

# UNIVERSIDAD DE SONORA

## UNIDAD REGIONAL NORTE

DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS  
QUÍMICO BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

“DETERMINACION DE ARSENICO EN CÁSCARA Y  
PULPA DE PAPA *Solanum tuberosum* EN SEIS  
CULTIVARES DE LA REGIÓN AGRICOLA DE  
CABORCA SONORA”

TESIS

Que para obtener el título de  
QUÍMICO BIÓLOGO  
Opción análisis clínicos

1942  
PRESENTA

EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA

H. Caborca, Sonora

Diciembre del 2007

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

# UNIVERSIDAD DE SONORA

## UNIDAD REGIONAL NORTE

### APROBACIÓN DEL JURADO

De la tesis presentada por

*José Carlos Salazar Martínez*

Esta tesis ha sido revisada por cada uno de los miembros del jurado, quienes la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el título de Químico Biólogo opción de Análisis Clínicos.

---

**M.C. ELIGIO ESPINOZA OJEDA**  
Presidente

---

**cDR. JESUS ORTEGA GARCIA**  
Secretario

---

**cM.C. AXEL FRANCISCO MORAGA FIGUEROA**  
Vocal

## *AGRADECIMIENTOS*

No es fácil expresar en unas cuantas líneas lo mucho que quiero agradecer a tantas personas que me han rodeado siempre en la vida.

**A DIOS:** Por proporcionarme la oportunidad de existir y darme día a día su bendición, por que siempre me dio la fuerza necesaria en los buenos y malos años de mi vida, gracias a el soy una mejor persona.

**A Mi Familia:** quiero darle las gracias por su apoyo incondicional, cariño y comprensión.

**A Mis Padres:** por que les debo innumerables cosas y principalmente la vida, por ello les dedico esta tesis

**A La Universidad de Sonora Región Norte:** por prepararme y brindar los conocimientos.

**A Mi Asesor:** M.C. Eligio Espinoza Ojeda que me ayudo a elaborar de mi tesis ya que sin el no lo hubiera logrado.

**A Mis Amigas:** Angie y Lizbeth Karina que me apoyaron moralmente y me brindan su amistad por todo este tiempo.

**A Mis Amigos:** Muchísimas gracias por nuestra valiosa amistad, la cual me han demostrado en innumerables ocasiones. Con ustedes he pasado sin duda algunos de los mejores momentos de mi vida.

**A Todos Mis Profesores:** Por brindarme cada uno de sus conocimientos y sus mejores cualidades para ser una mejor persona.

*DEDICATORIA*

EN MEMORIA

A mi ABUELO PANCHO por ser el hombre más justo del mundo

## RESUMEN

Se determinó la concentración de arsénico en pulpa y cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) cultivada en 6 predios de la región de H. Caborca, Sonora, México. Primeramente se hizo el muestreo en el agua y después se hizo el muestreo aleatorio de papa. Para separar la cáscara de la pulpa se aplicó una predigestión en horno microondas que separó completamente la cáscara. Esta predigestión facilitó la posterior digestión húmeda a base de HNO<sub>3</sub> y HCl recomendada para análisis de arsénico según la norma NMX-AA-051-SCFI-2001

La cuantificación de arsénico se hizo por colorimetría utilizando el Arsenator WAGTECH 10500 que se basa en el método de Gutzeit y hace las lecturas en un fotocolorímetro.

Se hizo un total de 96 análisis de papa y 48 de cáscara. Se obtuvo un promedio de 69 µg/Kg de arsénico en pulpa y 380 µg/Kg en cáscara, lo que da un total de 449 µg de arsénico por Kg de papa total

## CONTENIDO

RESUMEN.....	i
CONTENIDO.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABLAS.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
Objetivo General .....	3
Objetivos Específicos .....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
Química del Arsénico.....	4
Lugares con Alto Contenido de Arsénico.....	5
Bangladesh .....	5
Taiwán .....	5
Mongolia .....	5
Norte de China .....	5
Vietnam .....	6
Chile .....	6
Argentina.....	6
Estados Unidos .....	6
México .....	7
Metabolismo y Eliminación de Arsénico.....	7
Efectos del Arsénico en la Salud y Toxicidad .....	10
Síntomas del Envenenamiento Agudo.....	15
Síntomas de Envenenamiento Crónico.....	15
Confirmación de Envenenamiento.....	17
En Orina .....	17
En Sangre .....	17
En Cabello.....	18
Tratamiento.....	18

Descontaminación Dérmica .....	18
Descontaminación Gastrointestinal .....	19
Fluidos Intravenosos .....	19
Monitoreo Cardiopulmonar.....	19
Terapia de Quelación.....	19
Arsénico en Vegetales .....	20
La Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	20
Composición química.....	23
Valor nutritivo.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Métodos Analíticos para Cuantificar Arsénico .....	26
Espectroscopia de Absorción Atómica con Generación de Hidruros.....	26
Técnica .....	26
Métodos de Campo .....	27
Reactivos líquidos fabricado por Merck kgaa .....	27
Kit de pruebas fabricadas por Hach company .....	27
Kit para pruebas fabricado por merck KGaA merckoquant .....	28
Pruebas de EZ fabricado por Hach company .....	28
Kit visual fabricado por Wagtech WAG-WT0950.....	28
Arsenómetro Wagtech 10500 .....	29
EQUIPO, MATERIALES Y REACTIVOS .....	35
Equipo.....	35
Materiales.....	35
Reactivos.....	35
METODOLOGIA.....	36
Digestión De Cáscara Y Pulpa De Papa .....	36
Diseño de la técnica de digestión para pulpa de papa.....	36
Diseño de la técnica de digestión para cáscara de papa.....	37
Determinación del Por ciento de Recuperación de arsénico en pulpa .....	38
Determinación del por ciento de recuperación en cáscara.....	38
Definición del área de estudio .....	38
Preparativos de muestreo .....	39



MUESTREO.....	40
Primera zona de Muestreo.....	40
Segunda zona de Muestreo.....	40
Tercera zona de Muestreo.....	44
Cuarta zona de Muestreo.....	44
Quinta zona de Muestreo.....	44
Sexta zona de Muestreo.....	44
TRABAJO EXPERIMENTAL.....	46
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	59
Técnicas de digestión.....	59
Análisis de Resultados.....	59
CONCLUSIONES.....	61
RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	63
APÉNDICES.....	68
Apéndice 1. Digestión con HNO <sub>3</sub> para muestras de agua.....	68
Apéndice 2. Digestión con HNO <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> para muestras de agua y materia Orgánica.....	69
Apéndice 3. Digestión con HNO <sub>3</sub> -HClO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O para materia orgánica.....	70
Apéndice 4. Digestión con HNO <sub>3</sub> -HClO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O-HF.....	71
Apéndice 5. Digestión por Calcinación.....	72
Apéndice 6. Digestión con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - HNO <sub>3</sub> -HClO <sub>4</sub> para cabellos y uñas.....	72
Apéndice 7. Digestión con HNO <sub>3</sub> -HCl.....	73
Apéndice 8. Preparación de envases y preservadores químicos.....	74

## Lista de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Biotransformación del Arsénico Inorgánico.....	9
2. 1-Arseno-3-Fosfoglicerato.....	12
3. Inhibición de la deshidrogenación del $\alpha$ -ceto glutaratodeshidrogenasa en el ciclo de Krebs.....	14
4. Arsenometro WAGTECH 10500.....	31
5. Descripción del equipo.....	32
6. Diagrama del uso del equipo para una lectura.....	33
7. Preparación de la Muestra.....	34
8. Localización de los Predios.....	41
9. Sistema de riego campo Santa Inés.....	43
10. Muestreo de un metro cuadrado de papa hecho por trabajadoras Del campo San Marcos.....	45

## Lista de Tablas

<b>Tablas</b>	<b>Página</b>
1. Arsénico en Vegetales.....	21
2. Valor Nutricional Medio en 100 gr de papa Cruda.....	25
3. Localización de las Coordenadas de Los campos Muestreados.... .	42
4. Análisis de Pulpa de papa del Campo Santa Inés.....	47
5. Análisis de Pulpa de papa del Campo la Guileña.....	48
6. Análisis de Pulpa de papa del Campo Donadeau.....	49
7. Análisis de Pulpa de papa del Campo Villahermosa.....	50
8. Análisis de Pulpa de papa del Campo las Playas.....	51
9. Análisis de Pulpa de papa del Campo San Marcos.....	52
10. Análisis de Cáscara de papa Campo Santa Inés.....	53
11. Análisis de Cáscara de papa Campo la Guileña.....	54
12. Análisis de Cáscara de papa Campo la Donadeau.....	55
13. Análisis de Cáscara de papa Campo Villahermosa.....	56
14. Análisis de Cáscara de papa Campo las Playas.....	57
15. Análisis de Cáscara de papa Campo san Marcos.....	58
16. Promedios de las Concentraciones de As en Cascara y Pulpa.....	60

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia el uso de arsénico y sus compuestos ha estado ligado a las actividades humanas. Fue prescrito por Hipócrates (400 A.C.) que lo utilizaba en forma de pomada de rejalgar ( $\text{AsS}$ ) para tratar úlceras en piel, Dioscórides utilizaba el oropimente como depilatorio. Hacia 1250 Alberto Magno obtuvo el arsénico a partir del oropimente ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), en 1530 Paracelso describió sus usos medicinales, durante la primera guerra mundial el uso de gases tóxicos cada vez mas letales permitió el desarrollo armas químicas a base de gases como el gas Lewisita (Clorovinil-dicloroarsina), que es un vesicante, irritante y tóxico sistémico (Córdova 2000).

El arsénico se utilizó contra el paludismo, enfermedad de Hodkin, liquen, eczemas y lupus eritematoso. En 1911 Paul Ehrlich descubrió el salvarsán un derivado orgánico del arsénico que fue el tratamiento estándar contra la sífilis (Casarett 1980). Existe información sobre el uso de arsenilato de sodio (Atoxil) para combatir la tripanosomiasis. Sus sales orgánicas se utilizaron como tónico, para el control de procesos febriles y como sedante. Hutchinson lo utilizó como antianémico. El arsénico inorgánico trivalente en forma de arsenito de potasio ( $\text{K}_3\text{AsO}_3$ ) o licor de Fowler, fue utilizado durante décadas en el tratamiento del psoriasis y como tónico, se han reconsiderado sus propiedades para tratar la leucemia promielocítica aguda refractaria utilizando trióxido de arsénico (Steven 1998).

Hacia 1960 fue introducido en la clínica como amebicida. Actualmente forma parte de la medicina tradicional china y todavía hoy se encuentran remedios en uso en Extremo Oriente y en Asia Central.

Este elemento ocupa el 20º lugar en abundancia en la corteza terrestre. Se moviliza fácilmente a través de una combinación de procesos naturales tales como emisiones volcánicas, explotación de mantos acuíferos profundos y actividades antropogénicas como minería, uso de combustibles, uso de pesticidas orgánicos, herbicidas, etc.

Con motivo de su aumento en la corteza terrestre ha empezado a aparecer en productos alimenticios sobre todo vegetales regados con aguas arsenicales. Son muy pocos los estudios de arsénico en vegetales que se encuentran en la literatura, pero en México se hizo un estudio muy extenso en el Valle de México en gran cantidad de vegetales. No se incluyó la papa, lo que es motivo de este estudio, pues en nuestra región su cultivo se extiende cada vez con mayor intensidad para surtir el mercado de frituras y como alimento familiar.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Determinar la concentración de arsénico en cáscara y pulpa de papa en seis cultivares de la región agrícola de Caborca, Sonora.

### **Objetivos Específicos**

- Diseñar la técnica de digestión en cáscara y pulpa de papa para determinar arsénico.
- Determinar la concentración de arsénico en cáscara y pulpa de papa
- Determinar si las concentraciones representan peligro a la salud.
- Utilizar el arsenómetro portátil WAGTECH10500

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La información bibliográfica sobre arsénico es muy extensa dado a sus importantes características como tóxico en la antigüedad y actualmente como tóxico ambiental, ya que debido a su movilidad y aumento de concentración en la corteza terrestre se presenta cada vez en mayor concentración en el aire, agua y alimentos. Se citan a continuación datos sobre, sus características químicas, toxicidad y lugares con alto índice de arsénico.

### Química del Arsénico.

Es un metaloide del Grupo VA del sistema periódico, peso molecular 30.974. con número atómico 15, es un elemento natural que presenta propiedades tanto físicas como químicas de metales y a su vez de no metales. Existe en dos formas primarias: orgánica e inorgánica. En aguas naturales se encuentra mayormente de forma inorgánica. Se presenta en varios estados de oxidación como arsenato  $\text{As}^{+5}$ , arsenito  $\text{As}^{+3}$  y arsina  $\text{As}^{-3}$ . La toxicidad del As se incrementa considerablemente con la reducción de su estado de oxidación de  $\text{As}^{+5}$  a  $\text{As}^{+3}$ . Los estados de oxidación y los orbitales electrónicos son similares entre el arsénico y el fósforo. En la tabla periódica se puede observar la vecindad entre estos dos elementos, lo que explica la toxicidad del arsénico por su capacidad de sustituir al fósforo (Prince 1988). Las configuraciones electrónicas entre arsénico y fósforo son muy semejantes: tienen un último orbital idéntico 3s-3p para el fósforo y 4s-4p para el arsénico. La afinidad electrónica (capacidad de recibir electrones) de ambos presentan una notable relación: para una misma configuración del último orbital, el arsénico tiene mayor afinidad electrónica que el fósforo (Cotton 1998).

Forma compuestos con varios metales, al unirse covalentemente con el carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre (Abernathy 2001). Las principales formas mineralizadas son las siguientes: arsenopirita ( $\text{FeAs}_2$ ), cobaltina o esmaltina

(CoAsS), mispiquel (FeAsS), rejalgá o sulfuro rojo (As<sub>2</sub>S<sub>2</sub>), y oropimente o sulfuro amarillo (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) (IRIS, 2003).

### **Lugares con Alto Contenido de Arsénico**

#### **Bangladesh**

La población de este país se calcula en 120 millones de habitantes. Es un país en pobreza extrema y por tanto carente de sistemas de salud que puedan proporcionar datos reales, pero se sabe que el área afectada que comprende 150,000 km<sup>2</sup>, las concentraciones de arsénico alcanzan los 2,500 ppb (Anawar *et al.*, 2003).

#### **Taiwán**

El área afectada comprende 4000 km<sup>2</sup> la concentración de arsénico varía de 10 a 1,800 ppb. Las manifestaciones más abundantes son el síndrome del pie negro, (Chen *et al.* 1992), cáncer y problemas hepáticos. Se encuentra mayoritariamente como As<sup>+3</sup> (Smedley y Kinniburgh 2002).

#### **Mongolia**

El área afectada es de aproximadamente 30,000 km<sup>2</sup> en la región de Ba Men y la llanura de Tumet-cuenca donde la concentración de arsénico es hasta 2,400 ppb. El arsénico está mayoritariamente como As<sup>+3</sup> (Smedley y Kinniburgh 2002).

#### **Norte de China**

Las provincias afectadas son principalmente Xinjiang y la cuenca de Dzungaria y Shanxi abarcando un área de 38,000 km<sup>2</sup>. Las concentraciones varían de 40 a 1,200 ppb en pozos profundos y en pozos superficiales 0-68. Las concentraciones más altas de arsénico se asocian a aguas artesianas



obtenidas en sondeos profundos (40-750 ppb) en contraste con los pozos superficiales donde se han obtenido valores <10 ppb (Wang y Huang, 1994).

### **Vietnam**

El área afectada abarca principalmente el delta del río Rojo 1,200 km<sup>2</sup> los rangos de concentración de As alcanza en algunas regiones 3,000 ppb. Esto debido aparentemente a las condiciones fuertemente reductoras, alta alcalinidad, y concentraciones altas de Fe, Mn y NH<sub>4</sub>. Y alta salinidad en el acuífero superficial (Berg *et al*; 2001).

### **Chile**

El Área afectada abarca las regiones de Antofagasta y Coquimbo 125,000 km<sup>2</sup> el rango de concentración de arsénico van de los 100 a 1000 ppb mayormente en las regiones de Antofagasta y Coquimbo, la mayor parte del arsénico en el agua se encuentra como As<sup>+5</sup> (Sancha y Castro, 2001).

### **Argentina**

El Área abarca mayormente afectada abarca la llanura Chaco-pampeana la superficie afectada es de aproximadamente 100,000 km<sup>2</sup> las concentraciones de arsénico en algunas regiones alcanza hasta los 5,300 ppb la mayor parte del arsénico en el agua se encuentra como As<sup>+5</sup> (Smedley *et al*, 2002).

### **Estados Unidos**

Los estudios realizados demuestran que existen altas concentraciones de arsénico principalmente en los estados de Nevada, California y Arizona. Afecta 350.000 km<sup>2</sup> la concentración alcanza los 2600 ppb en Nevada y California (Del Razo *et al.*, 1990).

## México

En México la Norma Oficial establece como límite 25 ppb de arsénico para agua potable (NOM-127-SSAI-2000), sin embargo, la población expuesta a beber agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud asciende a más de 2 millones de habitantes, localizados principalmente en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Nuevo León, Puebla y Sonora. El área afectada es de 32,000 km<sup>2</sup> mayormente en la región Lagunera, las concentraciones arsenicales pueden alcanzar los 620 ppb. Debido a las condiciones oxidantes, pH entre 6.3 y 8.9 la mayor parte del arsénico en el agua se encuentra como As<sup>+5</sup> (Del Razo *et al.*, 1990).

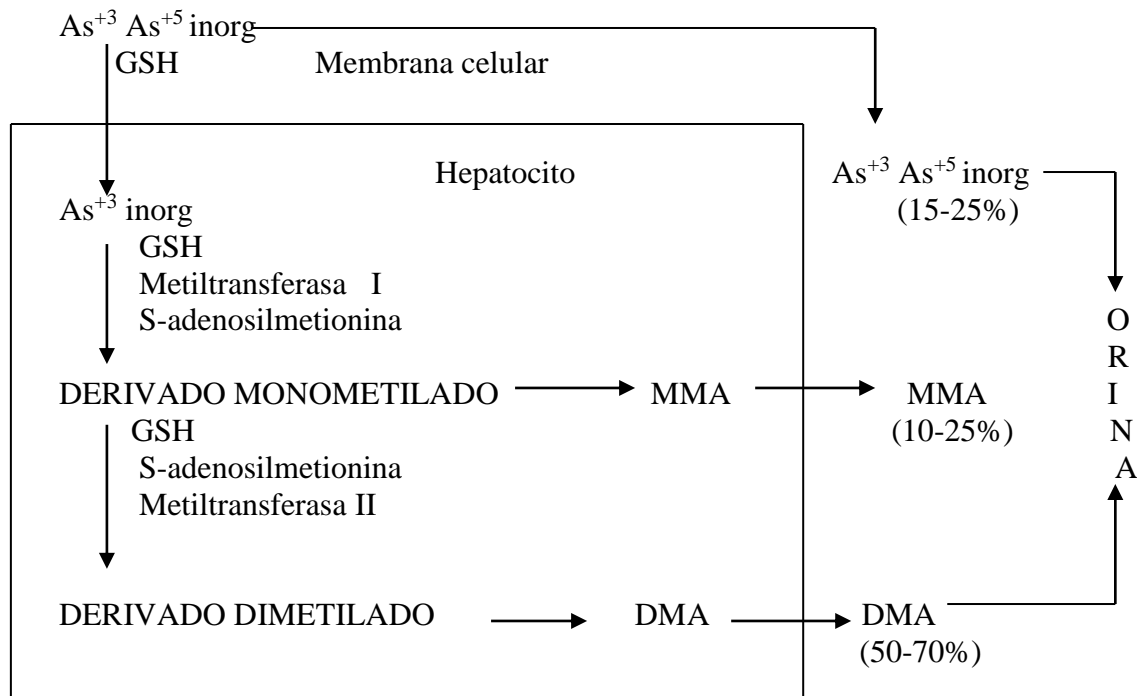
En la región norte del país, en el estado de Sonora se determinaron concentraciones de 2 a 305 ppb (76 muestras) encontrándose las mayores concentraciones de arsénico en Hermosillo, Etchojoa, Magdalena de Kino y H. Caborca (Wyatt 1997., E. Espinoza y E. Lugo 2006)

### **Metabolismo y Eliminación de Arsénico**

Una vez que ingresa el arsénico por vía digestiva, inhalada o cutánea permanece brevemente en la sangre para distribuirse mayormente en hígado, riñones, tracto digestivo pero una porción del arsénico es eliminado por la orina de forma inorgánica (Mappers 1977), se considera que la principal respuesta defensiva del organismo es inactivarlo mediante mecanismos de metilación (Chris L. *et al* 2000, Hopenhayn-Rich 1996) que puede dividirse en dos etapas (Albert 1997). Reacciones de reducción para convertir el As<sup>+5</sup> en As<sup>+3</sup>. y Reacciones de metilación oxidativa que transforman el As<sup>+3</sup>.

La metilación del arsénico requiere una reducción de As<sup>+5</sup> a As<sup>+3</sup>; enseguida la adición del primer grupo metilo para obtener ácido monometil arsónico (MMA); ésta es seguida por una segunda reducción de MMA<sup>+5</sup> a MMA<sup>+3</sup> previa a la segunda metilación en la que se obtiene ácido dimetil arsínico (DMA). Se propone a la S-adenosilmetionina como donador de los grupos metilo y el

glutatión reducido (GSH) como principal agente reductor transformador de As (Albert 1997).



**Figura 1.** Biotransformación del Arsénico Inorgánico

*Fuente:* Albert 1997

Entre los factores que pueden influir en la capacidad de metilación está la dosis de exposición, una dieta alta en metionina y proteínas y el probable polimorfismo genético unido al sexo y de las enzimas metilantes (metil transferasa), pues se ha encontrado mayor inducción en mujeres. Cuando la capacidad de este mecanismo de detoxificación es rebasado se presentan efectos tóxicos (Hsueh 1997). Se ha encontrado un incremento significativo en la cantidad de MMA y una disminución de DMA que son excretados en la orina de individuos que han estado expuestos crónicamente a altas concentraciones de As en agua de bebida lo que se interpreta como un factor para adquirir mayor capacidad de tolerancia al arsénico (Hopenhayn et al 1996).

Aunque se acepta que la metilación de arsénico inorgánico es un mecanismo de detoxificación, se ha observado que algunas especies orgánicas del arsénico presentan efectos tóxicos. Esto sucede con DMA, el cual es un agente teratogénico en ratas, causa daño pulmonar, degeneración de la corteza renal y necrosis de los túbulos proximales. El DMA ocasiona ruptura del ADN probablemente por la formación de radicales peróxidos, así como por entrecruzamiento entre el ADN y proteínas. Estos datos sugieren que, durante el proceso de metilación, pueden formarse metabolitos reactivos capaces de afectar macromoléculas críticas, por lo cual es necesario realizar estudios específicos para establecer su toxicidad (Albert 1997). Una vez metilado el arsénico es eliminado por orina en forma de DMA (50-70%), otra parte se excreta sin metilar, y otra más queda asociado a proteínas. Mediante estudios de orina de hamster, el tiempo de residencia de este tóxico es de 28.6 hs para arsénico inorgánico, 7.4 hs para MMA y 5.6 hs para DMA (Styblo, 1995).

La capacidad de detoxificación mediante metilación se sobrepasa cuando la dosis administrada es mayor de 0.05 mg/kg/día en forma de  $As^{+3}$  y sobreviene la intoxicación (Toxicological Profile of Arsenic 2000).

Es de considerable importancia la entrada de arsénico a través de alimentos de origen marino en donde se encuentra en alta concentración (0.1 a 90  $\mu g/g$ ) en formas metiladas. Estos compuestos son absorbidos en el tracto

gastrointestinal; se ha determinado que el 78.3% de una dosis oral de 500 µg de MMA y 75.1% de una dosis semejante de DMA fue excretada por orina en 4 días. En poblaciones que consumen alimentos marinos como parte normal de su dieta, como los japoneses, excretan el 90% de estos compuestos en 72 hs, otras formas inocuas del arsénico son arsenobetaina y arsenocolina (arsénico de pescado) que también son rápidamente eliminadas por la orina.

### **Efectos del Arsénico en la Salud y Toxicidad**

En general, los gases derivados de la arsina poseen el mayor riesgo tóxico, seguido de cerca por los arsenitos (compuestos inorgánicos trivalentes). Los compuestos inorgánicos pentavalentes (arsenatos) son menos tóxicos que los arsenitos, mientras que los compuestos orgánicos (metilados) pentavalentes representan a los insecticidas arsenicales de menor riesgo.

Los arsenicales pentavalentes son relativamente solubles en agua y son absorbidos a través de las membranas mucosas. Los arsenicales trivalentes que tienen una mayor solubilidad en lípidos, son absorbidos más rápidamente a través de la piel. Sin embargo, los envenenamientos por absorción cutánea de cualquiera de estas formas han sido muy raros. La ingestión ha sido la forma usual de envenenamiento, pero la eficiencia de la absorción depende de la forma física del compuesto, sus características de solubilidad, el pH gástrico, la movilidad gastrointestinal y las transformaciones microbianas del intestino. El contacto con arsina ocurre primordialmente por medio de inhalación y sus efectos tóxicos pueden ocurrir también con otros arsenicales mediante la inhalación de aerosoles. La toxicidad del arsénico depende de su estado de oxidación y de la dosis suministrada, manifestándose como intoxicación aguda o crónica (Gisbert y Villanueva. 2004).

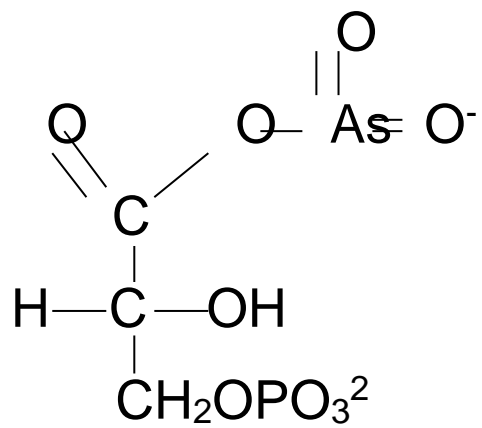
El arsénico se liga compartiendo su carga equivalente con la mayoría de los no metales teniendo una mayor afinidad con oxígeno, sulfuro con los metales como calcio y plomo. Forma compuestos trivalentes y pentavalentes orgánicos estables. En su comportamiento bioquímico se asemeja al fósforo, puede

sustituirlo en el ciclo de Krebs y provocar desajustes en el metabolismo energético. El arsénico (arsenato) bloquea la glucólisis, en el paso de fosforilación a nivel sustrato en la reacción catalizada por la glucosa 3 fosfato deshidrogenasa (Stryer 1990); puede reemplazar al fosfato en su unión al tioéster intermediario, rico en energía. El enlace tioéster se hace con un grupo  $-SH$  proporcionado por una histidina de la enzima gliceraldehido 3 fosfato deshidrogenasa (Stryer 1990). El producto de esta reacción es el 1-arseno-3-fosfoglicerato que es inestable, a diferencia del 1-3-bifosfoglicerato (Figura 2).

Como resultado la glucólisis procede pero se pierde el ATP formado normalmente en la conversión de 1-3-bifosfoglicerato en 3 fosfoglicerato y se libera energía en forma de calor, reacción conocida como arsenolisis. Esta es una razón convincente para la elección del fósforo sobre el arsénico en la evolución de las biomoléculas ya que los fosfatos tienen mayor estabilidad cinética (Murria, 1988).

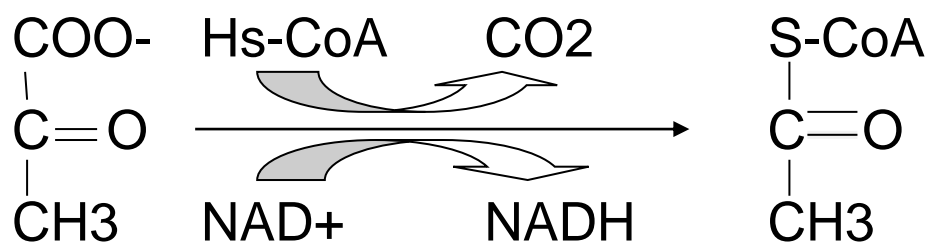
Otra reacción que es bloqueada por el arsénico en forma de arsenito es la catalizada por la  $\alpha$ -ceto glutarato deshidrogenasa en el ciclo de Krebs, inhibiendo la deshidrogenación del  $\alpha$ -ceto glutarato (Figura 3) así como su descarboxilación y síntesis de  $NADH^+ + H^+$

Independientemente cual sea su vía de entrada, del 95 al 99% del arsénico inicialmente se encuentra localizado en los glóbulos rojos unido a la globina (Córdova, 2000). Este paso es transitorio, rápidamente sale de la sangre en 24 horas y se distribuye hacia el hígado, riñón, pulmones, paredes del tracto gastrointestinal y bazo. Se encuentran pequeñas cantidades a nivel muscular y tejido nervioso. Se une en forma más estable a la transferrina entorpeciendo la eritropoyesis (síntesis de eritrocitos) siendo esta la causa por la cual provoca depresión de la médula ósea; el efecto se manifiesta como anemia y leucopenia (Armstrong, 1984).



**Figura 2** 1-Arseno-3-Fosfoglicerato

*Fuente:* L. Streyer, 1988



**Figura 3** Inhibición de la deshidrogenación del  $\alpha$ -ceto glutaratodeshidrogenasa en el ciclo de Krebs

**Fuente:** L. Streyer, 1988



El blanco celular del arsénico es la mitocondria y ahí se acumula, inhibe la deshidrogenasa succínica y desacopla la fosforilación oxidativa; el resultado es una pérdida de los niveles de ATP que afecta virtualmente a toda función celular, como por ejemplo a la bomba de sodio-potasio, provocando un desbalance en estos electrolitos, síntesis de proteínas, etc (IRIS, 2003). Por un mecanismo semejante provoca desbalance del calcio permitiendo su entrada a la célula en forma excesiva; este elemento es cofactor en el funcionamiento de proteasas y lipasas, lo que viene a afectar a la membrana celular esencialmente formada por fosfolípidos y proteínas (Toxicological Profile for Arsenic, 2000).

Después de dos semanas de continua administración de arsenicales (antiguamente para fines terapéuticos) piel, pelo y huesos acumulan arsénico. La acumulación en las uñas es debido a que éstas tienen gran cantidad de grupos tioles proporcionados por la histidina (Figura 4) sobre los que tiene predilección el arsénico y forma las llamadas Estrías de Mess (IRIS, 2003; Boyer, 2000); en casos extremos las uñas se vuelven quebradizas y se pierden fácilmente. Este tóxico puede atravesar la barrera placentaria siendo las concentraciones de arsénico en la sangre del cordón umbilical equivalentes a las concentraciones sanguíneas maternas. Puede atravesar también la barrera hematoencefálica pero no puede atravesar la barrera testicular.

Se ha encontrado también que el arsénico en forma de arsenito afecta a los receptores de glucocorticoides bloqueando su actividad, esto incluye al mecanismo hormonal que regula la glucosa sanguínea, y por lo tanto puede ser factor que predisponga a diabetes (Josephson. 2001). Este tóxico tiene fuerte acción sobre las arteriolas capilares produciendo vasodilatación parálitica, lo que explica los síntomas de entumecimiento por la intoxicación; si esto se presenta en las arteriolas de manos y pies provoca la enfermedad de Raynould.

## **Síntomas del Envenenamiento Agudo**

Los síntomas aparecen dentro de 30 a 60 minutos (Curtis, et al. 2001), pero pueden retrasarse por varias horas. Un olor a ajo en el aliento y en las heces fecales puede ayudar a identificar el tóxico en pacientes severamente envenenados. Hay un sabor metálico presente en la boca la mayoría de las veces, ardor en los labios y disfagia. Predominan efectos gastrointestinales adversos, con vómitos, dolor estomacal, y diarrea sangrienta o como de agua de arroz, estos son los síntomas más comunes (Córdova, 2000). Los efectos gastrointestinales incluyen, la formación de vesículas y eventualmente esfacelo de la mucosa de la boca, faringe y esófago. Los cuales son resultado de un metabolito arsenical generalmente en los vasos sanguíneos, causando dilatación y aumento de la permeabilidad capilar y particularmente en la vasculatura esplénica. El sistema nervioso central también es comúnmente afectado durante el contacto agudo. Los síntomas pueden comenzar con dolor de cabeza, mareo, letargo, y confusión. pueden progresar incluyendo espasmos y debilidad muscular, hipotermia letargo, delirio, y convulsiones (Feldman, et al.1979). Daño renal el cual manifiesta por proteinuria, hematuria, glicosuria, oliguria, residuos en la orina.

Si se sobrevive al envenenamiento, el paciente desarrollará hepatomegalia, melanosis, supresión de la médula ósea, hemólisis y polineuropatía como resultado del daño al sistema nervioso periférico. Un envenenamiento fatal puede ser provocado por una dosis oral de 10 mg/Kg de trióxido de arsénico, según el estado físico y el contenido estomacal. Para niños basta con una dosis de 0.5 mg/Kg (IRIS 2003).

## **Síntomas de Envenenamiento Crónico**

Las manifestaciones cardiovasculares incluyen shock, cianosis y arritmia cardíaca, las cuales se deben a la acción tóxica directa y a los disturbios electrolíticos. El daño hepático se puede manifestar por un incremento de las

enzimas del hígado e ictericia. La lesión en los tejidos hematopoyéticos puede causar anemia, leucopenia y trombocitopenia. (Armstrong, *et al.* 1984) La muerte ocurre de uno a tres días después de iniciarse los síntomas y generalmente el resultado es fallo circulatorio, aunque el fallo renal también puede ser contribuyente. Si el paciente sobrevive, éste puede sentir entumecimiento en las manos y en los pies como una secuela retardada de contacto agudo, así como comezón y parestesia dolorosa.

Esta neuropatía del sistema sensorio motor que incluye debilidad muscular y espasmos, típicamente empieza de una a tres semanas después del contacto. La debilidad muscular no debe ser confundida con el síndrome Guillain-Barre. El envenenamiento crónico de arsénico debido a la absorción repetida de cantidades tóxicas tiene una aparición insidiosa de efectos clínicos que pueden ser difíciles de diagnosticar. Las manifestaciones neurológicas cutáneas y no específicas son usualmente más prominentes que los efectos gastrointestinales que caracterizan el envenenamiento agudo. Puede ocurrir fatiga y debilidad muscular, así como anorexia y pérdida de peso. Una señal común es la hiperpigmentación y tiende de ser acentuada en áreas que generalmente están más pigmentadas así como la ingle y la areola. Hiperqueratosis es otra señal común especialmente en la palma de las manos y en la planta de los pies. Edema subcutáneo de la cara, párpados y tobillos, así como estomatitis, estrías blancas a lo largo de las uñas (líneas de MEES), y algunas veces pérdida de uñas y pelo son otros signos de contacto crónico y continuo. (IRIS 2003; Boyer 2000) En ocasiones éstas pápulas hiperqueratósicas pueden resultar en transformaciones malignas (Yeh, *et al.* 1968).

Después de años de contacto dermatológico, se han encontrado células basales carcinomas, células escamosas generalmente en áreas protegidas del sol. Síntomas neurológicos también son comunes con el contacto crónico. Una característica destacada puede ser la neuropatía periférica manifestada por parestesia, dolor, anestesia. Puede comenzar con síntomas sensoriales de las extremidades bajas y progresar a debilidad muscular y eventualmente parálisis y desgaste muscular. Aunque poco común, se puede desarrollar encefalopatía

con disturbio del habla y mentales muy parecidos a aquellos evidenciados en deficiencia de tiamina conocido como el síndrome de Wernickes (Feldman *et al.* 1979).

Otros sistemas son afectados por la toxicidad arsénica. Los daños hepáticos reflejados en la hepatomegalia e ictericia pueden progresar a cirrosis Hipertensión portal y ascitis. El arsénico tiene una toxicidad glomerular y tubular directa que resulta en oliguria, proteinuria y hematuria. Se han informado anormalidades electrocardiográficas (prolongación del intervalo Q-T) y enfermedad vascular periferal. Ésta última incluye acrocianosis, el fenómeno de Raynaud, y gangrena. Anormalidades hematológicas incluyen anemia, leucopenia, y trombositopenia. Esta última secuela de altas dosis de arsénico incluye cáncer de la piel y un alto riesgo de cáncer del pulmón. (Yeh et al 1968)

## **Confirmación de Envenenamiento**

### **En Orina**

El arsénico en la orina se puede separar en fracciones orgánicas e inorgánicas para ayudar a determinar la fuente de contacto y ayudar con la guía del tratamiento. Algunos autores relacionan la concentración de arsénico en orina con la excreción de creatinina en este caso se considera normal hasta 0.05 mg/g Las concentraciones de arsénico en la sangre, orina y otros materiales biológicos se pueden medir por medio de incineración seca o húmeda, seguido de una espectrometría de absorción atómica. Este último método es el preferido. En donde los niveles de arsénico urinario en individuos no expuestos son menores a 10 µg/L.

([www.epa.gov/oppfead1/safety/spanish/healthcare/handbook/Spch14.pdf](http://www.epa.gov/oppfead1/safety/spanish/healthcare/handbook/Spch14.pdf))

### **En Sangre**

Las muestras de sangre tienden a estar correlacionadas con las muestras de orina durante las primeras etapas crítica 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. Donde una excreción de arsénico que exceda sobre 100 µg al día debe ser considerada sospechosa y la prueba debe ser repetida. Excreciones sobre 200 µg al día reflejan una ingestión tóxica, a no ser que se hayan ingerido mariscos. Una dieta rica en mariscos, principalmente durante las primeras 48 horas, pudiera generar un nivel de excreción de orina de 24 horas tan alto como de 200 µg al día y muchas veces hasta más alto. La mayoría del arsénico marino que es excretado es de forma metilada (arsenobetaina) y no es considerado extremadamente tóxico. ([www.epa.gov/oppfead1/safety/spanish/healthcare/handbook/Spch14.pdf](http://www.epa.gov/oppfead1/safety/spanish/healthcare/handbook/Spch14.pdf))

### **En Cabello**

Las muestras de cabello también han sido usadas para evaluación del contacto crónico. Los niveles de personas no expuestas generalmente son 1mg/kg; los niveles en individuos con envenenamiento crónico varían entre 1 y 5mg/kg. Las muestras de cabello deben ser estudiadas con cautela debido a factores externos de contaminación ambiental tales como la contaminación del aire, la cual puede aumentar los niveles de arsénico.

([www.epa.gov/oppfead1/safety/spanish/healthcare/handbook/Spch14.pdf](http://www.epa.gov/oppfead1/safety/spanish/healthcare/handbook/Spch14.pdf))

### **Tratamiento**

#### **Descontaminación Dérmica**

Lavar el insecticida arsenical de la piel y el cabello con abundante cantidad de agua y jabón. Enjuague la contaminación ocular con agua clara. Si la irritación persiste, obtenga cuidado médico especializado.

### **Descontaminación Gastrointestinal**

Si el insecticida arsenical se ha ingerido dentro de la primera hora del tratamiento, se deberá considerar la descontaminación gastrointestinal. Debido a que el envenenamiento por ingestión casi siempre resulta en diarreas profusas, no es apropiado generalmente administrar un catártico.

### **Fluidos Intravenosos**

Se usan para restaurar la hidratación adecuadamente, mantener el flujo urinario, y corregir el desbalance de electrolitos. Observe continuamente el ingreso/egreso para evitar una sobrecarga de fluidos. Si ocurre insuficiencia renal aguda, revise los electrolitos de la sangre regularmente. Es posible que sea necesario administrar tratamientos de oxígeno y transfusiones de sangre para combatir el shock.

### **Monitoreo Cardiopulmonar**

Monitoree el estado cardíaco para detectar arritmias ventriculares incluyendo intervalos Q-T alargados y taquicardia ventricular, y miocardiopatía

### **Terapia de Quelación**

En caso de envenenamiento sintomático de arsénico se indica generalmente la administración de Dimercaprol (BAL). Monitoree la excreción de arsénico en la orina mientras se esté administrando cualquier agente quelante. Tan pronto la excreción de 24 horas disminuya a menos de 50 µg por día, es recomendable suspender la terapia de quelación (Casarett 1980, Córdova 2000);

## **Arsénico en Vegetales**

La presencia de arsénico en vegetales ha sido muy poco estudiada, y la normatividad al respecto no hace mención de este toxico ni en México ni en otros países. En la bibliografía se encontraron estudios de contenido de arsénico en vegetales (Prieto-García, *et al.* 2005), en ninguno de ellos se cita la normatividad. Los trabajos se reducen a describir técnicas de digestión y en algunos casos muestran las concentraciones de arsénico en vegetales.

Por considerarlo de importancia y muy relacionado con la finalidad de esta investigación, se resumen a continuación los resultados obtenidos por Prieto-García sobre arsénico en vegetales en el valle de Zimapán, Hidalgo, México en el 2005.

### **La Papa (*Solanum tuberosum*)**

Es una planta de la familia de las solanáceas, cultivada en casi todo el mundo por su tubérculo comestible. Es originaria del altiplano andino en un área que coincide aproximadamente con el sur del Perú. crece anualmente y tiene la capacidad de reproducirse vegetativamente por medio de tubérculos o de semilla. Es una planta que está compuesta por una parte que crece sobre el suelo en la que destacan tallos, hojas, flores y frutos, la otra crece subterráneamente que corresponde a el tubérculo y las raíces

Morfológicamente el tallo principal tiene una altura variable entre 0.5 a 1 m. Las hojas compuestas se disponen alternadamente en los tallos y son de tamaño medio a grande (10 a 20 cm de largo), Las flores, entre 5 a 15 por tallo, son de tamaño mediano aproximadamente 2 cm. La parte comestible es el tubérculo el cual es un tallo subterráneo, acortado, engrosado y provisto de ojos, la forma normal de multiplicación es via tubérculo. Sin embargo, existe la modalidad de reproducción generativa mediante el uso de semillas.

([www.inia.cl/remehue/web\\_proyectos/granjacientifica/boletines/7.doc](http://www.inia.cl/remehue/web_proyectos/granjacientifica/boletines/7.doc))

**Tabla 1** Arsénico en Vegetales

Especie	Nombre común	Parte	As mg/Kg.
<i>Thymus vulgaris</i>	(tomillo)	Hoja.	5.35
<i>Origanum mejorana</i>	(mejorana)	Hoja	7.07
<i>Origanum mejorana</i>	(mejorana)	Tallo	5.63
<i>Origanum mejorana</i>	(mejorana)	Raíz	6.35
<i>Petroselinum crispum</i>	(perejil)	Hoja	10.73
<i>Petroselinum crispum</i>	(perejil)	Tallo	4.42
<i>Chenopodium ambrosoides</i>	(epazote)	Hoja	12.39
<i>Chenopodium ambrosoides</i>	(epazote)	Tallo	7.93
<i>Chenopodium ambrosoides</i>	(epazote)	Raiz	10.16
<i>Coriandrum sativum</i>	(cilantro)	Hoja	2.67
<i>Brassica oleraceae</i>	(col)	Hoja	<0.018
<i>Lactuca sativa</i>	(lechuga)	Hoja	<0.018
<i>Beta vulgaris</i>	(acelga)	Hoja	<0.018
<i>Sechium edule</i>	(chayote)	Pulpa	7.90
<i>Sechium edule</i>	(chayote)	Hoja	10.77
<i>Sechium edule</i>	(chayote)	Tallo	5.05
<i>Chenopodium nutalliae</i>	(huauzontle)	Hoja	<0.018
<i>Chenopodium nutalliae</i>	(huauzontle)	Tallo	<0.018
<i>Lycopersicon sp.</i>	(tomate)	Hoja	7.85
<i>Lycopersicon sp.</i>	(tomate verde)		3.95
<i>Allium cepa</i>	(cebolla)	Bulbo	0.73
<i>Allium cepa</i>	(cebolla)	Hoja	0.20
<i>Allium cepa</i>	(cebolla)	Raíz	3.63
<i>Lycopersicon sp.</i>	(tomate rojo)	Fruto	1.55
<i>Lycopersicon sp.</i>	(tomate rojo)	Hoja	1.49
<i>Capsicum annuum</i>	(chile)	Fruto	6.26
<i>Capsicum annuum</i>	(chile)	Hoja	8.02



<i>Capsicum annuum</i>	(chile)	Tallo	4.49
<i>Raphanus sativus</i>	(rábano)	Fruto	<0.018
<i>Raphanus sativus</i>	(rábano)	Hoja	0.007
<i>Opuntia nopalea</i>	(nopal)		<0.018
<i>Citrus sinenses</i>	(naranja)	Fruto	8.44
<i>Citrus sinenses</i>	(naranja)	Hoja	0.003
<i>Prunus pérsica</i>	(durazno)	Hoja	0.58
<i>Prunus pérsica</i>	(durazno)	Tallo	<0.0175
<i>Punica granatun</i>	(granada)	Hoja	7.12
<i>Punica granatun</i>	(granada)	Tallo	5.64
<i>Cucurbita ficifolia</i>	(chilacayote)	Fruto	10.74
<i>Cucurbita ficifolia</i>	(chilacayote)	Tallo	<0.018
<i>Cucurbita ficifolia</i>	(chilacayote)	Hoja	8.36
<i>Musa paradisiaca</i>	(plátano)	Fruto	2.54
<i>Musa paradisiaca</i>	(plátano)	Hoja	5.42
<i>Manilkara zapota</i>	(níspero)	Fruto	2.82
<i>Manilkara zapota</i>	(níspero)	Hoja	6.04
<i>Psidium guajava</i>	(guayabo)	Hoja	8.42
<i>Persea americana</i>	(aguacate)	Flor	5.73
<i>Persea americana</i>	(aguacate)	Hoja	8.18
<i>Citrus aurantifolia</i>	(cas inter limón)		0.94
<i>Citrus aurantifolia</i>	(cas ext limón)		<0.018
<i>Citrus aurantifolia</i>	(limón)	Hoja	9.07
<i>Opuntia nopalea</i>	(pulpa nopal)		<0.018
<i>Cymbopogon citratos</i>	(telimon)	Hoja	2.54
<i>Cymbopogon citratos</i>	(telimon)	Tallo	6.16
<i>Matricaria chamomilla</i>	(manzanilla)	Tallo	0.49
<i>Matricaria chamomilla</i>	(manzanilla)	Flor	0.06
<i>Artemisa abrotanum</i>	(toronjil)	Hoja	20.13
<i>Artemisa abrotanum</i>	(toronjil)	Tallo	7.87

**Fuente:** Prieto-García. et al 2005

## Composición química

Dentro de los componentes nutritivos el que se encuentra en mayoría es el agua que constituye entre el 72 y 75% del total. Le siguen los carbohidratos que constituyen el 16-20% entre los que hay que destacar el grupo de los almidones que son polisacáridos complejos que se absorben como glucosa previa hidrólisis enzimática. La cáscara representa 1-1.8% del total de la papa, la concentración de azúcares sencillos es baja (0.1- 0.7%) siendo los más importantes la glucosa, fructosa y sacarosa. Es importante controlar la concentración de azúcares de la papa con objeto de prevenir las reacciones de pardeamiento no enzimático. Este tipo de reacciones indeseables puede aparecer cuando se alcanzan concentraciones del 2% de azúcares reductores. Las proteínas son el nutriente más abundante después de los carbohidratos constituyendo el 2% del total asentándose mayoritariamente en el cortex (zona inmediatamente debajo de la cáscara) y la pulpa (zona central). Destacan las albúminas (49%) y globulinas (26%) como las fracciones proteicas más abundantes seguidas de prolaminas (4.3%) y glutelinas (8.3%). Así mismo destaca la presencia de gran cantidad de enzimas y aminoácidos libres cuyas concentraciones dependen de la forma de cultivo y almacenamiento. Los lípidos no tienen importancia desde un punto de vista cuantitativo (0.1%) y se encuentran mayoritariamente en la cáscara. Existe gran cantidad de vitaminas hidrosolubles tales como la vitamina C y algunas del complejo B. También la papa es rica en minerales, los cuales constituyen el 1% del total de la papa, destacando el potasio como elemento mayoritario (Lister y Monro 2000).

En lo que se refiere a los componentes resaltan los pigmentos carotenoides responsables del color de la papa y las clorofilas que se pueden hacer patentes en el caso de papas expuestas al sol. Existen ácidos orgánicos tales como cítrico, oxálico y málico que además de regular la acidez de la savia de la papa, contribuyen al aroma y sabor. Existen algunos glucósidos tóxicos siendo el más importante la asolanina constituida por el alcaloide solanidina que se encuentra unido a sendas moléculas de glucosa y galactosa. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Solanina>)

La concentración de solanina en condiciones normales es de 50-100 mg/100g, pero cuando las papas se exponen al sol se pueden alcanzar concentraciones tóxicas (200 mg/100g). Se concentra en la cáscara y brotes y también en el córtex de la papa, por lo tanto, quitar la cáscara es una alternativa interesante para prevenir la intoxicación, pero como contrapartida, se eliminan una parte importante de los nutrientes y fibra. Además, el calentamiento que se realiza durante la preparación de los alimentos hidroliza parcialmente estos alcaloides inactivando su acción tóxica (Mendel y Mcdonald 1997).

**Tabla 3** Valor Nutricional Medio en 100 gr de papa Cruda

Agua	75 g
Valor Calórico	70 KCal
Proteínas	2 g
Carbohidratos	20 g
Lípidos	0.1 g
Provitamina A	5 mg
Vitamina B1	0.11 mg
Vitamina B2	0.04 mg
Vitamina B6	0.25 mg
Vitamina C	19.5 mg
Vitamina PP	1.2 mg
Hierro	1.8 mg
Calcio	9 mg
Magnesio	10 mg
Fosforo	26 mg
Potasio	255 mg
Sodio	2.4 mg
Fibras	1.4 g

**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Solanum\\_tuberosum](http://es.wikipedia.org/wiki/Solanum_tuberosum)

## **Métodos Analíticos para Cuantificar Arsénico**

Hay distintos métodos para cuantificar arsénico y cada uno de ellos se utiliza dependiendo de las necesidades experimentales y según el tipo de muestra. A continuación, se describe el más importante: Espectroscopia de Absorción Atómica (AA) y algunos métodos de campo.

### **Espectroscopia de Absorción Atómica con Generación de Hidruros**

La espectroscopia de absorción atómica tiene como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. La cantidad de fotones absorbidos, está determinada por la ley de Beer, que relaciona ésta pérdida de poder radiante, con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores (Rocha, E. 2000; Skoog D. 1998)

#### **Técnica**

Consta de tres etapas fundamentales: la generación y volatilización del hidruro, la transferencia del mismo y su posterior atomización en el espectrómetro de AA. La generación del hidruro, se consigue tratando la muestra que contiene arsénico con una disolución de borohidruro de sodio ( $\text{NaBH}_4$ ) en medio ácido (HCl). El reductor es el borohidruro de sodio, la reacción es completa y rápida cuando se trata de la especie inorgánica  $\text{As}^{+3}$ . En el caso de  $\text{As}^{+5}$  y las especies orgánicas monometilarsénico (MMA) y dimetilarsénico (DMA), la reacción es muy lenta por lo que es necesaria una reducción previa, para lo cual se utiliza yoduro de potasio (KI) -cisteína. Entre los sistemas de generación de hidruros, los que combinan las ventajas de la inyección en flujo, con la posterior detección por espectrometría por absorción atómica, es de los más usadas en la determinación total de arsénico, por que es sensible, rápido y minimiza los efectos de las interferencias, además resulta ser más cómodo de usar y apropiado para el análisis (Morand, et al. 2003).

## **Métodos de Campo**

Debido a las condiciones de pobreza en algunos países y falta de personal técnico especializado para operar espectroscopia de absorción atómica algunas empresas como Hach Tech, Merck y Wagtech han diseñado pruebas y equipos portátiles para obtener resultados sin la necesidad de transportar las muestras hasta laboratorios especializados, lo que trae consigo una reducción de costos y rapidez en obtención de resultados. La mayoría de estos métodos se basa en el método Gutzeit cuyo fundamento consiste en la formación de arsina que reacciona con bromuro mercuríco formando complejos coloreados. La intensidad de la mancha es proporcional a la concentración de As, la cual se compara con manchas estándar (Kosmos. 2000).

### **Reactivos líquidos fabricado por Merck kgaa**

El fundamento de esta prueba es que la longitud e intensidad de la mancha es proporcional a la cantidad de arsénico presente. Cuantifica de 10 hasta 500 ppb. Una de sus desventajas es que no permite el retiro de la interferencia del sulfuro. El contenido del equipo es el siguiente: tiras de prueba, tubo de prueba de la reacción con un tapón ranurado, una jeringuilla para medir la muestra de agua, una cuchara dosificadora para el polvo del zinc y una hoja de instrucción en cuatro idiomas. Incluye tiras para realizar 100 pruebas ([www.wagtech.co.uk/UserFiles/File/Water%20Cat/Arsenator.pdf](http://www.wagtech.co.uk/UserFiles/File/Water%20Cat/Arsenator.pdf)).

### **Kit de pruebas fabricadas por Hach company**

El fundamento se basa en que la cantidad de arsénico es proporcional al color que presente la tira. Los reactivos se aplican en forma pulverizada. El kit contiene el siguiente: cinco reactivos, tiras de prueba, dos recipientes de la reacción con los casquillos especiales. Contiene reactivos para 100 pruebas. ([www.wagtech.co.uk/UserFiles/File/Water%20Cat/Arsenator.pdf](http://www.wagtech.co.uk/UserFiles/File/Water%20Cat/Arsenator.pdf))

### **Kit para pruebas fabricado por merck KGaA merckoquant**

El método utiliza el principio de Gutzeit la cual mide mediante una escala calorimétrica de 5 a 250 ppb. Este kit contiene un agente que oxida y retiene el sulfuro inhibiendo su interferencia. Contiene agente oxidante en cuentagotas, un recipiente de reacción, reactivo y tiras para 100 pruebas. ([www.wagtech.co.uk/UserFiles/File/Water%20Cat/Arsenator.pdf](http://www.wagtech.co.uk/UserFiles/File/Water%20Cat/Arsenator.pdf))

### **Pruebas de EZ fabricado por Hach company**

Incluye acetato de plomo al 10%. Para eliminar el sulfuro generado durante la reacción formando sulfuro de plomo. Contiene tiras con  $\text{Br}_2\text{Hg}$ . En base a la concentración del Arsénico es el viraje de las tiras reactivas lo que puede ser equivalente a 10 a 500 ppb El contenido es el siguiente: Dos reactivos, acetato y algodón de plomo, dos recipientes para la reacción con un casquillo especial, un tubo de dilución, un bolso, reactivos y tiras para 100 pruebas. ([www.wagtech.co.uk/UserFiles/File/Water%20Cat/Arsenator.pdf](http://www.wagtech.co.uk/UserFiles/File/Water%20Cat/Arsenator.pdf))

### **Kit visual fabricado por Wagtech WAG-WT0950**

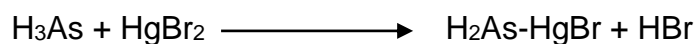
Contiene un recipiente con tres filtros para quitar el exceso de gas arsina así como sulfuro del hidrógeno. El fundamento se basa en el método Gutzeit; mide mediante una escala de color la cantidad de arsénico presente en la muestra. Tiene una sensibilidad de 10 hasta 500 ppb este kit contiene los siguientes reactivos: dos reactivos (uno en forma de la tableta y el otro en bolsitas), un recipiente de reacción, cuatro portafiltros para la colección y la detección del arsénico, 4 depuradores para la eliminación y el retiro de arsina, cuatro filtros para sulfuro del hidrógeno, una carta de comparación del color, contiene las suficientes tabletas, bolsitas del polvo y filtros para 200 pruebas. ([www.wagtech.co.uk/UserFiles/File/Water%20Cat/Arsenator.pdf](http://www.wagtech.co.uk/UserFiles/File/Water%20Cat/Arsenator.pdf)).

## Arsenómetro Wagtech 10500

En esta investigación se utilizó este aparato, por lo tanto se abunda en información sobre sus características y manejo.

### Fundamento

Se basa en la producción de gas “arsina” y su cuantificación calorimétrica por medio de bromuro mercúrico (método de Gutzeit) utilizando un fotómetro para su lectura. Este método incluye la adición de ácido sulfámico para que el arsenato presente  $\text{As}^{+5}$  se reduzca a Arsenito  $\text{As}^{+3}$ , y la utilización de borohidruro de sodio para producir hidrógeno naciente, que reacciona con el  $\text{As}^{+3}$  liberando arsina  $\text{H}_3\text{As}$  y Ac. Sulfhídrico  $\text{H}_2\text{S}$ . (Kosmos, 2000), Antes de que los gases pasen por el detector de bromuro mercúrico el  $\text{H}_2\text{S}$  es capturado por un filtro que contiene acetato de plomo y es transformado en sulfuro de plomo. Finalmente, la arsina reacciona con  $\text{HgBr}_2$  para formar un complejo colorido:



La gama de colores que se produce va de amarillo a café cuya intensidad es proporcional a la cantidad de arsénico presente (Espinoza E., R. E. Lugo, 2006).

A continuación se presentan el arsenómetro portátil Wagtech 10500 (Figura 4) como las partes que la integran (Figura 5), el diagrama del uso del equipo para una lectura (Figura 6) y preparación de la muestra (Figura 7)





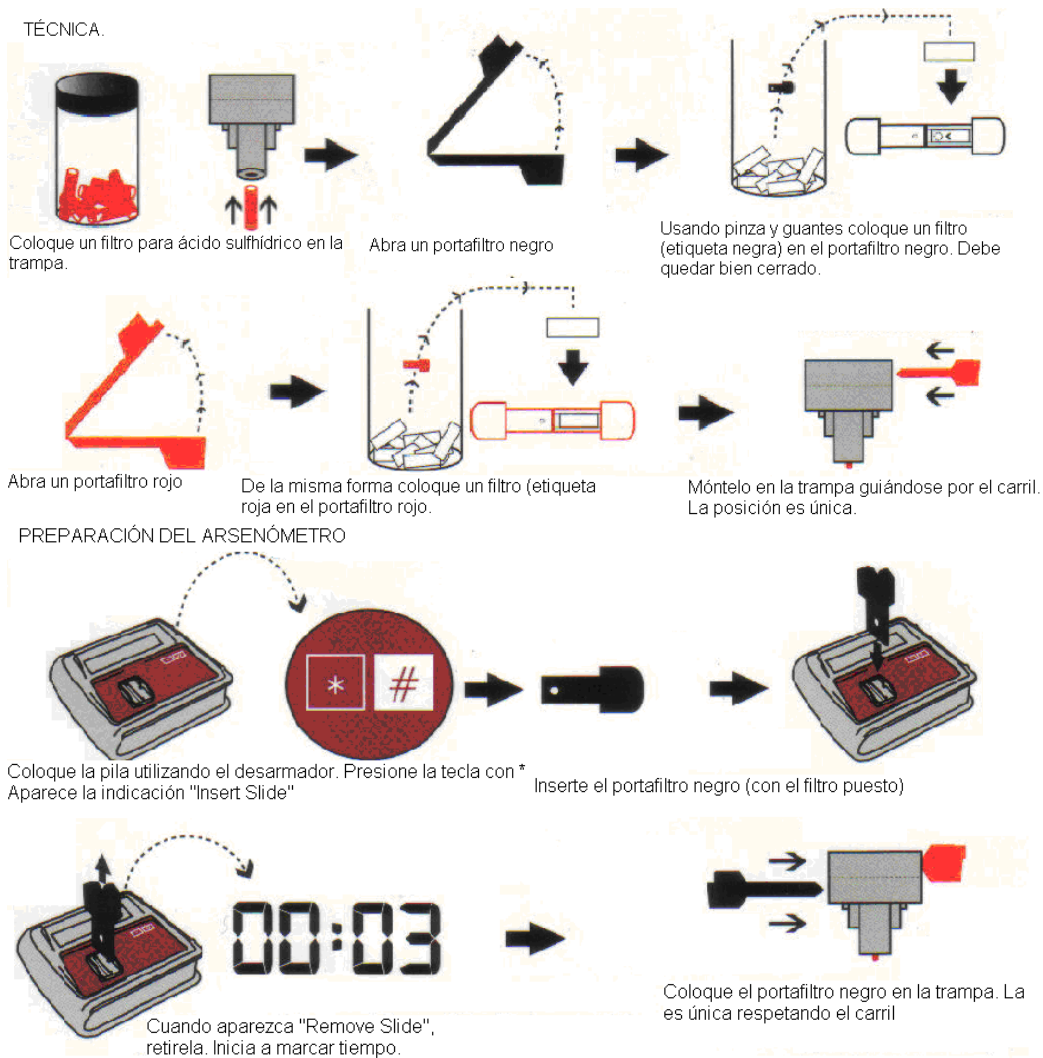
**Figura 4** Arsenómetro WAGTECH 10500

*Fuente:* [www.wagtech.co.uk](http://www.wagtech.co.uk)



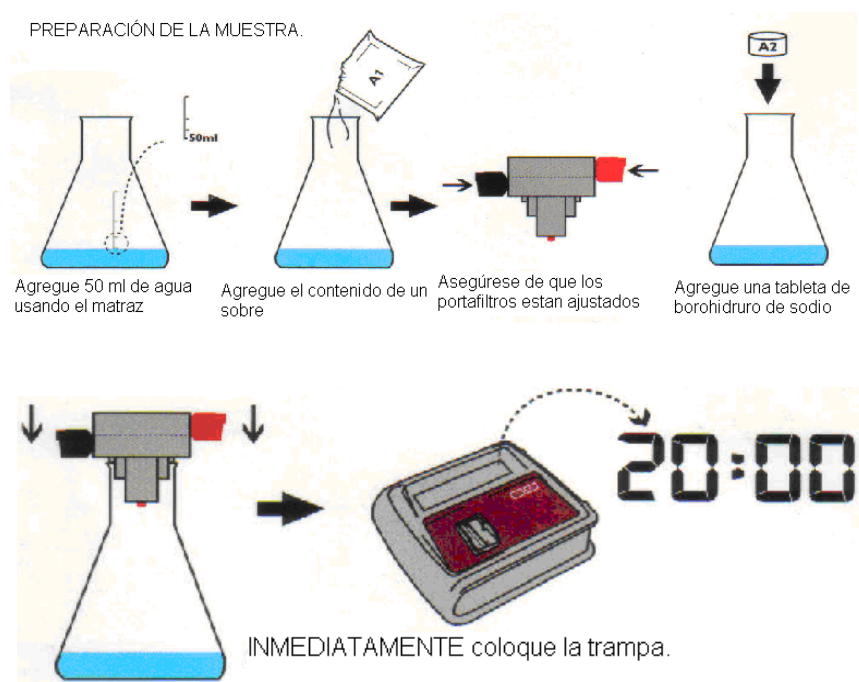
**Figura 5** Descripción del equipo

*Fuente:* [www.wagtech.co.uk](http://www.wagtech.co.uk)



**Figura 6** Técnica para una lectura

*Fuente:* [www.wagtech.co.uk](http://www.wagtech.co.uk)



**Figura 7 Preparación de la Muestra**

*Fuente:* [www.wagtech.co.uk](http://www.wagtech.co.uk)

### **Lecturas Múltiples con Multipack**

El arsenómetro cuenta con un kit complemento que consiste en 5 matraces con sus trampas y portafiltros lo que hace que el uso de este nos permita ahorrar tiempo ya que se puede leer 5 muestras consecutivamente.

A continuación, se presentan los pasos para utilizar el arsenómetro en esta modalidad.

Para poner en marcha el arsenómetro tomar un portafiltros negro con su filtro correspondiente, este servirá de blanco ya que se puede poner en marcha en dos modalidades, la primera con el signo (\*) es para lecturas de una sola muestra, mientras que el signo # es para varias lecturas consecutivas, en esta última modalidad antes de insertar el portafiltros negro (cada muestra analizada) es necesario insertar el filtro negro no tratado para blanco. En la pantalla del arsenómetro aparecerá la indicación "Insert Slide" el cual nos indicara que se inserte el portafiltros negro (blanco) y esperar unos segundos; aparecerá la indicación "Remove Slide" una vez retirado el portafiltros iniciara el conteo de 20 minutos, pasado este tiempo quitar los portafiltros de las trampas y realizar las lecturas introduciendo el blanco antes de cada lectura. El aparato no da lecturas superiores a 500 ppb por lo que se deben hacer diluciones.

## **EQUIPO, MATERIALES Y REACTIVOS**

### **Equipo**

- 1) Posicionador GPS de la marca Garmin III.
- 2) Parrilla eléctrica Barnsteal International Thermolyne placa de 17 x 17 mod FB1315M
- 3) Termómetro de Mercurio marca Branam graduado de -35 °C a 150 °C
- 4) Campana de extracción
- 5) Horno de microondas doméstico marca GoldStar
- 6) Arsenómetro Wagtech mod 10500
- 7) Multipack para arsenómetro Wagtech mod 10500 para 5 muestras
- 8) Balanza analítica de la marca Ohaus

### **Materiales**

Pipeta automática de precisión marca LabMate 100/1000 µL  
Recipientes de plástico de 250 y 500 ml boca ancha.  
Perilla para pipeta serológica  
Guantes de látex  
Cubreboca  
Mortero de la Marca Lofivitrex  
Pipeta serológica de 10 ml pyrex  
Matraces aforados de 50 ml de clase A pyrex  
Vasos de precipitado de 250 ml Clase A pyrex  
Vidrio de reloj

### **Reactivos**

Los reactivos químicos utilizados fueron ácido nítrico de la marca Fermont de grado reactivo analítico y ácido clorhídrico de la marca Fermont que cumple con los requisitos de la ACS, patrón de Arsénico de 1000 ppm de la marca, extra para lavado de la materia además agua deionizada para lavado de equipo, muestreo, digestiones y blancos.

## METODOLOGIA

### Digestión De Cáscara Y Pulpa De Papa

Se consultó en la bibliografía diversas técnicas de digestión de muestras vegetales, se optó por aplicar la técnica húmeda a base de la  $\text{HNO}_3$  y  $\text{HCl}$  recomendada para análisis de arsénico según la norma NMX-AA-051-SCFI-2001 según se indica en el apéndice 7 Se probó con diferentes cantidades de muestra y finalmente se obtuvo un digerido claro color ámbar mediante la siguiente técnica.

#### **Diseño de la técnica de digestión para pulpa de papa**

- 1 Pesar la papa fresca.
- 2 Someterla a horno de microondas por 4 minutos o hasta que apoye la cáscara.
- 3 Pesar nuevamente la papa para determinar la humedad perdida y separar manualmente la cáscara de la pulpa.
- 4 Desmenuzar la pulpa obtenida en el horno de microondas y pesar 3 g.  
Pasar a un vaso de precipitado de 250 ml y agregar 10 ml de  $\text{HNO}_3$  conc.
- 5 Tapar con vidrio de reloj y dejar en digestión por 12 hs a temperatura ambiente.
- 6 Agregar 20 ml de agua deionizada, tapar con el vidrio de reloj.
- 7 Calentar a reflujo en parrilla a  $100^\circ\text{C}$  hasta reducir el volumen a 10 ml.
- 8 Enfriar y agregar 10 ml de  $\text{HCl}$  conc.
- 9 Agregar 10 ml de agua deionizada.
- 10 Reflujar hasta reducir el volumen a 10 ml.
- 11 Aforar a 50 ml con agua deionizada. El líquido debe ser transparente.

### **Diseño de la técnica de digestión para cáscara de papa**

- 1 Pesar la cáscara obtenida de cada papa.
  - 2 Secar a peso constante a 150°C (aproximadamente 2 hs) en mufla.
  - 3 Pesar la cascara seca para determinar la humedad perdida y triturar en mortero de porcelana.
  - 4 Pesar 0.50 de cáscara seca y triturada
  - 5 Pasar a un vaso de precipitado de 250 ml y agregar 10 ml de HNO<sub>3</sub> conc. y tapar con vidrio de reloj.
  - 6 Dejar en digestión por 12 hs a temperatura ambiente
  - 7 Agregar 20 ml de agua deionizada, tapar con vidrio de reloj.
  - 8 Calentar a reflujo en parrilla a 100°C hasta reducir el volumen a 10 ml
  - 9 Enfriar y agregar 10 ml de HCl conc.
  - 10 Agregar 10 ml de agua deionizada
  - 11 Reflujar hasta reducir el volumen a 10 ml
  - 12 Aforar a 50 ml con agua deionizada
- El líquido debe ser claro ligeramente ámbar.



### **Determinación del Porcentaje de Recuperación de arsénico en pulpa**

Se preparó un litro de solución 1:1000 a partir de un patrón de arsénico para absorción atómica de 1000 ppm para obtener una solución de 1000 ppb Al agregar 250 µl y aforar a 50 ml se obtiene una concentración de 50 ppb.

Para una corrida se procedió de la siguiente forma:

- a) Muestra control: 50 ml de agua deionizada con 250 µl de solución patrón diluida 1:1000.
- b) Muestra de pulpa 3 g
- c) Muestra fortificada: 4 muestras de pulpa más 250 µl de solución patrón diluida 1:1000.

1 Se aplicó la técnica a todas las muestras y las lecturas fueron las siguientes:

- a) Control: 47 ppb.
- b) 7 ppb.
- c) Promediando las 4 lecturas de muestra fortificada de pulpa se obtuvo 61 ppb.

Restando estas dos últimas lecturas se obtiene 54. La recuperación es de 108%. Según la bibliografía el intervalo permitido es de 85 a 115%.

### **Determinación del porcentaje de recuperación en cáscara**

Se siguió la técnica anterior pero sólo se corrieron 2 muestras debido a que la cantidad de cáscara es más reducida. El porcentaje de recuperación fue de 110%.

### **Definición del área de estudio**

La elección de la zona de trabajo se hizo atendiendo la producción del tubérculo en estudio, tomando la información de la Oficina de Sanidad Vegetal. Se limitó al estudio de 394 hectáreas de seis campos que corresponde al 28 %

de las 1,400 hectáreas sembrada, se eligieron campos en regiones Norte, Oeste y Este de la región agrícola de Caborca.

### **Preparativos de muestreo**

Los recipientes para recolección de agua se prepararon según la norma NOM-014-SSA1-1993 según se indica en el apéndice No 8. Además, se llevo pala para facilitar la obtención de la muestra del suelo, bolsas, hieleras para hacer más fácil el traslado de muestras hasta el laboratorio, cámara digital y GPS para hacer las lecturas de las coordenadas en cada poso.

## MUESTREO

En cada periodo se tomó la posición del pozo y se determinó la concentración de arsénico en el agua, una vez establecida la presencia y cantidad de éste. Se procedió a recolectar 8 muestras al azar. Se tomaron ocho muestras uniformemente distribuidas, tomando dos por cada lado a una distancia de 15 metros de la orilla.

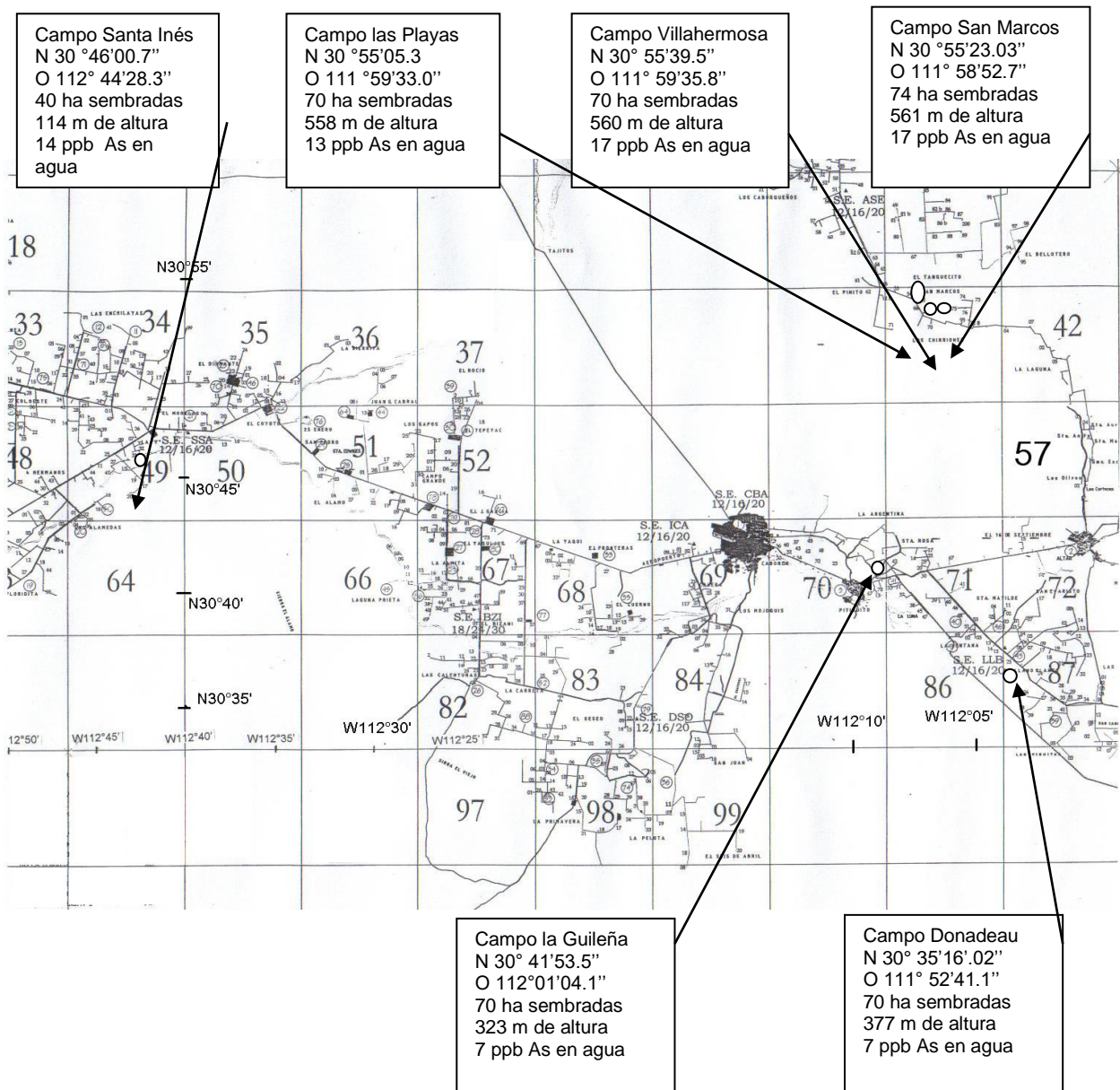
Se visitaron los siguientes campos: La Guileña, Santa Inés, Donadeau, Villahermosa, Las Playas y San Marcos. En la tabla 3 se indican las coordenadas, altura sobre el nivel del mar, fecha, área del sembradío y las concentraciones de arsénico en el agua.

### **Primera zona de Muestreo**

El día 12 mayo del 2007 Se visitó el campo “La Güileña” situado a 10 Km. de H. Caborca, Sonora. En el entronque de carretera a Las Calabazas y Carretera internacional cerca de la entrada este de Pitiquito; este predio está a 323 metros sobre el nivel del mar. El plantío es de 70 hectáreas y se tomaron al azar 8 muestras que se cubrieron con papel celofán plástico para evitar pérdida de humedad. El predio cuenta con sistema de riego de aspersión.

### **Segunda zona de Muestreo**

El día 19 de mayo se visito el Campo “Santa Inés” localizado a 55 Km. al oeste de H. Caborca Sonora rumbo a la playa el desemboque localizada a una altura de 114 metros sobre el nivel del mar. El plantío es de 40 hectáreas y cuenta con sistema de riego de aspersión. El agua de tres posos se almacena en un represo artificial con fondo cubierto con una capa de hule, se tomaron 8 muestras que en el campo se cubrieron con papel celofán plástico para evitar pérdida de humedad. El campo cuenta con sistema de riego por aspersión (Figura 9)



**Figura 8** Localización de los predios

**Tabla 3** Localización de las Coordenadas de Los campos Muestreados

Predio	Localización	Altura (m)	Fecha	Área (Ha)	Conc. (.).
La Güileña	N 30°41'53.5" O 112°01'04.1"	323	12/05/07	70	7
Santa Inés	N 30°46'00.7" O 112°44'28.3"	114	19/05/07	40	14
Donadeau	N 30°35'16.02" O 111°52'41.1"	377	26/05/07	70	7
Villa Hermosa	N 30°55'39.5" O 111°59'35.8"	560	4/06/07	70	17
Las Playas	N 30°55'05.3" O 111°59'33.0"	558	6/06/07	70	13
San Marcos	N 30°55'23.03" O 111°58'52.7"	561	15/0607	74	17



**Figura 9** A mis espaldas se ve el sistema de riego del campo Santa Inés

### **Tercera zona de Muestreo**

El 26 de mayo del 2007 Se visito es el Campo “Donadeau” se encuentra localizado a 35 kilómetros al sureste de de Caborca en el municipio de Altar cerca del Ejido Llano Blanco, tiene una altura de 377 metros sobre el nivel del mar. El plantío consta de 70 hectáreas, se tomaron al azar 8 muestras que en el campo se cubrieron con papel celofán plástico para evitar perdida de humedad. El campo cuenta con sistema de riego por aspersión.

### **Cuarta zona de Muestreo**

La siguiente toma de muestra se el día 4 de junio del 2007 en el campo Villahermosa de los Chirriones tiene una altura de 560 metros sobre el nivel del mar donde se tomaron 8 muestras representativas que se cubrieron con papel celofán de plástico para evitar la perdida de humedad. El plantío cuenta con 70 hectáreas. El predio cuenta con riego de aspersión.

### **Quinta zona de Muestreo**

Realizada el 6 de junio de 2007 en el campo Las Playas de los Chirriones a una altura de 558 metros sobre el nivel del mar el predio constó de 70 hectáreas sembradas con este tubérculo cabe destacar que se estaban realizando muestreos de producción de cada metro cuadrado, donde se seleccionaron 8 papas al azar posteriormente se envolvieron al celofán para disminuir la perdida de humedad. El predio cuenta con riego por aspersión

### **Sexta zona de Muestreo**

Realizada el 11 de junio del 2007 en el campo San Marcos de los chirriones se recolectaron 8 muestras al azar, el predio se encuentra a una altura de 557 metros sobre el nivel del mar, una vez recolectado los tubérculos se envolvieron en celofán. Allí se encontraron trabajadoras muestreando la producción de papa por metros cuadrados (Figura 10)



**Figura 10** Muestreo de un metro cuadrado de papa hecho por trabajadoras del campo San Marcos



## TRABAJO EXPERIMENTAL

Las muestras se fueron procesando de inmediato conforme se recogieron de acuerdo con las técnicas ya descritas y estandarizadas. Para control de calidad con cada corrida de 5 muestras se corrió un patrón de 20 ppb, a cada muestra se le asignó un número para llevar el control de los estudios que a continuación se describen. se pesó cada muestra por separado y se aplicó la técnica descrita en el apartado de metodología.

Se utilizaron las 8 muestras obtenidas en cada campo, se hizo una repetición en el caso de pulpa, y en el caso de cáscara debido a la pequeña cantidad de muestra sólo se corrió un análisis.

Para los cálculos se hicieron los ajustes pertinentes para que los resultados se pudieran expresar en mg de As/kg de pulpa o cáscara.

Los resultados se concentran en las tablas 4 a 9 para pulpa y 10 a 15 para cáscara.

**Tabla 4** Análisis de Pulpa de papa del campo Santa Inés

Peso papa gramos	Pulpa predigerida sin cáscara	Pérdida agua %	Peso cáscara gramos	Peso neto total	Peso muestra gramos	Peso muestra gramos	As lectura ppm	As en pulpa mg/kg
137.20	95.53	32.55	1.90	136.08	3.00	4.41	0.005	0.057
					3.00	4.41	0.006	0.068
175.10	122.77	29.88	2.54	172.56	3.00	4.21	0.005	0.059
					3.00	4.21	0.004	0.048
166.60	113.20	32.05	1.82	164.78	3.00	4.36	0.008	0.092
					3.00	4.36	0.007	0.080
168.40	116.79	30.64	1.86	166.53	3.00	4.27	0.006	0.070
					3.00	4.27	0.005	0.059
176.30	118.59	32.75	1.87	174.49	3.00	4.41	0.007	0.079
					3.00	4.41	0.007	0.079
116.10	70.46	39.31	1.60	114.02	3.00	4.85	0.003	0.031
					3.00	4.85	0.005	0.052
141.60	101.80	28.10	1.88	139.72	3.00	4.11	0.008	0.097
					3.00	4.11	0.007	0.085
137.00	100.12	26.91	1.60	135.48	3.00	4.05	0.008	0.099
					3.00	4.05	0.007	0.086
							prom.	0.071

Arsénico en agua 0.014 ppm

**Tabla 5** Análisis de Pulpa de papa del campo la Guileña

Peso papa gramos	Pulpa predigerida sin cáscara	Pérdida agua %	Peso cáscara gramos	Peso neto total	Peso muestra gramos	Peso muestra gramos	As lectura ppm	As en pulpa mg/kg
136.8	95.25	30.37	2.07	134.73	3.00	4.24	0.006	0.071
					3.00	4.24	0.008	0.094
170.4	119.60	29.81	2.58	167.82	3.00	4.21	0.007	0.083
					3.00	4.21	0.005	0.059
169.5	117.50	30.68	2.57	166.93	3.00	4.26	0.003	0.035
					3.00	4.26	0.005	0.059
140.8	99.50	29.33	2.13	138.67	3.00	4.18	0.003	0.036
					3.00	4.18	0.004	0.048
119.2	81.50	31.63	1.80	117.40	3.00	4.32	0.006	0.069
					3.00	4.32	0.006	0.069
160.8	112.50	30.04	2.43	158.37	3.00	4.22	0.005	0.059
					3.00	4.22	0.008	0.095
145.2	100.10	31.06	2.20	143.00	3.00	4.29	0.004	0.047
					3.00	4.29	0.005	0.058
165.3	116.30	29.64	2.50	162.80	3.00	4.20	0.007	0.083
					3.00	4.20	0.006	0.071

prom. 0.062

Arsénico en agua: 0.010 ppm

**Tabla 6** Análisis de Pulpa de papa del campo Donadeau

Peso papa gramos	Pulpa predigerida sin cáscara	Pérdida agua %	Peso cáscara gramos	Peso neto total	Peso muestra gramos	Peso muestra gramos	As lectura ppm	As en pulpa mg/kg
149.3	104.23	30.19	2.26	147.04	3.00	4.23	0.004	0.047
					3.00	4.23	0.006	0.071
162.3	113.98	29.77	2.46	159.84	3.00	4.21	0.008	0.095
					3.00	4.21	0.008	0.095
145.8	102.54	29.67	2.21	143.59	3.00	4.20	0.006	0.071
					3.00	4.20	0.005	0.051
139.4	99.06	28.94	2.11	137.29	3.00	4.16	0.008	0.096
					3.00	4.16	0.006	0.072
172.6	118.38	31.41	2.61	169.99	3.00	4.31	0.004	0.046
					3.00	4.31	0.007	0.081
144.6	97.98	32.24	2.19	142.41	3.00	4.36	0.006	0.069
					3.00	4.36	0.006	0.069
168.9	119.07	29.50	2.56	166.34	3.00	4.19	0.004	0.048
					3.00	4.19	0.004	0.048
163.3	112.72	30.97	2.47	160.83	3.00	4.28	0.004	0.041
					3.00	4.28	0.006	0.070
							prom.	0.068

Arsénico en agua: 0.010 ppm

**Tabla 7** Análisis de Pulpa de papa del campo Villahermosa

Peso papa gramos	Pulpa predigerida sin cáscara	Pérdida agua %	Peso cáscara	Peso neto total	Peso muestra gramos	Peso muestra gramos	As lectura ppm	As en pulpa mg/kg
163.5	116.84	28.54	2.48	161.02	3.00	4.13	0.003	0.036
					3.00	4.13	0.007	0.085
172.4	121.04	29.79	2.61	169.79	3.00	4.21	0.005	0.059
					3.00	4.21	0.008	0.095
139.8	97.85	30.01	2.12	137.68	3.00	4.22	0.005	0.059
					3.00	4.22	0.006	0.071
157.6	113.73	27.84	2.39	155.21	3.00	4.09	0.011	0.013
					3.00	4.09	0.013	0.016
152.3	105.49	30.74	2.31	149.99	3.00	4.27	0.008	0.094
					3.00	4.27	0.009	0.105
165.4	114.16	30.98	2.50	162.90	3.00	4.28	0.003	0.031
					3.00	4.28	0.005	0.058
148.6	105.18	29.22	2.25	146.35	3.00	4.17	0.006	0.072
					3.00	4.17	0.008	0.096
146.8	100.68	31.42	2.22	144.58	3.00	4.31	0.006	0.070
					3.00	4.31	0.006	0.070
							prom.	0.064

Arsénico en agua: 17 ppm

**Tabla 8** Análisis de Pulpa de papa del campo las Playas

Peso papa gramos	Pulpa predigerida sin cáscara	Pérdida agua %	Peso cáscara gramos	Peso neto total	Peso muestra gramos	Peso muestra gramos	As lectura ppm	As en pulpa mg/kg
175.3	121.06	30.94	2.65	172.65	3.00	4.28	0.005	0.051
					3.00	4.28	0.006	0.070
163.6	109.91	32.82	2.48	161.12	3.00	4.40	0.004	0.045
					3.00	4.40	0.004	0.045
146.2	104.79	28.32	2.21	143.99	3.00	4.12	0.005	0.061
					3.00	4.12	0.009	0.011
174.8	118.71	32.09	2.65	172.15	3.00	4.35	0.007	0.080
					3.00	4.35	0.010	0.115
141.5	99.56	29.64	2.14	139.36	3.00	4.20	0.010	0.119
					3.00	4.20	0.009	0.107
181.2	129.16	28.72	2.74	178.46	3.00	4.15	0.005	0.060
					3.00	4.15	0.008	0.096
163.2	113.16	30.66	2.47	160.73	3.00	4.26	0.008	0.094
					3.00	4.26	0.007	0.082
155.3	111.13	28.44	2.35	152.95	3.00	4.13	0.006	0.073
					3.00	4.13	0.003	0.036
							prom.	0.072

Arsénico en agua: 0.013 ppm

**Tabla 9** Análisis de Pulpa de papa del campo San Marcos

Peso papa gramos	Pulpa predigerida sin cáscara	Pérdida agua %	Peso cáscara gramos	Peso neto total	Peso muestra gramos	Peso muestra gramos	As lectura ppm	As en pulpa mg/kg
151.9	105.76	30.38	2.30	149.60	3.00	4.24	0.008	0.094
					3.00	4.24	0.006	0.071
149.3	102.99	31.02	2.26	147.04	3.00	4.28	0.004	0.047
					3.00	4.28	0.005	0.058
144.6	96.49	33.27	2.19	142.41	3.00	4.43	0.010	0.113
					3.00	4.43	0.008	0.090
168.9	115.60	31.56	2.56	166.34	3.00	4.32	0.005	0.058
					3.00	4.32	0.008	0.093
173.8	126.04	27.48	2.63	171.17	3.00	4.07	0.007	0.086
					3.00	4.07	0.008	0.098
176.4	124.82	29.24	2.67	173.73	3.00	4.18	0.004	0.048
					3.00	4.18	0.006	0.072
156.8	106.84	31.86	2.37	154.43	3.00	4.34	0.004	0.046
					3.00	4.34	0.005	0.058
177.2	126.38	28.68	2.68	174.52	3.00	4.14	0.006	0.072
					3.00	4.14	0.006	0.072
							prom.	0.074
Arsénico en agua: 0.017 ppm								

**Tabla 10** Análisis de Cáscara de papa Campo santa Inés

Peso Total gramos	Peso Cáscara gramos	peso seco gramos	Peso muestra gramos	As (lectura) ppm	As en Cáscara mg/kg
137.2	1.63	0.55	0.50	0.010	0.337
175.1	2.54	0.73	0.50	0.011	0.318
166.6	1.82	0.53	0.50	0.013	0.376
168.4	1.86	0.54	0.50	0.013	0.376
176.3	1.87	0.54	0.50	0.015	0.434
116.1	2.08	0.60	0.50	0.009	0.260
141.6	1.88	0.54	0.50	0.017	0.491
137	1.6	0.53	0.50	0.014	0.464
				promedio	0.382

Arsénico en agua: 0.014 ppm



**Tabla 11** Análisis de Cáscara de papa Campo la Guileña

Peso Total gramos	Peso Cáscara gramos	peso seco gramos	Peso muestra gramos	As (lectura) ppm	As en Cáscara mg/kg
136.8	2.07	0.60	0.50	0.012	0.347
170.4	2.58	0.75	0.50	0.012	0.347
169.5	2.57	0.74	0.50	0.010	0.289
140.8	2.13	0.62	0.50	0.015	0.434
119.2	1.80	0.52	0.50	0.010	0.289
160.8	2.43	0.70	0.50	0.013	0.376
145.2	2.20	0.64	0.50	0.009	0.260
165.3	2.50	0.72	0.50	0.016	0.462
				promedio	0.350

Arsénico en agua: 0.010 ppm

**Tabla 12** Análisis de Cáscara de papa Campo la Donadeau

Peso Total gramos	Peso Cáscara gramos	peso seco gramos	Peso muestra gramos	As (lectura) ppm	As en Cáscara mg/kg
149.3	2.26	0.65	0.50	0.013	0.376
162.3	2.46	0.71	0.50	0.015	0.434
145.8	2.21	0.64	0.50	0.013	0.376
139.4	2.11	0.61	0.50	0.017	0.491
172.6	2.61	0.76	0.50	0.013	0.376
144.6	2.19	0.63	0.50	0.016	0.462
168.9	2.56	0.74	0.50	0.016	0.462
163.3	2.47	0.71	0.50	0.013	0.376
Promedio					0.419

Arsénico en agua: 0.010 ppm

**Tabla 13** Análisis de Cáscara de papa Campo Villahermosa

Peso Total gramos	Peso Cáscara gramos	peso seco gramos	Peso muestra gramos	As (lectura) ppm	As en Cáscara mg/kg
163.5	2.48	0.72	0.50	0.006	0.173
172.4	2.61	0.75	0.50	0.014	0.406
139.8	2.12	0.61	0.50	0.016	0.462
157.6	2.39	0.69	0.50	0.018	0.520
152.3	2.31	0.67	0.50	0.011	0.318
165.4	2.50	0.72	0.50	0.008	0.231
148.6	2.25	0.65	0.50	0.011	0.318
146.8	2.22	0.64	0.50	0.005	0.145
				promedio	0.322

Arsénico en agua: 0.017 ppm

**Tabla 14** Análisis de Cáscara de papa Campo las Playas

Peso Total gramos	Peso Cáscara gramos	peso seco gramos	Peso muestra gramos	As (lectura) ppm	As en Cáscara mg/kg
175.3	2.65	0.77	0.50	0.014	0.405
163.6	2.48	0.72	0.50	0.016	0.462
146.2	2.21	0.64	0.50	0.012	0.347
174.8	2.65	0.76	0.50	0.014	0.405
141.5	2.14	0.62	0.50	0.016	0.462
181.2	2.74	0.79	0.50	0.014	0.405
163.2	2.47	0.71	0.50	0.015	0.434
155.3	2.35	0.68	0.50	0.014	0.405
promedio					0.415

Arsénico en agua: 0.013 ppm

**Tabla 15** Análisis de Cáscara de papa Campo san Marcos

Peso Total gramos	Peso Cáscara gramos	peso seco gramos	Peso muestra gramos	As (lectura) ppm	As en Cáscara mg/kg
151.9	2.30	0.66	0.50	0.017	0.491
149.3	2.26	0.65	0.50	0.014	0.405
144.6	2.19	0.63	0.50	0.017	0.491
168.9	2.56	0.74	0.50	0.019	0.549
173.8	2.63	0.76	0.50	0.012	0.347
176.4	2.67	0.77	0.50	0.009	0.260
156.8	2.37	0.69	0.50	0.013	0.376
177.2	2.68	0.78	0.50	0.007	0.202
promedio					0.390

Arsénico en agua: 0.017 ppm

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Técnicas de digestión

Con la utilización de horno de microondas para desprender la cáscara se obtuvo el total de ésta, sin contaminación de la pulpa. Adicionalmente a este resultado, se logra que la pulpa no se oxide, no tiene partículas sólidas como cuando se trabaja con pulpa cruda pues el producto es semejante a un puré. La aplicación de la técnica de digestión húmeda con ácido nítrico y ácido clorhídrico después de esta predigestión no presenta dificultades, la solución que se obtiene es por completo transparente y fácilmente se puede hacer la cuantificación con el arsenómetro Wagtech 10500 o por alguna otra técnica.

La cáscara se procesa de igual manera si bien por las características de ésta la digestión presenta un mayor grado de dificultad.

El uso del arsenómetro WAGTECH 10500 es de fácil manejo, económico aún cuando tiene el inconveniente de la dificultad de obtener los reactivos y no se cuenta con servicio de mantenimiento.

### Análisis de Resultados

El contenido de arsénico promedio en pulpa fue de 0.069 mg/kg. La concentración en cáscara fue de 0.380 mg/kg, o sea, el contenido en cáscara es 5.50 veces mayor que en pulpa. Sumando ambos resultados se encuentra que el contenido es de 0.448 mg/kg por kilo de papa entera. No hay norma oficial que regule los niveles permitidos de arsénico en papa. Comparando con productos alimenticios que se cultivan a nivel suelo, por ejemplo, cebolla, que contiene 0.730 mg de arsénico/Kg (Prieto-García y *et al*, 2005), estos resultados resultan concordantes.

En la tabla 16 se concentran los resultados obtenidos para arsénico en agua, pulpa y cáscara por predio.

**Tabla 16** Promedios de las Concentraciones de As en Cáscara y Pulpa

Campo	As Agua mg/L	As Pulpa mg/kg	As Cáscara mg/kg	As en Pulpa + Cáscara mg/kg
Santa Inés	0.014	0.071	0.382	0.453
La Guileña	0.010	0.062	0.350	0.412
Donadeau	0.010	0.068	0.419	0.487
Villahermosa	0.017	0.064	0.322	0.386
Las Playas	0.013	0.072	0.415	0.487
San Marcos	0.017	0.074	0.390	0.464
promedios	0.014	0.069	0.380	0.448

## CONCLUSIONES

El agua utilizada para riego en los cultivos estudiados promedia 0.014 ppm y está dentro de los límites permitidos la NOM-127-SSAI-2000 para agua potable en general.

Las técnicas diseñadas para la digestión de pulpa y cáscara son recomendables ya que la recuperación de arsénico es buena de acuerdo con los resultados obtenidos.

Utilizar horno de microondas para separar cáscara rinde un producto exento de pulpa y manejable para la subsiguiente digestión.

En promedio, la concentración de arsénico en papa total en los predios estudiados es de 0.4528 mg/Kg. En la bibliografía No hay datos disponibles para hacer una comparación; lo más próximo es un estudio hecho en muchos productos vegetales en el Valle de México en donde se incluye a la cebolla, con un contenido de 0.73 mg/Kg en el bulbo para un contenido de 0.040 ppm en agua.

La concentración de arsénico en pulpa (0.069 mg/Kg) no representa peligro para la salud ya que la cantidad ingerida por comida es muy reducida, además de que la papa, como todos los seres vivos, funciona como filtro y lo transforma en producto no tóxico.

Independientemente de los resultados obtenidos para arsénico en papa, que pudieran variar a diferentes concentraciones de arsénico en agua, puede considerarse que este estudio es un avance significativo aplicable a inocuidad alimentaria, ya que debido al nuevo reglamento puede servir de base para dar servicio a los productores de papa en la certificación de sus cultivos, sobre todo si el producto es para exportación.



## **RECOMENDACIONES**

Es necesario proliferar los estudios en alimentos de origen vegetal para que sirvan de base al legislar la normatividad, y establecer límites permisibles de arsénico y otros tóxicos en vegetales que están destinados a consumo humano, ya que en la actualidad no se cuenta con ningún dato al respecto.

Debe informarse a la población expuesta los daños provocados al estar en contacto directo ya sea mediante el uso de agua, alimentos de origen vegetal o animal con Arsénico ya que puede ser dañino aun en pequeñas concentraciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abernathy C. 2001 "World Health Organization. Environmental Arsenic. Office of Water, Office of science And Technology Health and Ecological Criteria División Exposure and health effects"  
([http://who.int/water\\_sanitation\\_health/Arsenic/Chapter3.pdf](http://who.int/water_sanitation_health/Arsenic/Chapter3.pdf).) United States Environmental Protection Agency.
- Albert L. A. 1997. "Introducción a la Toxicología Ambiental" Edit. Dra. Lilia A. Albert. P. 245. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, División de Salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Gobierno del Estado de México. Secretaría de Ecología.
- Anawar, H.M., Akai, J., Komaki, K., terao, H., Yosioka, T., Ishizuka, T., Safiullah, S., Kikuo, K. 2003. "Geochemical occurrence of arsenic in groundwater of Bangladesh sources and mobilization processes". J. Geochem. Explor. 77, 109-131.
- Anonimo "Otros Pesticidas"  
([www.epa.gov/oppfead1/safety/spanish/healthcare/handbook/Spch14.pdf](http://www.epa.gov/oppfead1/safety/spanish/healthcare/handbook/Spch14.pdf))
- Armstrong C.W. , Stroube R.B., Rubio T. 1984 "Outbreak of fatal arsenic poisoning caused by contaminated drinking water". Arch Environ Health. 39(4):276-279.
- Berg, M., Tran ,H. C., Nguyen, T. C., Pham, H.V., Schertenleib, R., Giger, W., 2001. "Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: a human health threat". Environ.Sci.Technol.35, 2621-2626
- Boyer Rodner. 2000 "Conceptos de Bioquímica". 1ra. Edición, pp 78-133. Ed. International Thomson Editores.
- Casarett and Doull's. 1980. Toxicology. "The basic science of poisons". II ed. pp. 301. Macmillan Publishing Co, Inc.
- Chen C. J., Chen C. W., Mu M. M. and Kuho T. L. 1992. " Cancer potential in liver" lung, bladder and kidney due to ingested inorganic arsenic in drinking water. Br J. Cancer research 45: 5895-5899
- Chris L., Xiufen L., Mingsheng M., Cullen W., Aposhian V. and Zheng B 2000. "Speciation of key Arsenic Metabolic Intermediates in Human Urine. Anal". Chem 72: 5172-5177

- Córdoba Darío. 2000. "Toxicología". Manual Moderno. 4ª edición. pp. 248-252.
- Cotton F. A. and Wilkinson G. 1998. Quimica Inorganica Avanzada 7 ed pp 191 ed Limusa. Noriega Editores
- Curtis D., Klasen B. and Watkins III J. B. 2001. "Manual de Toxicología" . Ed McGRAW Hill Interamericana pp 666, 668
- Del Razo, L.M., Hernández, J.L., García-Vargas, G.G., Ostrosky-Wegman, P., Cortinas de Nava, C., Cebrián, M.E. 1994. "Urinary excretion of arsenic species in a human population chronically exposed to arsenic via drinking water". A pilot study In: Chappell, W.R., Abernathy, C.O., Cothorn ([http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bull4333/Spanish/article5\\_sp.pdf](http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bull4333/Spanish/article5_sp.pdf))
- Espinoza, E., E, Lugo 2006 "Evaluación del arsenómetro portátil Wag-WE10500 para la cuantificación de arsénico en agua". Biotecnia vol VIII no 3 pp 46-53 Universidad de Sonora.
- Feldman, R.G., Niles C.A., Nelly-Hayes M., Sax D.S., Dixon W.J., Thomson D.J. and Landau E. 1979 "Peripheral neuropathy in arsenic smelter workers" Neurology. 29 pp 939-944.
- Gisbert Calabuig J.A. , Villanueva Cañadas E. 2004 "Intoxicación por arsénico, en Medicina legal y toxicología".- Barcelona: Masson.
- Gómez A. A., 1991 "Curso Teórico-Práctico Sobre Análisis de Metales Trazas en Aguas Naturales y Residuales por Espectrofotometría de Absorción Atómica" Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas Universidad de Sonora pp19-22
- Hopenhayn-Rich Claudia, Biggs Mary Lou, Smith Allan H., Kalman David A. and Moore Lee E. 1996. "Methylation Study of a Population Environmentally Exposed to Arsenic in Drinking Water". Environmental Health Perspectives. 104, 6 pp 620-628,
- Hsueh Y. 1997 "Serum  $\beta$ -carotene level, arsenic methylation capability, and incidence of skin cancer". Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention. 6: 589-596.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Solanum\\_tuberosum](http://es.wikipedia.org/wiki/Solanum_tuberosum)

<http://es.wikipedia.org/wiki/Solanina>

<http://www.alipso.com/.../image016.gif>

[http://www.biol.unlp.edu.ar/toxicologia/seminarios/parte\\_1/toxicos\\_metalicos/arsenico.html](http://www.biol.unlp.edu.ar/toxicologia/seminarios/parte_1/toxicos_metalicos/arsenico.html)

[http://www.inia.cl/remehue/web\\_proyectos/granjacentifica/boletines/7.doc](http://www.inia.cl/remehue/web_proyectos/granjacentifica/boletines/7.doc)

<http://www.wagtech.co.uk/UserFiles/File/Water%20Cat/Arsenator.pdf>

IRIS "Integrated Risk Information System" 2003.  
(<http://www.epa.gov/iriswebp/iris/index.html>.)

Josephson J 2001. "Arsenic and Endocrines" 2001. Environmental Health Perspectives 109:3 <http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/2001/109-3/ss.html>

Kosmos, W. 2000. "The evaluation of the arsenator". Department of Analytical Chemistry, Graz University, Austria.  
(<http://bicn.com/acic/resources/infobank/dch98-12conf/paper2-3.thm>)

Lister C y John Monro, 2000 "La nada humilde papa" Commercial Grower vol II no 23 ISSN 0124-5740

Mappers R. 1977. "Experiments on Excretion of Arsenic in Urine". International Archives of Occupational and Environmental Health, 1977, 40, 267-272..

Mendel F., G M. McDonald 1997. "Potato glycoalkaloids: Chemistry, analysis, safety and plant physiology." Critical reviews in Plant Sciences. 16(1):55-132

Monrad, E. E., R. M. Osicka, M. C. Gimenez, O. A. Garro 2003  
"Utilización de Enzimas para la Extracción de Arsénico en Muestras Vegetales y su Determinación por Espectroscopia de Absorción Atómica con Generación de hidruros (HG-AAS)" Comunicaciones Científicas y Tecnológicas Universidad Nacional del Nordeste resumen E-059

Murria R. K., Peter A., Mayes B., Daryl K., Cranner R. and Rodwell V. W., 1988 Bioquímica de Harper 11a pp 160-162 Ed Manual Moderno

NMX-AA-051-SCFI-2001 análisis de agua - determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa-051-1981)  
Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de agosto del 2001 México

- NOM-127-SSA1-2000. Salud Ambiental, Agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salubridad y Asistencia (<http://www.ssa.gob.mx/nom/127ssa14.html>) México 2000
- NOM-014-SSA1-1993. "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados". Secretaría de Salubridad y Asistencia (<http://www.ssa.gob.mx/nom/127ssa14.html>) México 1993
- Prieto-García F., J. Callejas., M. Lechuga., J. C. Gaytan., E. Barrado. 2005. "Acumulación en Tejidos Vegetales de Arsénico Proveniente de Aguas y Suelos de Zipàn Estado de Hidalgo, México." *Biagro* 17(3): pp. 129-135
- Prince J., Robert C. 1988. *Química, un Curso Moderno*. Merrill Publishing Co pp 172 Columbus Ohio 43216
- Rocha C, E.; 2000. "Principios Básicos de Espectroscopia"; Editorial UACH, México pp 123-203.
- Sancha, A.M., Castro, M.L. 2001. "Arsenic in Latin America: occurrence, exposure, health effects and remediation".
- Smedley P.L., Kinniburgh D.G., 2002. "A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters". *Applied Geochemistry*, 17, 517-568
- Skoog D.A. James; Holler F. James. 1998. "Principios de Analisis Instrumental", 5° ed.; Ed. McGraw-Hill pp. 219-239.
- Steven L. Soignet, Maslak Peter, Wang Zhu-Gang, Jhanwar Suresh, Calleja Elizabeth, Dardashi Laura J., Corso Diane, DeBlasio Anthony, Gabilove Janice, Scheinberg David, Pandolfi Pier, Warrell Raymond Jr. 1998. "Complete Remission After Treatment of Acute Promyelocytic Leukemia with Arsenic Trioxide." *HJ G The New Englad Journal of Medecine*. 339; 19.
- Streyer L. 1988 "Bioquímica" editorial Reverte 3era edicion II tomo
- Styblo, M., Delnomdedieu, M., Thomas, D.J., 1995. "Biological mechanisms and toxicological consequences of the methylation of arsenic". In: *Toxicology of metals-biochemical aspects, Handbook of experimental pharmacology*.
- Toxicological Profile for Arsenic. 2000. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). U.S. Department Of Health and Human Services. Public Health Service. (<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.html>.)

- Vazquez, V., Ortolani, G. Rizzo., J. Bachur., V. Pidustwa, G. Corey 2006  
“Arsénico en Aguas Subterráneas, Criterios para la Adopción de Límites Tolerables ABES” - Associação Brasileira de Engenharia Sanitaria e Ambiental V-090 –
- Wang, L., Huang, J. 1994. “Chronic arsenism from drinking water in some areas of Xinjiang, China. In: Nriagu,” J.O. (ed.). Arsenic in the Environment, Part II: Human Health and Ecosystem Effects. John Wiley, New York, pp.159 .172.
- Wyatt C. Jane, Verónica López Quiroga, Rita Teresa Olivas Acosta and Rosa Olivia Méndez. 1998 “Excretion of Arsenic (As) in Urine of Children, 7-22 Years, Exposed to Elevated Levels of As in the City Water Supply in Hermosillo, Sonora, México”.  
Environmental Research, Section A **78** , pp 19-24
- Yeh S., How C., Lin D. S. 1968. “Arsenical Cancer of skin.” Histologic study with reference to bowen’s disease. Cáncer 21: pp. 312-339.

## APÉNDICES

La elección del método de separación que se elegirá dependerá de la muestra donde se encuentra; es preciso que el analito sea separado de la muestra matriz del elemento interferente con la mayor eficacia posible, evitando pérdidas del analito o contaminación.

En la determinación de arsénico como en la de otros elementos comúnmente es utilizada la digestión húmeda (ácidos) y la disgregación (fusión); en el primer caso se utilizan ácidos o bases minerales fuertes ya sea solos o combinados en distintas proporciones, en el segundo se utilizan grandes cantidades de agentes oxidantes o reductores.

### **Apéndice 1.** Digestión con $\text{HNO}_3$ para muestras de agua.

- 1 Homogenice la muestra y transfiera una alícuota de 50 ml a un vaso de precipitado de 250 ml.
- 2 Adicione 5 ml. de  $\text{HNO}_3$  concentrado y tapar con vidrio de reloj.
- 3 Calentar a reflujo en parrilla y reducir el volumen entre 15 a 20 ml. El calentamiento debe ser lento y a volumen constante sin que la muestra llegue a ebullición.
- 4 Adicione nuevamente 5 ml. de  $\text{HNO}_3$  concentrado y caliente a volumen constante hasta que la digestión sea completa para obtener una muestra clara.
- 5 Adiciones 2 ml. de  $\text{HNO}_3$  concentrado y caliente suavemente para disolver y remover el residuo.
- 6 Lave las paredes del vaso y el vidrio de reloj con agua deionizada y filtre si es necesario con papel whatman no. 40 (el filtro debe ponerse en remojo en HCl en una relación 1:1 y enjuagarlo con agua deionizada antes de utilizarse) reciba el filtrado en un matraz volumétrico lavando con 3 porciones de 5 ml. de agua deionizada.
- 7 Enfríe y diluya en el matraz volumétrico hasta la marca (50, 100 ml.) y mezcle completamente. Determine el metal requerido. (Gomez A. A., 1991)

**Apéndice 2.** Digestión con  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$  para muestras de agua y materia Orgánica

- 1 Homogenice la muestra y transfiera una alícuota de 50 ml a un vaso de precipitado de 250 ml.
- 2 Acidifique la muestra con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado hasta el vire del indicador anaranjado de metilo al 0.1 %
- 3 Adicione 5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado y 2 ml. de peroxido de hidrogeno y tapar con vidrio de reloj.
- 4 Calentar a reflujo en parrilla y reducir el volumen entre 15 a 20 ml. El calentamiento debe ser lento y a volumen constante sin que la muestra llegue a ebullición.
- 5 Agregar 10 ml. de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y evaporar de nuevo hasta que aparezcan vapores blancos y densos. Si la solución no es clara adicione nuevamente 10 ml. De  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y repita el calentamiento hasta que aparezcan los vapores blancos. Evapore todo el  $\text{HNO}_3$  antes de continuar el tratamiento.
- 6 Todo el  $\text{HNO}_3$  deberá ser removido cuando la solución esté de un color claro y no haya evidencia de vapores negros.
- 7 Enfríe la solución y diluya con agua deionizada a un volumen de 50 ml. Caliente casi a ebullición para disolver las sales solubles. Enfríe la solución.
- 8 Lave las paredes del vaso y el vidrio de reloj con agua deionizada y filtre si es necesario con papel whatman no. 40 (el filtro debe ponerse en remojo en  $\text{HCl}$  en una relación 1:1 y enjuagarlo con agua deionizada antes de utilizarse) reciba el filtrado en un matraz volumétrico lavando con 3 porciones de 5 ml. de agua demonizada.
- 9 Enfríe y diluya en el matraz volumétrico hasta la marca (50, 100 ml.) mezcle completamente. Determine el metal requerido. (Gomez A. A., 1991).



### Apéndice 3. Digestión con $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ para materia orgánica

Precaución: mezclas calientes de ácido perclórico y materia orgánica pueden explotar violentamente evite lo anterior tomando estas recomendaciones

- No adicione ácido perclórico a una solución caliente conteniendo materia orgánica.
  - Las muestras con alto contenido de materia orgánica siempre deben digerirse primero con ácido nítrico concentrado antes de adicionar el ácido perclórico.
  - Cuando utilice ácido perclórico durante la digestión nunca permita que la muestra se seque.
  - Utilice campanas especiales con excelente sistema de eliminación de vapores. Lave la campana después de haber digerido con ácido perclórico
- 1 Homogenice la muestra y transfiera una alícuota de 50 ml a un vaso de precipitado de 250 ml.
  - 2 Acidifique la muestra con  $\text{HNO}_3$  concentrado hasta el vire del indicador anaranjado de metilo al 0.1 % Adicione 5 ml. de  $\text{HNO}_3$  concentrado y tape con vidrio de reloj.
  - 3 Calentar a reflujo en parrilla y reducir el volumen entre 15 a 20 ml. El calentamiento debe ser lento y a volumen constante sin que la muestra llegue a ebullición y enfriar la solución.
  - 4 Adicione 10 ml. de los ácidos  $\text{HNO}_3$  y  $\text{HClO}_4$ ; enfríe el vaso antes de cada adición.
  - 5 Adicione unas pocas de perlas de ebullición y caliente suavemente la solución hasta la aparición de vapores blancos de  $\text{HClO}_4$ . Si la solución no es clara cubra el vaso con un vidrio de reloj y mantenga la solución en calentamiento hasta que se presente un color claro. Nunca permita que la muestra llegue a sequedad con  $\text{HClO}_4$ .
  - 6 Agregue 10 ml. de  $\text{HNO}_3$  concentrado si es necesario para completar la digestión.

7 Diluir a un volumen de 50 ml. con agua deionizada y calentar de nuevo a ebullición para expulsar algún cloruro u óxido de nitrógeno.

8 Enfriar y filtrar si es necesario a través de un filtro de vidrio, reciba el filtrado en un matraz volumétrico lavando con 3 porciones de 5 ml. cada una de agua deionizada.

10 Diluya en el matraz volumétrico hasta la marca (50, 100 ml.) y mezcle completamente. Determine el metal requerido. (Gomez A. A., 1991)

#### **Apéndice 4.** Digestión con $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O-HF}$ .

Precaución antes de trabajar con esta técnica lea las recomendaciones que se hacen para el manejo de  $\text{HClO}_4$  en el apéndice 3.

1 Homogenice la muestra y transfiera una alícuota de 50 ml a un vaso de teflón de 250 ml.

2 Acidifique la muestra con  $\text{HNO}_3$  concentrado hasta el vire del indicador anaranjado de metilo al 0.1 %

3 Adicione 10 ml. de  $\text{HNO}_3$  concentrado y 10 ml. de HF concentrado.

Nota: La temperatura del baño no debe exceder los 140 °C porque puede deteriorar el vaso de teflón.

4 Coloque el vaso de teflón en un baño María y/o baño de arena

5 Evapore la muestra lentamente a una temperatura entre 100 y 110 °C hasta reducir el volumen entre 15 y 20 ml. Enfriar la solución.

6 Adicione 10 ml. de los ácidos  $\text{HNO}_3$  y  $\text{HClO}_4$ ; enfrié el vaso antes de cada adición.

7 Adicione unas pocas de perlas de ebullición y caliente suavemente la solución hasta la aparición de vapores blancos de  $\text{HClO}_4$ . Si la solución no es clara cubra el vaso con un vidrio de reloj y mantenga la solución en calentamiento hasta que se presente un color claro. Nunca permita que la muestra llegue a sequedad con  $\text{HClO}_4$ .

8 Agregue 10 ml. De  $\text{HNO}_3$  concentrado si es necesario para completar la digestión.

- 9 Diluir a un volumen de 50 ml. con agua deionizada y calentar de nuevo a ebullición para expulsar algún cloruro u óxido de nitrógeno.
- 10 Enfriar y filtrar si es necesario a través de un filtro de vidrio. Reciba el filtrado en un matraz volumétrico lavando con 3 porciones de 5 ml. cada una de agua deionizada.
- 11 Diluya en el matraz volumétrico hasta la marca (50, 100 ml.) y mezcle completamente. Determine el metal requerido. (Gomez A. A., 1991).

#### **Apéndice 5.** Digestión por Calcinación.

- 1 Homogenice la muestra y transfiera una alícuota de 50 ml a una cápsula de porcelana de 120 ml.
- 2 Coloque la cápsula en un baño María y evapore lentamente hasta reducir el volumen entre 10 y 15 ml.
- 3 Coloque la cápsula en el interior de una mufla e incremente la temperatura en intervalos de 50 °C hasta alcanzar la temperatura de 450 °C.
- 4 Mantenga la temperatura a 450° C durante 2 horas.
- 5 Seque la cápsula y enfríela a temperatura ambiente y adicione 5 ml de HNO<sub>3</sub> 1:1 y 5 ml. de agua deionizada. Caliente suavemente para disolver las sales. Enfríe la solución.
- 6 Filtre si es necesario con papel whatman no. 40 (el filtro debe ponerse en remojo en HCl en una relación 1:1 y enjuagarlo con agua deionizada antes de utilizarse) reciba el filtrado en un matraz volumétrico lavando con 3 porciones de 5 ml. de agua deionizada.
- 7 Enfríe y diluya en el matraz volumétrico hasta la marca (50, 100 ml.) y mezcle completamente. Determine el metal requerido. (Gómez A. A., 1991).

#### **Apéndice 6.** Digestión con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>- HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> para cabellos y uñas.

- 1 Colocar de 1 a 2 g de material en una cápsula de porcelana. Si se trata de cabellos es conveniente humedecerlos con unas gotas de agua destilada.

- 2 Agregar 1 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y 5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado y dejar en digestión durante 12 h.
- 3 Calentar progresivamente sobre tela metálica y posteriormente en baño de arena.
- 4 Cuando aparecen humos blancos, retirar del baño y enfriar.
- 5 Agregar 2 ml. De la mezcla constituida por dos partes de  $\text{HNO}_3$  concentrado y una parte de  $\text{HClO}_4$  concentrado (70%).
- 6 Cuando se produzca oscurecimiento del líquido por carbonización debe suspenderse el calentamiento del mismo pues en dicho medio reductor se perderá As por volatilización.
- 7 Calentar hasta humos blancos y repetir este tratamiento hasta que el residuo sea incoloro o blanquecino.
- 8 Retirar del baño y agregar 10 ml de agua destilada. Calentar nuevamente hasta residuo siruposo Enfriar y tomar con 10 ml de agua destilada ([http://www.biol.unlp.edu.ar/toxicologia/seminarios/parte\\_1/toxicos\\_metalicos/arsenico.html](http://www.biol.unlp.edu.ar/toxicologia/seminarios/parte_1/toxicos_metalicos/arsenico.html))

#### **Apéndice 7.** Digestión con $\text{HNO}_3$ -HCl.

- 1 Homogenice la muestra y agregar una alícuota de 50 ml si es agua y 20 ml si es orina
- 2 Aforar a 50 ml.
- 3 Pasar a vaso de precipitado de 250 ml
- 4 Agregar 3 ml. de  $\text{HNO}_3$  conc.
- 5 Calentar sin ebullición y concentrar hasta 5 ml.
- 6 Enfriar
- 7 Agregar 5 ml  $\text{HNO}_3$  conc.
- 8 Tapar con vidrio de reloj y ver reflujo hasta completar la digestión.  
SI SE CRISTALIZA, PROCEDER CON EL SIGUIENTE PASO.
- 9 Enfriar y agregar 5 ml HCl conc.
- 10 Agregar 10 ml de agua deionizada.

- 11 Calentar por 15 minutos.
- 12 Enfriar y aforar a 50 ml con agua deionizada (NMX-AA-051-SCFI-2001).

**Apéndice 8.** Preparación de envases y preservadores químicos.

Los envases y material de vidrio fueron lavados con solución jabonosa de extran enjuagados perfectamente y reposados en una solución de HNO<sub>3</sub> al 5% por lo menos durante 2 horas. Se enjuagaron con agua deionizada según norma NOM-014-SSA1-1993 “Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados”.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	i
CONTENIDO.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABLAS.....	vi
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
Objetivo General .....	3
Objetivos Específicos.....	3
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
Química del Arsénico.....	4
Lugares con Alto Contenido de Arsénico.....	5
Bangladesh .....	5
Taiwán .....	5
Mongolia.....	5
Norte de China .....	5
Vietnam .....	6
Chile.....	6
Argentina.....	6
Estados Unidos .....	6
México .....	7
Metabolismo y Eliminación de Arsénico.....	7
Efectos del Arsénico en la Salud y Toxicidad .....	10
Síntomas del Envenenamiento Agudo.....	15
Síntomas de Envenenamiento Crónico.....	15
Confirmación de Envenenamiento.....	17

En Orina .....	17
En Sangre .....	17
En Cabello.....	18
Tratamiento.....	18
Descontaminación Dérmica .....	18
Descontaminación Gastrointestinal .....	19
Fluidos Intravenosos .....	19
Monitoreo Cardiopulmonar.....	19
Terapia de Quelación .....	19
Arsénico en Vegetales .....	20
La Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	20
Composición química.....	23
Valor nutritivo.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Métodos Analíticos para Cuantificar Arsénico .....	26
Espectroscopia de Absorción Atómica con Generación de Hidruros.....	26
Técnica .....	26
Métodos de Campo .....	27
Reactivos líquidos fabricado por Merck kga .....	27
Kit de pruebas fabricadas por Hach company .....	27
Kit para pruebas fabricado por merck KGaA merckoquant .....	28
Pruebas de EZ fabricado por Hach company .....	28
Kit visual fabricado por Wagtech WAG-WT0950.....	28
Arsenómetro Wagtech 10500 .....	29
<b>EQUIPO, MATERIALES Y REACTIVOS</b>	<b>35</b>
Equipo.....	35
Materiales.....	35
Reactivos.....	35
<b>METODOLOGIA</b>	<b>36</b>
Digestión De Cáscara Y Pulpa De Papa .....	36
Diseño de la técnica de digestión para pulpa de papa.....	36
Diseño de la técnica de digestión para cáscara de papa.....	37

Determinación del Por ciento de Recuperación de arsénico en pulpa .....	38
Determinación del por ciento de recuperación en cáscara.....	38
Definición del área de estudio .....	38
Preparativos de muestreo .....	39
<b>MUESTREO 40</b>	
Primera zona de Muestreo.....	40
Segunda zona de Muestreo.....	40
Tercera zona de Muestreo .....	44
Cuarta zona de Muestreo.....	44
Quinta zona de Muestreo .....	44
Sexta zona de Muestreo.....	44
<b>TRABAJO EXPERIMENTAL 46</b>	
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS 59</b>	
Técnicas de digestión .....	59
Análisis de Resultados.....	59
<b>CONCLUSIONES 61</b>	
<b>RECOMENDACIONES 62</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA 63</b>	
<b>APÉNDICES 68</b>	
Apéndice 1. Digestión con $\text{HNO}_3$ para muestras de agua. ....	68
Apéndice 2. Digestión con $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ para muestras de agua y materia Orgánica.....	69
Apéndice 3. Digestión con $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ para materia orgánica .....	70
Apéndice 4. Digestión con $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O-HF}$ .....	71
Apéndice 5. Digestión por Calcinación. ....	72
Apéndice 6. Digestión con $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3\text{-HClO}_4$ para cabellos y uñas. ....	72
Apéndice 7. Digestión con $\text{HNO}_3\text{-HCl}$ .....	73
Apéndice 8. Preparación de envases y preservadores químicos.....	74



