereales de arroz para bebés, galletas de arroz, pasta de arroz y bebidas de arroz, los mismos indican que las cantidades de arsénico total encontradas

varían mensurablemente (Baertlein, 2016, p. 1). En el arroz se encontró 6,7 μg (1 taza cocida), las tortas de arroz presentaron 5.4 μg (por 2 pasteles), las bebidas de arroz presentaron un valor de 3,8 μg por cada 240 mL, los cereales de arroz indicaron 3,5 μg por 1 taza. Estos datos causan alarma en los consumidores debido a las posibles consecuencias a largo plazo que pueden presentarse a causa del arsénico en el organismo (FDA, 2012, p. 2).

Un estudio realizado en España, demostraron que los productos a base de arroz destinados para las personas con enfermedad celiaca contienen cantidades importantes de arsénico total (120 $\mu\text{g}/\text{kg}$) y de arsénico inorgánico (85,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$). En este estudio los grupos con mayor contenido de arsénico (total e inorgánico) se encontraron en los productos como la harina, pasta y pan rallado. También se comprobó que la ingesta diaria de los productos con mayor contenido de arsénico fue de 0,47 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso para mujeres (58 kg) y 0,46 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso para hombres (75 kg) con enfermedad celiaca (Munera y col., 2014, p. 8).

Análisis realizados en productos de arroz ($n=17$) para bebés revelaron un contenido de arsénico inorgánico de 0,11 mg/kg . En este estudio se encontró que las concentraciones de arsénico inorgánico aumentan linealmente hasta 0,25 mg/kg de arsénico total. La ingesta de arsénico inorgánico para bebés de 4 a 12 meses se determinó en un valor de 0,16 mg/kg , y de acuerdo a su límite reglamentario de 0,15 mg/kg de arsénico inorgánico, el 35% de las muestras analizadas de arroz para bebés no se deberían comercializar en China (Meharg y col., 2008, p. 2).

En muestras analizadas de 5 marcas comerciales de productos para bebés y niños pequeños se encontró arsénico cuyo dato varió de 0,063 a 0,334 mg/kg , encontrándose un porcentaje mayor de arsénico en tres de las marcas comerciales (M001, M003, M005). La concentración de arsénico inorgánico fueron de 0,056 y 0,268 mg/kg , con lo cual se demostró que el 14% de las muestras de arroz para bebés se encontraron por encima del nivel máximo de arsénico inorgánico propuesto por el JECFA que establece 0,200 mg/kg para arroz (Signes y col., 2016, pp. 5-7). Los productos a base de arroz para bebés etiquetadas como producidas bajo condiciones orgánicas mostraron mayor cantidad de arsénico inorgánico (0,190 mg/kg) lo que se asoció con la utilización de arroz integral ya que los productos elaborados con arroz blanco mostraron 0,121 mg/kg (Signes y col., 2016, pp. 1,2,5).

Estudios recientes realizados en Ecuador específicamente en dos provincias Guayas y Los Ríos, sobre el arsénico en agua, suelo, arrozales y arroz comercial, se obtuvieron datos de arsénico total en agua $<10 \mu\text{g/L}$ y en suelo $4,48 \pm 3 \text{ mg/kg}$, mientras que en los granos de arroz el arsénico estuvo presente en $0,042\text{-}0,125 \text{ mg/kg}$ de peso seco, demostrando que evidentemente su contenido fue menor que en las hojas ya que obtuvo un valor de $0,123\text{-}0,286 \text{ mg/kg}$ de peso seco y en tallos se evidenciaron valores de $0,091\text{-}0,201 \text{ mg/kg}$ de peso seco. Mediante este estudio se demostró que la acumulación del arsénico en el medio ambiente es alta, encontrándose de forma dominante al arsénico inorgánico en $>80\%$ en todas las partes de la planta (Otero y col., 2016, p. 1-11).

A través del (Codex Alimentarius, 2014, p. 2), la OMS y la FAO se ha establecido el nivel máximo de arsénico en arroz sin elaborar de $0,3 \text{ mg/kg}$ en arsénico inorgánico o arsénico total, por lo tanto si la materia prima (arroz) tiene presencia de arsénico en cantidades que sobrepasen la norma se convertirá en peligro químico, debido a que puede estar presente en sus productos derivados. La Unión Europea propone una concentración de $0,10 \text{ mg/kg}$ de arsénico inorgánico para arroz destinado a la producción de alimentos para lactantes y niños de edad corta, mientras que para tortitas, obleas, galletas y pasteles de arroz un $0,30 \text{ mg/kg}$ cuyo reglamento está vigente desde enero de 2016 (UE, 2015, p. 3).

Estos serían los motivos por los cuales se realiza el presente trabajo de titulación ya que en el Ecuador no se han observado trabajos similares, este tema en realidad preocupa a los consumidores pues muchas de las veces no se encuentra respuesta a la temible enfermedad que es el cáncer. Este trabajo de investigación pretende aportar con un granito de arena para tratar de prevenir dichas patologías.

1.2. Conceptos

Arsénico inorgánico: *“Arsénico combinado con oxígeno, cloro o sulfuro que se encuentra en el medio ambiente”* (Mccoy, 2010, p. 1), conociéndose así como la forma más tóxica que afecta a los seres humanos (Parada, 2015, p. 1-5).

Arsénico orgánico: esta denominación de orgánico se debe a la forma combinada de arsénico con carbono e hidrogeno que están presentes en las plantas y animales (Mccoy, 2010, p. 2).

Arsénico total: “La cantidad total de arsénico en su forma elemental o enlazada en compuestos inorgánico y orgánico” (NTE INEN 0980:2012, 2012, p. 2).

Cereal: son las semillas o granos que se forman a partir de las flores de las gramíneas (Verdini, 2015, pp. 1-13).

Arroz: Es un cereal considerado como la base de la alimentación de muchos pueblos. Según (CODEX STAN 198-1995, 1995, p. 1) “*son granos enteros o quebrados de la especie Oryza satia L*”.

Enfermedad celiaca: Se trata de un trastorno auto inmunitario provocado por el gluten presente en algunos cereales de acuerdo con el Codex Alimentarius en conjunto con (OMS & FAO, 2003, pp. 1-2); causando una ausencia de anticuerpos y aplanado los vellos del intestino delgado, dificultando así la absorción de nutrientes (Navarro & Araya, 2015, pp. 1-2).

Gluten: Es una proteína presente en las semillas de muchos cereales, en el trigo representa un 80% y está compuesta por gliadina y glutenina. Esta proteína es la responsable de la elasticidad en la masa de harina, lo que permite la fermentación, elasticidad y esponjosidad de los panes y masas horneadas. Algunas personas tienen alergia al gluten y otra intolerancia (enfermedad celiaca) en ambos casos se debe hacer dietas libres de gluten si se quiere tratar las patologías (Melorose y col., 2015, pp. 2-4).

Nutrición: Es la ingesta de alimentos de acuerdo a las necesidades dietéticas del organismo. Un elemento fundamental de la salud se representa con una buena nutrición; es decir una dieta suficiente y equilibrada combinada con ejercicio físico regular (OMS, 2016, p. 1).

ICP: “*La técnica de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS, del nombre en inglés Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)*”, se trata de una variante de las técnicas de análisis por espectroscopía de masas, cuya función es proporcionar de una forma rápida la identificación y detección de contenido de trazas de metales (Férrandez, 2004, pp. 1-3).

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Arsénico

El arsénico es un elemento natural que se comporta como un metal. Está presente en el entorno de forma natural, generalmente se encuentra en trazas en toda la roca, suelo, agua y aire. Sin embargo, las concentraciones pueden ser mayores en ciertas áreas ya sea debido a condiciones naturales o actividades humanas. Se presenta de diferentes maneras siendo la forma inorgánica más tóxica que la orgánica (Chapman & Morris, 2015, pp. 1-4).

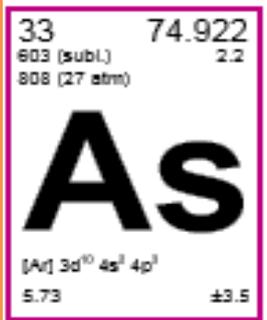
1.3.1.1. Propiedades físico-químicas

El arsénico es un elemento del grupo cinco, su símbolo químico es As, su número atómico es 33 y su masa atómica relativa 74,92. El arsénico se encuentra en cuatro formas alotrópicas (metálica,

gris, parda y amarilla). Sublima a 450°C, sin fundir, dando vapores amarillos (Gaviria y col., 2013, pp. 12-14).

El arsénico es amarillo, por la acción de la luz, pasa a la forma parda y finalmente a la gris. El arsénico metálico arde al aire a 180 °C desprendiendo un olor a ajo muy característico. El arsénico elemental, no se disuelve en agua, pero reacciona con aire húmedo, oxidándose a trióxido de arsénico (As_2O_3) (Gaviria y col., 2013, p. 12-14).

TABLA 1-1. Propiedades físico-químicas del Arsénico

	PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	VALORES
	Número de oxidación	-3, +3, +5
	Electronegatividad	2,18
	Energía de ionización	947 kJ.mol ⁻¹
	Afinidad electrónica	78 kJ.mol ⁻¹
	Punto de fusión	817 °C (a P = 28 atm)
	Punto de ebullición	613 °C (sublima)
	Densidad	5.780 kg/m ³ (gris) 4.700 kg/m ³ (amarilla) (T = 20 °C)
	Solubilidad	Insoluble en agua
	Presión de vapor (Pv)	7,5 x 10 ⁻³ mmHg (T = 280 °C)

Fuente: (Gaviria y col., 2013, p. 12)

1.3.1.2. Formas de Arsénico

El arsénico es un elemento que se combina con metales para formar compuestos inorgánicos y no metales para formar compuestos orgánicos. El arsénico puro no es tóxico, sin embargo se oxida fácilmente a As_2O_3 o trióxido de diarsénico, que es una sustancia altamente tóxica, pues se trata de un polvo blanco, insípido e inodoro llamado rey de los venenos, debido a su potencial fue utilizada entre los siglos XVI y XIX para envenenar a las personas (Gaviria y col., 2013, p. 15).

ARSÉNICO INORGÁNICO

El arsénico inorgánico se encuentra en forma natural en rocas sedimentarias (lodosas), rocas volcánicas y en aguas geotermales, el arsénico inorgánico soluble en agua es tóxico, en la naturaleza se presenta libre y también combinado en diversos minerales, encontrándose así (Gaviria y col., 2013, p. 14) (Bundschuh y col., 2012, p. 8-11):

- **Rejalgar:** As_2S_2 (rojo)
- **Oropimente:** As_2S_3 (amarillo)
- **Mispíquel o piritita arsenical:** $FeAsS$
- **Cobaltina:** $CoAsS$
- **Arsenolita:** As_2O_3

ARSÉNICO ORGÁNICO

Este tipo de arsénico se encuentra en varios compuestos de carácter orgánico esto se debe a su elevada estabilidad del enlace carbono- arsénico (C-As). Como consecuencia de las actividades biológicas, se producen diversos compuestos de arsénico metilados como son las dimetilarsina y trimetilarsina. Estas especies, tras una oxidación, se transforman en los ácidos metilarsónico y dimetilarsónico, cuyos compuestos forman sales solubles con los metales alcalinos. Mediante una reducción estos ácidos pueden volver a su forma primitiva de arsinas (Carbonell y col., 1995, pp. 11-12).

El arsénico en sus formas trivalente y pentavalente tiene diferentes aplicaciones en la industria. Pues se usa en aleaciones con plomo y cobre a las que confiere propiedades de resistencia al calor y dureza, en las industrias de cerámicas, vidrio y de pigmentos de pinturas. Las formas más comunes del arsénico presentes en humanos y en el medio ambiente, están consignadas en la tabla 1-2 (Hughes y col., 2011, pp.1-5).

TABLA 1-2. Compuestos de arsénico orgánicos más comunes en humanos y medio ambiente

ESTADO DE OXIDACIÓN TRIVALENTE	ESTADO DE OXIDACIÓN PENTAVALENTE
Ácido monomotor arsenioso	Ácido monomotor arsénico Ácido dimetil arsínico Oxido de trimetil arsínico
Ácido dimetil arsenioso	Ácido arsenílico Arsenobetaína

Fuente: (Hughes et al., 2011, p. 3)

GAS ARSINA Y ARSINAS SUSTITUIDAS

El gas arsina se utiliza en la síntesis orgánica y en el proceso de componentes electrónicos en estado sólido. El gas arsina también se puede generar inadvertidamente en procesos industriales en los que se forma hidrógeno nascente cuando existe arsénico presente (Nordberg, 2010, p. 6).

Las arsinas sustituidas son compuestos arsenicales orgánicos trivalentes que dependiendo del número de grupos alquilo o fenilo que tengan unidos al núcleo de arsénico, se conocen como arsinas mono, bi o trisustituidas. La dicloroetilarsina ($C_2H_5AsCl_2$) o etildicloroarsina es un líquido incoloro de olor irritante. Este compuesto, al igual que el que se indica a continuación, se desarrolló como posible arma química (Nordberg, 2010, p. 6).

La dicloro (2-clorovinil-) arsina ($ClCH:CHAsCl_2$) o clorovinildicloroarsina (lewisita) es un líquido de color verde oliva con un olor similar al germanio. Se desarrolló como posible arma química, aunque nunca llegó a utilizarse. Se desarrolló asimismo el agente dimercaprol o antilewisita británica (BAL) como un antídoto (Nordberg, 2010, p. 6).

La dimetilarsina ($(CH_3)_2AsH$) o cacodil hidruro y la trimetilarsina ($(CH_3)_3As$) o trimetilarsénico son líquidos incoloros. Estos dos agentes se producen tras la transformación metabólica de los compuestos de arsénico en bacterias y hongos (Nordberg, 2010, p. 6).

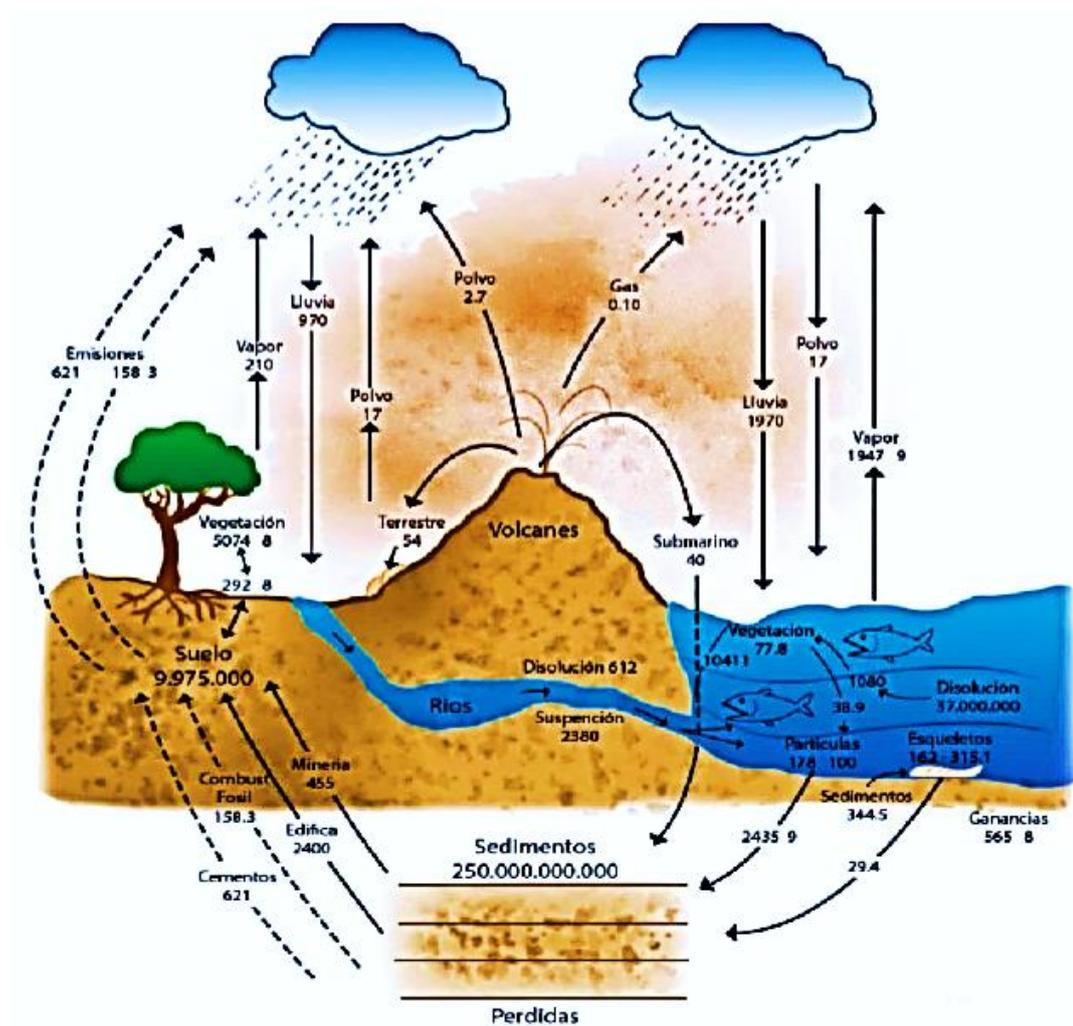
1.3.1.2. *Ciclo del arsénico*

El arsénico en la naturaleza cuenta con ciclos asociados a las actividades naturales y antropogénicas. El ciclo biogeoquímico global del arsénico permite describir el papel del arsénico en cada uno de los ecosistemas fundamentales, así como los flujos de transferencia que entre ellos se establecen. Es claro que las emisiones naturales de arsénico, son mayores que las de carácter antropogénico (la proporción entre las emisiones industriales y el contenido natural del elemento en la atmósfera es menor que uno) (Mackenzie y col., 1979, p. 99-142).

El arsénico está presente en la atmósfera en cantidades significativas desde plantas generadoras de energía por quemado de carbón, siendo estas emisiones en estado gaseoso debidas a los bajos puntos de ebullición que presenta el arsénico y sus derivados. Por lo tanto, también se producirá este tipo de fenómeno en procesos de carácter volcánico y en el quemado de vegetación (Carbonell y col., 1995, pp. 11-25).

A temperatura ambiente el arsénico se libera a la atmósfera como compuestos volátiles, producto de la metilación biológica. Las entradas estimadas en la atmósfera procedentes de actividades industriales son cercanas a 780×10^8 g/año, las cuales son elevadas si se comparan con las procedentes de la minería 460×10^8 g/año o con el arsénico contenido en el polvo volcánico o continental 28×10^8 g/año. La actividad humana ha modificado el ciclo global para el arsénico (Gráfico 1-1), produciendo pérdidas de arsénico desde los sedimentos, (1129×10^8 g/año) y enriqueciendo los suelos (660×10^8 g/año) y los océanos (566×10^8 g/año) (Carbonell y col., 1995, pp. 11-25).

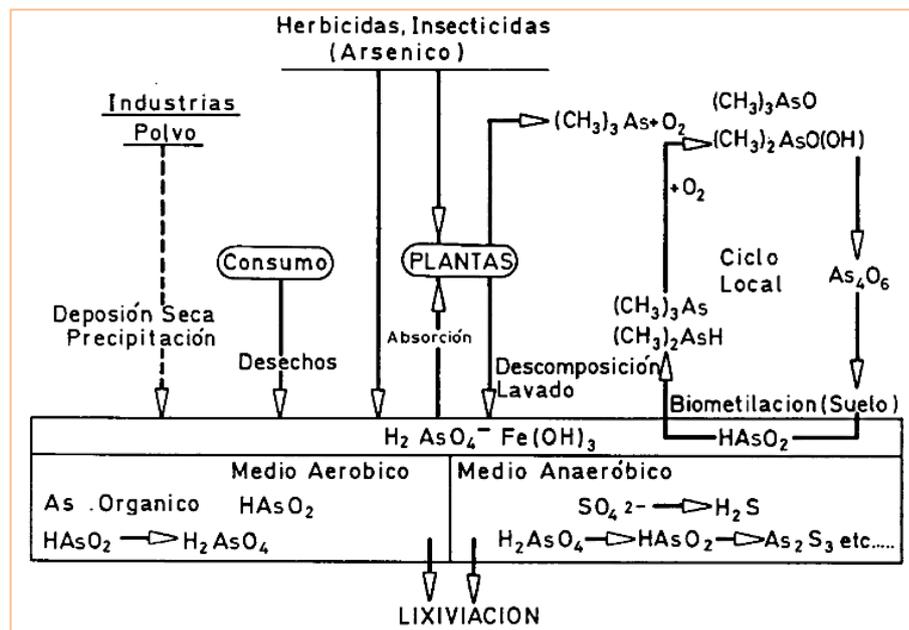
GRÁFICO 1-1. Ciclo global biogeoquímico del arsénico.



Fuente: (Mackenzie y col., 1979)

En medios reductores como son los sedimentos, el arseniato es reducido a arsenito y éste mediante metilación y oxidación es transformado en compuestos tales como los ácidos metil y dimetilarsónico. Diversos microorganismos como hongos, bacterias y levaduras, transforman estos ácidos en derivados metilados de la arsina, trimetilarsina o dimetilarsina, que pueden emitirse a la atmósfera. Según (Mackenzie y col., 1979, p. 99-142) se libera 210×10^8 g de arsénico anualmente a la atmósfera desde la superficie terrestre debido a estos procesos.

GRÁFICO 1-2. Ciclo local agua, aire, As (WHO, 1981)



Fuente: (Carbonell y col., 1995, p. 100)

Debido a la erosión y degradación que está sufriendo la superficie continental, hay un importante flujo de arsénico desde los ríos hacia los océanos, incorporándose parte a los sedimentos oceánicos, y por ende, parte permanece disuelto en el agua (Mackenzie y col., 1979, p. 135).

1.3.1.3. Fuentes de contaminación del arsénico

FUENTES NATURALES

El arsénico se libera en el medio ambiente de manera natural a través de la meteorización y erosión de los sulfuros minerales, estos sulfuros minerales pueden formar suelos con concentraciones muy altas de arsénico, pudiendo también disolverse en el agua. Aproximadamente el 25% de las emisiones de arsénico hacia la atmósfera procede de fuentes naturales, principalmente de los

volcanes. La mayor parte del arsénico liberado llega a los suelos y los océanos (Fraser Institute, 2012, p. 2).

Los metales preciosos, como el cobre y el oro, también se pueden encontrar en depósitos de sulfuros minerales y, por ello, las compañías de exploración minera generalmente buscan suelos y agua con concentraciones naturalmente altas de arsénico como recurso para localizar yacimientos. Por ello es de suma importancia establecer las condiciones de base o las concentraciones de arsénico existentes en el medio ambiente de una región para diferenciar entre contaminación humana y niveles ya presentes en la naturaleza (Fraser Institute, 2012, pp. 2-5).

FUENTES ANTROPOGÉNICAS

Algunas actividades humanas incrementan potencialmente la concentración de arsénico en el aire, el agua y el suelo en el ámbito local. Las actividades mineras pueden incrementar la velocidad de liberación de arsénico a partir de sulfuros minerales porque los exponen a procesos de meteorización durante las tareas de excavación. La fundición de cobre y oro, así como la combustión de carbón, producen polvo de arsénico (Castro, 1982, p. 3).

La aplicación directa de arsénico en forma de plaguicidas, insecticidas, herbicidas o estabilizante de suelo, en cultivos tan variados como la vid, verduras, tomates, café, cacao, arroz, etc. ha sido históricamente una fuente importante de arsénico para el suelo (Castro, 1982, p. 3).

También se emplean como preservadores de maderas estacas o como antiparasitarios en baños para ovejas y cabras. El arsénico metálico se usa en aleaciones de plomo y cobre y en la fabricación de semiconductores, debido a su frecuente presencia en los minerales, no es de extrañar que se produzca descargas intensas de arsénico al medio ambiente a partir de los gases de chimeneas y líquidos de descarga industrial provenientes de fundiciones de minerales, especialmente los no ferrosos, tales como cobre, estaño, y cobalto (Castro, 1982, pp. 3-5).

Igualmente existe emisiones de arsénico provocadas por los hornos de las fábricas que usan carbón, los hornos de producción de vidrio y otro que emplean este elemento para eliminar el tinte verdoso y por otros procesos de combustión (Castro, 1982, p. 4).

El escurrimiento de arsénico proveniente de lugares contaminados podría afectar las reservas de agua dulce y sus ecosistemas asociados, pero la contaminación de aguas subterráneas como resultado de la actividad humana es poco común porque el arsénico tiene una fuerte tendencia a adherirse a las partículas de tierra y los sedimentos. Por el contrario, la liberación natural de arsénico de materiales geológicos se ha convertido en una amenaza para las fuentes de agua potable del mundo (Fraser Institute, 2012, pp. 3-5).

La mayoría de las aguas en el mundo tienen concentraciones naturales de arsénico inferiores a 0,01 mg/L, según valores de referencia de la OMS, sin embargo, este valor está limitado por la capacidad analítica de los métodos de determinación actuales. La exposición humana a niveles elevados de arsénico inorgánico se produce principalmente por el consumo de aguas crudas subterráneas que contienen niveles naturalmente altos (superiores a 0.05 µg/L), y el consumo de alimentos irrigados con agua contaminada o preparados con ésta (Gomez y col., 2001, pp. 28-36).

TABLA 1-3. Fuentes antropogénicas de exposición al arsénico y sus derivados

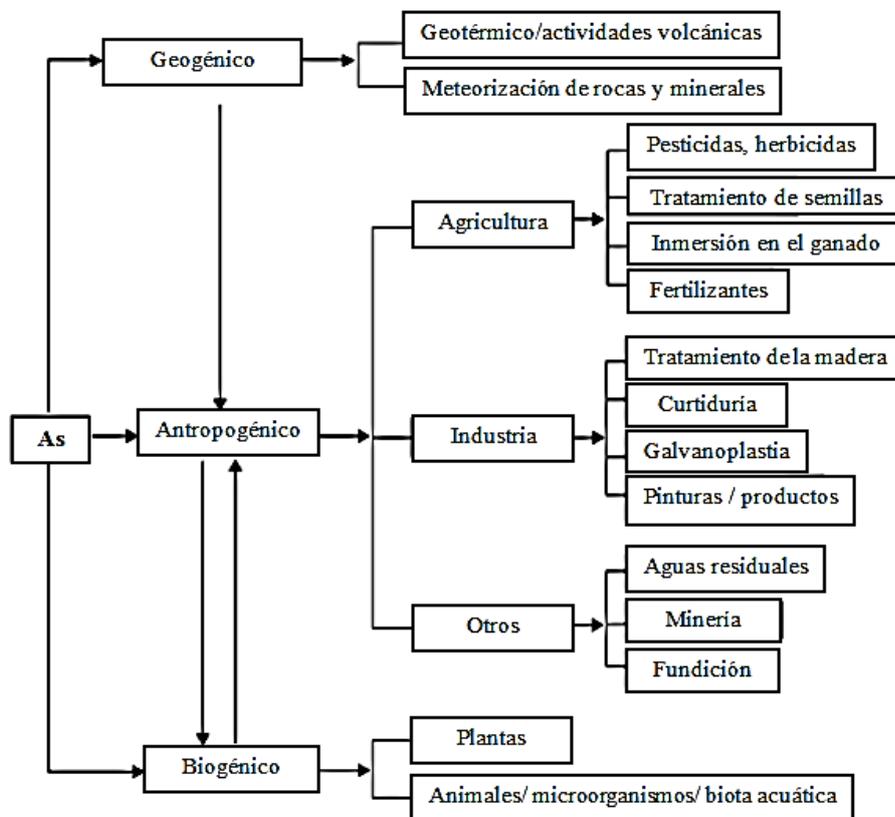
COMPUESTO PRODUCIDO	FUENTE
Arsénico metálico (As)	Subproducto de fundición de metales Aleaciones con plomo y cobre
As₂O₅:	Preparación de arseniatos que se usan como defoliantes: plaguicidas, preservadores de madera
Trióxido de arsénico (As₂O₃)	Manufactura de cerámica y decoloración de vidrio, componentes electrónicos, pigmentos, cosméticos.
Varios compuestos volátiles (As₂O₃) y otros	Cenizas de carbón Actividades asociadas a la minería
Cromo-cobre- arsenato	Procesamiento de madera
Arsenato de plomo, arsenato de calcio, arsenato de magnesio, arsenato de zinc, arsenito de zinc, trióxido de arsénico,	Uso de plaguicidas

arsenito de sodio, Verde París, Cu(CH₃COO)₂, Cu(AsO₂)₂	
Acido cacodílico (CA), metanoarsonato monosódico (MMSA), metanoarsonato disódico, arsenito de sodio.	Uso en herbicidas
Roxarsona (C₆AsNH₆O₆)	Suplementos para alimentación de aves de corral
Arsenobenzol	Medicamentos (sífilis) salvarsán y diarsenol.

Fuente: (Castro, 1982, p. 4)

Dadas las variadas fuentes de arsénico, tanto naturales y antropogénicas, no resulta extraño que los vegetales, animales lo capten y que lleguen al hombre a través de los alimentos.

GRÁFICO 1-3. Principales fuentes y rutas de As en el suelo y los ecosistemas acuáticos



Fuente: (Mahimairaja y col., 2005, p. 5)

1.3.1.3. Arsénico en alimentos

La FDA (Food and Drug Administration) ha reportado que el 93% de la ingesta total de arsénico se debe a los alimentos. Para los países, cuya dieta no está dominada por la comida de mar, el consumo del arroz y sus derivados es la principal fuente de exposición al arsénico. En la Tabla 1-5, se presentan los datos recolectados para diferentes alimentos, donde puede observarse que las semillas secas y el arroz presentan los niveles de concentración más altos de arsénico (Gaviria y col., 2013, p. 16).

Pescados y mariscos: estos pueden contaminarse con compuestos orgánicos de arsénico presentes en el agua donde habitan o se cultivan, sin embargo, son menos perjudiciales para la salud, ya que el arsénico así ingerido se elimina rápidamente del organismo. Se ha reportado que los mejillones azules pueden contener una alta concentración de arsénico inorgánico 5,8 mg/kg (Sloth & Julshamn, 2008, p. 1).

TABLA 1-4. Datos de Arsénico total en diversos alimentos (del JECFA 2010)

CATEGORÍA DEL ALIMENTO	n	INTERVALO (mg/kg)
Leche líquida y en polvo	264	0,001-0,15
Derivados lácteos	92	0,010-0,35
Grasas y aceites	39	0,003-0,18
Carne	4977	0,004-0,78
Despojos de carne	2074	0,009-0,45
Derivados cárnicos	50	0,003-3,25
Huevos y derivados	171	0,003-0,04
Productos de confitería	186	0,002-1,13
Caramelos	138	0,003-0,26
Masa panaria	71	0,002-0,25
Frutas	966	0,005-2,20
Vegetales	2503	0,001-1,27
Setas	302	0,011-5,79
Nueces	70	0,005-0,88
Semillas secas	953	0,114-236
Cereales exceptuando arroz	410	0,007-0,43
Arroz	1693	0,114-236
Pasta	19	0,003-0,18

Pescado de origen marino	1409	0,10-62
Moluscos	171	0,090-66
Pescado de agua dulce	238	0,060-4,72
Productos para bebés	75	0,001-4,66

Fuente: (Codex Alimentarius, 2011, p. 8)

1.3.1.4. Toxicocinética del arsénico en el hombre

El arsénico inhibe el dihidrolipoato (un cofactor necesario de la piruvato deshidrogenasa), esta inhibición bloquea el ciclo de Krebs interrumpiendo la fosforilación oxidativa. El arsénico también inhibe la transformación de la tiamina a acetil-CoA y succinil-CoA.

ABSORCIÓN

Los compuestos arsenicales se absorben a través de las vía digestiva y respiratoria, mientras que la absorción por vía cutánea es baja y alcanza solamente un 2%. Los compuestos orgánicos de arsénico se absorben mejor que los inorgánicos y los pentavalentes más que los trivalentes (Albores y col., 1997, p. 4).

En los seres humanos y en la mayoría de las especies animales, la absorción de compuestos arsenicales a través del TGI (tracto gastrointestinal) es alta (95%). La absorción de arsénico por vía respiratoria depende del tamaño de las partículas inhaladas, de su solubilidad y de la forma química del compuesto. La principal forma química presente en el aire es el As^{3+} , el cual es de origen antropogénico. Las partículas grandes se depositan en la vías superiores, son removidas por el movimiento ciliar y transportadas al TGI, en donde son absorbidos dependiendo de su solubilidad. Las partículas menores de $7\mu m$ se absorben en un 75 a 85% (Albores y col., 1997, p. 4).

TABLA 1-5. Absorción de arsénico en animales

VÍA DE ENTRADA	COMPUESTO	ABSORCIÓN
Intestino	Trióxido de arsénico	80%
Pulmones	Ácido dimetilarsénico	92%
Tracto gastrointestinal	Ácido dimetilarsénico	66%

Fuente: (Castro, 1982, p. 5)

DISTRIBUCIÓN Y VIDA MEDIA

La vida media del arsénico inorgánico en el organismo es calculado de aproximadamente de 10 horas, aunque se puede detectar arsénico en orina, hasta el décimo día después de la exposición, para las formas orgánicas se calcula 30 horas y 20 horas para los alimentos provenientes del alimentos del mar (Galvaño & Corey, 1987, p. 17). Luego de haber sido absorbido en los pulmones o en tracto digestivo, el arsénico se distribuye por todo en cuerpo mediante el torrente sanguíneo (Oyanedel, 2015, p. 5).

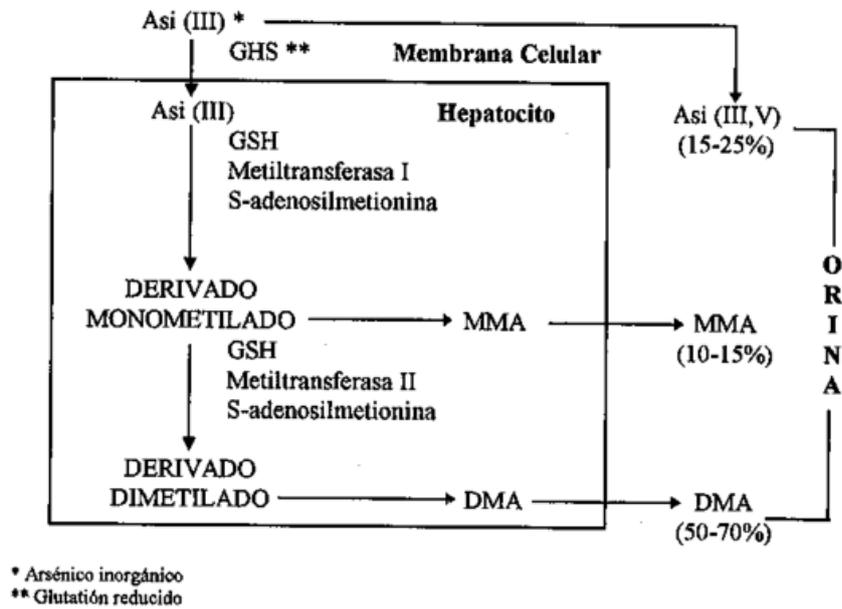
En el organismo, el arsénico se fija preferentemente en el hígado, riñones, tracto digestivo, hueso, piel. Debido a que le As^{3+} se une preferentemente a los grupos sulfhidrilo de proteínas como la queratina, por lo que se depositan en pelo y uñas (Albores et al., 1997, p. 4).

BIOTRANSFORMACIÓN

El metabolismo de arsénico se realiza principalmente en el hígado y aunque su mecanismo no está bien establecido, en este metabolismo intervienen dos procesos (Albores et al., 1997, p. 4):

- Reacciones de reducción que convierten el As^{+5} en As^{+3}
- Reacciones de metilación oxidativa que transforma el As^{+3} en especies metiladas

GRÁFICO 1-4. Biotransformación del arsénico inorgánico (modificado de Offergelt y col., 1992)



Fuente: (Albores y col., 1997, p. 5)

En el torrente sanguíneo el arsénico es incorporado en glóbulos blancos, glóbulos rojo y otras células que reduce el arsenato (As^{5+}) a arsenito (As^{3+}) (Oyanedel, 2015, p. 5), seguida de la adición del primer grupo metilo para obtener ácido monometilarsónico (MMA) y seguida por una segunda reducción de MMA (V) a MMA (III), previa a la segunda metilación, se produce el ácido dimetilarsínico (DMA). Se ha propuesto a la S-adenosilmetionina como donador de los grupos metilo y al glutatión reducido (GSH) como principal agente reductor y transportador de arsénico (Albores y col., 1997, pp. 4-5).

Sin embargo, se ha causado dudas acerca de que la metilación del arsénico inorgánico sea realmente un proceso de detoxificación, debido a que se ha notado que las especies metiladas trivalentes son altamente tóxicas. Pues existen grandes variaciones en la metilación del arsénico debido a factores como la edad, sexo, embarazo, capacidad de metilación de arsénico, entre ellos tenemos la dosis y tiempo de exposición, una dieta alta en metionina, proteínas y posibles polimorfismos genéticos (Albores y col., 1997, pp. 4-5).

Cuando una persona sobrepasa la capacidad de metilación del hígado y sigue expuesta a niveles altos de arsénico inorgánico, se observa un incremento en la retención de arsénico en los tejidos blandos. En aquellas personas con una nutrición deficiente se incrementa la absorción de arsenitos en el hígado (Oyanedel, 2015, p. 5).

EXCRECIÓN

El arsénico es excreta principalmente por la orina. Los seres humanos excretan una mezcla de arsénico inorgánico, arsénico monometilado y arsénico dimetilado. Los compuestos arsenicales en la orina humana se compone de 10 a 30% de arsénico inorgánico, 10 a 20% de ácido monometilarsónico (MMA) y 55 a 76% de dimetilarsónico (DMA). El arsénico también puede ser excretado por descamación de la piel, por el cabello, uñas, por heces y sudor en 2 a 4 semanas (Castro, 1982, p. 8).

1.3.1.5. Toxicodinamia o Mecanismo de Toxicidad del arsénico

Se propone dos mecanismos bioquímicos de toxicidad (Oyanedel, 2015, p. 5):

- a) **As III (o As^{+3}):** Unión reversible con los grupos tioles contenidos en proteínas de los tejidos y las enzimas. Como consecuencia, se inhibe la ruta de oxidación del piruvato y el ciclo del ácido tricarboxílico, se afecta la gluconeogénesis, y se reduce la fosforilación oxidativa.

- b) **As V (As^{+5}):** Sustitución de aniones de arsénico en lugar del fósforo (mimetismo) en muchas reacciones. Ocurre una rápida hidrólisis de los enlaces de alta energía de compuestos como el ATP. Este proceso implica la pérdida de enlaces de fosfato de alta energía y se desacopla la fosforilación oxidativa mitocondrial.

En adición a estos 2 modos básicos de acción, varios mecanismos se han propuesto para la toxicidad y carcinogenicidad del arsénico. Se ha visto que el arsénico y sus metabolitos producen oxidantes y daño oxidativo al ADN, alteración en el estado de metilación del ADN e inestabilidad genómica, reparación alterada de daños en el ADN y aumento en la proliferación celular. El arsénico puede inducir anomalías cromosómicas, cambio de números cromosómicos y formación de micronúcleos. También puede actuar como mutágeno y carcinógeno (Oyanedel, 2015, p. 6).

1.3.1.6. Efectos del arsénico en la salud

La ingesta de dosis altas de 70-180 mg puede ser fatal en los seres humanos (Oyanedel, 2015, p. 6). Pues en las personas, la forma inorgánica soluble del arsénico se absorbe de manera rápida y una vez ingerido, se reparte por todos los órganos del cuerpo y atraviesa incluso la barrera placentaria (Morato, 2010, p. 3).

EFFECTOS AGUDOS

Los efectos por intoxicación aguda se presentan por la ingesta no intencional, suicidio u homicidio. Dentro de los síntomas que se asocian a estas intoxicaciones se encuentran fiebre, síntomas gastrointestinales, dolor abdominal, hepatomegalia, arritmia cardíaca e incluso la muerte (Galvaño & Corey, 1987, p. 18).

La ingesta aguda de arsénico puede causar daño en membranas y mucosas del tracto gastrointestinal provocando irritación, formación de vesículas, e incluso desprendimiento y disfagia (dificultad de tragar) (Oyanedel, 2015, p. 6). Los principales signos y síntomas se exponen en la tabla 1-6.

TABLA 1-6. Principales efectos tóxicos agudos

SISTEMA U ÓRGANO	SÍNTOMAS Y SIGNOS
Gastrointestinal	Náuseas, vomito, anorexia, quemazón, dolor abdominal, diarrea, sangrado en las heces.
Dérmico	Dermatitis, vesículas y melanosis
Neural	Encefalopatía (hiperpirexia, convulsiones, temblores, coma y desorientación), neuritis, neuropatía periférica (primariamente de tipo sensorial, parestesias, hiperestesias, adormecimientos de extremidades, debilidad y calambres musculares.
Renal	Necrosis cortical, leucocituria, glucosuria, hematuria, oliguria y uremia.
Hepático	Congestión, infiltración grasa, necrosis central, colangitis, colecistitis.
Hematológico	Anemia, trombocitopenia, leucopenia, supresión de la médula ósea.
Cardiovascular	Anormalidades cardíacas (fibrilación ventricular y taquicardia atípica), prolongación del intervalo Q-T, onda T anormal, falla cardíaca congestiva, hipotensión.
Respiratorio	Irritación de la mucosa nasal, faríngea, laríngea y bronquial, edema pulmonar, traqueo-bronquitis, bronconeumonía, perforación del septum nasal.
Oftálmico	Conjuntivitis

Fuente: (ASTDR, 2013, pp. 75-87)

EFFECTOS CRÓNICOS

Los efectos crónicos dependen de la vía de exposición y de los sistemas afectados incluyendo la piel, sistema cardiovascular, vías respiratorias, riñón, hígado y sistema nervioso. El arsénico es un agente teratogénico, mutagénico y carcinogénico (Albores et al., 1997, p. 8). Dentro de los efectos crónicos tenemos:

- **Lesiones cutáneas**

La exposición crónica al arsénico en el agua de bebida causa lesiones muy características, pues se presenta hipocromías e hiperquemosis (en forma de gota de agua) principalmente en las partes no expuestas del cuerpo, hiperqueratosis palmoplantar e hiperqueratosis

papular en cualquier parte del cuerpo excepto palmas y plantas, así como también lesiones ulceradas compatibles con un diagnóstico de carcinoma epidermoide (Albores y col., 1997, p. 8).

- **Lesiones de la mucosa**

La irritación de la mucosa del aparato respiratorio puede resultar en una rionofaringotraqueobronquitis crónica, esta irritación crónica de las vías superiores altas, por lo general termina en la perforación del tabique nasal en su parte cartilaginosa. Mientras que el desarrollo de una conjuntivitis puede terminar en necrosis e incluso ulceración de la córnea (Galvaño & Corey, 1987, p. 19).

- **Alteraciones en el sistema cardiovascular**

La exposición crónica por inhalación de compuestos de arsénico inorgánico afecta el sistema cardiovascular, pues altera la despolarización del miocardio y causa arritmias cardiacas. Debido al incremento de la permeabilidad capilar, se produce hipovolemia y choque. En trabajadores y en poblaciones expuestas a arsénico en el agua potable, se han descrito efectos vasculares periféricos caracterizados por cianosis y pérdida progresiva de la circulación en las extremidades, debido a este síntoma se finaliza en gangrena seca, mejor conocida como enfermedad del pie negro (Albores y col., 1997, p. 8).

GRÁFICO 1-5. Síntomas típicos de la arsenicosis: gangrena seca



Fuente: (Caporale, 2011, p. 39)

- **Alteraciones en el metabolismo del grupo hemo**

La ruta metabólica del grupo hemo puede sufrir alteraciones por la exposición al arsénico, algunos metales y diversos compuestos químicos. La administración de As^{3+} causa un incremento en las actividades de la sintetasa del ácido 5-aminolevulínico y la hemo oxigenasa, así como una depresión en las actividades de las carboxilasas del uroporfirinógeno y el coproporfirinógeno. Se ha observado una alteración en la excreción urinaria de intermediarios de la síntesis del grupo hemo en poblaciones humanas crónicamente expuestas a arsénico en el agua de consumo (Albores y col., 1997, p. 9).

- **Efectos neurológicos**

Se han observado signos de neuropatía central y periférica en trabajadores expuestos a arsénico por las vías oral e inhalatoria, lo que afecta tanto a las fibras motoras como a las sensoriales produciendo degeneración y desmielinización axonal (Albores y col., 1997, p. 9).

- **Alteraciones hepáticas**

Se ha observado pocos casos en los que se ha logrado evidenciar un daño importante en el hígado, dentro de estos daños tenemos cirrosis hepática, cáncer primario de hígado y cáncer hepatobiliar (Galvaño & Corey, 1987, p. 20).

- **Mutagenicidad y cáncer**

El arsénico inorgánico es un agente carcinogénico, por lo tanto al arsénico se ha clasificado por la IARC (*International Agency for Research on Cancer*) carcinógeno en humanos, pues esta agencia ha ubicado al arsénico en el grupo I, asociándolo a tumores de piel, pulmón, vejiga, hígado, riñón y próstata (Oyanedel, 2015, p. 7) (Albores et al., 1997, p. 9).

Aún no se conoce el mecanismo por el cual el arsénico induce daño al material genético, ya que no parece alterar directamente al ADN, sino que, posiblemente inhibe las enzimas que intervienen en su replicación y reparación. También se ha propuesto (Albores y col., 1997, pp. 9-10):

- a) Que el As actúa como co-carcinógeno con otros agentes, o bien interviniendo con la respuesta inmunológica de los individuos.

- b) Por los radicales libres que este elemento produce, puede dañar el material genético. Debido a la capacidad del As^{5+} para simular al fosfato en los enlaces diéster del ADN.

1.3.1.7. Diagnóstico o confirmación de envenenamiento

Para el diagnóstico de arsénico se puede realizar en los fluidos corporales, encontrándose así:

CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN ORINA

Los valores inferiores a 10 $\mu\text{g/L}$ son considerados como normales, cuando sobrepasan los 100 $\mu\text{g/L}$ hay que investigar la procedencia de dicho arsénico y superiores a 200 $\mu\text{g/L}$ deben considerarse como valores tóxicos, debiendo tener en cuenta que desaparece a los pocos días de la exposición y que muchas veces una ingesta rica en arsénico, por ej. pescado, puede dar valores superiores a los mencionados anteriormente (Sánchez, 2014, pp. 4-7).

CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN SANGRE

Las concentraciones de arsénico en sangre, orina y otros materiales biológicos se pueden medir mediante la incineración seca o húmeda, seguido de una espectroscopia de absorción atómica. Las muestras de sangre tienden a estar correlacionadas con la muestra de orina durante las primeras etapas críticas de ingestión, pero debido a que el arsénico desaparece rápidamente de la sangre, la muestra de orina de 24 horas permanece como el método preferido para la detección y continua observación.

Los valores 100 µg/L se consideran como sospechosas, excreciones sobre 200 µg al día refleja una ingestión toxica, al no ser que haya ingerido mariscos (Sánchez, 2014, pp. 5-7) (Polo, 2009, p. 37).

CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN CABELLO O UÑAS

Los valores por encima de 5 mg/kg son patológicos, y se pueden medir entre los seis a doce meses de la exposición (Sánchez, 2014, pp. 4-7).

Antes de la realización del análisis de la muestra, es necesaria la preparación de la misma (Suárez y col., 2004, p. 10):

- Para ello, adicionamos a la muestra HNO₃ concentrado evaporando hasta sequedad para posteriormente llevar a un horno mufla con objeto de incinerar la muestra. La temperatura que se debe alcanzar es de aproximadamente 425°C, la cual mantenemos por 12 horas.
- Tras este periodo de tiempo se deberían obtener unas cenizas blancas que humedecemos con agua para posteriormente añadir HCl o HNO₃. Con ello se pretende disolver totalmente las cenizas, agitando si fuera necesario.
- Si las cenizas no fueran totalmente blancas adicionamos HNO₃ al 10%, evaporamos nuevamente y repetimos el proceso de calcinación en el horno mufla.
- Cuando tenemos las cenizas blancas y disueltas aforamos las muestras a 25 ml de una disolución de 6M HCl, quedando de esta manera listas para su análisis.

Las pruebas de laboratorio que se usan o han usado para la determinación de compuestos arsenicales son las siguientes (Suárez y col., 2004, pp. 10-11):

a) Reacción de orientación

Test de Reinsch: es una prueba sensible, que se caracteriza porque no requiere la destrucción previa de la materia orgánica y que se puede realizar con orina, materias vomitadas o vísceras.

b) Método de Gutzeit: básicamente consiste en hacer pasar una corriente de hidrógeno nascente sobre la muestra; si en ella hay compuestos arsenicales se reducirán a arsina e identificaremos con nitrato de plata (1:1) que impregna un papel de filtro dejado secar.

c) Método Marsh: es similar al anterior ya que gracias a la presencia de hidrógeno nascente, si hay As oxidado, este se reducirá a arsina, que descomponemos por calentamiento dando As metaloideo con una coloración pardo-negra característica.

No obstante, estos tres métodos solo proporcionan resultados cualitativos por lo que actualmente están en desuso y solo tienen valor como práctica de laboratorio, por lo que actualmente se usan los siguientes (Suárez y col., 2004, p. 11):

a) Métodos colorimétricos: estos están inspirados en el método de Gutzeit y son capaces de determinar cuantitativamente niveles de As. Para ello usamos papeles reactivos y medimos la intensidad de la coloración producida.

b) Espectroscopía de absorción atómica (EAA): es el método más usado para investigar elementos minerales debido a su gran precisión y sensibilidad. El haz radiante específico para el As se corresponde con las longitudes de onda a 193,7 197,2 nm. No obstante este método no es capaz de distinguir entre especies pentavalentes, trivalentes u organometálicas

1.3.1.8. Tratamiento

La terapéutica en la intoxicación oral aguda se fundamenta en la aspiración y lavado gástrico con volumen controlado, tratamiento del shock, del edema pulmonar y del daño del miocardio o hepático en su caso (Suárez y col., 2004, p. 12).

TABLA 1-7. Tratamiento en caso de envenenamiento con arsénico

ANTÍDOTO	ACCIÓN	DOSIS	TIPO DE PACIENTES
BAL® (dimercaprol)	Libera el As de las combinaciones enzimáticas reanudando la actividad bioquímica y favoreciendo su eliminación al aumentar su solubilidad al unirse con el BAL®, reduciendo su toxicidad.	1,5 a 3 mg/Kg/dosis, según severidad puede resultar beneficioso. En general el primer día una dosis cada 4 horas distanciando las dosis en los días siguientes hasta la desaparición de los síntomas.	Pacientes sintomáticos como asintomáticos
ácido dimercaptosuccínico (análogo del BAL) o DMSA o succimer	Eficaz y además menos tóxico en comparación al dimercaprol que es inyectable	10 mg/Kg cada 8 horas por 5 días, seguido por 10 mg/Kg cada 12 horas por 14 días adicionales. (máximo de 500 mg per dosis)	Debe administrarse tanto a que hayan tomado una dosis tóxica o cuando cuantificamos arsenurias superiores a 200 mg/l.
penicilamina (Cupripen®)	El rápido descubrimiento de su actividad quelante del cobre, cinc, mercurio y plomo condujo a su utilización en la enfermedad de Wilson (degeneración hepatolenticular por exceso de cobre) y en la intoxicación por metales pesados.	250 mg cada 6 horas, administrada de 30 a 60 minutos antes de cada comida por un periodo de 5 días.	Intoxicaciones crónicas

Fuente: (Suárez y col., 2004, pp. 12-13)

Para intoxicaciones por arsenamina ninguno de los tratamientos anteriores es eficaz ya que en estos casos debe realizarse una transfusión de sangre para evitar la hemólisis.

1.3.2. Los cereales

El nombre de los cereales se deriva de “*Ceres*”, la diosa romana de la agricultura, pertenecen al grupo de las gramíneas; este tipo de alimentos son indispensables en cualquier dieta por su alto contenido en hidratos de carbono (almidón), el cual aporta energía de alta calidad, también son ricos en vitaminas, minerales y son una fuente muy importante en fibra (Ramos, 2013, p. 26).

De acuerdo a las recomendaciones a la OMS (Organización Mundial de la Salud), el aporte energético de una alimentación saludable y equilibrada debe provenir de los hidratos de carbono en un 55% (nutriente principal de los cereales), de grasas un 30% y un 15% de las proteínas (Ramos, 2013, p. 26).

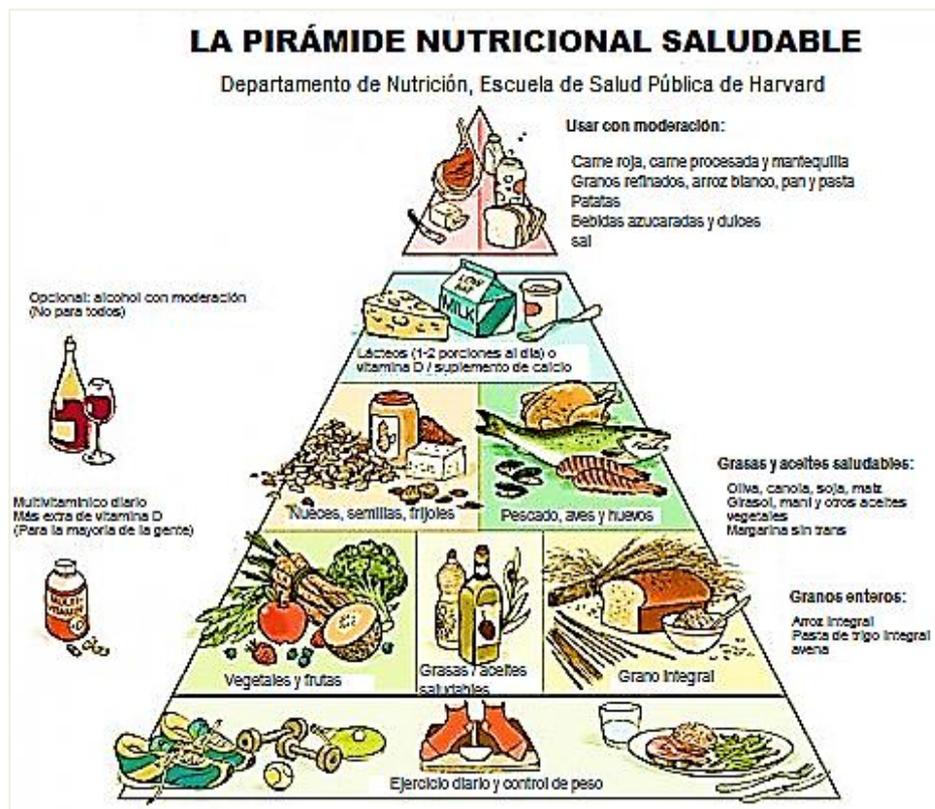
El consumo de los cereales a nivel mundial se incrementó en un 3% en los años 2014/2015 alcanzando un máximo de 1.989 millones de toneladas, estas cifras incluyen 660 millones para alimentos ($\pm 1\%$ interanual), 879 millones para piensos ($\pm 5\%$), 323 millones para usos industriales ($\pm 2\%$) y un ($\pm 2\%$) para otros destinos en los cuales se incluyen semillas y desperdicios (CIC, 2016). Mientras que para el año 2016/2107 se estima 2.069 millones de toneladas en la producción mundial de cereales (CIC, 2016 b, p. 10).

Más del 75% del comercio internacional de cereales se reparte entre 8 países y la UE, pues la mayoría de ellos pertenecen al grupo de países avanzados, mientras que los países en vías de desarrollo obtienen apenas un tercio de hectárea de rendimiento con respecto a los otros.

El trigo, maíz y arroz son los principales cereales cosechados anualmente por Canadá, USA, Argentina, Rusia, Ucrania, Kazajstán y UE en este orden (Agrinews, 2014, pp. 1-2).

Los cereales utilizados en la alimentación humana son el arroz, maíz, trigo, pero también resultan importantes la avena, cebada, centeno y el mijo.

GRÁFICO 1-6. Pirámide Nutricional de Harvard



Fuente: (López, 2014, p. 1)

1.3.2.1. Arroz

El arroz pertenece a la familia de las gramíneas cuyo fruto es comestible, forma parte de los alimentos básicos; por tal motivo se lo usa en muchas culturas culinarias (en especial en la cocina asiática), pero también se lo consume en América Latina. Este cereal es el segundo grano más producido a nivel mundial, tras el maíz (Pincioli, 2010, pp. 10-12).

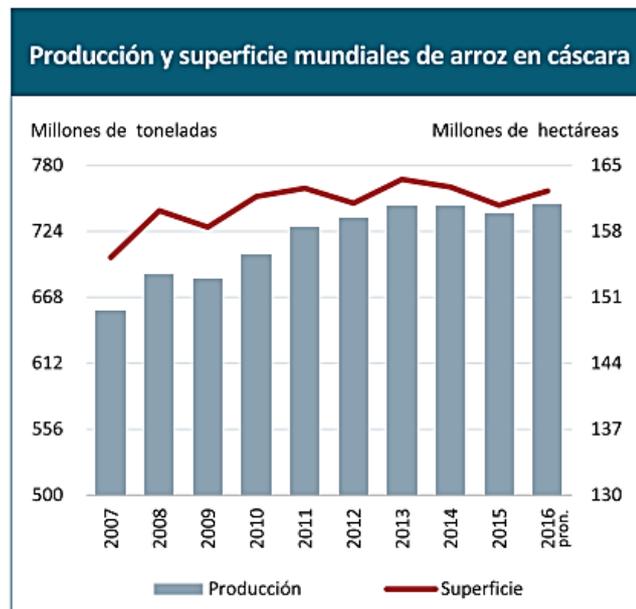
GRÁFICO 1-7. Grano de arroz



Fuente: (Ramos, 2013, p. 66)

La producción mundial de arroz en el año 2015 fue de 490,5 millones de toneladas de acuerdo a datos emitidos por la FAO, mientras que para el año 2016 la producción de este cereal aumenta a 746,8 millones de toneladas de arroz con cáscara (496,0 millones de toneladas de arroz elaborado) debido a las mejoras en las condiciones meteorológicas que impulsan a la recuperación de las superficies cultivadas con arroz (FAO, 2016, pp. 1-2).

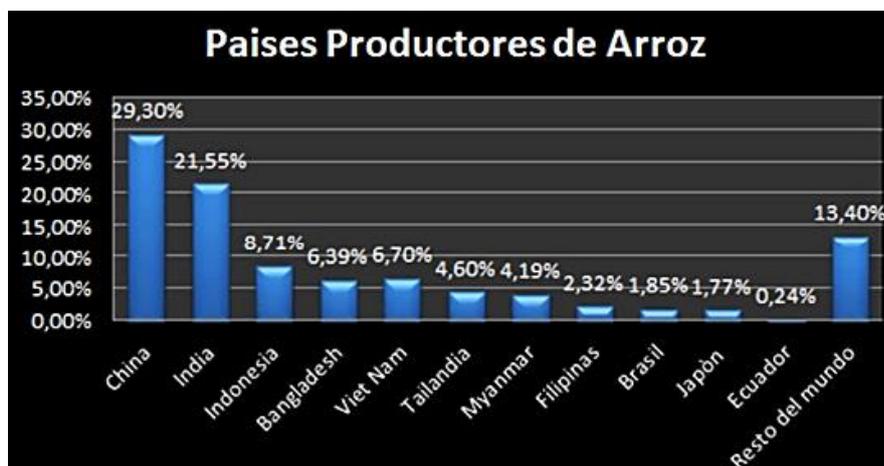
GRÁFICO 1-8. Producción y superficie mundiales de arroz en cáscara



Fuente: (FAO, 2016, p. 1)

Los países con mayor producción de arroz son la India, República Democrática Popular Lao, Pakistán, Estados Unidos. Egipto, Republica Unida de Tanzania, Colombia, Bangladesh, Brasil, China, Nicaragua y Sri Lanka (FAO, 2016, p. 1).

GRÁFICO 1-9. Principales países productores de arroz (según INEC)



Fuente: (Vargas, 2015, p. 64)

Según la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura (FAO), la producción de arroz en el Ecuador ocupa el puesto N° 26 a nivel mundial (2010), además de considerarnos uno de los países más consumidores de arroz dentro la Comunidad Andina (Zambrano, 2012, p. 11).

En cuanto a los países que forman parte de la CAN (Comunidad Andina de Naciones), en el 2011 el Ecuador ocupó el tercer lugar con 1,4 millones de toneladas métricas de arroz en cáscara (Torres y Fierro, 2015, p. 156).

En el Ecuador las siembras se los realizan en varias provincias como Manabí, Guayas, Los Ríos, Loja, El Oro y Cañar; en dichas cosechas se obtienen un arroz en cáscara con 20% de humedad y 5% de impurezas, para el año 2015 se reportó 4,78 toneladas/hectárea cuyo rendimiento mayor se vio reflejado en Loja con 6,75 toneladas/hectárea, seguido de Guayas con 5,23 toneladas/hectárea, Los Ríos con 5,12 toneladas/hectárea y finalmente El Oro con 3,68

toneladas/hectárea (BCE, 2015, pp. 9-15). Mientras que datos obtenidos de la FAO hasta julio 2016 se reporta 1,2 millones de toneladas de producción de arroz en cáscara a nivel mundial (FAO, 2016, p. 1).

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) informa sobre el consumo de arroz en el Ecuador de 53, 2 kg al año, es decir 117,04 libras por persona (Telégrafo, 2014, p. 1), en nuestro país el consumo es elevado de acuerdo a comparaciones realizadas por la FAO con Colombia donde el consumo llega a 40 kg de arroz por persona y en Perú el consumo es 47,4 kg (Alvarado, 2013, pp. 1-3). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) el consumo por persona es de 57 kilos.

1.3.2.2. Taxonomía del Arroz

TABLA 1-8. Clasificación taxonómica del arroz

CATEGORÍA	DENOMINACIÓN
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Subclase:	Commelinidae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Género:	Oryza
Especie:	Sativa
Nombre científico:	Oryza sativa L.
Nombre vulgar:	Arroz

Fuente: (Villar, 2009, p. 53).

1.3.2.3. *Morfología de la planta de arroz*

El arroz es una planta de tamaño que varía de 0,4 m (enanas) hasta 7 m (flotantes) cuyos tallos son cilíndricos y huecos, con nudos y entrenudos a las mismas están adheridas unas hojas bastante planas, su terminación es una espiga y están adaptadas para crecer en suelo inundados, pero también pueden crecer en suelo secos (Villar, 2009, p. 53).

La planta está dividida en:

- **Órganos vegetativos:** raíces, tallos y hojas
- **Órganos florales:** conjunto de espiguillas (panoja)

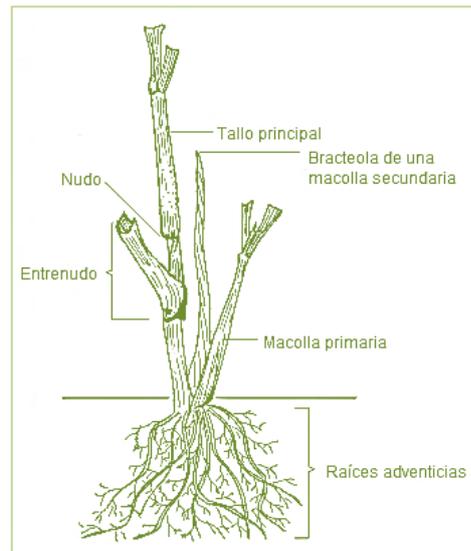
RAÍCES

Estas raíces son de tipo fibroso que consiste en radículas y pelos radicales. Inicialmente las raíces embrionarias son gruesas y de poca duración y son reemplazadas por raíces adventicias secundarias que se originan a partir de los nudos subterráneos de los tallos jóvenes las mismas se ramifican libremente (Villar, 2009, p. 53) (Valladares, 2010, pp. 11-14).

TALLO

Corresponde a la estructura de la planta cuya longitud varía de 30 a 70 cm, los tallos se componen de nudos y entrenudos en orden alterno. El nudo lleva una hoja y una yema que puede enrollarse y formar un retoño o macollo (Villar, 2009, p. 53) (Valladares, 2010, pp. 11-14).

GRÁFICO 1-10. Tallo de la planta de arroz



Fuente: (Valladares, 2010, p. 12)

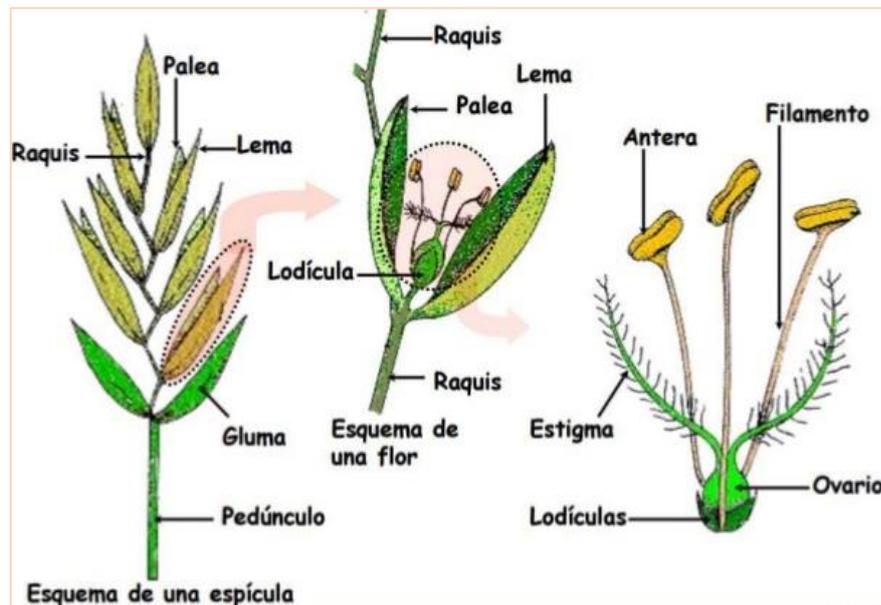
HOJAS

Son aplanadas y largas dispuestas en ángulo formando dos hileras a lo largo del tallo, una en cada nudo, la hoja está sujeta al nudo por medio de una vaina, la misma que envuelve al entrenudo inmediatamente superior hasta su próximo nudo. En cada tallo de la hoja, en el sitio de unión con la vaina se encuentra un par de apéndices en forma de aurículas (oreja) y por encima de estas existe una estructura triangular de consistencia papelosa llamada lígula. La hoja más alta por debajo de la panoja se la conoce como hoja bandera (Villar, 2009, p. 53) (Valladares, 2010, pp. 11-14).

INFLORESCENCIA (PANOJA, PANÍCULA O ESPIGA)

Son las prolongaciones de los tallos a partir del último nudo denominado ciliar, por lo tanto el último entrenudo corresponde al pedúnculo. Esta panoja es bastante densa y ramificada, permanece erecta durante toda la etapa de floración y a medida que va llenando los granos se dobla continuamente sobre su propio eje debido al peso que adquieren los granos (Villar, 2009, p. 53) (Valladares, 2010, pp. 12-13).

GRÁFICO 1-11. Estructura de una espiga de arroz



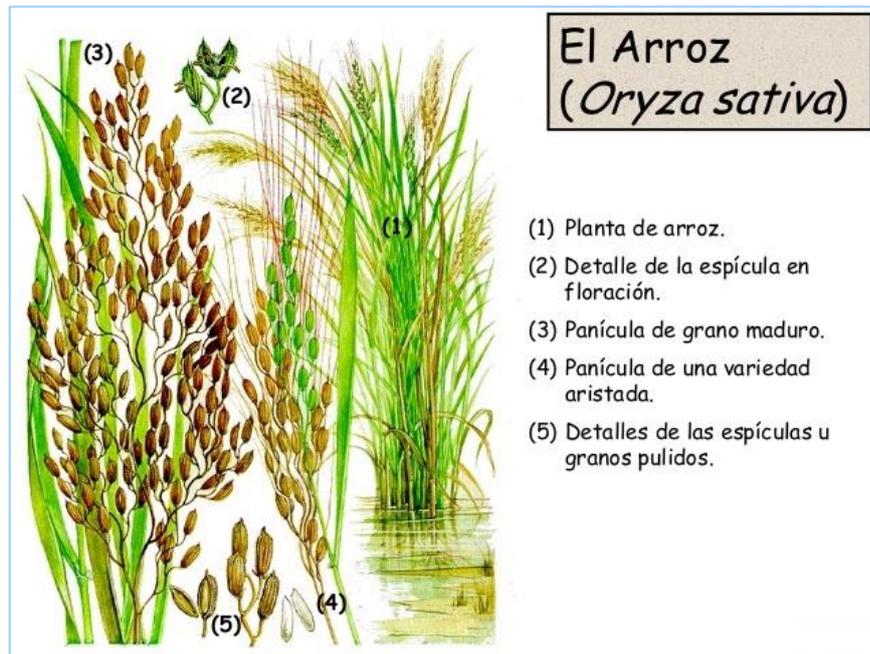
Fuente: (Google, 2016)

La flor está constituida por seis estambres que consta de filamentos delgados donde nacen las anteras cilíndricas que contienen entre 500 y 1000 granos de polen cada una, un pistilo con un ovario, dos estilos y dos estigmas plumosos y por último se encuentra dos estructuras transparentes llamados glumélulas o lodículas. La etapa de la floración se inicia con la ruptura de las anteras ubicadas en las espigas terminales de la rama de la panoja (Villar, 2009, p. 53) (Valladares, 2010, pp. 13-14).

ESPIGUILLA

Está formado por un pequeño eje denominado raquis, sobre el cual encontramos una flor simple constituida por dos brácteas denominadas glumas estériles, dos brácteas superiores denominadas glumas florales, las mismas que en conjunto forman la caja floral (Villar, 2009, p. 53) (Valladares, 2010, pp. 13-14).

GRÁFICO 1-12. Partes de la planta de arroz



Fuente: (Google, 2016)

FRUTO (GRANO)

El fruto o grano de arroz esta formador por (Vega, 2014, p. 21):

- **Cáscara:** se trata de la capa más externa del fruto, es una especie de paja que cubre por completo al grano. Las cáscara constituye el 20% del peso bruto del arroz, está compuesta por las cubiertas florales lemma y palea. La cáscara está compuesta por:
 - * **Celulosa:** 25%
 - * **Pentosanas:** 15%
 - * **Cenizas:** 21% (sílice en 95%)

Debido a las grandes cantidades de lignina y de sílice el valor de la cascara es baja.

- **Salvado:** es la capa que se encuentra justo después de la cáscara, debajo de esta capa se encuentra el embrión y el endosperma, nace a partir del pericarpio y está constituida por

celulosa, polisacáridos (apreciable contenido de almidón 21-28%), proteínas (composición en aminoácidos esenciales), grasa (12-18%), minerales (en especial fósforo en 1,35%, pero en su mayor parte está en forma de fitatos 90%) y agua pues comprende alrededor de 15% del peso del cereal. La principal característica del salvado de arroz es su alto contenido en grasa poliinsaturada (4% de ácido linoleico) motivo por el cual el riesgo de enranciamiento es elevado (Vega, 2014, p. 26).

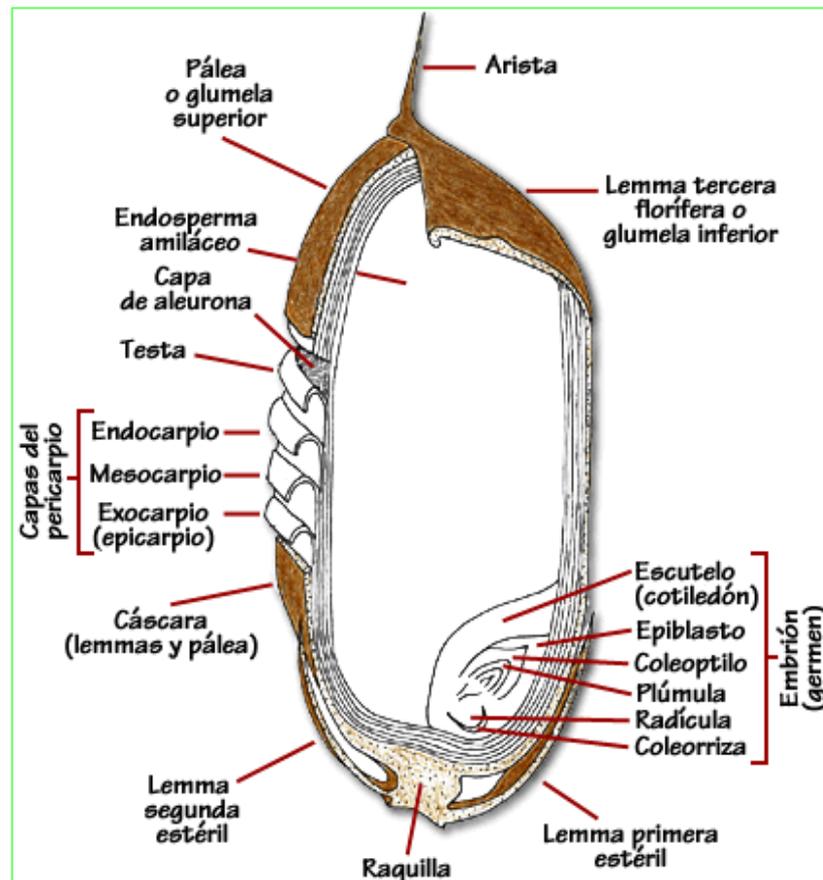
- **Pericarpio:** es la capa más externa del grano y se compone de 3 capas:
 - * **Epicarpio:** capa más externa que cubre todo el grano
 - * **Mesocarpio:** esta capa está compuesta de fibras, celulosa y hemicelulosa.
 - * **Endocarpio:** es la capa más interna del pericarpio rica en minerales y vitaminas (Vega, 2014, p. 23).

- **Embrión o germen:** es la parte más interna del grano, la misma es separada del resto por células que forman una especie de collar que se denomina escutelo. El germen es rico en vitaminas del grupo B, especialmente vitamina B1 (tiamina), vitamina B2 (riboflavina) y vitamina B3 (niacina). Este embrión contiene todos los nutrientes necesarios para formar una nueva planta (Vega, 2014, pp. 26-27).

- **Aleurona:** es la capa más externa del endosperma, es eliminada junto con el pericarpio y cubiertas de la semilla.

- **Endosperma:** es duro y vítreo, está dividido en dos regiones:
 - * **Subaleurona:** localizada debajo de la aleurona
 - * **Región central:** es el resto del endospermo. Está formado por células parenquimatosas de paredes delgadas que contienen gránulos de aleurona y algunos cuerpos proteicos. Su contenido de almidón es alto (Vega, 2014, pp. 28-29).

GRÁFICO 1-13. Estructura del grano de arroz



Fuente: (Vega, 2014, p. 28)

1.3.2.4. Manejo del cultivo de arroz

Debido a que en el Ecuador existen dos tipos de siembras, sus condiciones para el manejo del cultivo de arroz serán diferentes. Para el cultivo de arroz se requiere el control de varios parámetros, los que se detallan a continuación (INIAP, 2010, pp. 5-6):

CLIMA

Se trata de un cultivo tropical y subtropical, aunque la mayor producción se concentra en los climas húmedos tropicales, por lo estos climas presenten características como:

TABLA 1-9. Comparación del clima entre el arroz inundado y arroz seco

CONDICIONES	ARROZ INUNDADO	ARROZ SECANO
Lluvia	1000 mm	2000-2500 mm
Luz	Zonas con bastante luminosidad. Por lo menos 1000 horas de sol durante su ciclo vegetativo o anual.	Por lo menos 1000 horas de sol durante su ciclo vegetativo o anual.
Temperatura	22-30°C Considerándose óptimo entre 30-35°C. Mientras que por encima de los 40°C no se produce la germinación.	22-27°C

Fuente: (Delgado, 2009, p. 6) (INIAP, 2010, p. 5)

PREPARACIÓN DE SUELO

El cultivo de esta gramínea se realiza bajo condiciones de terreno seco o inundado (INIAP 2010, p. 5):

- **Suelo seco:** se puede usar la combinación de arado, romplow (o rastra de tiro) y rastra o uso individual de alguna de ellas.
- **Suelo inundado:** se debe realizar fanguero, que consiste en batir el suelo previamente inundado con un tractor provisto de las conocidas canasta de hierro que reemplaza a las llantas convencionales. Es necesario nivelar el terreno cuando exista una depresión importante en el terreno.

- **pH:** La mayoría de los suelos tienden a cambiar su pH hacia la neutralidad pocas semanas después de la inundación. El pH óptimo para el arroz es 6.6, pues con este valor la liberación microbiana de nitrógeno y fósforo de la materia orgánica, y la disponibilidad de fósforo son altas y además las concentraciones de sustancias que interfieren la absorción de nutrientes, tales como aluminio, manganeso, hierro, dióxido de carbono y ácidos orgánicos están por debajo del nivel tóxico.

SEMILLA

En el Ecuador las siembras iniciales de arroz se realizaron con materiales criollos y variedades introducidas de Colombia, como la Orizica 1. El Programa Nacional del Arroz del INIAP desde 1971 ha entregado 13 variedades de arroz provenientes de diferentes orígenes, siendo éstas las siguientes (INIAP, 2012a, p. 1):

- INIAP 2, INIAP 6 de origen IRRI-Filipinas (entregadas en 1971)
- INIAP 7, INIAP 415, INIAP 10, INIAP 11, INIAP 12 de origen CIAT – Colombia (entregadas en 1976, 1979, 1986, 1989, 1994 respectivamente)
- INIAP 14 de origen IRRI-Filipinas (entregada en 1999)
- INIAP 15, INIAP 16, INIAP 17 e INIAP 18 de origen INIAP-Ecuador (entregadas en 2006, 2007, 2010 respectivamente)

Las variedades INIAP 11, INIAP 12, INIAP 14, INIAP 15, INIAP 16, INIAP 17 e INIAP 18, son precoces que permiten sembrar bajo condiciones de riego en siembra directa, tres ciclos al año.

SIEMBRA

Para lograr una buena germinación y establecimiento del cultivo debe usarse semilla certificada ya que de esta manera se asegura la pureza de la semilla y evitar la introducción de malezas indeseables (INIAP, 2010, p. 5).

TABLA 1-10. Época y forma de siembra de arroz

		ARROZ INUNDADO	ARROZ SECANO
Época		En verano con riego (junio-julio)	Al inicio de las lluvias (diciembre- enero)
Cantidad	Siembra directa	Usar 72,6 a 90,7 kg. de semilla por hectárea. Para semilleros use 150 a 200 granos de semilla por metro cuadrado.	Cuando se realiza mediante máquina, voleo espeque se debe usar 80 kg/ha de semilla certificada (170 libras).
Siembra	Siembra directa	Puede hacerse en hileras distanciadas a 20 cm regando la semilla a chorro continuo. Puede sembrarse directamente también al voleo en tierra seca, o sobre agua con semilla pregerminada.	Se realiza en hileras a distancias de 18 o 20 cm, a chorro continuo (manual o con sembradora). Puede sembrarse también al voleo, incorporando la semilla con un pase de rastra superficial. En siembras a espeque, la distancia entre hileras es de 30 cm por 20 cm entre golpes.
	Siembra por trasplante	Se realiza con plántulas de 20 a 25 días. La distancia entre hileras es de 30 cm, por 20 cm entre golpes, dejando 3 plántulas por sitio.	
Antes de la siembra, tratar la semilla con GERMINOX® usando 170 gramos por cada 50 libras de semilla para tener una buena germinación.			

Fuente: (Delgado, 2009, p. 7) (INIAP, 2010, p. 5).

FERTILIZACIÓN

Se recomienda la fertilización del suelo con nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y otros elementos (Delgado, 2009, p. 8).

- **Antes de la siembra:** se debe incorporar P y K
- **Después de la siembra:** se debe incorporar N en dos fracciones iguales a los 20 y 40 días de edad del cultivo sembrado directamente o a los 10 y 30 días después del trasplante, si fuese este el método.

Siempre es recomendable regirse en base a los resultados de un análisis de suelos, pero según los fertilizantes utilizados según la INIAP tenemos:

TABLA 1-11. Principales fertilizantes usados en cultivos de arroz

FERTILIZANTES	ETAPA	ACCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Urea • Muriato de potasio • Sulfato de amonio • Algasoil • Double Win • Ácidos húmicos • Crisabono® 	Fertilización edáfica	Incorporar P, N, Zn y completar con el enriquecimiento del suelo
<ul style="list-style-type: none"> • Cytokin® • Solugro • Fertall zinc® • Zinquel® 	Entre 18-35 días para mayor desarrollo radicular y macollamiento.	Para suelos con deficiencias de zinc y raíces rojas por intoxicación de hierro
<ul style="list-style-type: none"> • Newfol Plus • Newfol-Ca • Fertall Hierro 	Entre 50 y 60 días	Para el embuchamiento y formación de la panícula.
<ul style="list-style-type: none"> • New gibb 10 • Newfol-Boro • Crop- Finisher 	Entre 70 y 80 días	Para obtener un mejor llenado y cuajado del grano

Fuente: (INIAP, 2012b, p. 6) (Delgado, 2009, pp. 7-8)

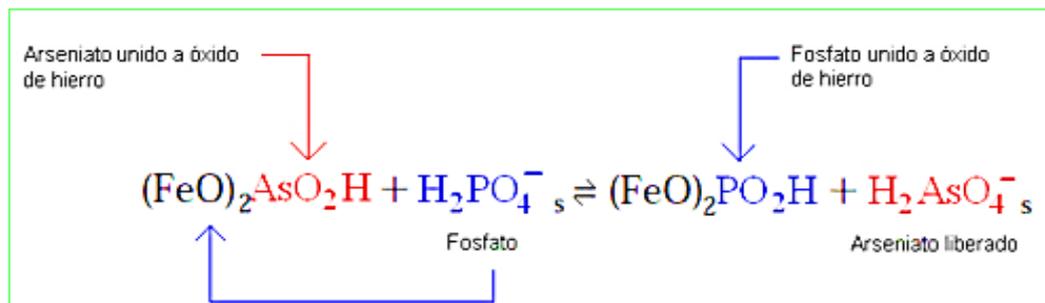
GRÁFICO 1-14. Fertilizantes



Fuente: (Delgado, 2009, p. 7)

Cuando en un suelo contaminado con arsénico se realiza una excesiva fertilización con fosfato, este desplazará al arseniato acumulado en el suelo de las posiciones de adsorción, dejándolo disponible para el consumo de las plantas (Venegas, 2014, p. 1).

GRÁFICO 1-15. Reacción química de competencia entre fosfato y arseniato sobre óxido de hierro



Fuente: (Venegas, 2014, pp. 1-2)

CONTROL DE MALEZAS

Las malezas constituyen uno de los principales problemas en el cultivo de arroz, pues la presencia de éstas causa considerables disminuciones en el rendimiento, aumentan la incidencia de plagas,

elevan los costos de producción, originan problemas durante el secado y limpieza de la cosecha y disminuye la calidad general del grano.

El control químico es el principal medio para combatir, una sola aplicación de herbicidas no es suficiente para el control, siendo necesaria una deshierba mecánica complementaria (INIAP, 2010, p. 5).

Entre algunos productos químicos para control de malezas tenemos:

TABLA 1-12. Principales productos químicos (herbicidas) para cultivos de arroz

PRODUCTO QUÍMICO	ETAPA	ACCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Cerillo o Herboxone® 254 CS (Paraquat) • Ranger o Glifonox® 480 CS (Glifosato) • Rondo M ® 317 CS (Glifosato + MCPA) 	Presiembra	Control total de malezas, limpieza de canales y caminos. También para la presencia de una excesiva cantidad de hojas anchas.
<ul style="list-style-type: none"> • Machete o Butanox® (Butaclor) • Pendimentalin 	Presiembra y preemergencia	
<ul style="list-style-type: none"> • Nox® 480 F (Propanil) • Propanex® 360 CE (Propanil) • Supernox® 480 CE (Propanil) • Fuego 500 (Propanil) • Dacocida • Gamit 480 	Postemergente temprano	Sobe las malezas de 1 a 3 hojas principalmente falsa caminadora o paja de trigo.
<ul style="list-style-type: none"> • Facet® (Quinclorac) • Noweed® • Newkill • Sulfonil® 483 F (Propanil+Metsulfuron-metil). 	Postemergencia temprana	Donde predominen Echinocloas, la piñita (Murdania nudiflora), betilla (Ipomoea spp) y lechosa (Euphorbia spp).
<ul style="list-style-type: none"> • Aura+Dash® • Basagran® M60 • Nox-d® 540 F (Propanil + 2,4-D). • Crisamina®720 CS (2,4-D) • Pamex® 480 CS (MCPA) 	Postemergencia	Control de malezas de hoja angosta como paja blanca, y coquitos y control de hojas anchas al macollamiento.

Fuente: (INIAP, 2012b, pp. 6-7) (Delgado, 2009, pp. 8-10)

GRÁFICO 1-16. Herbicidas



Fuente: (Delgado, 2009, p. 8)

CONTROLES FITOSANITARIOS

Las evaluaciones deben realizarse durante todo el ciclo de cultivo y determinar umbrales de acción (INIAP, 2010, p. 6).

Para el control de Insectos que atacan al arroz como: hidrellia, Cogollero (*Spodoptera frugiperda*), Cortador (*Agrotis sp*), Chinchorro del arroz (*Tibraca sp*), Pulgon (*Aphis spp*), Sogata (*Sogatodes oryzicola*), Novia del arroz (*Rupella albinella*) se puede utilizar los siguientes insecticidas (Delgado, 2009, pp. 10-11) (INIAP, 2012b, p. 7):

- Palmarol o Thionate® 35 CE (Endosulfan)
- Puñete® 480 CE o Pyrinox® 480 CE (Clorpirifos)
- Cipertox® 25 CE (Cipermetrina)
- Crisodrin® 60 CS (Monocrotofos)
- Crysaron® 600 CS (Metamidofos)
- Bronka® 25 CE (Alfa cipermetrina)
- Engeo® (Lambda cialotrina+Tiametoxan)
- Agresor® (Imidacloprid)
- Bala (cipermetrina+clorpirifos)

- Curacron 500 SC

Para la prevención y control de enfermedades que afectan al arroz como: Añublo (*Pyricularia oryzae*), Mancha lineal o parda (*Cercospora sp*), Mancha parda (*Bipolaris sp*), Escaldado de la hoja (*Rhizosporium oryzae*), Manchado Del grano (*Curvularia sp*), *Rhizoctonia oryzae*, *Sarocladium oryzae*, Helminthosporium (*helminthosporiosis sp*), se puede utilizar los siguientes fungicidas (Delgado, 2009, pp. 10-12) (INIAP, 2012b, p. 7):

- Benex® 50 F (Benomil)
- Thalonex® 500 F (Clorotalonil)
- Mancozin® 43 F (Mancozeb)
- Taspá® (propiconazole+difenoconazole)
- Kasumin® (kasugamicina)
- Phyton® (Sulfato Cobre Pentahidratado)

Para aumentar la efectividad en las aplicaciones de insecticidas, fungicidas y abonos foliares, se recomienda usar Mezclafix® (Hidrocarburo parafínico), Exit® (coadyuvante), normalmente actúan como adherente y penetrante para agroquímicos. También se recomienda el uso de Indicate-5 con el fin de regular el pH del agua y eliminar las sales.

RIEGO

Para el riego, el agua a utilizarse debe presentar buenas características.

- a) En siembra directa el primer riego debe darse lo más pronto posible.
- b) Después se darán 2 a 3 riegos hasta que las plantas tengan 25 a 30 días.
- c) Luego se procede a la inundación permanente. Se suspende el riego únicamente para fertilizar, aplicar herbicidas o insecticidas y 15 días antes de cosechar (Delgado, 2009, p. 12).

COSECHA

El arroz se debe cosechar cuando el 95% de los granos en las espigas tengan color pajizo (desteñado) y el resto estén amarillentos, lo que generalmente coincide con un 20 a 25% de humedad en el grano.

Generalmente la cosecha puede hacerse en forma mecánica usando combinadas o manualmente cortando las plantas con hoces para luego proceder al azoto, el que consiste en golpear manojos de plantas contra un madero situado en una lona (INIAP, 2010, p. 6) (INIAP, 2012b, pp.7-8).

GRÁFICO 1-17. Cosecha de arroz mediante máquinas



Fuente: (Delgado, 2009, p. 13)

ALMACENAMIENTO

El almacenamiento se lo realiza en graneros modernos, bodegas limpias y desinfectadas. El grano debe estar completamente seco con no más de 12% de humedad.

1.3.2.5. Composición química

El arroz es el cereal rico en almidón, se compone de amilosa y amilopectina, tienen un aporte pequeño de proteínas (7%), contiene una notable cantidad de vitaminas (tiamina, riboflavina y niacina), además contiene minerales como fósforo y potasio. Sin embargo, en su refinamiento y pulido existe una pérdida de 50% del contenido de minerales y el 85% de vitaminas del grupo B (FEN, 2011, pp. 39-40).

La composición química del arroz se detalla en la siguiente tabla:

TABLA 1-13. Composición química del arroz

	POR 100 g DE PORCIÓN COMESTIBLE	POR RACIÓN (70g)	RECOMENDACIONES	
			DÍA- HOMBRES	DÍA- MUJERES
Energía (Kcal)	381	267	3,000	2,300
Proteínas (g)	7	4,9	54	41
Lípidos totales (g)	0,9	0,6	100-117	77-89
AG saturados (g)	0,21	0,15	23-27	18-20
AG monoinsaturados (g)	0,23	0,16	67	51
AG poliinsaturados (g)	0,32	0,22	17	13
ω-3 (g)	0,008	0,006	3,3-6,6	2,6-5,1
C18:2 Linoleico (ω-6) (g)	0,315	0,221	10	8
Colesterol (mg/1000 kcal)	0	0	<300	<230
Hidratos de carbono (g)	86	60,2	375-413	288-316
Fibra (g)	0,2	0,1	>35	>25
Agua (g)	6,9	4,1	2,500	2,500
Calcio (mg)	10	7,0	1,000	1,000
Hierro (mg)	0,5	0,4	10	18
Yodo (μg)	2	1,4	140	110
Magnesio (mg)	13	9,1	350	330
Zinc (mg)	0,2	0,1	15	15
Sodio (mg)	6	4,2	<2,000	<2,000
Potasio (mg)	110	77,0	3,500	3,500
Fosforo (mg)	100	70,0	700	700
Selenio (μg)	7	4,9	70	55
Tiamina (mg)	0,05	0,04	1,2	0,9
Riboflavina (mg)	0,03	0,02	1,8	1,4
Equivalentes niacina (mg)	3,1	2,2	20	1,5
Vitamina B4 (mg)	0,30	0,21	1,8	1,6
Folatos (μg)	20	14,0	400	400
Vitamina B12 (μg)	0	0	2	2

Vitamina C (mg)	0	0	60	60
Vitamina A: Eq. Retinol (µg)	0	0	1,000	800
Vitamina D (µg)	0	0	15	15
Vitamina E (mg)	0,3	0,2	12	12

Fuente: (FEN, 2011, p. 40)

1.3.2.6. *Propiedades alimenticias*

Para lograr una alimentación balanceada, adecuada para nuestra salud, es necesario el consumo de nutrientes variados y en cantidades adecuadas, dentro del grupo de alimentos nutritivos están los cereales, leguminosas y verduras harinosas (Morice, 2011, p. 4).

El arroz pertenece al grupo de alimentos de los cereales, siendo uno de los cereales de mayor consumo a nivel global, así como una fuente esencial de nutrientes en la mayoría de países de América Latina y del mundo, por tal razón este cereal posee las siguientes propiedades (Morice, 2011, p. 4):

- Es una excelente fuente de energía por su elevado contenido de carbohidratos (almidón).
- El arroz por su digestibilidad y versatilidad en su preparación es ideal para la alimentación de la infancia y de la tercera edad.
- El arroz integral contiene cantidades importantes de fibra que facilita el tránsito intestinal y previene el estreñimiento.
- La cubierta fibrosa del arroz contiene fitosteroles, que ejercen un efecto reductor en los niveles de colesterol sanguíneo.
- Por su bajo contenido de sodio es de gran utilidad para las dietas de las personas con hipertensión, patologías renales y cardíacas.
- Es un gran beneficio en dietas para enfermos celíacos o personas que no deben consumir gluten.
- Contiene vitaminas y minerales como magnesio, vitamina B y triptófano, necesarias para el adecuado funcionamiento del organismo.

- Si se bebe el agua de arroz tiene un efecto astringente por lo que es de utilidad para la recuperación intestinal en casos de diarrea (Morice, 2011, p. 5).

1.3.2.7. Ingesta diaria recomendada (IDR)

TABLA 1-14. Ingesta Diaria Recomendada (IDR)

EDAD	ENERGÍA	PRODUCTOS	Kcal APORTADO	CANTIDAD	RACIONES
De 6 a 9 meses	680 cal/ día	Arroz	114 Kcal	2-3 cucharadas = 30 g	2-3 veces al día y mantener lactancia humana
De 9 meses a 1 año	752 cal/ día	Arroz	152 Kcal	40 g	2-3 veces al día
De 1 a 3 años	1300 cal/día	Arroz, cereal cocido, cereal listo para comer	179 Kcal	¼ plato de arroz 47 g	3-5 veces al día
Adultos	2000 - 2500 cal/día	Arroz	267 Kcal	1 plato normal de arroz cocido 60- 80 g	4-6 porciones al día

Fuente: (FAO, 2011, pp. 3-5) (Brizuela y col., 2013, pp. 129-130) (FAO, 2013, pp. 1-5) (Cereceda & Martín, 2007, p. 257) (Carbajal, 2013, p. 8)

1.3.2.8. Forma de contaminación con arsénico

La acumulación de arsénico en las plantas puede estar afectada por muchos factores, incluyendo las especies de plantas, el tipo de compuestos utilizados, los métodos de aplicación, las condiciones del suelo y la aplicación de fertilizantes.

Para reducir la ingestión de arsénico (As), es esencial conocer e identificar los mecanismos implicados en la acumulación y la desintoxicación de arroz. En los últimos años se han identificado sus mecanismos moleculares de la ingesta, el metabolismo y la translocación.

La química de arsénico (As) en la rizosfera es compleja y controlada por varios factores. Existe cuatro elementos importantes que participa en la ingesta de arroz Fe, P, S, Si (Bastías & Beldarrain, 2016, p. 114).

TABLA 1-15. Elementos en el suelo que interactúan con arsénico (As)

ELEMENTOS DEL SUELO	IMPORTANCIA
Hierro – Fe	<ul style="list-style-type: none"> * Sirve como una fuerte adsorción de As. * La disolución reductiva de oxihidróxidos de Fe bajo una reducción de la liberación de entorno adsorbe As, dando lugar a una mayor disponibilidad de As de las plantas. * Bacterias reductoras de Fe están vinculados en la movilización.
Fósforo – P	<ul style="list-style-type: none"> * Arseniato entra en las células de la planta a través de los transportadores de fosfato y también interfiere con el metabolismo del fosfato.
Azufre –S	<ul style="list-style-type: none"> * Ayuda a desintoxicar As a través de la formación de complejos de arsenito ricos en péptidos; estos compuestos también pueden ayudar a mantener igual en las raíces y restringir su translocación a los cultivadores. * Es particularmente importante la utilización de cantidades adecuadas de S en la fertilización del suelo en ambientes contaminados con As.
Silicio – Si	<ul style="list-style-type: none"> * La fertilización puede ser una estrategia eficaz para disminuir la acumulación As en arroz cultivado en suelo contaminado con As, ya que aumenta los niveles de antioxidantes, enzimas, isoenzimas, cisteína, GSH y NPSH. * También puede reducir As inducida por peroxidación lipídica en el arroz.

Fuente: (Bastías y Beldarrain, 2016, p. 118)

El hierro juega un papel importante en el ciclo biogeoquímico de oxihidróxidos, en el suelo y en la superficie de la raíz de las plantas el hierro absorbe el arsénico. La disolución reductiva de oxihidróxidos de hierro en un ambiente reductor libera arsénico que es absorbida por la planta de arroz, lo que lleva a una mayor biodisponibilidad del metaloide. El oxígeno es transportado por las raíces a través de aerénquima donde se consume por las células de los tejidos adyacentes o son difundidos hacia el ápice de la raíz o la rizosfera con pérdida de oxígeno radial (LOD). Se

puede oxidar elementos en el suelo de la rizosfera, por ejemplo Fe^{2+} a Fe^{3+} y provocar la precipitación de los metales tóxicos en el suelo y en la superficie de la raíz.

El parénquima se desarrolla en las plantas de arroz para transferir O_2 de las partes aéreas de la planta a las raíces, lo que conlleva a la oxidación de hierro ferroso en hierro férrico y la precipitación de óxidos de hierro o hidróxidos en la superficie de la raíz. Por lo tanto las interacciones de la rizosfera juegan un papel muy importante en el control de la biodisponibilidad de arsénico en los cultivos de arroz. Una de las fuentes principales de hierro es la fracción Fe-Mn-As, esta correlación débil entre Fe disponible y arsénico inorgánico en el grano de arroz podría deberse a las fracciones Fe-Mn-As o pH que influyen con hierro disponible (Bastías y Beldarrain, 2016, p. 119).

Otro elemento es fósforo (P) debido a que es un análogo de As^{5+} , fosfato (Pi), este elemento podría entrar en las células a través de transportadores de fosfato (Pi), que puede interferir con el metabolismo. El fosfato compite con As^{5+} y también con la adsorción de la raíz de los óxidos e hidróxidos de Fe. Cuando la concentración de fosforo aumenta, la absorción de arsénico (As) disminuye. Algunos estudios con diferentes tipos de suelo a diferentes concentraciones de P y Fe encontraron que existe una correlación positiva entre las concentraciones de Fe disponible y arsénico inorgánico en el grano, mientras que la correlación es negativa cuando el suelo tiene fosforo disponible.

También se supone que la movilidad de arsénico en suelos ricos en ácido orgánicos se reduce debido a que el ácido actúa como arsénico, un agente de unión y/o en la formación de compuestos insolubles que no permiten al arsénico ser absorbida por las raíces. El arseniato se puede incorporar en el ATP (adenosina trifosfato) mediante la sustitución de los fosfatos en los sitios de unión. Esta sustitución, junto con la inhibición de la fosforilación oxidativa y la interferencia en la síntesis ATP correcta, aumenta la toxicidad As^{5+} (Bastías & Beldarrain, 2016, pp. 117-119).

En el caso de azufre (S), esto ayuda a desintoxicar arsénico a través de la unión de As^{3+} con péptidos ricos en tiol. Esta formación de compuestos también puede ayudar a mantener arsénico en las raíces y restringir su translocación a los cultivadores. El arsenito es similar a grupos sulfhidrido existentes en los residuos de cisteína que tienen un efecto perjudicial sobre el

metabolismo general de las proteínas, lo que aumenta su toxicidad. El arsenito inhibe al piruvato deshidrogenasa mediante la unión a grupos sulfhidrilo dihidrolipoamida por la disminución de la conversión de piruvato en acetil-coenzima A (CoA). También inhibe la producción de glutatión que protege las células contra el daño oxidativo y la producción de fitoquelatinas (de las cuales glutatión es un componente crucial) como resultado de que el fitoplancton y plantas pierden la capacidad para desintoxicar numerosos metales pesados. El mantenimiento suficiente de S en la fertilización del suelo puede ser particularmente importante en ambientes contaminados con arsénico (Bastías y Beldarrain, 2016, pp. 117-119).

El papel de los transportadores de silicio (LSi1) en la absorción de arsénico es específicamente importante por las similitudes que existen entre ácido silícico y ácido arsenioso; esto permite que el ácido arsenioso penetre en la raíz por el transportador de silicio. La presencia de Silicio disminuye la fitotoxicidad y aumenta los niveles de enzimas antioxidantes y sus isoenzimas, también mejora las concentraciones de cisteína, GSH, y NPSH y reduce la peroxidación lipídica inducida por el arsénico en el arroz, la fertilización de silicio también puede ser una estrategia eficaz para disminuir la acumulación de arsénico en el arroz cultivado en suelos contaminados con arsénico (Bastías y Beldarrain, 2016, pp. 117-119).

LOS MECANISMOS PROPUESTOS PARA LA TRANSLOCACIÓN DE ARSÉNICO EN LA PLANTA DE ARROZ

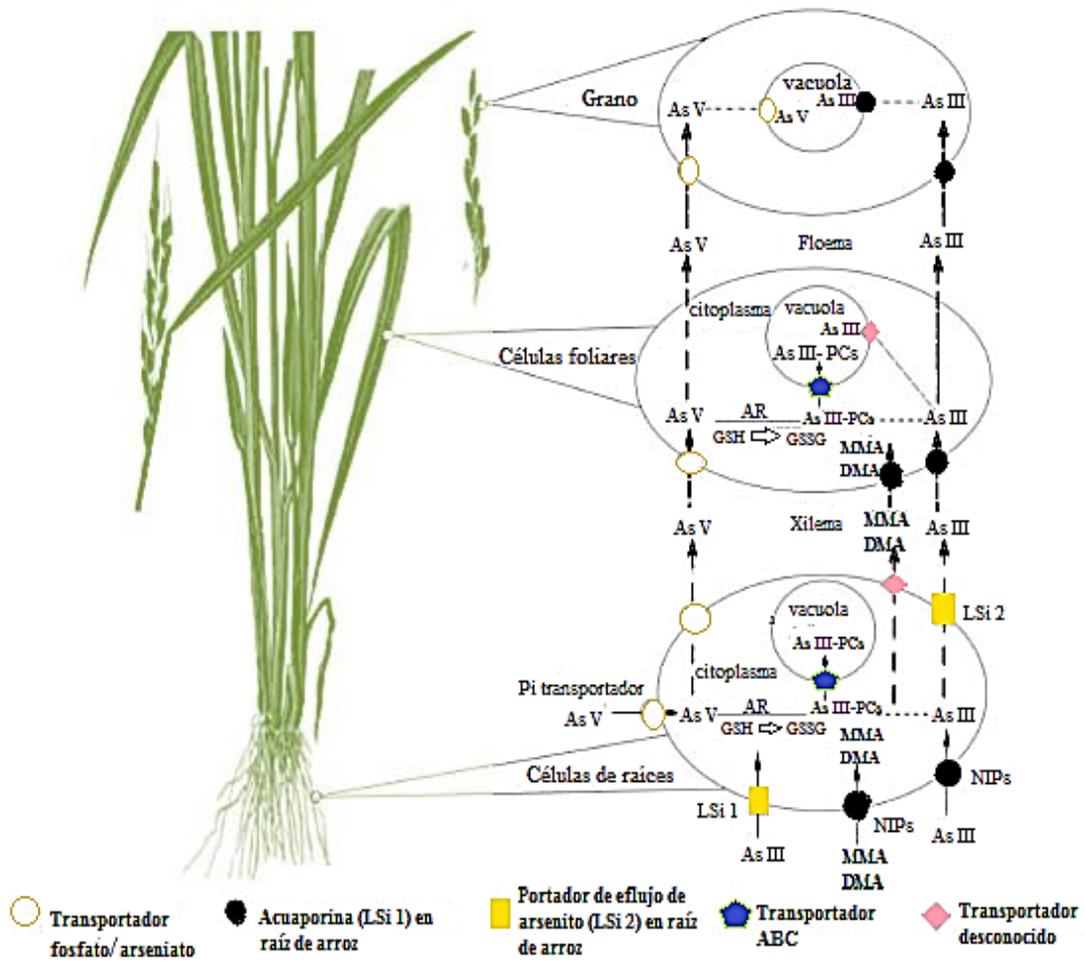
El arsénico es capaz de trasladarse desde la raíz hasta el grano de arroz. Algunos estudios, llevados a cabo con diferentes tipos de arroz, han demostrado que hay diferencias en la concentración de arsénico en partes de la planta con una disminución de la raíz a la fibra. Las mayores concentraciones de arsénico estaban en la raíz (248 ± 65 mg/kg) y la menor en el grano ($1,25 \pm 0,23$ mg/kg). Algunos estudios han sugerido que existe una baja acumulación de arsénico en el grano de arroz aunque las plantas crecen en ambientes contaminados con altas concentraciones del metaloide. En condiciones hidropónicas, las concentraciones de arsénico en raíces fue 107,5 mg/kg, mientras que disminuyeron entre 0,15 y 0,42 mg/kg en el grano (Bastías & Beldarrain, 2016, pp. 116-117).

La acumulación de metal en las plantas puede trasladar este elemento de forma rápida y eficiente a los cultivadores a través del xilema. Esto implica que el xilema se carga con este metaloide, pasa a las vacuolas y esto es debido a las características del tonoplasto celular de la raíz. La raíz absorbe arsénico como As^{5+} o As^{3+} . El arseniato penetra porque es muy similar a los transportadores de fósforo (Pi) que pertenece a la familia PHT1. La membrana plasmática de las células de la raíz también tiene una mayor densidad de los transportadores de Pi/ As^{5+} que otras plantas que no son acumuladores de arsénico debido a la sobreexpresión del gen constitutivo. El arsenito se absorbe a través de los PIN agua glicoproteínas (proteínas intrínsecas nodulin) y por los transportistas de silicio (LSi1). Las formas metiladas de arsénico, DMA, y MMA se absorben a través de las acuaporinas y utilizan el mismo mecanismo de glicerol (Bastías & Beldarrain, 2016, p. 116).

El arseniato en las células de la raíz se reduce por la reductasa de arsénico (AR) para As^{3+} y conduce a la conversión de glutatión (GSH) en su forma oxidada (GSSG), el arsenito se transforma en óxido de trimetilarsenico (TMAOV) y óxido de trimetilarsina (TMAOIH). El producto final de la ruta de metilación y de las especies volátiles de arsénico se libera en el medio ambiente. Otra ruta de desintoxicación de arsénico se produce por síntesis PC debido a la condensación de tres aminoácidos: cisteína, glutamato (Glu), y glicina (Gly). Por último, el secuestro del compuesto As^{3+} -PC se produce dentro de la vacuola a través de la actividad de los transportadores ABC.

Aunque As^{3+} es más tóxico que As^{5+} , se puede unir a las proteínas o péptidos que contienen grupos tiol, tales como el glutatión, fitoquelatinas, y metalotioneínas, y forman un compuesto inactivo que protege los componentes de la célula de esta toxina. Los principales compuestos de arsénico son As^{5+} o As^{3+} se encuentran en la savia del xilema de arroz. Ciertos estudios indican que As^{3+} predomina en el 80% de las muestras analizadas de SAP en diferentes especies de arroz, incluso en los que crecen en suelos ricos As^{5+} ; esto sugiere que la reducción se produce en las células de la raíz antes de pasar al xilema y el resto de las partes de la planta. Otros estudios demuestran el papel desempeñado por las proteínas intrínsecas de la membrana plasmática de arroz (OsPIP) en la permeabilidad de As^{3+} (Bastías & Beldarrain, 2016, pp. 116-117).

GRÁFICO 1-18. Los posibles mecanismos de absorción de arsénico en las plantas de arroz
(adaptado de Ali y col., 2009)



Fuente: (Bastías & Beldarrain, 2016, p. 117)¹

1.3.2.9. Productos a base de arroz

“Los productos de arroz son comidas que contienen granos de arroz o derivados del arroz, tales como el jarabe de arroz integral” (FDA, 2016, p. 1).

¹ Nota: As⁵⁺: arseniato, As³⁺: arsenito, NIP: proteínas intrínsecas nodulin similar, AR: arsenato reductasa, GSH: glutatión, GSSG: glutatión oxidado (GSH / GSSG), PC: fitoquelatinas, MMA: monometilarsónico, DMA: dimeilarsínico, LSi1: transportador de silicio, LSi2: mecanismo de expulsión de silicio.

En el proceso de pulido del arroz se obtiene aproximadamente un rendimiento de alrededor de 50 % de arroz, 17 % de arroz partido, 10 % de salvado y 3 % de pulidora en forma de polvo de arroz:

- El salvado y el polvo de arroz son utilizados principalmente para el consumo animal.
- El arroz partido se utiliza en la fabricación de almidón, harinas de arroz y en la elaboración de bebidas alcohólicas.
- La cáscara dura que envuelve el arroz no tiene valor alimenticio, pero puede ser utilizada como combustible, material de empaque y otros usos. Además de los subproductos de molinería, se producen derivados del arroz cuando éste se utiliza como materia prima.

La industria alimentaria ha creado gran cantidad de productos de diferentes características y presentaciones con este alimento, los más conocidos son (Tabasco, 2013, p. 1):

ALFAJOR DE ARROZ Y CHOCOLATE

Son dos tapas de galletas de arroz integral bañado en chocolate, que puede ser negro o blanco. Viene relleno de distintos sabores: dulce de leche, limón, mousse o yogurt. Es un producto apto para celíacos, está reducido en sodio y tiene 0% grasas trans. Algunas marcas lo enriquecen con omega 3 y omega 6.

GALLETAS DE ARROZ

Son las más elegidas por las personas que buscan adelgazar, pues portan pocas calorías y brindan mucha saciedad. Existen distintas marcas, formas y pueden venir en diferentes versiones: integrales, sin sal, saladas o dulces. Hoy en día también se encuentra mini galletas de arroz saborizadas, dulces y saladas, ideales para colación y cualquiera de las mencionadas son muy nutritivos ya que tienen proteínas, hidratos de carbono, hierro, fósforo, vitamina B, calcio y su cantidad de grasas y azúcares es baja.

BARRITAS DE CEREAL

Es una buena alternativa para consumir como colación, entre sus ingredientes contienen “arroz crocante”, “copos de arroz” y “arroz inflado”, más otros agregados como frutas, chocolate o yogurt.

CEREALES EN COPOS

Muchos de estos productos los comemos en el desayuno o la merienda, por lo general con leche, tiene al arroz entre sus ingredientes y son una buena opción para hacer un desayuno rico en fibras. Estos cereales sirven para controlar el peso corporal, porque nos mantienen saciados y ayudan a reducir la ingesta de energía total y de grasa en el almuerzo.

Los alimentos derivados del arroz podrían ser incorporados en un plan alimentario saludable dado a que contienen bajo porcentaje de grasa, son ricos en fibras, vitaminas y minerales y al contener almidón, es una buena fuente de energía (Tabasco, 2013, p. 2).

GRÁFICO 1-19. El arroz y sus productos derivados



Fuente: (Tabasco, 2013, p. 1)

1.3.3. *Enfermedad celiaca*

La enfermedad celíaca (EC) es una enfermedad crónica intestinal, que afecta el intestino delgado de niños y adultos, es causada por la ingestión de alimentos que contienen gluten (gliadinas, secalinas, hordeínas y posiblemente aveninas), la misma que produce una atrofia a las vellosidades del intestino delgado, lo que ocasiona una mala absorción de los nutrientes (proteína, grasas, hidratos de carbono, sales minerales y vitaminas) (Polanco & Ribes, 2013, p. 38) (Bai y col., 2012, p. 3).

1.3.3.1. *Manifestaciones clínicas*

Las manifestaciones clínicas que presentan la enfermedad celiaca son (MSP, 2013, pp. 29-32):

FORMA TÍPICA (CLÁSICA O SINTOMÁTICA)

La forma clásica de presentación de la EC es más frecuente en niños menores de 2 años que los adultos e incluye síntomas relacionados predominantemente con la lesión intestinal severa que se produce. Los pacientes celíacos pueden consultar por diarrea crónica: aumento de la excreción de agua fecal que se expresa clínicamente por el mayor número de deposiciones y/o disminución de la consistencia (duración aproximada: más de 30 días). Esta malabsorción de nutrientes genera pérdidas de grasa y proteínas por materia fecal y la lesión intestinal produce también déficit de lactasa con una consecuente intolerancia a la lactosa y diarrea osmótica. Se generan además déficit de vitaminas, minerales y micronutrientes en general como calcio, hierro y zinc. Esto se manifiesta clínicamente con los siguientes hallazgos al examen físico:

- Distensión abdominal
- Pérdida de peso
- Baja talla

- Signos carenciales como piel seca, cabellos opacos y secos, queilitis, lengua depapilada e irritabilidad.
- En los niños es frecuente que presenten hiporexia.

Es necesario destacar que los niños que presentan esta sintomatología, son de alta sospecha de padecer EC, pero en este grupo etario debemos previamente haber descartado causas parasitarias (giardia lamblia, strongyloides), sobrecrecimiento bacteriano o alergia a la proteína de leche de vaca. Cuando el diagnóstico se retrasa puede aparecer el cuadro llamado crisis celíaca que se caracteriza por una diarrea esteatorreica muy severa, hipoproteinemia, hipoalbuminemia, hiporexia, edemas de miembros inferiores, hipocalcemia y/o tetania e hipokalemia con repercusión electrocardiográfica. Este cuadro requiere internación y corrección hidroelectrolítica (sodio y potasio), aporte de minerales (hierro y calcio) y micronutrientes (zinc). Muy frecuentemente, se requiere una alimentación forzada con sonda nasogástrica con fórmulas especiales que sean sin lactosa y con caseína, o a base de hidrolizado proteico y con grasas en un 50% como triglicéridos de cadena media (MSP, 2013, p. 29).

FORMA ATÍPICA (SUBCLÍNICA O MONOSINTOMÁTICA)

En los últimos años se han publicado varios estudios que demuestran los cambios en la forma de presentación clínica de la EC. El comienzo suele ser más tardío y con síntomas más leves e intermitentes. En este caso, la diarrea suele ser menos frecuente, es mayor la edad en la cual se realiza el diagnóstico y el compromiso nutricional es de menor jerarquía. Como ha quedado establecido en la definición de la enfermedad, la EC no es sólo una enteropatía, sino una enfermedad sistémica que puede manifestarse con uno o varios de los siguientes síntomas extraintestinales (MSP, 2013, p. 29):

- Anemia ferropénica inexplicable y/o que no responde al tratamiento con hierro, en 6-12%
- Talla baja (hallada como único síntoma en un 10% de los casos) o Talla que no corresponde al carril genético.
- Defectos en el esmalte dentario y aftas recurrentes que pueden estar presentes en el 10% hasta en el 40% de los casos.

- Otros hallazgos en pacientes celíacos son: trastornos de conducta, problemas de personalidad, anorexia, epilepsia con calcificaciones cerebrales, retardo en la pubertad , trastornos ginecológicos, infertilidad, embarazos con recién nacidos de bajo peso, trastornos del metabolismo cálcico, osteoporosis, debilidad o fatiga.

FORMA SILENTE O ASINTOMÁTICA

Esta forma clínica corresponde a individuos que no presentan signos o síntomas y que han sido identificados a través de estudios de rastreo (serología específica) realizados en grupos de riesgo, en la población general o por hallazgos endoscópicos. Este comportamiento es más frecuente en familiares de celíacos de primer orden, en quienes la enfermedad puede cursar durante años como asintomática. En varios estudios epidemiológicos, se ha demostrado que esta forma clínica es más frecuente que la forma sintomática, tanto en niños mayores de 2 años, como en adolescentes y adultos. Si bien no hay síntomas que lleven al paciente a la consulta, luego de la mejoría serológica e histológica, muchos de estos pacientes refieren mejor estado general, y suelen presentar mejor escolaridad, lo que reflejaría que no todos son realmente asintomáticos (MSP, 2013, p. 30).

FORMA CLÍNICA ASOCIADA A GRUPOS DE RIESGO

Se consideran grupos de riesgo para padecer la enfermedad a los familiares de primer grado de pacientes celíacos: padres hermanos e hijos de pacientes con diagnóstico de EC (5-15%). También corresponden a esta forma clínica los pacientes con enfermedades autoinmunes asociadas ya que se ha demostrado que las enfermedades autoinmunes aparecen con más frecuencia en los pacientes diagnosticados durante la adultez, lo que podría relacionarse a un mayor tiempo de exposición al gluten. Estas incluyen (MSP, 2013, p. 31):

- Diabetes Mellitus insulino-dependiente
- Tiroiditis de Hashimoto
- Hepatitis autoinmune
- Síndrome de Sjögren

- Nefropatía con depósitos IgA
- Miocardiopatías
- y enfermedades genéticas como Síndrome de Down o de Turner.

1.3.3.2. *Patogénesis*

La enfermedad celiaca es el resultado de la interacción entre el gluten y factores inmunológicos, genéticos y ambientales. El gluten es un conjunto de proteínas que poseen algunos cereales como el trigo, la cebada y el centeno. En el trigo, el gluten contiene dos tipos de proteínas que son la gliadina y la glutenina, en la cebada las proteínas que causan la enfermedad se denominan hordeínas, y en el centeno, secalinas. Todas estas son proteínas que están relacionadas pues el trigo, la cebada y el centeno tienen un origen evolutivo común. La avena, menos relacionada a estos cereales, raramente desencadena la enfermedad celiaca.

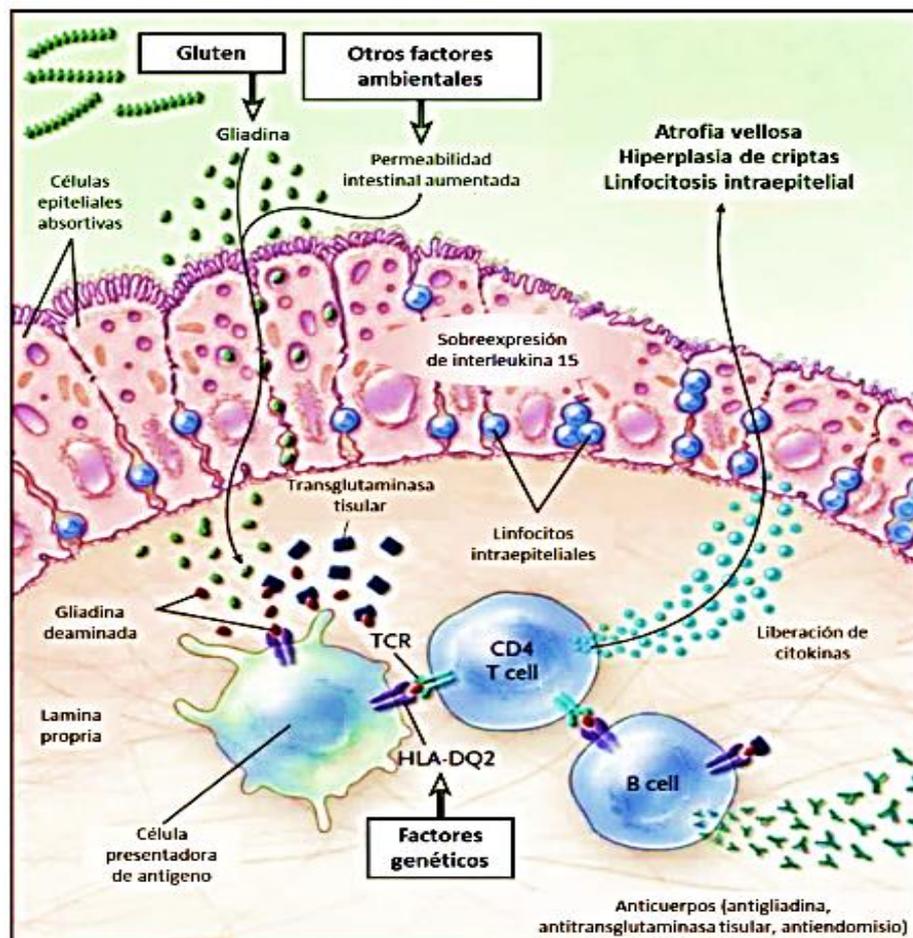
La gliadina es pobremente digerida en el tracto gastrointestinal humano resistiendo la acidez gástrica, las enzimas pancreáticas y las proteasas del ribete en cepillo intestinal. De esta degradación resultan péptidos de los que se han identificado muchos epítopes inmunogénicos (es la región de una proteína o antígeno que es reconocida por un anticuerpo y que se une a él para formar el complejo antígeno-anticuerpo), de ellos el más importante es un monómero de 33 aminoácidos. En algunas situaciones patológicas como cuando hay alteraciones de la permeabilidad intestinal, estos péptidos derivados de gliadina pueden atravesar el epitelio, donde son desaminados por la transglutaminasa tisular-2, interactuando así con las células presentadoras de antígeno de la lámina propia (representa la tercera capa de tejidos conjuntivos que forman la mucosa que recubre el tubo digestivo desde la boca hasta el recto (Moscoso & Quera, 2016, pp. 616-619).

En la enfermedad celiaca existen alteraciones de las respuestas inmunes innata y adaptativa. La respuesta innata en la enfermedad celiaca se caracteriza por una sobre-expresión de interleuquina 15 por los enterocitos que determina la activación de linfocitos intraepiteliales del tipo natural killer (o asesina natural es un tipo de leucocito o glóbulo blanco de la sangre que actúa en el sistema inmunológico como primera línea de defensa contra los invasores extrajeros, como

tumores, bacterias y virus). Estos linfocitos ejercen su acción citotóxica sobre los enterocitos que expresan complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) tipo I en situaciones de inflamación.

La respuesta adaptativa es liderada por linfocitos T CD4+ antigliadina que se activan al interactuar con el péptido en el contexto de las células presentadoras de antígenos con complejo mayor de histocompatibilidad HLA-DQ2 o HLA-DQ8, expresando citoquinas proinflamatorias, especialmente interferón- γ . Lo anterior genera una cascada inflamatoria con liberación de metaloproteinasas y otros mediadores que inducen hiperplasia de criptas y daño de las vellosidades. Ambos tipos de respuesta inmune determinan el daño de intestino delgado caracterizado por infiltración de células inflamatorias crónicas en lámina propia y epitelio y atrofia vellositaria (Moscoso & Quera, 2016, pp. 616-619).

GRÁFICO 1-20. Esquema fisiopatología en la enfermedad celíaca



Fuente: (Moscoso & Quera, 2016, p. 615)

El gluten es digerido en el lumen y ribete en cepillo intestinal a péptidos, principalmente gliadina. La gliadina induce cambios a través de la inmunidad innata en el epitelio y de la inmunidad adaptativa en la lámina propia. En el epitelio el daño provoca sobreexpresión de interleuquina 15, que a la vez activa los linfocitos intraepiteliales. Estos linfocitos se tornan citotóxicos y dañan los enterocitos que expresan proteínas de stress en su superficie. En situaciones de aumento de la permeabilidad intestinal, como en las infecciones, la gliadina entra a al lamina propia donde es desaminada por la enzima transglutaminasa tisular, permitiendo la interacción con el HLA-DQ2 o HLA-DQ8 de la superficie de las células presentadoras de antígenos. La gliadina es presentada entonces a los linfocitos T CD4+ resultando en mayor producción de citoquinas que causan daño. Todo esto lleva a la atrofia vellositaria e hiperplasia de criptas, y a la expansión de linfocitos B con la consecuente producción de anticuerpos (Moscoso & Quera, 2016, pp. 623- 625).

1.3.3.3. Nutrición

La dieta exenta de gluten es vital y es la parte más importante de la terapéutica del paciente celíaco. Estos deben ser valorados por un equipo multidisciplinario que incluya un especialista en pediatría, un gastroenterólogo, un médico de atención primaria, un psicólogo, dietista y nutriólogo (González & Herrera, 2006, pp.2-6).

En los primeros días del tratamiento, toda la familia debe ingerir alimentos sin gluten, ya que por un lado no se prepararían dos comidas diferentes y por otro lado el niño se sentiría diferente de los demás miembros de la familia. El compromiso de la absorción, junto con la intolerancia clínica a disacáridos y demás nutrientes, condiciona la elección de una dieta adecuada. Estudios realizados muestran que la dieta debe ser estructurada en 3 etapas (González & Herrera, 2006, pp.2-6):

1. La primera sin gluten, lactosa, sacarosa y fibra
2. Segunda sin gluten y con bajo aporte de lactosa, sacarosa y fibra
3. Tercera sin gluten.

Esta dieta hace posible una disminución de los síntomas gastrointestinales y la pérdida de macro y micronutrientes, lo que facilita la recuperación clínica y la integridad de la mucosa. Consideramos esta dieta de mucha importancia, ya que el objetivo fundamental es eliminar el gluten, pero si no tratamos todas las deficiencias de vitaminas, minerales, las infecciones asociadas, que forman parte del cuadro sintomático de la enfermedad, no estaríamos logrando la completa recuperación del paciente. Se debe insistir en la frecuencia de alimentación en estos pacientes, debido a la reducción del área total de la superficie del epitelio de la mucosa intestinal donde están, precisamente, los elementos celulares enterocitarios que son los responsables de la digestión de superficie de glúcidos y proteínas de la dieta y de la absorción de los diferentes nutrientes (González & Herrera, 2006, pp. 2-6).

Se debe fraccionar la ingesta en pequeñas porciones, varias veces al día, para evitar crear excesos de sustratos que al ser transformados por la microflora bacteriana intestinal dan lugar a la aparición de diarreas u otros trastornos capaces de comprometer aún más el estado nutricional del paciente o descompensarlo nutricionalmente. El control estricto de la dieta en estos pacientes suele tornarse difícil, dado el uso extendido de cereales con gluten en alimentos procesados industrialmente, por lo que el asesoramiento alimentario cobra gran importancia y se alerta a los pacientes sobre la presencia enmascarada del gluten en alimentos y medicamentos. Los pacientes y sus familiares deben convertirse en sus propios dietistas. La expresión "exento de gluten" debe figurar en todos los productos que vayan a ingerir en la dieta. Sugerencias para evitar el consumo de alimentos que contienen gluten de forma enmascarada (González & Herrera, 2006, pp.2-6):

a) No consumir:

- Leches malteadas o cualquier producto malteado.
- Salsas de elaboración desconocida, incluidas las de tomate y catsup, las cuales pueden estar espesadas con harina de trigo.
- Perros calientes, incluidos las mortadellas, jamonadas, spam, carnes prensadas, salchichas, "medallones de pescado" y cualquier tipo de embutido o preparación rebozada o empanizado.
- Turrone de maní, ajonjolí, coco, entre otros, de manufactura desconocida.
- Chocolate en polvo de cualquier tipo, sin especificidad de sus ingredientes.

- Sucedáneos del café, de origen desconocido.
- Cervezas y maltas

b) Eliminar totalmente:

- Panes, galletas, dulces de harina de trigo, pastas alimenticias (espaguetis, macarrones, coditos, fideos), pizzas, lasañas, canelones, maripositas chinas, arepas y cualquier otro producto de la repostería italiana que contenga harina de trigo.
- Sopas de fideos.
- Croquetas elaboradas con harina de trigo o cualquier otra preparación empanizada con polvo de galleta o pan.
- Avena, pan de centeno y los cereales que se expenden para niños, ya sean solos o combinados y que contengan harina de trigo, cebada o centeno.

c) Alimentos que pueden ser consumidos libremente:

- **Cereales:** maíz y arroz.
- **Viandas:** papa, malanga, boniato, ñame, yuca, chopo, plátano en todas sus variedades.
- **Leguminosas y oleaginosas:** frijoles de todo tipo, incluidos soya, chícharos, lentejas y garbanzos, maní, ajonjolí coco, almendras, nueces, avellanas.
- **Frutas y vegetales:** se permiten todos en forma natural o elaborada como dulces.
- Huevos en cualquier forma.
- **Carnes y vísceras:** De las carnes conservadas no enlatadas se permite el consumo de jamón de pierna, lacón y lomo ahumado.
- **Productos lácteos:** se permiten todos los tipos de leche, yogur y quesos.
- **Infusiones:** café tostado sin mezclar.
- **Bebidas:** refrescos gaseados o no, jugos, néctares, bebidas fermentadas tipo chicha, helados hechos en casa y chocolate a partir de cocoa pura.
- **Dulces:** azúcar sola o en cualquier preparación, dulces caseros como mermeladas, frutas en almíbar, flan de leche, de huevos.

- **Grasas:** todas.
- **Espesantes:** maicena, fécula de boniato, sagú, harina de yuca y harina de maíz.

La exclusión total de gluten de la dieta del celíaco se produce desde edades muy tempranas en la vida del niño, donde las sopas, los dulces y otras preparaciones con la harina de trigo cobran gran importancia, sobre todo el pan, que con frecuencia es consumido diariamente en el desayuno. Esto genera dificultades, sobre todo en las edades escolares y en la adolescencia, por lo que consideramos oportuno proponer alternativas que ayuden a los encargados de la alimentación del niño a hacer ésta más variada y nutritiva (González & Herrera, 2006, pp. 2-6).

1.3.3.4. Ingesta de cereales

Los cereales son imprescindibles en cualquier dieta por el alto contenido en vitaminas y minerales; pero, sobre todo, por su aporte de hidratos de carbono complejos (almidón) que son una fuente de energía de alta calidad. También son la principal fuente de hierro y una fuente importante de fibra (Gottau, 2014, p. 1).

Según recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el aporte energético de una alimentación equilibrada debe provenir en un 55% de los hidratos de carbono, nutriente principal de los cereales, en un 30% de las grasas y el 15%, de las proteínas.

Hay muchos cereales a nuestra disposición que podemos emplear en la cocina, sin embargo, los más populares contienen gluten y no son aptos para celíacos, por eso, hoy no sólo te mostramos alternativas aptas para quienes tienen celiaquía, sino también, seleccionamos los cereales más sanos para incorporar a su dieta.

Entre los cereales más sanos para la cocina del celíaco encontramos las siguientes alternativas (Gottau, 2014, pp. 1-5):

ARROZ

En su versión integral o blanco, es ideal para reemplazar cereales frecuentes que contienen gluten. Todas sus variedades son ricas en potasio, magnesio y fósforo, así como también, son buena fuente de vitaminas del complejo B que cuidan del sistema nervioso y muscular.

Se puede usar el arroz como tal o sus derivados, tales como la harina de arroz o los fideos de arroz que pueden sustituir a una pasta de trigo perfectamente. Si bien el arroz es un alimento sin gluten, siempre es recomendable asegurarse de que se trata de un alimento "sin TACC", es decir, sin proteínas tóxicas para los celíacos.

QUINUA

Es un alimento milenario pero que recientemente se está volviendo conocido en nuestra cocina. Se trata de un falso cereal ya que combina propiedades de cereales y de legumbres, por lo que es muy rico en fibra y en proteínas vegetales, así como también, ofrece un mínimo de grasas sanas y valiosos minerales así como vitaminas para el organismo.

Puede usarse en reemplazo de la avena, del trigo bulgur o incluso, del arroz, y puede consumirse en preparaciones frías y calientes, así como en platos dulces o salados (Gottau, 2014, pp. 1-5).

MAÍZ Y SUS DERIVADOS

También son una excelente alternativa para reemplazar los cereales con gluten como son el trigo, la avena, la cebada o el centeno.

El almidón de maíz, la fécula de maíz o la harina de maíz, son buenas fuentes de hidratos de carbono complejos y fibra, además, ofrecen vitaminas del complejo B y son alimentos ricos en carotenos y vitamina A que tienen función antioxidante (Gottau, 2014, pp. 1-5).

1.3.3.5. *Alimentación complementaria para niños pequeños*

La FAO (2011, pp. 77-79) menciona que la alimentación complementaria significa dar al niño otros alimentos además de la leche materna (o sustituta de la leche materna). Previamente, se utilizaban los términos destete, pero suscitaban confusión acerca de su verdadero significado. En consecuencia se sugiere usar siempre el término alimentación complementaria enfatizando el tipo de alimentos recomendados para los niños después de los seis meses de edad y que éstos se deben introducir sin suspender la lactancia materna.

A partir de los seis meses, es necesario que los bebés comiencen a recibir alimentación complementaria porque a esa edad (FAO, 2011, pp. 77-79):

- La leche materna sola no puede aportar todos los nutrientes necesarios para el crecimiento del bebé
- Los bebés ya son capaces de comer y digerir otros alimentos.

Una alimentación complementaria adecuada debe ser: rica en energía, proteínas, vitaminas y minerales, especialmente hierro; de consistencia adecuada (papilla, sopa espesa o puré semisólido); fácil de comer y digerir; Prepare los alimentos complementarios de forma higiénica y manténgalos limpios preparada y servida de forma higiénica; libre de huesos o partes duras que podrían atragantar al niño; libre de condimentos fuertes o picantes. El exceso de sal o azúcar es dañino para los niños pequeños (FAO, 2011, pp. 77-79).

- **El cereal:** Con el que se suele empezar la alimentación complementaria es el arroz. Se trata de un alimento muy completo y que será básico en la alimentación de los niños a lo largo de toda su infancia, por su facilidad de preparación, su versatilidad y, muy importante, porque suele gustarles a los niños en muchas presentaciones, desde primeros platos hasta postres.

Los bebés amamantados deberían, según la OMS, mantener la lactancia materna exclusiva hasta los seis meses, pero en algunos casos se puede introducir la alimentación complementaria a partir de los cuatro meses, siempre bajo recomendación del pediatra.

- **Carne con verduras:** Inicialmente pollo y más adelante variar a cordero, ternera.
- **Pescado blanco (merluza, bacalao, lenguado) con verduras:** No conservar más de 48 horas en nevera. Se puede congelar en porciones diarias (excepto la patata) e ir sacándolas según necesidades.
- **Papilla de frutas:** Utilizar fruta madura. Se pueden ofrecer frutas aisladas o mezclarlas para ir variando los sabores. En caso de estreñimiento evitar el plátano y manzana y utilizar frutas más laxantes como la naranja, pera, ciruelas o kiwi.
- **Yogur y quesos:** Se pueden ofrecer en pequeñas cantidades a partir de los 7-8 meses (yogur fabricado con leche de continuación o yogures con *bifidus* o *lactobacillus*). Por ej. medio yogur añadido a la papilla de frutas o queso tierno en alguna papilla de carne o pescado.
- **El Huevo:** Se puede empezar a dar a partir de los 8-9 meses. Empezar con la yema cocida añadiéndola a cualquiera de las papillas en sustitución de la carne o el pescado o en las sopas de pasta o arroz. (máx 3 /semana). La clara inicialmente también cocida, una vez aceptada la yema. A partir de los 9-10 meses se deben ir haciendo las papillas menos trituradas, con más grumos (introducir sopas de arroz, pasta fina o sémola), para que el niño vaya aceptando nuevas texturas. También se puede desmigalar la carne y el pescado para que el niño lo vaya cogiendo con los dedos y metiéndoselo en la boca.
- **Las legumbres:** Se recomienda introducirlas a partir de los 10-12 meses. Se empezará con las legumbres sin piel (las lentejas las venden ya peladas, el resto se pueden pasar por un colador chino).

- **El pescado azul:** Se recomienda empezar a partir del año y siempre con pescados pequeños como las sardinas, la caballa o los salmonetes (AEPpa & AVaIPap, 2013, pp. 5-7).

1.3.4. Método analítico ICP-OES para determinación de arsénico

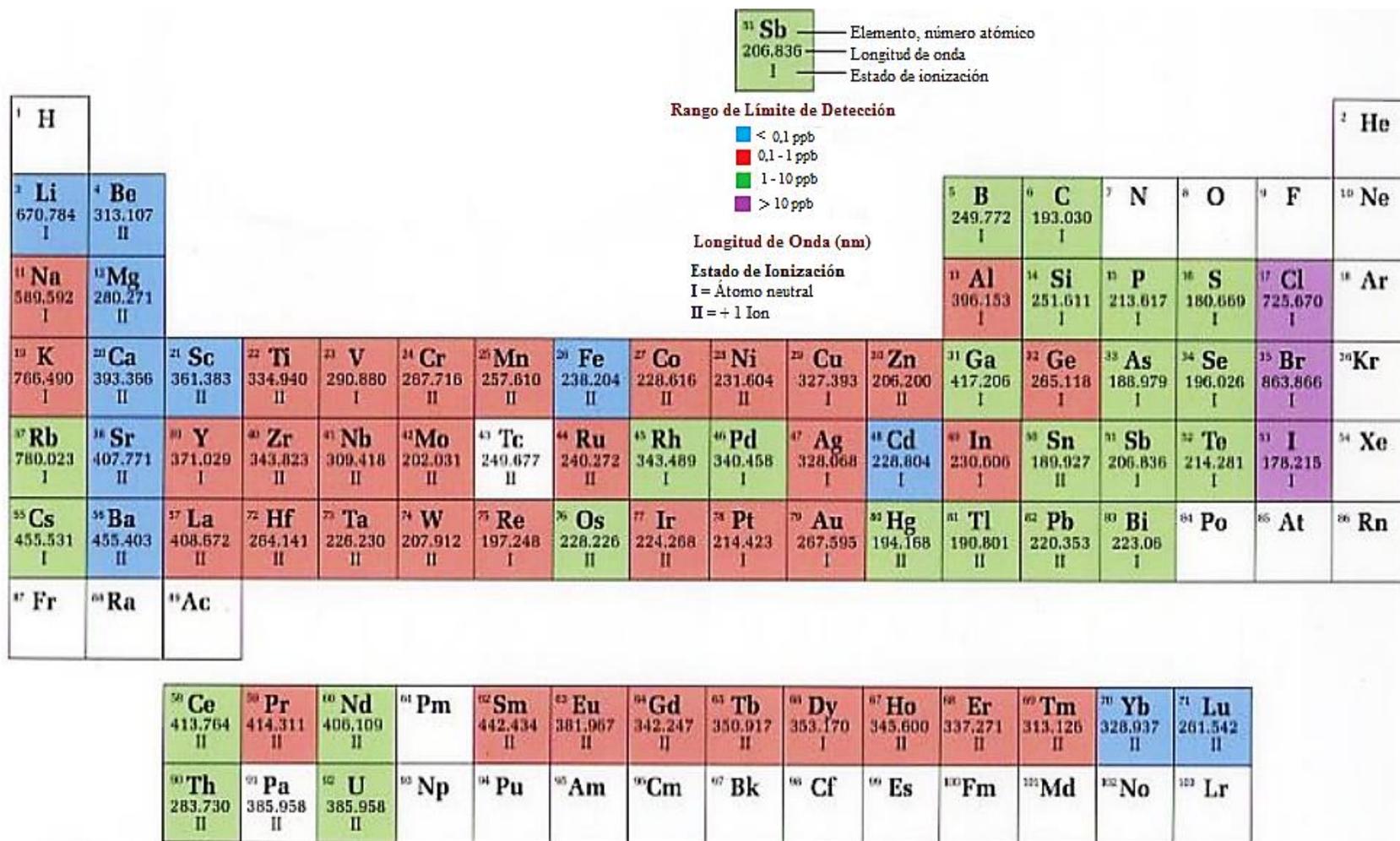
El plasma de acoplamiento inductivo (ICP) es una fuente de ionización que junto a un espectrofotómetro de emisión óptico (OES) constituye el equipo de ICP-OES (Lozano, 2016, p. 1) es conocida también como ICP-AES, o Espectroscopía de Emisión Atómica de Plasma Acoplado Inductivamente, pues se trata de un tipo de espectroscopia de emisión que se utiliza frecuentemente para detectar la presencia de trazas de metales en una muestra (Melville y col., 2014, p. 1).

El ICP-AES produce iones y átomos excitados (por ionización en un campo electromagnético intenso) que emiten cantidades detectables de luz a longitudes de onda características, con intensidades proporcionales a la concentración del ion. Como se indica con el nombre, los espectros se miden y analizan mediante un espectrómetro de emisión atómica (AES) utilizando correlaciones de concentración-intensidad similares a como la ley de Lambert-Beer (Melville y col., 2014, p. 1).

El ICP-OES es invaluable por su capacidad de registrar simultáneamente los espectros de trazas de múltiples elementos, suponiendo que no se superponen significativamente en la longitud de onda característica, así como la minimización de los efectos de la matriz debido a la naturaleza extrema del plasma (Melville y col., 2014, p. 1).

Esta espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente ICP-OES se basa en la vaporización, disociación, ionización y excitación de los diferentes elementos químicos de una muestra en el interior de un plasma (Nolla y col., 2002, p.1).

GRÁFICO 1-21. Litmite de detección (µg/L) por ICP-AES



Fuente: (Gong, 2015, p. 6)

1.3.4.1. Características del ICP-OES

Dentro de las múltiples características que posee el ICP-OES mencionaremos algunas:

- Es un amplio espectro, la misma que permite el análisis de 78 elementos.
- Es muy adecuada para el análisis de elementos refractarios (difíciles).
- Se trata de una técnica simultánea, muy rápida y robusta.
- Posee un amplio intervalo dinámico ppb a %
- Precisión frecuentemente superior al 1%
- Posee una gran tolerancia a sólidos disueltos.
- Gran tolerancia a los medios orgánicos.
- Pocas interferencias químicas.
- Normalmente la preparación de muestra es sencilla.
- Relativamente fácil de operar (AT, 2015, p. 4).

1.3.4.2. Aplicaciones de la ICP-OES

La técnica ICP-OES es una herramienta versátil en manos de los químicos analíticos, por lo tanto, se ha convertido en una técnica indispensable. A continuación se mencionara los campos de aplicación de esta técnica:

- **AGRÍCOLA Y ALIMENTARIO:** Análisis de productos agrícolas (pesticidas) y alimentos (harinas de trigo, arroz), además del análisis de suelos.
- **CIENCIAS DE SALUD:** Determinación de Aluminio en sangre, Cu en cerebro, Se en hígado, Na en leche materna.
- **CIENCIAS GEOLÓGICAS:** Presencia de lantánidos y otros elementos en muestras de roca, suelos, carbón, minerales fósiles.

- **CIENCIAS FORENSE:** Análisis del suelo de la escena del crimen.
- **METALURGIA:** Análisis de oligoelementos en acero inoxidable, aleaciones de aluminio, metales de alta pureza, hierro, metales preciosos, soldaduras, acero.
- **CIENCIA AMBIENTAL Y AGUA:** Análisis de aguas residuales, determinación de metales contaminantes en una variedad de matrices.
- **MATERIA ORGÁNICA:** Adhesivos, aminoácidos, anticongelantes, materiales de combustión, cosméticos, celulosa de algodón, madera seca, colorantes, lubricantes, organofosforados, aceites, disolventes orgánicos, polímeros, azúcares.
- **INDUSTRIA FARMACÉUTICA:** Presencia de metales como Cu, Fe, Ni y Si en aceites lubricantes o gasolina, trazas de metales como Ca, Cu, Fe, Mn, Mg, P, K y Zn en cerveza o vino. determinación de oligoelementos en polímeros, evaluación de catalizadores (Kumar y col., 2014, p. 6) (Hou & Jones, 2000, p. 4).

1.3.4.3. *Limitaciones del ICP-OES*

Dentro de las limitaciones, por las que no se puede aplicar la técnica de ICP-OES son:

- Análisis de ultratrazas en medioambiente y alimentación.
- Posibles interferencias espectrales, por la presencia de líneas alternativas de los sistemas.
- Costes operativos altos debido al consumo de Ar, ya que en este método existe mayor velocidad de análisis y una rápida puesta en marcha (AT, 2015, p. 5).

1.3.4.4. Instrumentación para ICP-OES

Primeramente para hablar acerca de la instrumentación del ICP-OES se debe conocer sobre las partes del ICP en forma general así tenemos (Kumar y col., 2014, p. 473):

- **TUBO DE CUARZO**

El cuerpo de la antorcha consiste en tres tubos de cuarzo concéntricos, siendo el diámetro del tubo más grande de aproximadamente 2,5 cm. El tubo tiene tres entradas de gas separadas. El gas argón entra en el plasma a través del canal exterior con un patrón de flujo tangencial a una velocidad de 8 - 20 L/min. El gas que se desplaza por el canal central se llama gas auxiliar y también tiene un patrón de flujo tangencial. La tercera entrada más interna está conectada al nebulizador desde el que el gas entra en el plasma junto con la muestra en un flujo laminar.

- **GENERADORES DE ENERGÍA DE RADIOFRECUENCIA**

La mayoría de los generadores de energía de radiofrecuencia (RF) son generadores de radiofrecuencia controlados por cristales. Estos están diseñados para operar dentro de las bandas de frecuencias industriales de 27,12 o 40,68 MHz, aunque se han descrito generadores de plasma que funcionan entre 5 y 100 MHz. La radiofrecuencia a la que opera la antorcha es un parámetro importante para mantener el funcionamiento del plasma.

- **BOBINA DE TRABAJO**

La bobina de trabajo consiste en una bobina de inducción refrigerada por agua que es alimentada por un generador de radiofrecuencia. La bobina de inducción de cobre se envuelve dos o tres veces alrededor de la antorcha ICP y tiene agua que fluye a través de ella para fines de refrigeración. Las líneas de fuerza, generadas por el campo magnético, se dirigen a lo largo del eje del solenoide dentro del tubo y toman la forma de una órbita en el exterior.

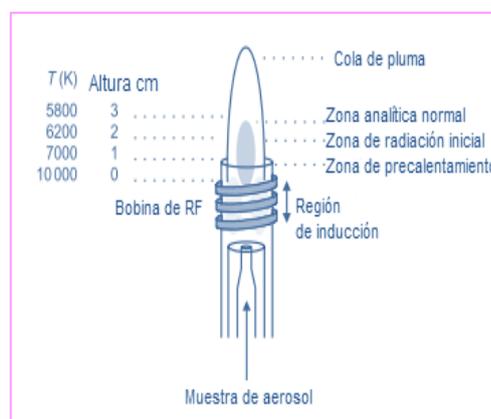
- **SUMINISTRO DE GAS DE ARGÓN**

La antorcha de plasma de argón convencional utiliza entre 13 y 20 litros de argón por minuto, principalmente para asegurar que el tubo de vidrio de cuarzo exterior adyacente al plasma se enfría adecuadamente. Este consumo elevado de gas argón se satisface mediante la instalación de una fuente de argón líquido.

MECANISMO DE FORMACIÓN DE PLASMA

La ionización del gas de argón que fluye a través del tubo de cristal dentro del solenoide (cilindro de hilo, cable o cordel que se encuentra arrollado sobre un tubo que, por su diseño, genera un campo magnético de gran intensidad) se inicia por una chispa de una bobina de Tesla. Los iones resultantes y los electrones se someten al campo magnético fluctuante producido por la bobina de inducción. Esto hace que fluyan en las trayectorias anulares cerradas dentro de las bobinas. Se producen así las corrientes inducidas o de Foucault. Estos electrones rápidamente adquieren suficiente energía del campo oscilatorio generado por la bobina de inducción y mantienen un alto grado de ionización. Esto conduce a la formación de plasma toroidal en forma de anillo. La distancia entre la bobina y la antorcha, la distancia entre las bobinas individuales de cobre y la concetricidad de la bobina y la antorcha son parámetros importantes en la formación de plasma estable (Kumar y col., 2014, p. 474).

GRÁFICO 1-22. Conjunto de ICP que muestra los tres tubos concéntricos que componen la antorcha.



Fuente: (Hou & Jones, 2000, p. 4)

Los componentes principales de un espectrómetro de emisión atómica ICP-OES son (Kumar y col., 2014, p. 474):

- **Fuente de plasma:** un dispositivo de atomización y excitación
- **Nebulizador:** un dispositivo de introducción de muestras.
- **Monocromador:** un dispositivo de dispersión
- **Detector:** un dispositivo de detección de radiación
- Dispositivo de procesamiento y lectura

La muestra en forma de solución se nebuliza y se inyecta en la fuente de plasma con la ayuda de un nebulizador adecuado, esta radiación emitida pasa a través del monocromador y después de la dispersión, es detectado por un fotodetector y enviado a la unidad de procesamiento para su debido procesamiento y generación de salida adecuada (Kumar y col., 2014, p. 474).

INTRODUCCIÓN DE LA MUESTRA

La espectroscopia de emisión de plasma acoplada inductivamente se utiliza principalmente para el análisis cualitativo y cuantitativo de muestras que se disuelven o suspendido en líquidos acuosos u orgánicos. La muestra se obtiene como un aerosol fino en el plasma, que generalmente se consigue mediante nebulización neumática. Estos son llevados a la antorcha por gas argón que fluye a una velocidad de 0,3 a 1,5 dm³/min a través del tubo central de cuarzo. El aerosol entra en las zonas de plasma caliente con una velocidad de inyección baja para tener un tiempo de residencia del orden de ms que se requiere para una atomización y excitación eficientes. Por lo tanto, hay dos pasos en la introducción de la muestra (Kumar y col., 2014, p. 475):

- a) Preparación de la muestra
- b) Nebulización

A) Preparación de la muestra: La preparación de la solución para el análisis utilizando ICP-OES depende de la naturaleza de la muestra y de la concentración de elementos a analizar. Existen dos tipos principales de métodos de preparación de muestras utilizados para el análisis de ICP. Estos se explican a continuación.

- **Método de digestión con ácidos:**

En el método de digestión ácida, los ácidos usan sus propiedades oxidantes o reductoras para la disolución del analito. Recuerde que la digestión ácida generalmente produce una solución clara del analito sin pérdida de ninguno de los elementos a determinar. Sin embargo, hay que cuidar la posible pérdida de elementos volátiles. Por ejemplo, en la digestión ácida usando HCl, existe la posibilidad de la pérdida de As, Se, Sn como sus cloruros volátiles. Del mismo modo, en el caso del ácido sulfúrico, la formación de precipitados de Ca, Ba, Pb es también una fuente potencial de error.

Otro aspecto que necesita atención del analista es que la cantidad de ácido o flujo en la solución debe ser tan baja como sea posible para que haya una perturbación mínima del plasma. Algunos de los ácidos perturban el plasma más que los otros. Por consiguiente, existe un orden de preferencia del ácido a utilizar para la preparación de la muestra.

El orden decreciente de su preferencia es el siguiente. $\text{HNO}_3 > \text{HCl} > \text{HClO}_4 > \text{H}_2\text{SO}_4 > \text{H}_3\text{PO}_4$.

- **Método de ataque en seco**

En el método de ataque en seco, la preparación de la muestra implica una fusión alcalina así como una calcinación a alta temperatura (450-600 °C) seguida de recuperación ácida de cenizas. Sin embargo, en este método las pérdidas debidas a la volatilización y la insolubilización no son despreciables. Más aún existe la posibilidad de contaminación de la solución debido a los reactivos.

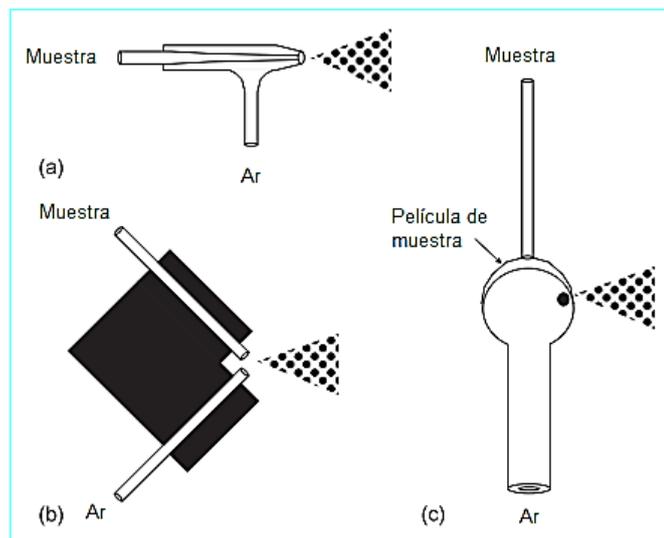
B) Nebulización: Las muestras de analito en los tres estados (sólido, líquido, gas) se han introducido con éxito en un ICP. Para soluciones, se utiliza un nebulizador para convertir la

corriente líquida en un aerosol que consiste en partículas que tienen un diámetro de 1-10 mm. La inyección directa de líquidos en el plasma extinguiría el plasma o haría que los átomos fueran desolvatados indebidamente, haciendo la excitación y la emisión menos eficiente.

NEBULIZADORES PARA ICP-OES

El nebulizador es un dispositivo que convierte una solución del analito en gotitas finamente divididas que se transportan al atomizador. En los nebulizadores neumáticos de tipo concéntrico la solución de la muestra es aspirada a través de un capilar por el flujo de un gas nebulizante usando el principio de Bernoulli y se convierte en un fino aerosol por el chorro de gas. En un nebulizador de flujo cruzado, otro tipo de nebulizador neumático, la muestra aspirada es nebulizada por una corriente de argón, y las gotitas finamente divididas resultantes son llevadas al plasma.

GRÁFICO 1-23. Diagramas esquemáticos de tres tipos de nebulizador neumático²



Fuente: (Hou & Jones, 2000, p. 4)

² **Nota:** (a) el nebulizador concéntrico; (b) el nebulizador de flujo cruzado; y (c) el nebulizador Babington.

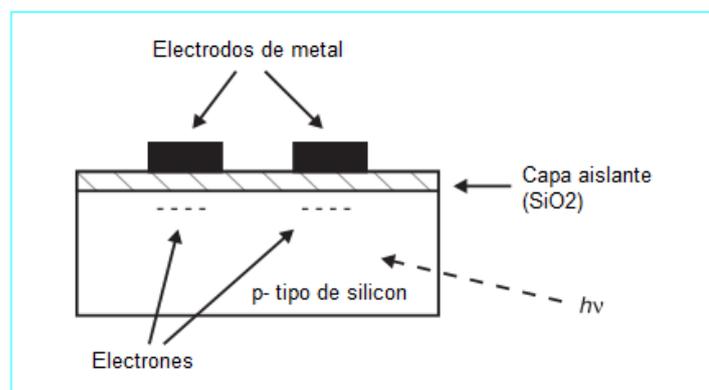
MONOCROMADORES

La emisión de plasma es generalmente de naturaleza policromática, lo que implica que consiste en un gran número de radiación de diferentes longitudes de onda. Más aún, los anchos de banda de las líneas de emisión óptica del plasma son típicamente del orden de 0,001 nm. Estos deben ser adecuadamente dispersos para analizar los posibles elementos en el analito. La resolución es importante debido a la complejidad de los espectros de emisión ICP, en términos de un gran número de líneas de emisión individuales observadas desde muestras. Si no se resuelve, causaría interferencia espectral extensa. En los espectrómetros ICP-AES, la resolución de los espectros complejos se logra utilizando monocromadores de rejilla gobernados que tienen un gran número de ranuras en la rejilla. Algunos instrumentos, por otra parte, emplean rejillas holográficas (Kumar y col., 2014, p. 475).

DETECTORES

Hay tres tipos básicos de sistemas de detección. Estos son los tubos fotomultiplicadores (PMT), las matrices de fotodiodos (PDA) y los dispositivos de acoplamiento de carga (CCD).

GRÁFICO 1-24. Diagrama transversal de dos píxeles adyacentes en un Detector CCD



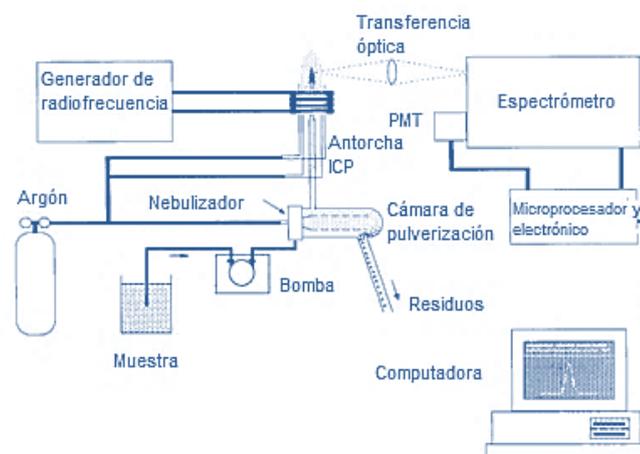
Fuente: (Hou & Jones, 2000, p. 13)

La mayoría de los instrumentos utilizan medios fotoeléctricos de detección en forma de tubos fotomultiplicadores (PMT), o con conjuntos de fotodiodos. En algunos casos, las placas fotográficas también se utilizan para fines de detección en AES. Un número de instrumentos modernos ahora han cambiado a los detectores de la serie del estado sólido que utilizan dispositivos acoplados de la carga (CCDs) o dispositivos de la inyección de la carga (CIDs) (Kumar y col., 2014, p. 475).

DISPOSITIVO DE PROCESAMIENTO Y LECTURA

Si la detección de la señal de analito se realiza secuencialmente o simultáneamente, se necesita manejar una gran cantidad de datos en términos de las posiciones de las líneas espectrales y de sus intensidades. Por lo tanto, el procesamiento de los datos necesita computadoras buenas junto con convertidor analógico a digital multicanal para adquirir y guardar las señales detectadas para su procesamiento posterior. Los resultados de las determinaciones son impresos por una impresora dedicada (Kumar y col., 2014, p. 475).

GRÁFICO 1-25. Componentes principales y disposición de un instrumento ICP-OES típico



Fuente: (Boss & Fredee, 2004, p. 33)

1.3.4.1. *Precisión*

El (ISO VIM, 2004, p. 27) define el concepto precisión de medida como la proximidad existente entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones específicas. Estas condiciones se denominan principalmente condiciones de repetibilidad o de reproducibilidad, y por lo tanto, frecuentemente el término precisión denota simplemente repetibilidad, ya que está asociado a la dispersión de las mediciones reiteradas, la cual es habitual expresarla numéricamente mediante medidas de dispersión tales como la desviación típica, la varianza o el coeficiente de variación bajo las condiciones especificadas.

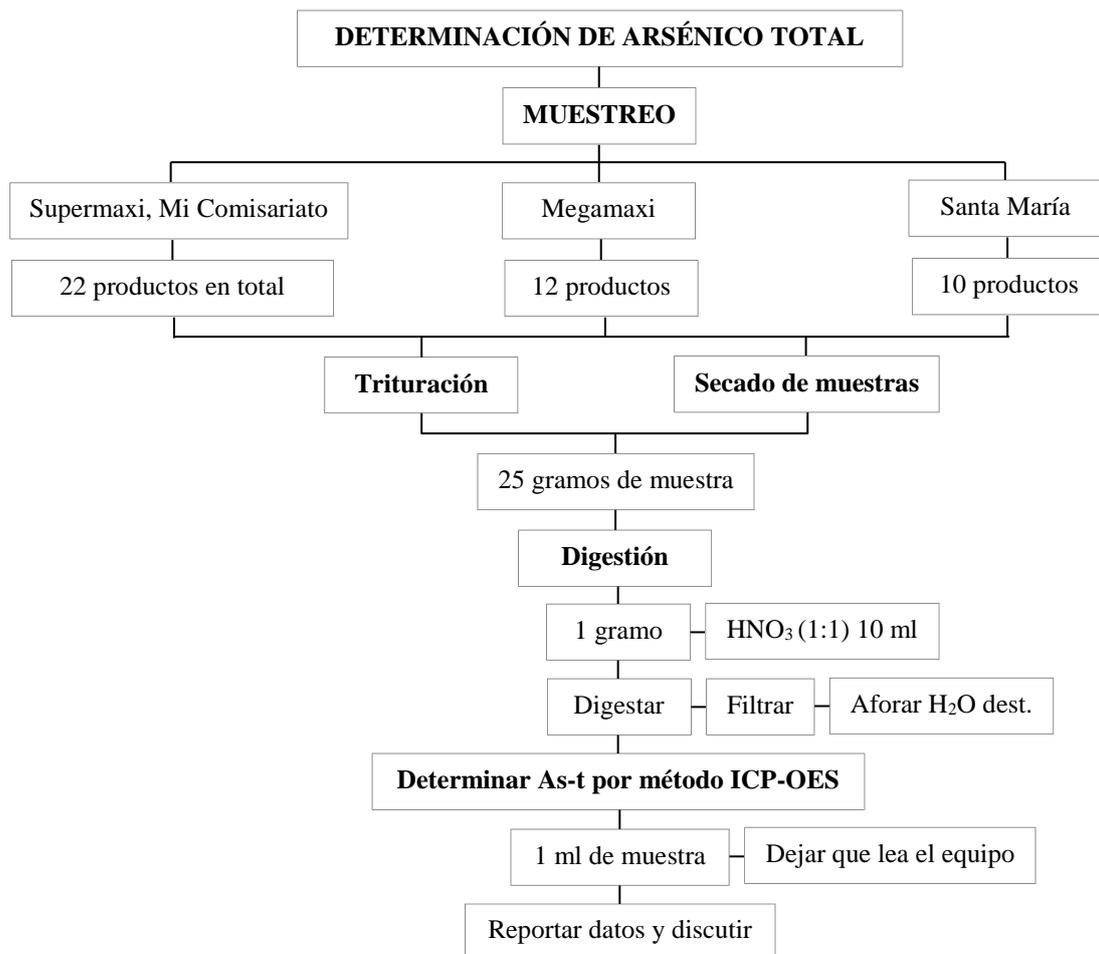
Las condiciones de repetibilidad de una medición incluyen el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas en un corto período de tiempo. Por el contrario, las condiciones de reproducibilidad de una medición incluyen diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares (Ruiz y col., 2010, p. 4) (NTE INEN, 2008, p. 30).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

El procedimiento para la determinación de arsénico total en alimentos a base de arroz para niños de hasta 3 años de edad y para celíacos, se detalla en la Figura 2-1; la misma comprende varias etapas: muestreo, trituración o molienda, secado de muestras semisólidas, digestión, análisis de arsénico total mediante método analítico ICP-OES.

FIGURA 2-1. Esquema de la metodología aplicada para la determinación de arsénico total



Elaborado por: (Cruz, 2016)

2.1. Lugar experimental

La presente investigación se realizó en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA), ubicado en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

2.2. Personal encuestado

Las encuestas fueron realizadas en los supermercados donde se obtuvieron los productos para la investigación, con un total poblacional de 500 personas.

2.3. Materiales equipos y reactivos

2.3.1. Muestra

Las muestras corresponden a 44 alimentos a base de arroz comercializados en los supermercados de Ecuador. Todos los productos fueron adquiridos en las cadenas nacionales de supermercados.

2.3.2. Materiales

- Mandil
- Gorro
- Guantes
- Mascarilla
- Libreta de apuntes
- Cápsulas de vidrio con tapa
- Pinza para cápsula

- Fundas plásticas
- Fundas Ziploc
- Cinta adhesiva
- Marcador
- Adhesivos
- Cooler o Thermopack
- Espátula
- Recipientes estériles para muestras
- Papel filtro
- Papel aluminio
- Tubos para digestión
- Gradilla
- Cepillo para tubos
- Detergente líquido
- Porta tubos (Marsx Cem)
- Picetas
- Reloj
- Vidrio reloj
- Mortero con pistilo
- Balón aforado de 50 ml
- Micropipeta
- Puntas de 10 mL para Micropipeta

2.3.3. *Equipos*

- Triturador de alimentos (Magic Bullet)
- Balanza analítica (Shimadzu)
- Estufa (Heratherm oven)
- Desecador
- Termobalanza
- Digestor Simplicity (Thermolyne type 2200 hot plate)
- Tapas de plástico para tubos de digestión
- Sorbona (Memmert)

- Destilador Simplicity (Millipore)
- Equipo ICP
- Cámara fotografía (Sony)
- Computador (LG)

2.3.4. *Reactivos*

- Alcohol
- Agua destilada
- HNO₃ diluido (1:1)

2.4. Métodos

2.4.1. *Fase Experimental*

2.4.1.1. *Obtención de la muestra*

Lugares de muestreo en la ciudad de Riobamba: Supermercados Supermaxi y Mi Comisariato.

Las muestras fueron recolectadas el 20 de Abril de 2016 en los lugares anteriormente mencionados.

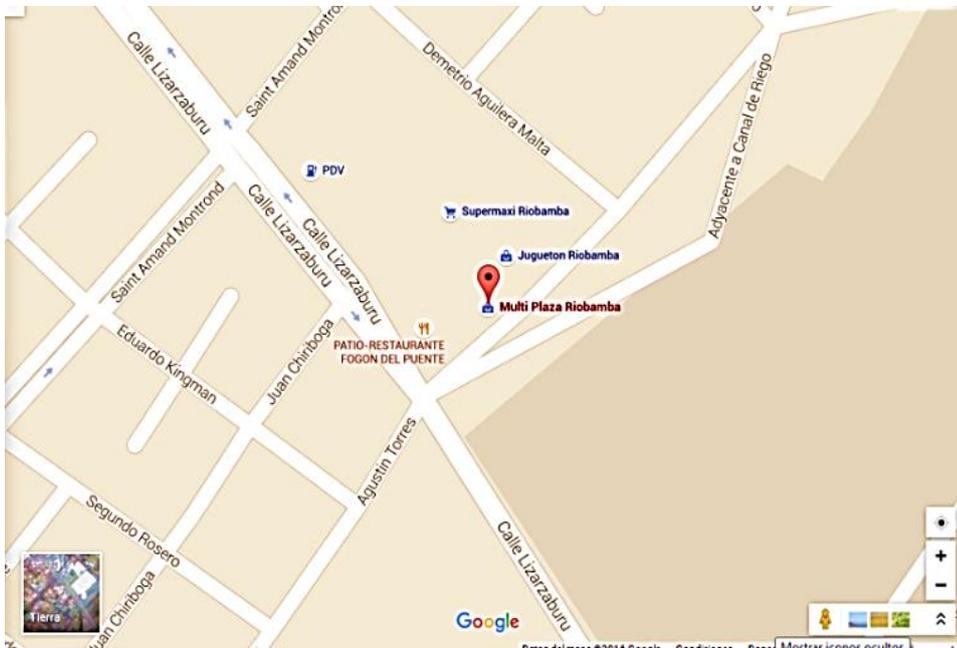
- En el supermercado Supermaxi se recolectaron 14 productos a base de arroz entre golosinas y cereales, todos estos productos se obtuvieron por triplicado y al azar.
- En el supermercado Mi Comisariato se recolectaron 8 productos a base de arroz (barras energéticas), los que fueron obtenidos al azar y por triplicado.

IMAGEN 2-1. Ubicación Mi Comisariato (Riobamba)



Fuente: (Google, 2016)

IMAGEN 2-2. Ubicación Supermaxi (Riobamba)

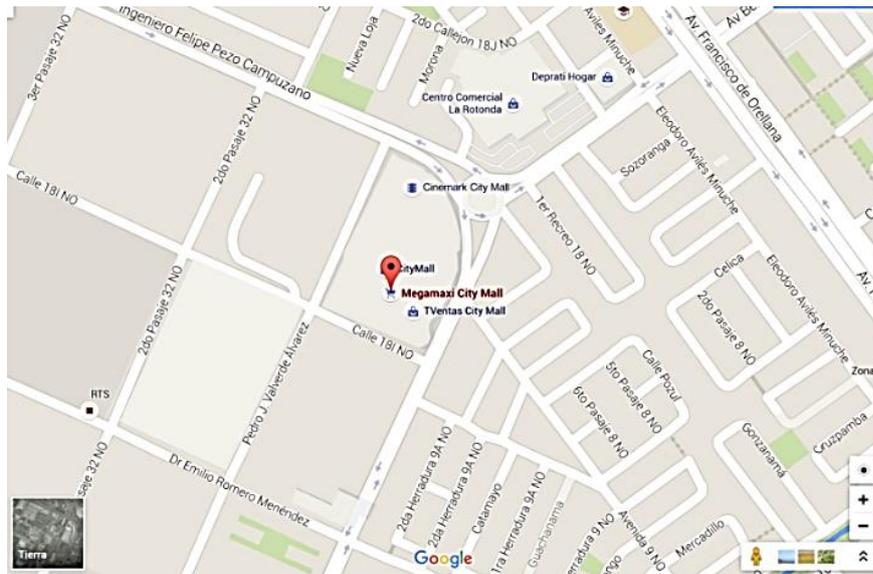


Fuente: (Google, 2016)

Lugar de muestreo en la ciudad de Guayaquil: Supermercado Megamaxi.

Las muestras de suplementos alimenticios (fórmulas), papillas y cereales para bebés se obtuvieron en este lugar debido a su mayor población, bajo la consideración de que su consumo sería mayor. El muestreo se realizó el 22 de Abril de 2016 con un total de 12 muestras seleccionadas al azar y por triplicado para su análisis.

IMAGEN 2-3. Ubicación Megamaxi (Guayaquil)

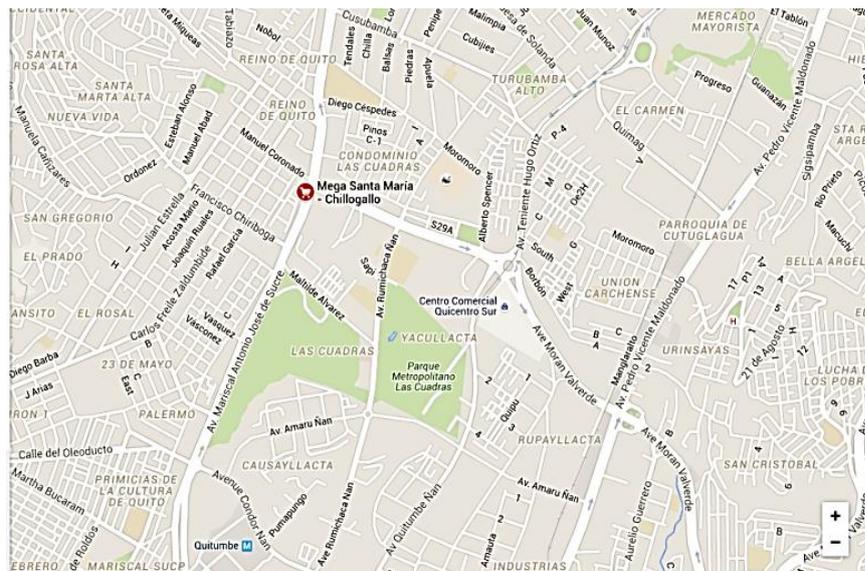


Fuente: (Google, 2016)

Lugares de muestreo en la ciudad de Quito: Supermercado Santa María.

El último muestreo se realizó el día 24 de Abril de 2016 en la ciudad de Quito, donde se obtuvieron los 10 productos restantes, todos fueron adquiridos al azar y por triplicado con el fin de obtener muestras de diferentes lotes y de diferentes fechas de elaboración, para verificar si existe alguna variación en sus resultados.

IMAGEN 2-4. Ubicación Supermercado Santa María Chillogallo (Quito)



Fuente: (Google, 2016)

FOTOGRAFIA 2-1. Adquisición de productos



Fuente: (Cruz, 2016)

2.4.1.2. Trituración de las muestras

Para proceder a triturar los productos a base de arroz, primeramente se limpió y desinfectó el área de trabajo. A continuación se realizó el siguiente procedimiento:

- Se homogeneizaron los productos a base de arroz mediante la mezcla de sus tres paquetes en una funda plástica.
- Se agitó la muestra mediante movimientos de lado a lado (un periodo de 30 veces)
- Se trituró la muestra con la ayuda del triturador de alimentos (Magic Bullet).
- El alimento triturado se colocó en una funda plástica limpia.
- Luego se procedió a homogenizar.
- Se pesó las muestras en fundas ziploc, aproximadamente unos 25 g. con sellado inmediato tratando de extraer todo el aire posible que se encontró en dicha funda.
- En seguida se procedió a codificar la muestra de una manera clara y legible con la ayuda de un marcador permanente.
- Se colocó cinta adhesiva sobre la codificación, con el fin de evitar que se borre la codificación.
- Por último se colocaron las muestras en un cooler (Thermopack), para mantener las condiciones del laboratorio (ya que fueron transportadas desde el área de alimentos al área de preparación de muestras)

FOTOGRAFÍA 2-2. Colocación de las muestras en Cooler (Thermopack)



Fuente: (Cruz, 2016)

2.4.1.3. Secado de muestras semisólidas

Para la determinación de humedad de la muestra se realizó lo siguiente:

1. Para determinar la humedad de la muestra se pesó 5g de muestra y se colocó en la Termobalanza por 5 horas, posteriormente se anotó el porcentaje de humedad.
2. Para las tres muestras restantes se utilizó la técnica para determinación de humedad mediante el método de la estufa para lo cual se realizó los siguientes pasos:
 - Se colocó las cápsulas destapadas y la tapa por aproximadamente 1 hora a 103°C
 - Transcurrido el tiempo, con la ayuda de una pinza se trasladó la cápsula tapada al desecador y se dejó enfriar por 30 minutos. Se registró como **m₁**
 - Se pesó aproximadamente 2 g de muestra previamente homogenizada. Se registró como **m₂**.
 - Se colocó la muestra con cápsula destapada y la tapa en la estufa a 103°C por 3 horas.
 - Se tapó la cápsula con la muestra para sacarla de la misma.
 - Se colocó en el desecador para enfriar por 30 minutos.
 - Se repitió el secado por una hora adicional, hasta observar que las variaciones entre dos pesadas sucesivas no excedan de 5 mg. Se registró como **m₃**.
 - Se calculó el porcentaje de humedad para cada muestra.
3. Para el secado de las muestras semisólidas se procedió a realizar lo siguiente:
 - Se colocó toda la muestra semisólida en cajas Petri de vidrio para obtener un secado uniforme.
 - Se colocó las muestras en Estufa a 103°C.
 - Una vez seca las muestras fueron trituradas en un mortero.
 - Se pesó directamente las muestras en fundas ziploc, sellándolo inmediatamente con toda la extracción de aire posible.
 - Se codificó las muestras de manera clara y legible con un marcador permanente, colocando sobre ella cinta adhesiva para evitar que se borre.

- Se colocó las muestras en un cooler (Termopack) para mantener las condiciones del laboratorio.

2.4.1.4. *Digestión de muestras*

Para la digestión de las muestras se realizaron los siguientes pasos:

- Se codificó los tubos para digestión.
- Se pesó aproximadamente 1g de muestra.
- Se colocaron las muestras en los tubos para digestión.
- Con una pipeta se tomó 10 ml de HNO₃ diluido (1:1) y se colocó en los tubos que contenían la muestra.
- Con las tapas de plástico se cerraron los tubos.
- Luego fueron colocados en la ruleta o porta tubos.
- El porta tubos fue llevado al área de digestión para realizar la digestión en el digestor (Thermolyne type 2200 hot plate) por 2 horas.
- Una vez concluida con la digestión de las muestras se procedió a filtrar en envases estériles y codificados.
- Luego se trasvasó a un balón aforado de 50 ml para ser aforado con agua destilada.
- La muestra aforada se guardó en envases estériles para su posterior análisis.

2.4.2. *Análisis de muestras*

2.4.2.1. *Determinación de arsénico total por el método ICP-OES*

Para determinación de arsénico total mediante el método ICP-OES se realizó lo siguiente:

- Se tomó una alícuota de 1 ml de muestra.
- Se colocó en los tubos para el ensayo.

- Se dejó correr la muestra.
- Las muestras fueron realizadas por triplicado.
- Se tomaron los resultados para su respectiva discusión y análisis, para ser comparados con los valores establecidos por el Codex Alimentarius y la Legislación Alimentaria UE, ya que en el Ecuador aún no se han establecidos parámetros de legislación vinculados a los niveles de As en arroz y sus productos alimenticios.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Porcentaje de humedad de muestras semisólidas

En la determinación de humedad para muestras semisólidas realizado por el método de Termobalanza se obtuvo un porcentaje de humedad de:

- **Muestra C24-E**

% Humedad = 78, 57%

Peso = 0,564 g de muestra seca.

Mientras que por el método de la estufa se obtuvo resultados de:

$$\% \textit{Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

Dónde:

m₁= masa de la cápsula vacía con su tapa, en gramos.

m₂= masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado, en gramos.

m₃= masa de la cápsula con tapa más la muestra desecada, en gramos.

- **Muestra C24-C**

$$\% \textit{Humedad} = \frac{46,0084 - 44,0497}{46,0084 - 43,6626} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{1,9587}{2,3458} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 83,50$$

- **Muestra C25-C**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{43,4989 - 41,7188}{43,4989 - 41,4235} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{1,7801}{2,0754} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 85,77$$

- **Muestra C25-E**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{43,7248 - 41,7631}{43,7248 - 41,4372} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{1,9617}{2,2876} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 85,75$$

Los resultados obtenidos por el método de estufa presentaron una pequeña variación que no es tan significativa, mientras que la muestra C24-E obtenida mediante termobalanza presentó una notable variación pudiendo deducir que esta muestra poseía poca cantidad de agua respecto a las demás muestras, ya que su formulación pudo haber variado durante su fabricación. La muestra C24-E fue de un lote diferente a las muestras C24-C, C25-C, C25-E.

3.2. Determinación de arsénico en productos a base de arroz

TABLA 3-1. Estimación de arsénico total (As-t) en alimentos a base de arroz para personas con enfermedad celíaca.

GRUPO	CÓDIGO	(%) ARROZ	As-t (µg/Kg)
TORTITAS	C1	98,5	-195,85
	C2	89,4	-87
	C3	45,8	-151,975
	C4	55	-68,175
BARRAS ENERGÉTICAS	C5	NE	-134,475
	C18	NE	-358,825
	C19	NE	-344,35
	C20	NE	-232,675
	C21	NE	-131,7
	C26	NE	-252,575
	C41	NE	-199,85
C43	NE	-370,8	
CEREAL	C11	17,1	-141,525
	C12	19	-288,875
	C13	12,0 (harina cereal) 8,7 (harina cobertura)	-182,05
	C14	NE	-123,725
	C15	NE	-180,2
	C16	NE	-116,9875
	C17	NE	-229,325
	C27	NE	-92,425
	C28	NE	-94,275
	C29	NE	-101
	C30	NE	-369,05
	C31	NE	-145,225
	C32	NE	-66,65
	C33	NE	-136,05
	C34	NE	-104,0875
	C38	NE	-234,2
	C39	NE	-138,45
C40	24,1	-200,225	
GALLETAS INTEGRAL	C37	NE	-260,3
	C42	NE	-331,05
CHOCOLATES	C35	NE	-442,075
	C36	NE	-333,05
	C44	NE	-208,55

Fuente: (CESTTA, 2016)

Los resultados obtenidos de arsénico total en alimentos a base de arroz para personas con enfermedad celíaca, reportaron datos que no son detectables dentro del rango de lectura para la medición según la técnica empleada: 500 µg/kg (ppb).

Estos resultados, podrían indicar que los alimentos a base de arroz son aparentemente inofensivos para su consumo en la población ecuatoriana, pero esto no significa que el arsénico total no se encuentre presente en estos alimentos.

TABLA 3-2. Estimación de arsénico total (As-t) en alimentos a base de arroz para niños de hasta 3 años de edad.

GRUPO	CÓDIGO	(%) ARROZ	As-t (µg/Kg)
SUPLEMENTO ALIMENTICIO	C6	NE	-239,475
	C7	NE	-208,75
	C8	96	-3,725
	C9	NE	-140,925
	C10	NE	-38,7125
	C22	NE	-172,55
	C23	NE	-188,8
PAPILLAS	C24	3	-439
	C25	4	-371,05

Fuente: (CESTTA, 2016)

El análisis de los alimentos a base de arroz para niños de hasta 3 años de edad, mediante el método ICP-OES, no detectó valores de arsénico total.

La ausencia de arsénico total en estos productos tal vez se deba a que el arsénico se encuentra en mayor concentración en la parte externa del grano, es decir en la cáscara y el salvado (61-19 µg/kg de arsénico inorgánico) según lo han reportado otras investigaciones (Sun y col., 2008, p. 1) (Smith y col., 2008, p. 3) (Bhattacharya y col., 2010, p. 63).

Estudios realizados en 2012 (CR, 2012 a, pp. 1-8) en productos como cereales tanto para personas celíacas como para niños se obtuvieron resultados de 5,9 y 6,7 $\mu\text{g}/\text{porción}$, mientras que productos de la misma marca que fueron objeto de nuestro estudio mostraron los datos de la tabla 3-3, por lo que podría suponerse que las empresas estarían realizando un control más riguroso en la materia prima (arroz) o para corroborar los resultados se recomendaría realizar esta determinación de arsénico total por métodos más sensibles, que permitan aclarar la gran incertidumbre en la presencia de este metal pesado.

Existe gran preocupación en los consumidores, por el riesgo al que se encuentran expuestos tanto niños como mujeres embarazadas, pues según Ph. D Keeve Nachman, científico especializado en riesgos del Centro para un Futuro Habitable de Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, los efectos secundarios del arsénico afectan al cerebro en desarrollo, pues investigaciones sobre niveles de arsénico en alimentos para bebés y niños cada vez son alarmantes (CR, 2012a, pp. 6-8).

TABLA 3-3. Comparación de valores obtenidos en la investigación con valores de laboratorio.

PRODUCTO DE INVESTIGACIÓN	ARSÉNICO TOTAL $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb)	PRODIUCTO ANALIZADO	ARSÉNICO TOTAL $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb)
Marca 1	232-264	C-24	-439
Marca 2	168-196	C-33	-136,05
Marca 3	123-126	C-14	-123,725

Fuente: (CR, 2012, p. 7)(CESTTA, 2016)

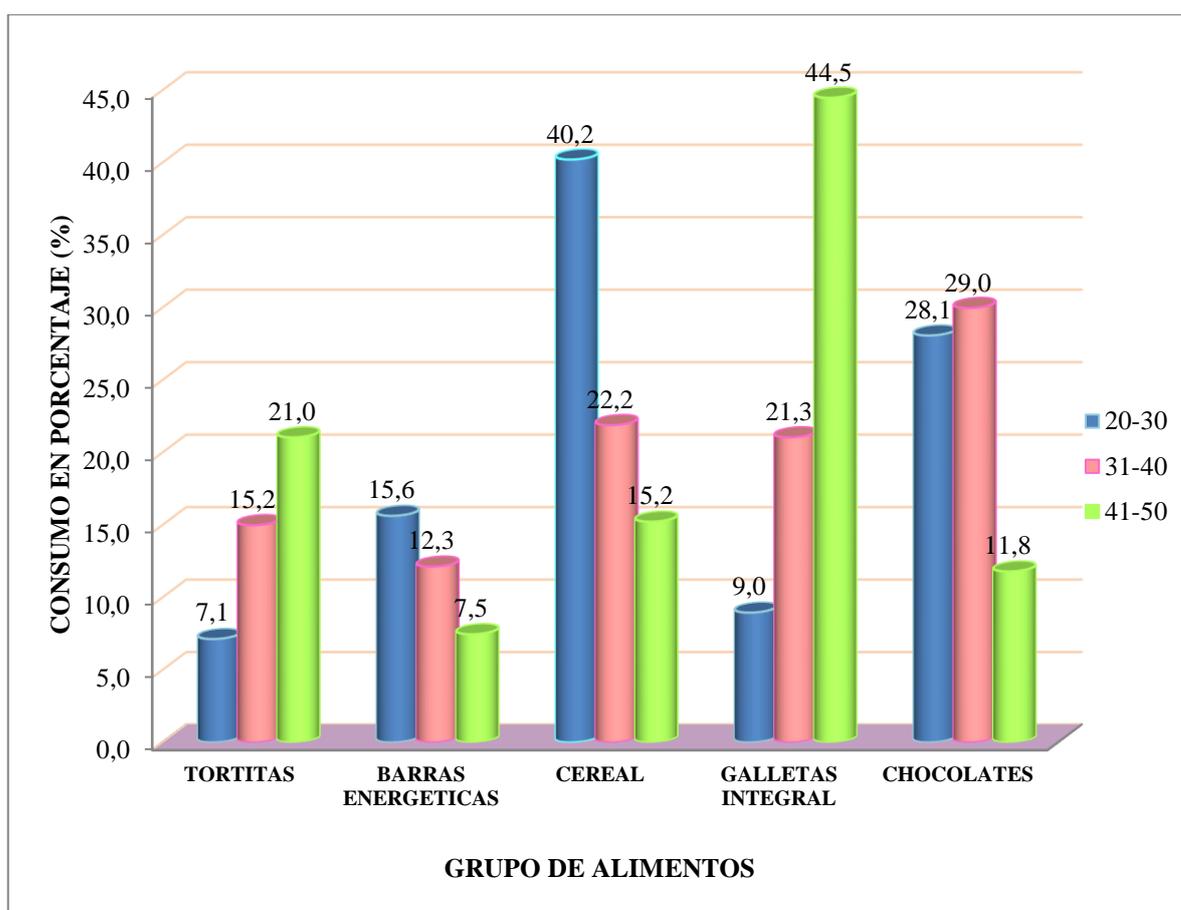
3.3. Grado de consumo de alimentos a base de arroz

TABLA 3-4. Consumo de alimentos a base de arroz

GRUPO	HOMBRES	MUJERES	EDAD		
			20-30 (276 pers.)	31-40 (139 pers.)	41-50 (85 pers.)
TORTITAS	124 personas	376 personas	7,1 %	15,2 %	21,0 %
BARRAS ENERGÉTICAS			15,6 %	12,3 %	7,5 %
CEREAL			40,2 %	22,2 %	15,2 %
GALLETAS INTEGRAL			9,0 %	21,3 %	44,5 %
CHOCOLATES			28,1 %	29,0 %	11,8 %

Fuente: Cruz, 2016

FIGURA 3-1. Porcentajes de consumo de alimentos a base de arroz según grupo de edad y grupo de alimentos



Fuente: (Cruz, 2016)

Los resultados del consumo de alimentos a base de arroz, muestran que 124 personas corresponden al género masculino y 376 personas pertenecen al género femenino, divididas tres grupos de edades: de 20-30 años de edad 276 personas, para el grupo de 31-40 años de edad 139 personas, mientras que 85 personas correspondieron al grupo de 41-50 años de edad.

Dentro de los grupos de edades, el consumo de alimentos a base de arroz varía considerablemente, reportándose así que el consumo de tortitas con un 21,0% es mayor en personas de 41-50 años de edad, debido a su fácil digestibilidad; el consumo de barras energéticas es mayor en personas de 20-30 años de edad, debido a su reducido tamaño y perfecta combinación en carbohidratos, fibra, proteína y grasa, se ha convertido en un alimento ideal para los deportistas, pues su aporte energético es ideal tras un esfuerzo físico y mental.

El consumo de cereales es mayor en personas de 20-30 años de edad (40,2%), ya que su gran variedad en formas y en sabores lo hacen ideal para el consumo en sus desayunos, pues son fáciles de prepararlos. En un 44,5% las galletas integrales son consumidas por personas de 41-50 años de edad, debido al gran aporte en fibra y ausencia de colesterol, que permite cuidar el sistema circulatorio y sobre todo el corazón.

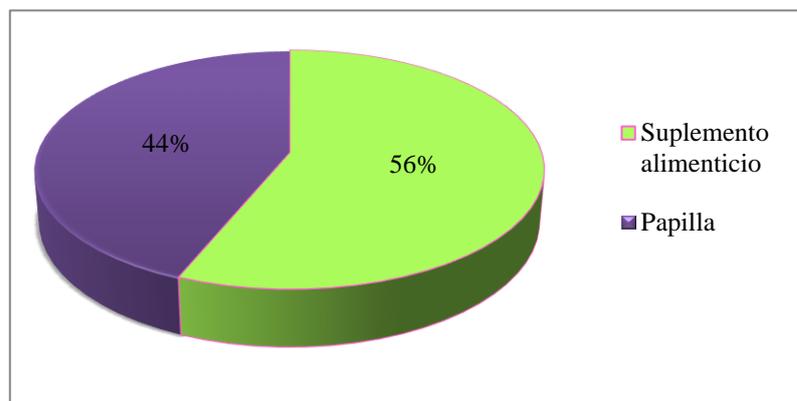
El consumo de chocolates tanto en personas de 20-30 años (28,1%) y 31-40 años (29,0%) no presenta diferencia significativa, pues este alimento es apetecible a cualquier edad muchas personas pueden padecer diabetes por esta causa, siendo 4.401 personas que mueren por esta patología (INEC, 2014).

TABLA 3-5. Alimentos a base de arroz de mayor consumo en niños de hasta 3 años de edad

GRUPO	HOMBRES	MUJERES	CONSUMO
SUPLEMENTO ALIMENTICIO	97 personas	256 personas	379
PAPILLA			295

Fuente: (Cruz, 2016)

FIGURA 3-2. Mayor consumo de alimentos a base de arroz en niños de hasta 3 años de edad



Fuente: (Cruz, 2016)

De 353 personas encuestadas sobre el consumo de suplemento alimenticio o papilla, 97 de género masculino y 256 de género femenino, el 56% prefiere el suplemento alimenticio y 44% la papilla. Estos alimentos son de mayor uso pediátrico cuando se trata de agregar alimentos a la dieta de los niños por su fácil digestibilidad.

3.4. Cálculo de Ingesta Diaria Recomendada (IDR)

TABLA 3-6. Consumo semanal de los grupos de alimentos para adultos

GRUPOS	CONSUMO SEMANAL	CONSUMO DIARIO	PORCIÓN IDR	INGESTA BASADO EN 2000 cal
TORTITAS	84 g	12 g	En 1 tortita de 7 g (35 cal)	380 cal/100 g
BARRAS ENERGÉTICAS	550 g	78,5 g	En 25 g (92 cal)	415 cal/100 g
CEREAL	1110 g	158,6 g	En 30 g (113 cal)	378 cal/100 g
GALLETAS INTEGRAL	540 g	77,1 g	En 30 g (35 cal)	111 cal/100 g
CHOCOLATES	783 g	111,9 g	En 27 g (140 cal)	587 cal/100 g

Fuente: (Cruz, 2016)

Como se observa en la tabla 3-6, el consumo semanal de los diferentes grupos de alimentos es alto a pesar de que muchos no son consumidos diariamente, pues generalmente lo consumen en porciones más grandes de lo que debería, influyendo en la dieta debido a que estos valores están fuera de la IDR de 2000 calorías.

Ecuación de Harris Benedict

Hombres → $TMB = 66 + (13,7 \times P) + (5 \times A) - (6,8 \times E)$

Mujeres → $TMB = 655 + (9,6 \times P) + (1,8 \times A) - (4,7 \times E)$

Dónde:

TMB= tasa metabólica basal (kcal/día)

P= peso en Kg

A= altura en cm

E= edad en años

Hombres → $TMB = 66 + (13,7 \times 70 \text{ kg}) + (5 \times 170 \text{ cm}) - (6,8 \times 30 \text{ años})$

$TMB = 1671 \text{ kcal/día}$

Mujeres → $TMB = 655 + (9,6 \times 55 \text{ kg}) + (1,8 \times 158 \text{ cm}) - (4,7 \times 30 \text{ años})$

$TMB = 1326 \text{ kcal/día}$

TABLA 3-7. Ingesta diaria de calorías recomendada según el principio de Harris-Benedict

POCO O NINGÚN EJERCICIO	CALORÍAS DIARIAS NECESARIAS = TMB X 1,2
Ejercicio ligero (1-3 días a la semana)	Calorías diarias necesarias = TMB x 1,375
Ejercicio moderado (3-5 días a la semana)	Calorías diarias necesarias = TMB x 1,55
Ejercicio fuerte (6-7 días a la semana)	Calorías diarias necesarias = TMB x 1,725
Ejercicio muy fuerte (dos veces al día, entrenamientos muy duros)	Calorías diarias necesarias = TMB x 1,9

Calorías diarias necesarias = TMB x 1,2

Hombres → Calorías diarias necesarias = TMB x 1,2

Calorías diarias necesarias = 1671 kcal/día x 1,2

Calorías diarias necesarias = 2005 kcal/día

Mujeres → Calorías diarias necesarias = TMB x 1,2

Calorías diarias necesarias = 1326 kcal/día x 1,2

Calorías diarias necesarias = 1591 kcal/día

Tanto hombres como mujeres que realizan poco ejercicio (conducir, planchar) deberían consumir alimentos en porciones adecuadas que ayuden a mantener su estado físico y salud en buen estado.

TABLA 3-8. Consumo semanal de los grupos de alimentos para niños hasta 3 años de edad

GRUPOS	CONSUMO SEMANAL	CONSUMO DIARIO	PORCIÓN IDR	INGESTA BASADO EN 1300 cal
SUPLEMENTO ALIMENTICIO	315 g	45 g	En 8 g (30 cal), en 15 g (56 cal), en 25 g (91 cal)	377 cal por cada 100 g
PAPILLAS	452 g	65 g	En 1 porción de 113 g (100 cal)	100 cal por cada 113 g

Fuente: (Cruz, 2016)

Como se puede visualizar en la tabla 3-8 el consumo diario de suplemento alimenticio es mayor a la IDR, debido a que en muchos hogares los niños prefieren este tipo de alimentos y los padres de familia los preparan descartando de su dieta algunas frutas, carnes, y vegetales poco apetecibles (espinaca, brócoli o coliflor). Los suplementos son preferidos por los niños debido a sus sabores agradables y facilidad para deglutir.

Ecuación método FAO/OMS/UNU para niños de 0-3 años

Niños → $TMB = 60,9 \times P - 54$

Niñas → $TMB = 61 \times P - 51$

Dónde:

TMB= tasa metabólica basal (kcal/día)

P= peso en Kg

Niños → $TMB = 60,9 \times 15,1 \text{ kg} - 54$

$TMB = 866 \text{ kcal/día}$

Niñas → TMB = 61 x 14,4 kg - 51

TMB= 827 kcal/día

Calorías diarias necesarias = TMB x 1,375 o TBM x 1,55

Niños → Calorías diarias necesarias = TMB x 1,55

Calorías diarias necesarias = 866 kcal/día x 1,55

Calorías diarias necesarias = 1342 kcal/día

Niñas → Calorías diarias necesarias = TMB x 1,375

Calorías diarias necesarias = 827 kcal/día x 1,375

Calorías diarias necesarias = 1137 kcal/día

La diferencia de calorías diarias necesarias es mayor en niños que en niñas, debido a que los primeros son más hiperactivos, por lo que su dieta deberá ser balanceada entre frutas, verduras, carnes y se deberán respetar las porciones de suplemento alimenticio que se recomienda a esa edad.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES

- Actualmente en el Ecuador no se cuenta con legislación que regule el contenido de arsénico en el arroz, ni en sus productos derivados para consumo humano según las normativas investigadas (NTE INEN).
- Los productos a base de arroz que se expenden en los diferentes supermercados del Ecuador presentan valores por debajo del límite de detección de 500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb).
- Se identificaron 44 productos a base de arroz en los distintos supermercados.
- Los productos de mayor consumo en personas de 20-30 años de edad son los cereales con 40,2%, mientras que en personas de 41-50 años de edad el consumo mayor corresponde a galletas integrales (44,5%). El producto de mayor consumo en niños son los suplementos alimenticios con un 56%.
- No existe presencia de arsénico total en los productos estudiados con el método ICP-OES. Esta investigación constituye un gran aporte para verificar las condiciones en las que se encuentra los productos de mayor consumo diario.
- No fue posible comparar los resultados de arsénico total tanto para niños como para personas celiacas debido a sus bajos valores.

CAPÍTULO V

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se continúe realizando este tipo de investigaciones con el fin de garantizar alimentos inocuos, para tener una vida saludable.
- Se recomienda realizar la determinación de arsénico total en un rango de 0,05 - 0,25 mg/Kg, rango en el cual podrá detectarse el arsénico.
- Se recomienda observar cualquier tipo de síntomas que presenten los consumidores con el fin de que el cuadro no empeore.
- Se recomienda mantenerse siempre informado sobre los nuevos productos que se encuentran en el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

- AEPPA & AVALPAP.** "Educación para la salud alimentación complementaria (padres)". *Asociación Española de Atención Primaria (AEPPA), Asociación Valenciana de Pediatría de Atención Primaria (AVALPAP)*. [en línea], 2013, pp. 6-7. [Consulta: 17 septiembre 2016]. Disponible en: <https://www.aepap.org/sites/default/files/documento/archivos-adjuntos/alimentacioncomplementariapadres.pdf>.
- AGRINEWS.** "Principales países productores de cereales". *AgriNews.es una nueva visión del campo* [en línea], 2014, pp. 1-2. [Consulta: 24 octubre 2016]. Disponible en: <http://agrinews.es/2014/03/04/principales-paises-productores-de-cereales/>.
- ALBORES, A.; y col.** "Capítulo 15: Arsénico". *Introducción a la toxicología ambiental* [en línea], 1997, pp. 247-262. [Consulta: 9 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a15.pdf>.
- ALVARADO, J.** "Un promedio de 117 libras de arroz al año consume cada ecuatoriano". *El Universo.com* [en línea], 2013, pp. 1-3. [Consulta: 15 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.eluniverso.com/noticias/2013/09/19/nota/1462276/promedio-117-libras-arroz-ano-consume-cada-ecuatoriano>.
- ASTDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.** "Toxicological Profile for Arsenic". *U.S Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry* [en línea], 2013, (Atlanta) 2013. pp 1-559. [Consulta: 29 agosto 2016]. ISSN 1942-0994. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/286524>.
- AT, Agilent Technologies.** "Espectroscopía atómica. Características de algunas técnicas de emisión". *Agilent Technologies* [en línea], 2015, pp. 1-31. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: https://www.agilent.com/cs/library/slidepresentation/Public/2_Soluciones_Agilent_ICP-OES.pdf.
- BAERTLEIN, L.** "Watchdog calls out FDA for arsenic levels in rice; Consumer Reports urges people to cut back on scores of products". *ProQuest.com* [en línea], 2016, (United States), pp. 1-4. [Consulta: 10 noviembre 2016]. ISSN 07424671 Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1108/17506200710779521>.

- BAI, J.; y col.** "Enfermedad celíaca". *Guías Mundiales de la Organización Mundial de Gastroenterología* [en línea], 2012, pp. 1-28. [Consulta: 27 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.worldgastroenterology.org/UserFiles/file/guidelines/celiac-disease-spanish-2013.pdf>.
- BARCIA, W.** "La Producción de Arroz en el Ecuador". *Educándonos en el Ámbito Económico* [en línea], 2012, (Ecuador), pp. 1-3. [Consulta: 17 marzo 2016]. Disponible en: <http://ambitoeconomico.blogspot.com/2012/10/la-produccion-de-arroz-en-el-ecuador.html>.
- BASTÍAS, J. & BELDARRAIN, T.** "Arsenic translocation in rice cultivation and its implication for human health". *Chilean Journal of Agricultural Research* [en línea], 2016, (Chile), 76(1), pp. 114-122. [Consulta: 21 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.chileanjar.cl/files/V76i1Y2016id4438.pdf>.
- BCE, Banco Central del Ecuador.** "Sector agropecuario". *Banco Central del Ecuador* [en línea], 2015, (Ecuador), 88(1), pp. 1-48. [Consulta: 25 octubre 2016]. ISSN 1390-0579. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc201501.pdf>.
- BHATTACHARYA, P.; y col.** "Accumulation of arsenic and its distribution in rice plant (*Oryza sativa* L.) in Gangetic West Bengal, India". *Paddy and Water Environment* [en línea], 2010, (India), 8 (1), pp. 63-70. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10333-009-0180-z>.
- BOSS, C. & FREDEE, K.** "Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry". *PerkinElmer precisely* [en línea], 2004, (USA), pp. 1-120. [Consulta: 20 junio 2016]. Disponible en: https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/GDE_Concepts-of-ICP-OES-Booklet.pdf.
- BRIZUELA, D.; y col.** "Alimentación complementaria en niños sanos de 6- 24 meses". *SciELO* [en línea], 2013, (Venezuela), 76(3), pp. 128-135. [Consulta: 29 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/pdf/avpp/v76n3/art08.pdf>.
- BUNDSCHUH, J.; y col.** "One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries". *Science of the Total Environment, Elsevier.com* [en

línea], 2012, 429, pp. 1-35. [Consulta: 9 agosto 2016]. ISSN 00489697. Disponible en: [file:///C:/Users/FLOR/Downloads/262 bundschuh stoten one century stoten 2012.pdf](file:///C:/Users/FLOR/Downloads/262_bundschuh_stoten_one_century_stoten_2012.pdf).

CAPORALE, A. "Mobility and phyto-availability of arsenic in soil-plant system and decontamination techniques of arsenic polluted areas". *University of Naples Federico II. Faculte of Agricultutre* [en línea], 2011, (Italia), pp. 1-201. [Consulta: 10 agosto 2016]. Disponible en: http://www.fedoa.unina.it/8643/1/Caporale_Antonio_Giandonato_24.pdf.

CARBAJAL, Á. "Manual de Nutrición y Dietética". *Manual de Nutrición y Dietética* [en línea], 2013, (España), pp. 1-18. [Consulta: 29 noviembre 2016]. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-cap-3-ingestas-recomendadas.pdf>.

CARBONELL, A.; y col. "Arsénico en el sistema suelo-planta". *Espagráfic* [en línea], 1995, (España), pp. 1-139. [Consulta: 10 agosto 2016]. Disponible en: <http://publicaciones.ua.es/filespubli/pdf/LD8479081929819613.pdf>.

CASTRO, J., "Capítulo catorce. Arsénico". *Libro* [en línea], 1982, 16, pp. 245-264 [Consulta: 9 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/016750/016750-arsen.pdf>.

CERECEDA, C. & MARTÍN, C. "Alimentación del adulto sano". *Nutrición y Dietética* [en línea], 2007, pp. 245-267. [Consulta: 29 noviembre 2016]. Disponible en: [www.enfermeriaaps.com/portal/.../Alimentacion del adulto sano.pdf](http://www.enfermeriaaps.com/portal/.../Alimentacion%20del%20adulto%20sano.pdf).

CHAPMAN & MORRIS. "Arsenic". *Green Facts Facts on Health and the Environment* [en línea], 2015, pp. 1-7. [Consulta: 9 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.greenfacts.org/es/arsenico/index.htm#3>.

CHOI, J.; y col. "Speciation of Arsenic in Rice by High-Performance Liquid Chromatography – Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry". *Analytical Letters* [en línea], 2016, 2719, (Korea), 2719, pp. 1-23. [Consulta: 24 octubre 2016]. ISSN 0003-2719. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00032719.2015.1125912>.

CIC, Consejo Internacional de Cereales. " Informe para el ejercicio 2014/15 ". *Consejo Internacional de Cereales* [en línea], 2016a, (Canadá, Inglaterra), pp. 1-26 [Consulta: 24 octubre 2016]. Disponible en:

http://www.igc.int/downloads/publications/rfy/rfy1415_s.pdf.

CIC, Consejo Internacional de Cereales. "Mercado de cereales". *Informe Mercado de Cereales en Consejo Internacional de Cereales* [en línea], 2016b, pp. 2-8. [Consulta: 23 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.igc.int/downloads/gmrsummary/gmrsumms.pdf>.

CODEX ALIMENTARIUS. "Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias". *Comision del Codex Alimentarius* [en línea], 2011, 9, pp. 1-28. [Consulta: 21 octubre 2016]. Disponible en: ftp://193.43.36.92/codex/Meetings/CCCF/cccf5/cf05_10s.pdf.

CODEX ALIMENTARIUS. "Niveles Máximos de Arsénico en Arroz". *Comisión del Codex Alimentarius* [en línea], 2012, 39, pp. 1-17 [Consulta: 17 mayo 2016]. Disponible en: ftp://193.43.36.92/codex/Meetings/CCCF/cccf6/cf06_08s.pdf.

CODEX STAN 198-1995. "Norma del Codex para el Arroz". *Codex Standard 198-1995*[en línea], 1995, pp. 1-7. [Consulta: 9 agosto 2016]. Disponible en: www.fao.org/input/download/standards/61/CXS_198s.pdf.

CR, Consumer Reports. "Arsénico en sus alimentos". *Consumer Reports Magazine* [en línea], 2012, pp. 1-8. [Consulta: 19 noviembre 2016]. Disponible en: http://espanol.consumerreports.org/content/cre/es/salud/vida-sana/nutricion-ejercicio/Arsenico_en_sus_alimentos.print.html.

DELGADO, F. "Arroz en el Ecuador". *Ecuaquímica* [en línea], 2009, (Ecuador), pp. 1-14. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: https://www.ecuaquimica.com.ec/info_tecnica_arroz.pdf.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. "La alimentación de los niños de mas de seis meses". *Notas sobre nutrición* [en línea], 2011, pp. 77-85. [Consulta: 27 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-y5740s/y5740s11.pdf>.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. "Niños sanos a término necesidades de energía : FAO / OMS". *Universidad de Buenos Aires* [en línea], 2013, (Argentina), pp. 1-11. [Consulta: 27 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.fmed.uba.ar/depto/alim_n_sano/Recomendaciones_2013 con PMT.pdf.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. "SMA, Seguimiento del Mercado del Arroz de la FAO". *fao.org/economic* [en línea], 2016, XIX(2), pp. 1-10. [Consulta: 25 octubre 2016]. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Rice/Images/RMM/SMA_JUL16.pdf.

FDA, Agencia de Alimentos y Medicamentos. "FDA Looks for Answers on Arsenic". *FDA* [en línea], 2012, pp. 1-3. [Consulta: 3 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.fda.gov/ForConsumers/ConsumerUpdates/ucm319827.htm>.

FDA, Agencia de Alimentos y Medicamentos. El arsénico en el arroz y los productos de arroz. [en línea], 2016, pp. 1-5. [Consulta: 27 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/Metals/ucm320668.htm>.

FEN, Fundación Española de la Nutrición. "Rice Oryza sativa". *FEN* [en línea], 2011, pp. 39-40. [Consulta: 20 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.fen.org.es/mercadofen/pdfs/arroz.pdf>.

FÉRNANDEZ, R. "La Técnica de Palsma-Masas (ICP-MS)". *Seminarios* [en línea], 2004, 1, pp. 1-40. [Consulta: 9 agosto 2016]. ISSN 1098-6596. Disponible en: https://www.uam.es/personal_pas/txrf/icpms.html.

FOODMUSEUM. "More Rice: Sometimes A Great Notion". *FoodsBlog* [en línea], 2008, pp. 1-3. [Consulta: 15 septiembre 2016]. Disponible en: http://foodmuseum.typepad.com/food_museum_blog/2008/06/more-rice-sometimes-a-great-notion-is-simple.html.

FRASER INSTITUTE. "Realidad Minera". *Realidad Minera* [en línea], 2012, pp. 1-9. [Consulta: 9 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.miningfacts.org/Ambiente/Que-papel-juega-el-arsenico-en-la-industria-minera/>.

GALVAÑO, L. & COREY, G. "Arsenico 3.pdf". *Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud* [en línea], 1987, (México), pp. 1-70. [Consulta: 17 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/005131.pdf>.

- GAVIRIA, A.; y col.** "Arsénico en arroz Colombia". *Evaluación de riesgos en inocuidad de alimentos. Perfil de arsénico en arroz* [en línea], 2013, (Colombia), pp. 1-62. [Consulta: 3 junio 2016]. Disponible en: http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/investigacion/ueria/Publicaciones/PERFIL_ARSENICO_EN_ARROZ.pdf.
- GIL, J.** "Cultivo de Arroz sistema Intensificado SICA-SRI en Ecuador". *FUNDEC* [en línea], 2008, (Ecuador), pp. 1-69. [Consulta: 22 noviembre 2016]. Disponible en: <http://sri.ciifad.cornell.edu/countries/ecuador/EcuGilLibroCultivodiArroz08.pdf>.
- GMID, Euromonitor International Global Market Information Database.** "El consumo de cereales en América Latina". *América Economía* [en línea], 2015, pp. 1-7. [Consulta: 21 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/grafico-del-dia-el-consumo-de-cereales-en-america-latina>.
- GOMEZ, A.; y col.** "arsenic and arsenic compounds". *The International Programme on Chemical Safety (IPCS). WHO* [en línea], 2001, (Geneva), pp. 1-114. [Consulta: 15 octubre 2016]. ISSN 0250-863X. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42366/1/WHO_EHC_224.pdf.
- GONG, H.** "Elemental Analyses by ICP-AES". *PennState. Materials Research Institute* [en línea], 2015, pp. 1-37. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.ncm.unn.ru/files/2015/11/applecture212.pdf>.
- GONZÁLEZ, D. & HERRERA, X.** "Manejo nutricional de la enfermedad celíaca". *Rev. Cubana Pediatría* [en línea], 2006, (Cuba), 78(2), pp. 1-7. [Consulta: 27 septiembre 2016]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ped/v78n2/ped10206.pdf>.
- GOTTAU, G.** "Los cereales más sanos para la cocina del celíaco". *Directo al Paladar el sabor de la vida* [en línea], 2014, pp. 1-8. [Consulta: 27 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.directoalpaladar.com/salud/los-cereales-mas-sanos-para-la-cocina-del-celiaco>.
- HOU, X. & JONES, B.T.** "Inductively Coupled Plasma / Optical Emission Spectrometry". *Encyclopedia of Analytical Chemistry* [en línea], 2000, (USA), pp. 1-19. [Consulta: 5 noviembre 2016]. Disponible en: https://www.unil.ch/idyst/files/live/sites/idyst/files/shared/Labos/Hou&Jones_2000.pdf.

HUGHES, M.; y col. "Arsenic Exposure and Toxicology: A Historical Perspective". *Toxicological Sciences* [en línea], 2011, (USA), 123(2) pp. 304-332. [Consulta: 9 agosto 2016]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/51486829_Arsenic_Exposure_and_Toxicology_A_Historical_Perspective.

IARC, Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. "Clasificaciones IARC ", *Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer* [en línea], 2015, pp. 1-2. [Consulta: 21 octubre 2016]. Disponible en: [http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/archivos/notas/Clasificaciones del IARC_.pdf](http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/archivos/notas/Clasificaciones%20del%20IARC_.pdf).

INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. "Datos". *Instituto Nacional de Estadística y Censos. INEC* [en línea], 2014. [Consulta: 20 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/vdatos/>.

INIAP, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. "Nueva variedad de arroz (*Oryza sativa* L.) de alto rendimiento y calidad de grano, en sistema de riego". *Programa Nacional del Arroz* [en línea], 2010, (Ecuador), pp. 1-7. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Nueva variedad de arroz \(*Oryza sativa* L.\) de alto rendimiento y calidad de grano, en sistema de riego..pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Nueva%20variedad%20de%20arroz%20(Oryza%20sativa%20L.)%20de%20alto%20rendimiento%20y%20calidad%20de%20grano,%20en%20sistema%20de%20riego..pdf).

INIAP, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. "Arroz". *Iniap* [en línea], 2012a, (Ecuador), pp. 1 [Consulta: 11 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.iniap.gob.ec/web/programa-1/>.

INIAP, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. "Arroz Inundado. Arroz Secano". *Manual Agrícola de los Principales cultivos del Ecuador* [en línea], 2012b, (Ecuador), pp. 1-89. [Consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.crystal-chemical.com/arroz.htm#SUELO1>.

ISO VIM, International Organization for Standardization International. "Vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM)". *ISO VIM (DGUIDE 99999)* [en línea], 2004, pp. 1-71. [Consulta: 30 septiembre 2016]. Disponible en: http://www.ufrgs.br/medterm/areas/area-i/ISO_VEM.pdf.

KUMAR, G.M.; y col. "Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy : an

- overview". *International Journal of Pharmaceutical Research & Analysis* [en línea], 2014, 4, pp. 470-477. [Consulta: 15 noviembre 2016]. e-ISSN: 2249 – 7781, Print ISSN: 2249 – 779X. Disponible en: [http://www.ijpra.com/File_Folder/470-477\(ijpra\).pdf](http://www.ijpra.com/File_Folder/470-477(ijpra).pdf).
- LÓPEZ, B.** "Pirámide nutricional de Harvard". *The Healthy Eating Pyramid* [en línea], 2014, pp. 1-2. [Consulta: 24 octubre 2016]. Disponible en: <https://www.mentalidadfitness.com/piramide-nutricional-de-harvard/>.
- LOZANO, B.** "Espectroscopía de Plasma ICP-OES". *Laboratorio de Técnicas Instrumentales UVA* [en línea], 2016, 11, pp. 1-2. [Consulta: 10 octubre 2016]. ISSN 00205958. Disponible en: <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectroscopa-de-plasma-icp-oes>.
- MACKENZIE, F.; y col.** "Global trace metal cycles and predictions". *Journal of the International Association for Mathematical Geology* [en línea] , 1979, pp. 99-142. [Consulta: 10 agosto 2016]. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF01028961#page-1>.
- MAHIMAIRAJA, S.; y col.** "Arsenic contamination and its risk management in complex environmental settings". *Elsevier* [en línea], 2005, 86, pp. 1-82. [Consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.kiwiscience.com/JournalArticles/AdvancesInAgronomy05.pdf>.
- MCCOY, K.** "Toxicidad por arsénico". *Total imaging* [en línea], 2015, pp. 1-4. [Consulta: 13 septiembre 2016]. Disponible en: <http://healthlibrary.epnet.com/GetContent.aspx?token=3090ae87-e394-424e-a52b-5c6488f40259&chunkid=629454>.
- MEHARG, A.; y col.** "Inorganic arsenic levels in baby rice are of concern". *Environmental Pollution* [en línea], 2008, 152(3), pp. 746-749. [Consulta: 13 septiembre 2016], ISSN 02697491. Disponible en: <http://10.1016/j.envpol.2008.01.043>.
- MELOROSE, J.; y col.** "Celiacos / enfermedad celiaca (intolerancia al gluten)". *Fundación Belén. Statewide Agricultural Land Use Baseline* [en línea], 2015, pp. 1-20. [Consulta: 9 agosto 2016]. ISSN 1098-6596. Disponible en: <http://fundacionbelen.org/problemas/celiacos-enfermedad-celiaca-intolerancia-gluten/>.

- MELVILLE, J.; y col.** "Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy". *Instrumental Methods in Analytical Chemistry* [en línea], 2014, pp. 1-17. [Consulta: 22 noviembre 2016]. Disponible en: <https://www.ocf.berkeley.edu/~jmlvll/lab-reports/ICP-AES/ICP-AES.pdf>.
- MORALES, L. & HIDALGO, L.** "Consumo de arsénico y riesgo cardiovascular". *Scielo* [en línea], 2015, (Costa Rica), 32 (1), pp.1-8. [Consulta: 17 mayo 2016]. ISSN 1409-0015. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-00152015000100013&script=sci_arttext.
- MORATO, N.** "Efectos del arsénico en los alimentos". *Eroski Consumer* [en línea], 2010, pp. 1-4. [Consulta: 4 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2010/10/18/196522.php>.
- MORICE, A.** "Arroz un alimento con alto valor nutricional". *Revista Arroceras. CONARROZ (Corporación Arroceras Nacional)* [en línea], 2011, (Costa Rica), pp. 1-24. [Consulta: 26 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.conarroz.com/UserFiles/File/RevistaArrocerasVIIedicion.pdf>.
- MOSCOSO, F. & QUERA, R.** "Enfermedad celiaca : revisión celiac disease". *Rev. Med. Clin. CONDES* [en línea], 2016, (Chile), 26(5), pp. 613-627. [Consulta: 27 septiembre 2016]. Disponible en: www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-pdf-S0716864015001.
- MSP, Ministerio de Salud Presidencia de la Nación Argentina.** "Guía de práctica clínica sobre diagnóstico y tratamiento de la enfermedad celiaca en el primer nivel de atención". *Ministerio de Salud Publica de Argentina. Programa Nacional de Garantía de Calidad de la Atención Médica* [en línea], 2013, (Argentina), pp. 1-75. [Consulta: 27 septiembre 2016]. Disponible en: http://www.msal.gob.ar/celiacos/pdf/2013-03-08_guia-practica-clinica-enfermedad-celiaca.pdf.
- MUNERA, S.; y col.** "Arsenic speciation in rice-based food for adults with celiac disease". *Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment* [en línea], 2014, (España), 31(8), pp. 1358-66. [Consulta: 27 septiembre 2016], ISSN 1944-0057. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24919988>.

NAVARRO, E. & ARAYA, M. "Sensibilidad no celíaca al gluten. Una patología más que responde al gluten". *Revista Médica de Chile* [en línea], 2015, (Chile), 143, pp . 619-626. [Consulta: 23 octubre 2016]. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0034-98872015000500010&script=sci_arttext.

NOLLA, J.; y col. "Espectroscopía de emisión de plasma acoplada inductivamente". *ICP* [en línea], 2002, pp. 1-4. [Consulta: 29 septiembre 2016]. Disponible en: http://www.xtec.cat/~gjimene2/llicencia/students/bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d32817119-3_____ICP_final.html.

NORDBERG, G. "Metales: propiedades químicas y toxicidad". *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* [en línea], 2010, pp. 1-76. [Consulta: 16 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>.

NTE INEN, Norma Técnica Ecuatoriana. "Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos Fundamentales y Generales, y Términos Asociados (VIM)". Norma Técnica Ecuatoriana [en línea], 2008, pp.1-85. [Consulta: 30 septiembre 2016]. Disponible en: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.jcgm.vim.2008.pdf>.

NTE INEN 0980:2012, Norma Técnica Ecuatoriana. "Agua potable. Determinación de arsenico. Metodo del dietil ditiocarbamato de plata". *NTE INEN 0980:2012* [en línea], 2012, pp. 1-8. [Consulta: 9 agosto 2016]. Disponible en: http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/nte_inen_0980.pdf.

OMS, Organización Mundial de la Salud. "Nutrición". *OMS* [en línea], 2016, pp. 1. [Consulta: 9 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.who.int/topics/nutrition/es/>.

OMS & FAO. "Informe del Grupo de Trabajo sobre Análisis y Toxicidad de la Prolamina". *Comision del CODEX Alimentarium* [en línea], 2003, pp. 2003-2005. [Consulta: 9 agosto 2016]. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/codex/Meetings/CCNFSDU/ccnfsdu25/nf03_04s.pdf.

OTERO, X.L.; y col. "Arsenic in rice agrosystems (water , soil and rice plants) in Guayas and Los Ríos provinces". *ELSEVIER. Science of the Total Enviroment* [en línea], 2016., (Ecuador), pp. 1-11. [Consulta: 7 noviembre 2016]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/307630282_Arsenic_in_rice_agrosystems_water_soil_and_rice_plants_in_Guayas_and_Los_Rios_provinces_Ecuador.

OYANEDEL, N. "Exposición laboral a arsénico". *Instituto de Salud Pública de Chile* [en línea], 2015, (Chile), pp. 1-10. [Consulta: 10 agosto 2016]. Disponible en: [http://www.ispch.cl/sites/default/files/NotaTécnica Nº 024 Exposición Laboral a Arsénico.pdf](http://www.ispch.cl/sites/default/files/NotaTécnica_Nº_024_Exposición_Laboral_a_Arsénico.pdf).

PARADA, R. "Arsénico". *Toxicología clínica veterinaria* [en línea], 2015, pp.1-5. [Consulta: 9 agosto 2016]. Disponible en: http://www.ropana.cl/INDEX_Toxico.html.

PINCIROLI, M. "Proteínas de arroz". *Proteínas de arroz propiedades estructurales y funcionales* [en línea], 2010, (Argentina), pp. 1-93. [Consulta: 31 agosto 2016]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1828/Documento_completo_.pdf?sequence=3.

POLANCO, I. & RIBES, C. "Enfermedad celíaca". *Asociación Española de Pediatría* [en línea], 2013, (España), pp. 30-46. [Consulta: 27 septiembre 2016]. Disponible en: <https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/celiaquia.pdf>.

POLO, M. "Análisis de la concentración de arsénico en tres alimentos: papas (*Solanum tuberosum*), zanahoria (*Daucus carota*) y leche cruda producidos en las zonas afectadas por el volcán Tungurahua (Mocha-Quero)". [en línea], 2009, (Ecuador), pp. 1-133. [Consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: <http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/202/1/56T00174.pdf>.

RAMOS, F. "Maíz, Trigo y Arroz: Los cereales que alimentan al mundo". *La ciencia a tu Alcance* [en línea], 2013, (México), pp. 1-85. [Consulta: 22 octubre 2016]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/3649/1/maiztrigoarroz.pdf>.

RUIZ, A.; y col. " Error, incertidumbre, precisión y exactitud, términos asociados a la calidad espacial del dato geográfico". *Cicum* [en línea], 2010, pp. 1-8. [Consulta: 30 septiembre 2016]. Disponible en: http://coello.ujaen.es/congresos/cicum/ponencias/Cicum2010.2.02_Ruiz_y_otros_Error_incertidumbre_precision.pdf.

- SÁNCHEZ, W.** "Arroz.: Toxicología del arsénico". *Scribd* [en línea], 2014, pp. 1-2. [Consulta: 10 agosto 2016]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/8740640/TOXICOLOGIA-ARSENICO>.
- SENAGUA, Secretaría Nacional del Agua,** "Linea base para el monitoreo de la calidad de agua de riego en la demarcación hidrográfica del Guayas". *Secretaría Nacional del Agua* [en línea], 2010, (Ecuador), pp . 1- 37. [Consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/LineaBaseDHG.pdf>.
- SIGNES, A.J.; y col.** "Inorganic arsenic in rice-based products for infants and young children". *ELSEVIER. Food Chemistry* [en línea], 2016, 191,pp. 128-134. [Consulta: 3 noviembre 2016]. ISSN 0308-8146. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.078>.
- SLOTH, J. & JULSHAMN, K.** "Survey of total and inorganic arsenic content in blue mussels (*Mytilus edulis* L .) from Norwegian fiords : revelation of unusual high levels of inorganic arsenic". *PubMed* [en línea], 2008, 56(4), pp. 9-10. [Consulta: 2 noviembre 2016]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18237128>.
- SMITH, E.; y col.** "Arsenic uptake and speciation in rice plants grown under greenhouse conditions with arsenic contaminated irrigation water". *Science Direct. Elsevier. Science of the Total Environment* [en línea], 2008, 392, pp. 3-5. [Consulta: 19 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969707012326>.
- SUÁREZ, M.; y col.** "Análisis, diagnóstico y taratamiento de las intoxicaciones arsenicales". *Analysis, diagnosis and tratment of arsenic poisoning* [en línea], 2004, pp. 5-14. [Consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/cmfn35/Art01.pdf>.
- SUN, G.-X.; y col.** "Inorganic Arsenic in Rice Bran and Its Products Are an Order of Magnitude Higher than in Bulk Grain". *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], 2008, 42(19), pp. 1-5. [Consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es801238p>
- TABASCO, L.** "El arroz y sus productos derivados". *Soy maratonista.com* [en línea], 2013,pp. 1-2. [Consulta: 27 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.soymaratonista.com/21566/el-arroz-y-sus-productos-derivados>.

TELÉGRAFO. "Ecuatorianos comen 53,2 Kg de arroz al año". *Diario el Telégrafo* [en línea], 2014, pp. 1-2. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/ecuatorianos-comen-532-kg-de-arroz-al-ano>.

TORRES, A. & FIERRO, I. "Análisis de la Gestión del Agribusiness en el sector Arrocerero de Daule (2006-2014)". *Revista Tecnológica ESPOL-RTE* [en línea], 2015, (Ecuador), 28(2), pp. 152-162. [Consulta: 15 octubre 2016]. Disponible en: <file:///C:/Users/FLOR/Downloads/365-1053-1-PB.pdf>.

TULSMA. "Anexo 1 del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua". *TULSMA* [en línea], 2014, pp. 1-37. [Consulta: 21 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/Reforma Anexo 28 feb 2014 FINAL.pdf>.

UE, Reglamento de la Unión Europea. "Reglamento (UE) 2015/1006 de la comisión de 25 de junio de 2015. En cuanto al contenido máximo de arsénico inorgánico en los productos alimenticios". *Diario Oficial de la Unión Europea* [en línea], 2015, pp. 1993-1995. [Consulta: 22 octubre 2016]. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R1006&from=ES>.

VALLADARES, C. "Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano". *Universidad Nacional Autonoma De Honduras. Centro Universitario Regional Del Litoral Atlantico (Curla)* [en línea], 2010, pp. 1-28. [Consulta: 25 octubre 2016]. Disponible en: http://institutorubino.edu.uy/materiales/Federico_Franco/6toBot/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf.

VARGAS, E. "Estrategias de marketing para la ampliación comercial del canal de distribución de la empresa arrocerera el rey en la ciudad de Ambato". *Pontificia Universidad Católica Del Ecuador.* [en línea], 2015, (Ecuador), pp. 1-28. [Consulta: 23 octubre 2016]. Disponible en: [file:///C:/Users/FLOR/Downloads/Trabajo de Titulación \(3\).pdf](file:///C:/Users/FLOR/Downloads/Trabajo de Titulación (3).pdf).

VEGA, J. "El arroz". *SlideShare* [en línea], 2014, pp. 1-61. [Consulta: 25 octubre 2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/vegabner/el-arroz-34435737>.

- VENEGAS, P.** "Fertilización Fosforada y Liberación de Arsénico en Suelos Agrícolas". *CIAP; Centro de Investigaciones Aplicadas* [en línea], 2014, pp. 1-4. [Consulta: 22 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.ciap.usm.cl/archivos_publicaciones/fertilizacion-fosforada-y-liberacion-de-arsenico-en-suelos-agricolas.pdf.
- VERDINI, R.** "Cereales y derivados". *Bioquímica* [en línea], 2015, pp. 1-79. [Consulta: 22 octubre 2016]. Disponible en: http://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/118012/mod_resource/content/1/2015-B-FARINACEOS-ACTUALIZADA.pdf.
- VILLAR, L.** "Cultivo de Arroz". *Guía Tecnológica* [en línea], 2009, pp. 51-56. [Consulta: 31 agosto 2016]. Disponible en: <https://bibliotecadeamag.wikispaces.com/file/view/ARROZ+-+CULTIVOS.pdf>.
- ZAMBRANO, A.** " Producción, precios y exportación de arroz ecuatoriano". *Revista El Agro*. [en línea], 2012, pp.1-35. [Consulta: 2 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.revistaelagro.com/wp-content/uploads/2012/08/AGRO204.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A. Obtención de productos de los distintos supermercados



ANEXO B. Materiales utilizados para la preparación de la muestra



Alcohol, toallas de mano, fundas plásticas



Triturador de alimentos



Balanza



Termobalanza



Estufa



Balanza analítica, crisoles con tapa



Morteros con pistilo



Vidrio reloj



Desecador



Fundas ziploc

ANEXO C. Preparación de muestras



Trituración de productos



Mezcla de materia triturada



Pesaje de producto triturado



Codificación



Muestras

ANEXO D. Preparación de muestras semisólidas



Muestra semisólida



Secado



Triturado



Pesaje



Mantenimiento de condiciones ambientales

ANEXO E. Digestión de muestras



Ácido nítrico



Agua destilada



Codificación de tubos



Pesaje (1,000 g)



10 ml HNO₃ (1:1)



Tapas de plástico para tubos



Porta tubos



Filtrado



Codificación de envases estériles



Aforado



Muestras listas para ICP

ANEXO F. Modelo de encuesta



Un grupo de investigación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo está realizando un estudio sobre la ingesta de alimentos procesados que contienen arroz. Le pedimos que nos indique algunos datos personales que en ningún caso serán divulgados ni serán usados con fines diferentes a este estudio. A continuación, se le realizará un cuestionario para determinar la ingesta diaria y semanal de este tipo de alimentos.

COD.	MARCA	PRODUCTO	PORCIÓN (tz=40 g)		CONSUMIDOR		
			día	sem	EDAD	GÉNERO	ALERGIAS O INTOLERANCIAS
C1	Pagesa	xxxxxxxxxx					
C2	Pagesa	xxxxxxxxxx					
C3	Pagesa	xxxxxxxxxx					
C4	Pagesa	xxxxxxxxxx					
C5	Batery Alimentos S.A	xxxxxxxxxx					
C6	Nestlé	xxxxxxxxxx					
C7	Nestlé	xxxxxxxxxx					
C8	Nestlé	xxxxxxxxxx					
C9	Nestlé	xxxxxxxxxx					
C10	Nestlé	xxxxxxxxxx					
C11	Nestlé	xxxxxxxxxx					
C12	Nestlé	xxxxxxxxxx					
C13	Nestlé	xxxxxxxxxx					
C14	Kellogg's	xxxxxxxxxx					
C15	Kellogg's	xxxxxxxxxx					
C16	Kellogg's	xxxxxxxxxx					
C17	Industria Ecuatoriana	xxxxxxxxxx					
C18	Nutrivital	xxxxxxxxxx					
C19	Nutrivital	xxxxxxxxxx					
C20	Chiveria	xxxxxxxxxx					
C21	Chiveria	xxxxxxxxxx					
C22	Oriental	xxxxxxxxxx					
C23	Oriental	xxxxxxxxxx					
C24	Gerber	xxxxxxxxxx					
C25	Gerber	xxxxxxxxxx					
C26	Nutresa	xxxxxxxxxx					
C27	Dulcenac	xxxxxxxxxx					
C28	Dulcenac	xxxxxxxxxx					
C29	Dulcenac	xxxxxxxxxx					
C30	Kellogg's	xxxxxxxxxx					
C31	Kellogg's	xxxxxxxxxx					
C32	Kellogg's	xxxxxxxxxx					
C33	Kellogg's	xxxxxxxxxx					
C34	Banchis Food S.A	xxxxxxxxxx					
C35	Nestlé	xxxxxxxxxx					
C36	Nestlé	xxxxxxxxxx					
C37	Gullón S.A	xxxxxxxxxx					
C38	Productos Tarzán	xxxxxxxxxx					
C39	Kellogg's	xxxxxxxxxx					
C40	Nestlé	xxxxxxxxxx					
C41	Nutresa	xxxxxxxxxx					
C42	Casa Santiveri SL	xxxxxxxxxx					
C43	Biocentury	xxxxxxxxxx					
C44	Arcor	xxxxxxxxxx					

Fuente: (GAIBAQ & Cruz, 2016)