

# Evaluación del Riesgo Toxicológico en la comunidad de Agua Caliente de Bagaces, Guanacaste, por consumo de agua con Arsénico

Virginia Montero, Sarita Moreno, Susana Jiménez  
Andrea Gómez, Gustavo Gaucherand.

Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Toxicología Ambiental



# Generalidades

- Arsénico → metaloide
- Arsénico inorgánico o arsénico orgánico
- Origen natural (erupciones volcánicas o erosión) o por origen antropogénico (pesticidas, madera, minas)
- Arsénico en los alimentos: mariscos (almejas, ostras, ostiones, mejillones, cangrejo, algas marinas (algas hijiki) y otros), **arroz**, hongos.



# Toxicocinética del Arsénico

## Absorción

- 95 % del arsénico ingerido es absorbido por el tracto digestivo

## Distribución

- Luego → Torrente sanguíneo donde se enlaza con la hemoglobina para llegar así a los órganos: hígado, riñones, vejiga, pulmones, bazo y **piel**

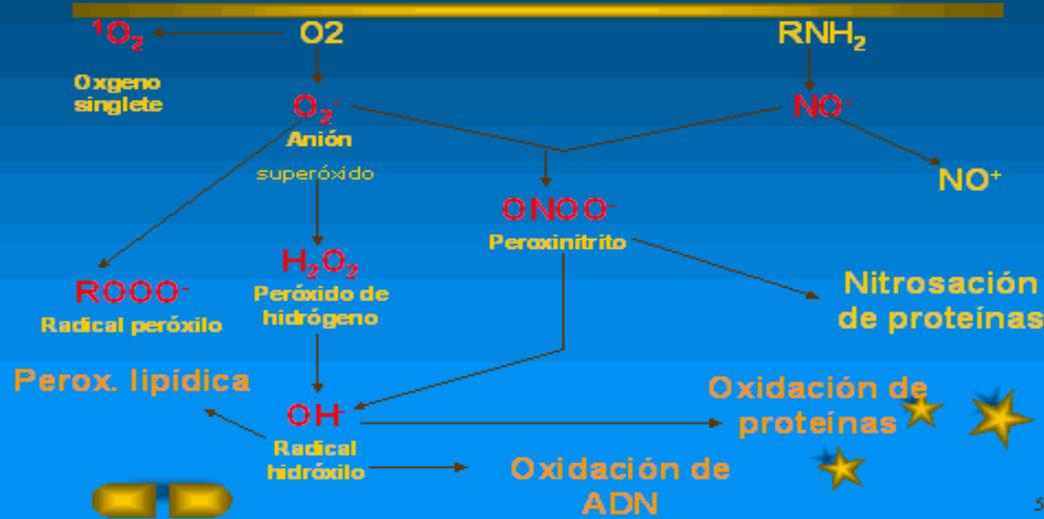
## Metabolismo

- En el hígado
- Reacciones que se dan son: la **reducción** de arsenato en arsenito y las reacciones de **metilación** del arsenito (formación MMA, DMA)

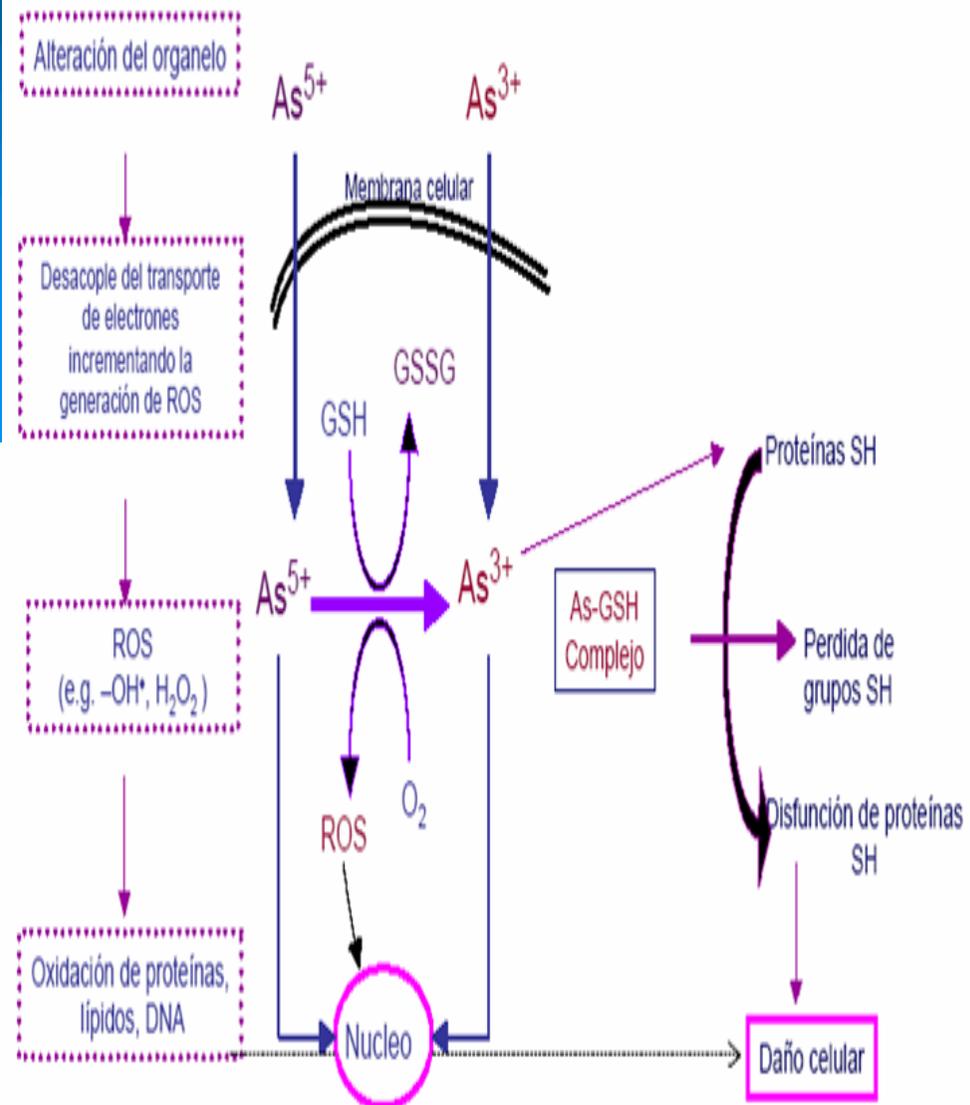
## Eliminación

La principal vía de eliminación del arsénico se da por la orina (pelo, uñas)  
Se sobrepasa la capacidad de metilación del hígado, y se sigue ingiriendo dosis altas de arsénico, éste se empieza a acumular en los tejidos blandos

# ESPECIES REACTIVAS



## Actividad Pro-oxidante del As



# Toxicidad del Arsénico: Efectos en la salud

## Efectos Agudos

- Vómitos
- Dolor abdominal
- Diarrea
- Entumecimiento hormigueo en las manos y los pies
- Calambres musculares

## Efectos Crónicos

- Piel: cambios de pigmentación (cara, cuello y espalda), lesiones cutáneas, hiperqueratosis. Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel.
- Cáncer de vejiga y pulmón.
- Problemas digestivos, hepáticos, renales, cardiovasculares, neurológicos (neuropatía periférica), hematológicos (pancitopenia), reproductivos, de aprendizaje y diabetes.

# Estados de enfermedad

- **Estado preclínico:** el paciente no muestra síntomas, pero el arsénico puede ser detectado en muestras de pelo y orina.
- **Clínico:** se observa oscurecimiento de la piel (melanosis), comúnmente en la palma de la mano, manchas oscuras en el pecho, espalda, miembros y encías. Un síntoma más serio es la queratosis o endurecimiento de la piel en forma de nódulos en las plantas de los pies y manos.
- **Complicaciones:** síntomas clínicos más pronunciados, afectación de órganos internos; se ha reportado inflamación de hígado, riñones y bazo; también se le vincula en esta etapa con conjuntivitis, bronquitis y diabetes.
- **Malignidad:** desarrollo de tumores, pulmón, vejiga, piel y en menor grado hígado y riñones.



# Toxicidad del Arsénico: Efectos en la salud



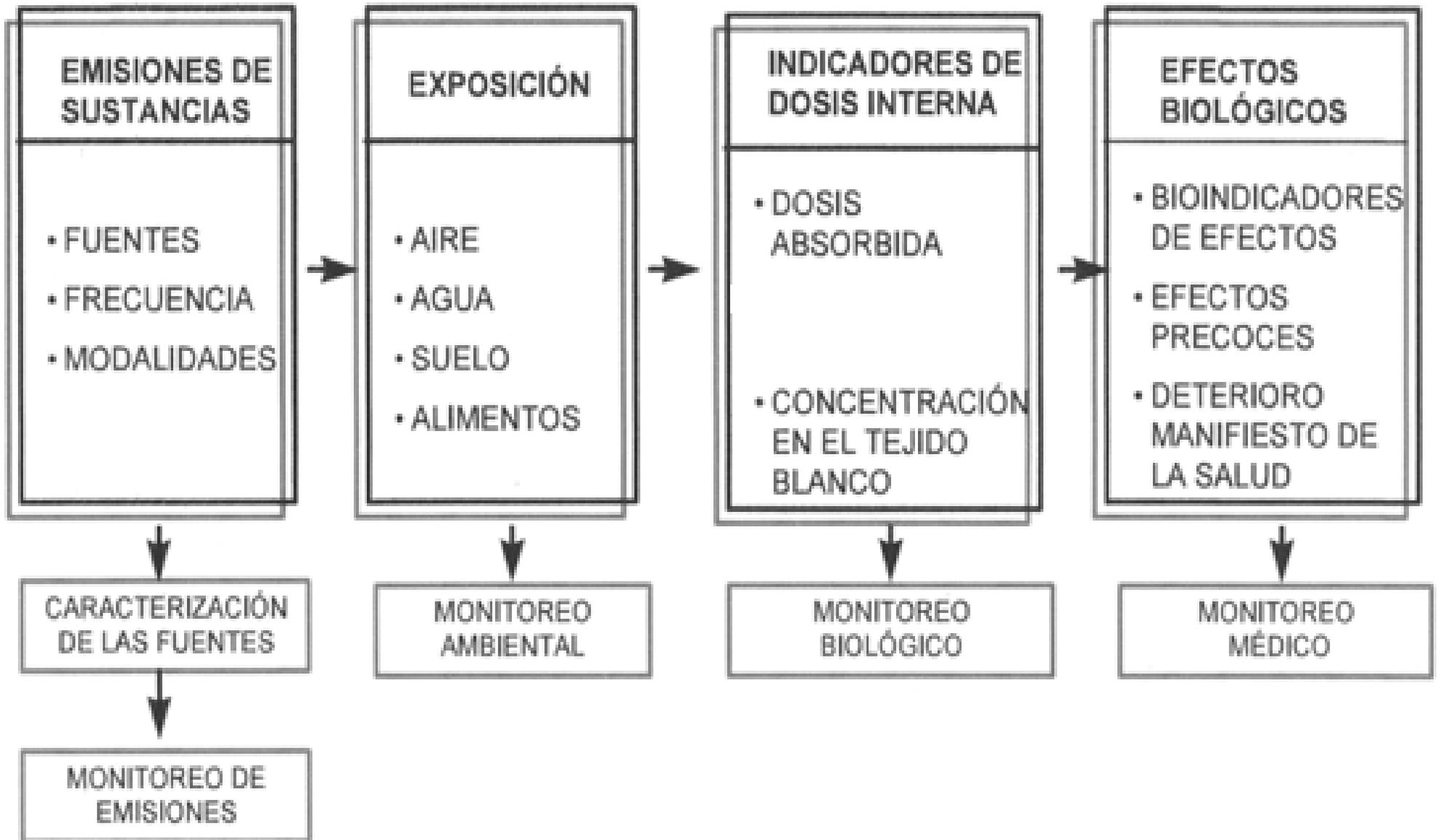
Nicaragua. Agua con  $1320 \mu\text{g/L}$  de arsénico por 2 años. Joven de 14, niño de 1 año y medio, mujer de 25 años.

Tomada de: (Montero, 2010)

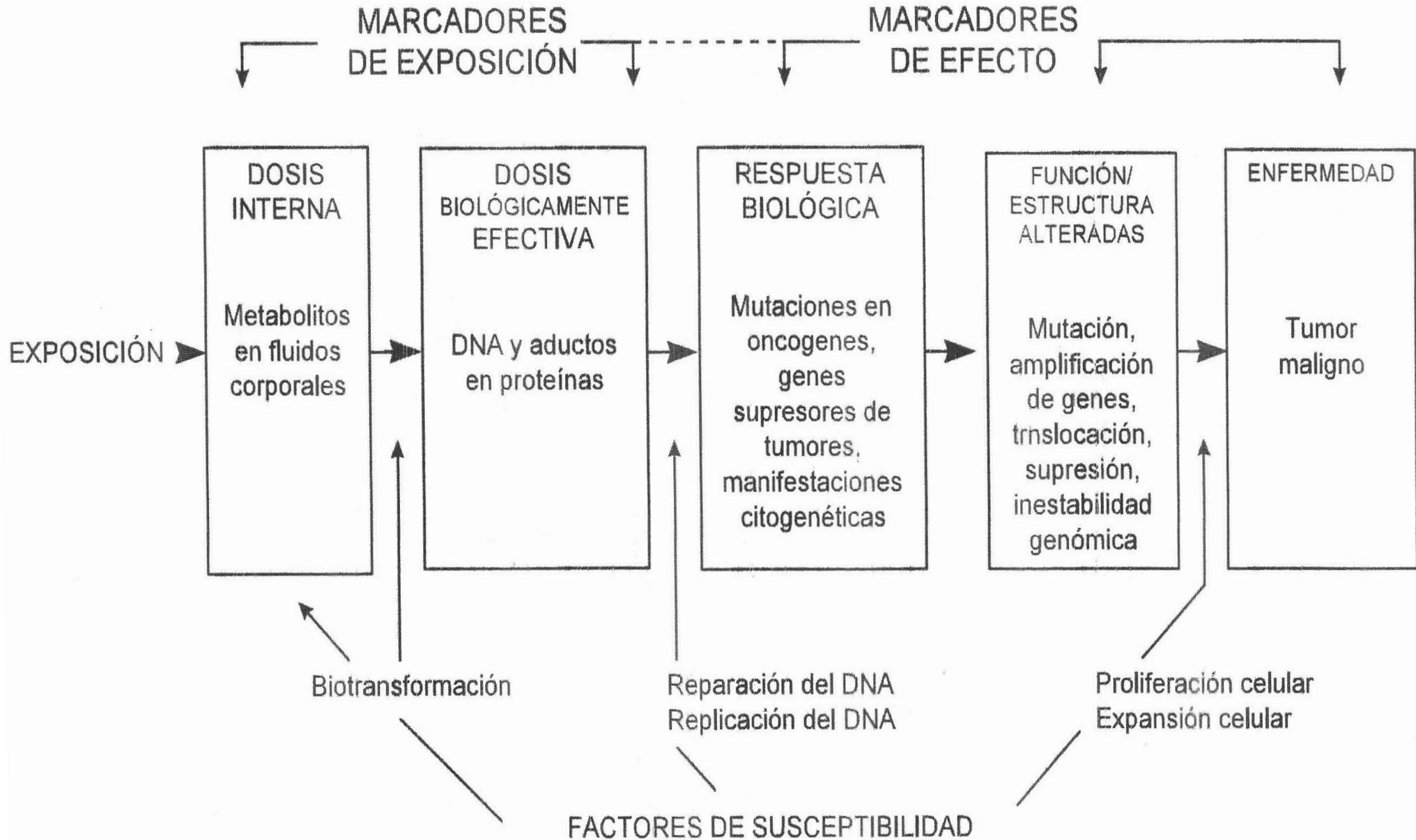


**Hiperpigmentación, hiperqueratosis y cáncer de piel. Tomado de: (ATSDR, 2009)**

# DIFERENTES TIPOS DE MONITOREO Y SUS RELACIONES CON EXPOSICIÓN, DOSIS Y EFECTOS



# RELACIONES DE MARCADORES BIOLÓGICOS CON EXPOSICIÓN Y ENFERMEDAD



# Evaluación de Riesgo Ambiental:

## 1- Estimar la exposición

- Descripción del sitio
- Describir las actividades de la zona y de la población
- Escenario de exposición e identificar las rutas significativas

## 2- Trabajar con información sobre toxicidad

- Toxicocinética del arsenico
- Identificar efectos sobre la salud de la población

## 3- Evaluar y cuantificar la exposición y el riesgo de la población ante la presencia, el contacto y la biodisponibilidad.

- Posibilidad de subir el máximo permitido o intervenir la comunidad.



# OBJETIVOS

## GENERAL

- Realizar un Análisis de Riesgo Toxicológico Ambiental del peor escenario (según INAA) por el consumo comprobado de agua con arsénico por la comunidad de Agua Caliente de Bagaces, Guanacaste

## ESP. 1

- Aplicar 2 herramientas de evaluación de análisis de riesgo a la comunidad de Agua Caliente de Bagaces.

## ESP. 2

- Llevar a cabo análisis de arsénico en pelo como marcador de exposición de la población.

## ESP. 3

- Concluir si la población de Agua Caliente de Bagaces debe ser intervenida o justificar un aumento del valor máximo permisible.

# Metodología general



## Preparación de Curva de Calibración

- Recipientes plásticos
- Añade 1 mL/L muestras de HNO<sub>3</sub> (pH = 2)
- Almacenar a 4°C

## Muestreo

- Solución madres de 1000 ppm
- Se realizan diluciones en ppb de: 4, 10, 20, 40, 60, 80 y 100.

- Absorción Atómica mediante generación de hidruros. Perkin Elmer Analist 800.
- Disoluciones carrier
- 193,7nm/900°C/60psi

## Análisis de Muestras





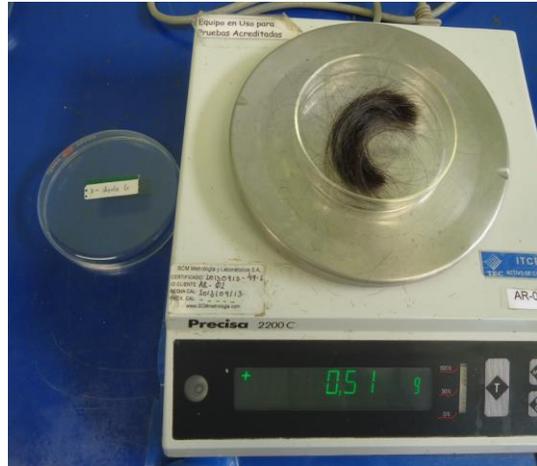
# Llenado de Encuestas/ Requisito Ético



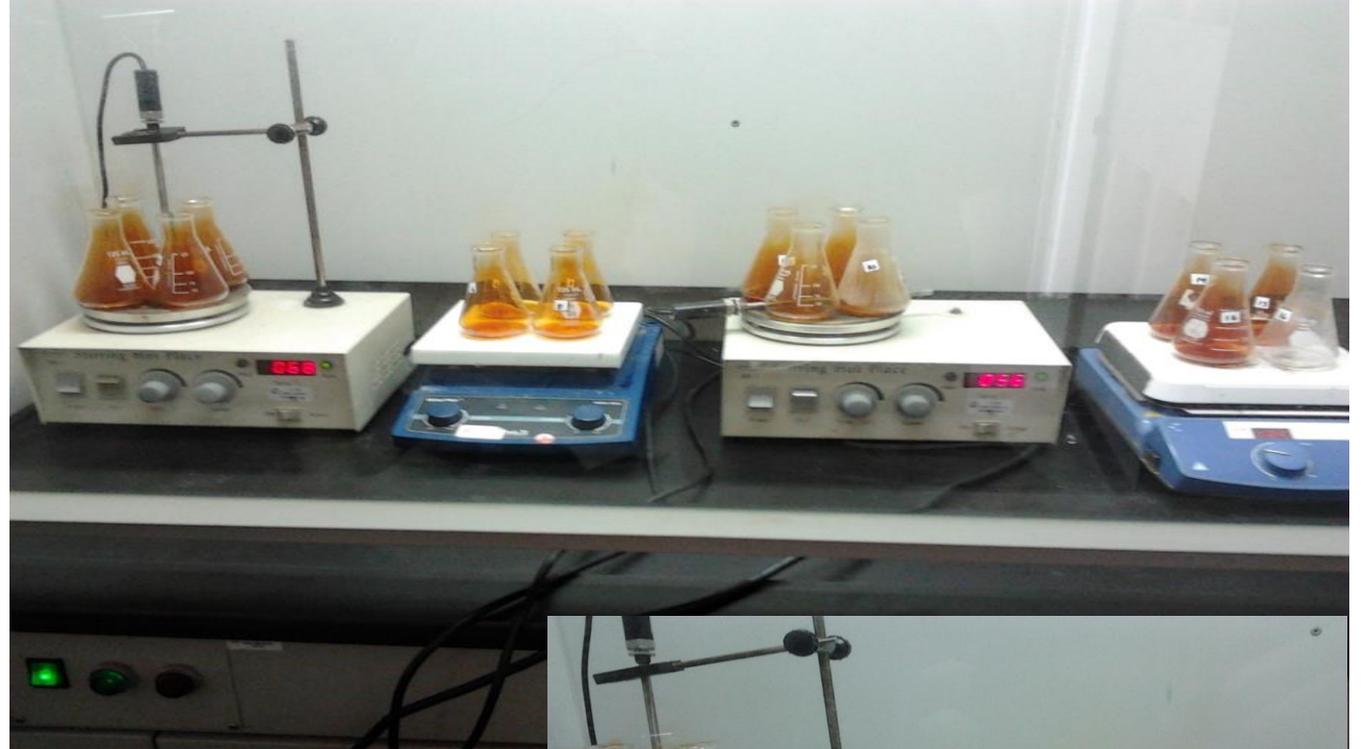
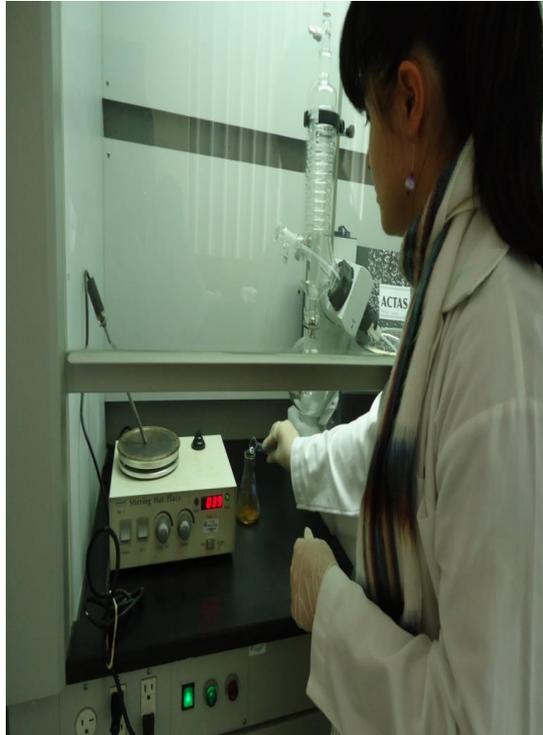
# Toma de muestras de pelo



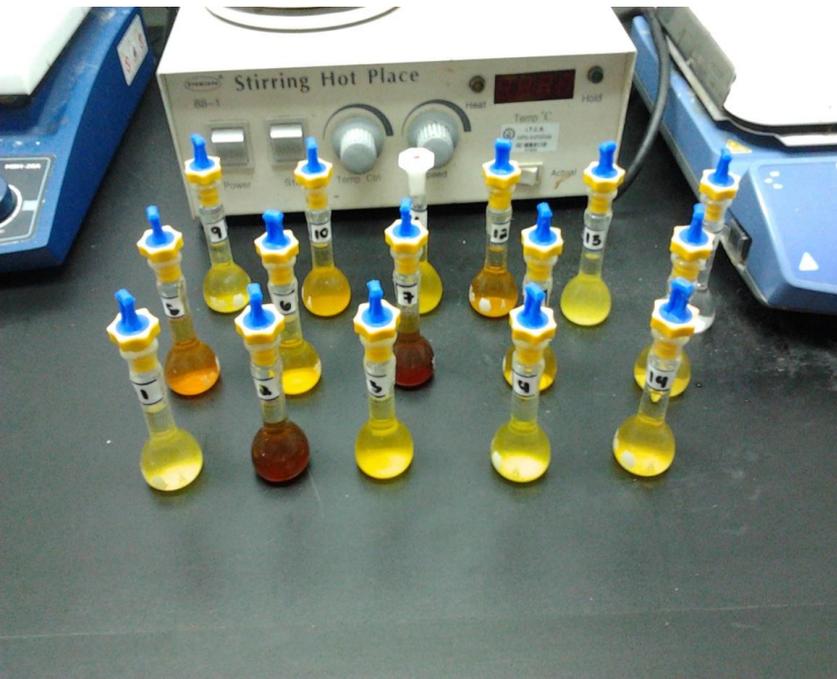
# Pesado, lavado y filtrado



# Digestión



# Aforo de las muestras y lectura



# Estimación de la exposición

## Escenario

Zona física donde se emiten los contaminantes tóxicos:

Bagaces, Guanacaste, Agua Caliente

- Escogencia del sitio:
    - Comunidades Guanacastecas afectadas según estudios del LNA
- Agua caliente: bajos recursos socioeconómicos, no posee centro médico propio, zona retirada.



# Descripción del sitio Agua Caliente (AC)

- Variables influyentes en la movilidad a la población:  
presencia en el agua de consumo, mediante la cañería del acueducto.
- Movilizado por procesos naturales :  
meteorización, emisiones volcánicas.  
- en las cercanías de las Cordilleras Volcánicas Guanacaste y Tilarán.



- Bagaces (AC): constitución materiales de periodos Terciarios y Cuaternarios; rocas volcánicas del Cuaternario son las predominantes.



# Descripción de la población

- Población aproximada de 450 habitantes.
- Labores agrícolas (**arrozales**, ganadería, caña azúcar); largas jornadas de exposición a rayos UV, poca atención a hidratación adecuada (insuficiencia renal)
- Riego mediante canales de agua del río.
- Negación de explotación propia de pozos.
- Niveles de As en agua pozo: prom 71  $\mu\text{g/L}$  a 2010, 18  $\mu\text{g/L}$  a 2013.

Medida remedial: interconexión con Montenegro (LNA, 2010).



- AC población de bajos recursos económicos, sin asistencia médica directa, costumbres de alimentación no muy variadas, calidad de productos baja, con cañería antigua.



# RUTA DE EXPOSICIÓN

- **Descripción de la ruta de exposición, 4 etapas: fuente, transporte, punto de exposición, vías de exposición):**
  - **Fuente** (localización, mecanismo de emisión):
    - Pozo contaminado utilizado para abastecimiento de agua de 1992 a 2010 (promedio de 71  $\mu\text{g/L}$ , según LNA, 2010).



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN: CUANTIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN (EPA)



# Cuantificación de la exposición (EPA)

- **Dosis suministrada:** Dosis Diaria Promedio Vitalicia (DDPV)

$$DDPV = \frac{C * T * B * D}{M * P} \left( \frac{mg}{kg \cdot día} \right)$$

$$DDPV = 0,0013 \left( \frac{mg}{kg \cdot día} \right)$$

	Variables	Valor	Fuente
C	Concentración	71 µg/L	Ramírez, 2013
T	Tasa de contacto	2 L/día	EPA, 1991
B	Biodisponibilidad	75 %	ATSDR, 2003
D	Duración	70 años	EPA, 1991
M	Masa corporal	70 Kg	EPA, 1991
P	Periodo	79,4 años	PNUD, 2013

Según ATSDR, la dosis para efectos observables en piel: 0,0003 mg/kg día

# Cuantificación de la exposición

## Coeficiente de Peligro

$$CP = DDPV / RfD$$

Donde:

- CP= Coeficiente de peligro
- DDPV= Dosis Suministrada (Dosis diaria promedio vitalicia)
- RfD= Dosis de Referencia ( $3 \times 10^{-4}$  mg/Kg-día)

## Riesgo de Cáncer

$$RC = SF * DDPV$$

Donde:

- RC= Riesgo de Cáncer
- SF= Factor de la pendiente para la exposición por medio de vía oral, en agua de consumo: 1,5 mg/Kg. día
- DDPV = Dosis Suministrada o Dosis diaria promedio vitalicia (mg/Kg-día).

# Cuantificación de la exposición

Situación	Concentración (µg/L)	DDPV (mg/Kg-día)	Coefficiente de Peligro	Riesgo de Cáncer	Probabilidad de cáncer en la población
Antes de la intervención del AyA	71	0,0014	4,57	$2,06 \times 10^{-3}$	1 en 1000
Situación actual del agua de uso para actividades diarias, no para el consumo	18	0,00035	1,16	$5,21 \times 10^{-4}$	1 en 10 000
Límite máximo permitido	10	0,00019	0,63	$2,85 \times 10^{-4}$	1 en 10 000

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN: SIMULACIÓN DE MONTECARLO



# Simulación de Montecarlo (@ Risk)

- Técnica matemática computarizada
- Permite asignar valores de ocurrencia a los diferentes riesgos identificados, es decir, calcula el nivel de riesgo

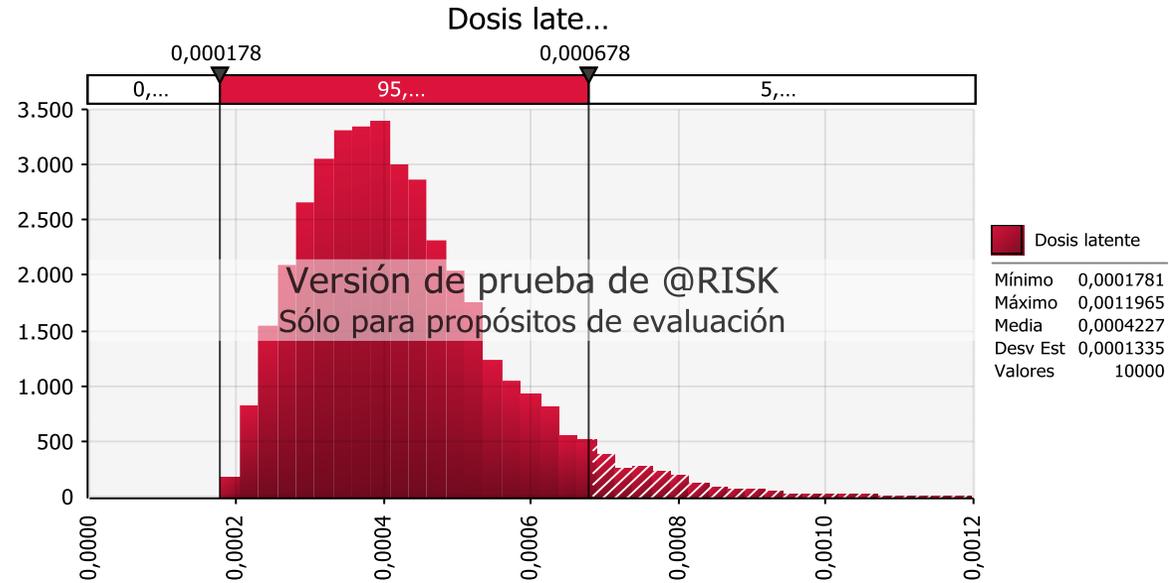
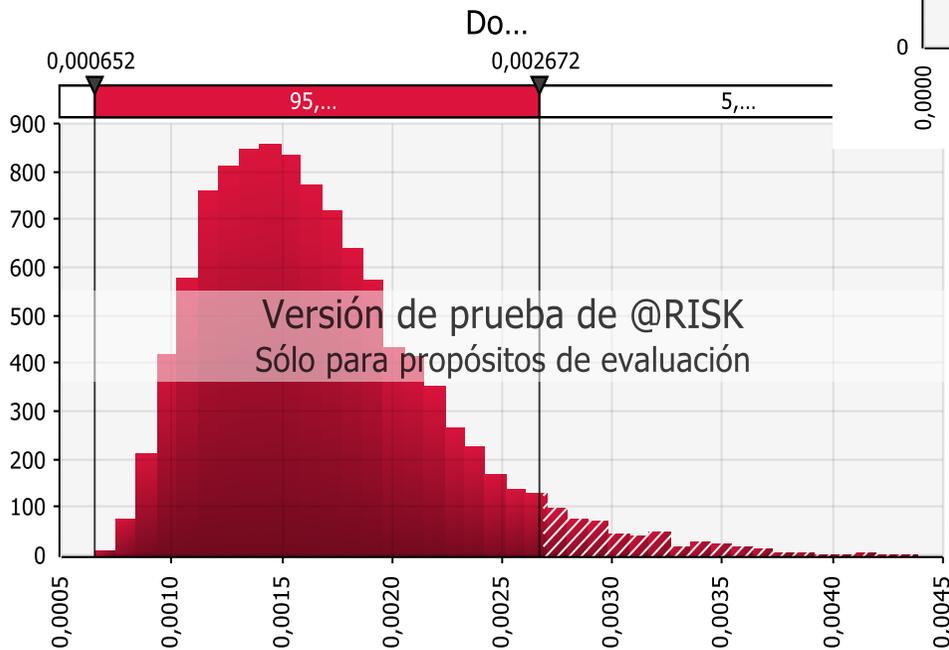


# Simulación de Montecarlo

Entradas inciertas	
Variable	Unidades
Tasa de Contacto (T)	L/día
Masa Corporal (M)	kg
Concentración (C)	mg/L
Biodisponibilidad (B)	%
RfD	mg/Kg-día
Periodo de vida (P)	años

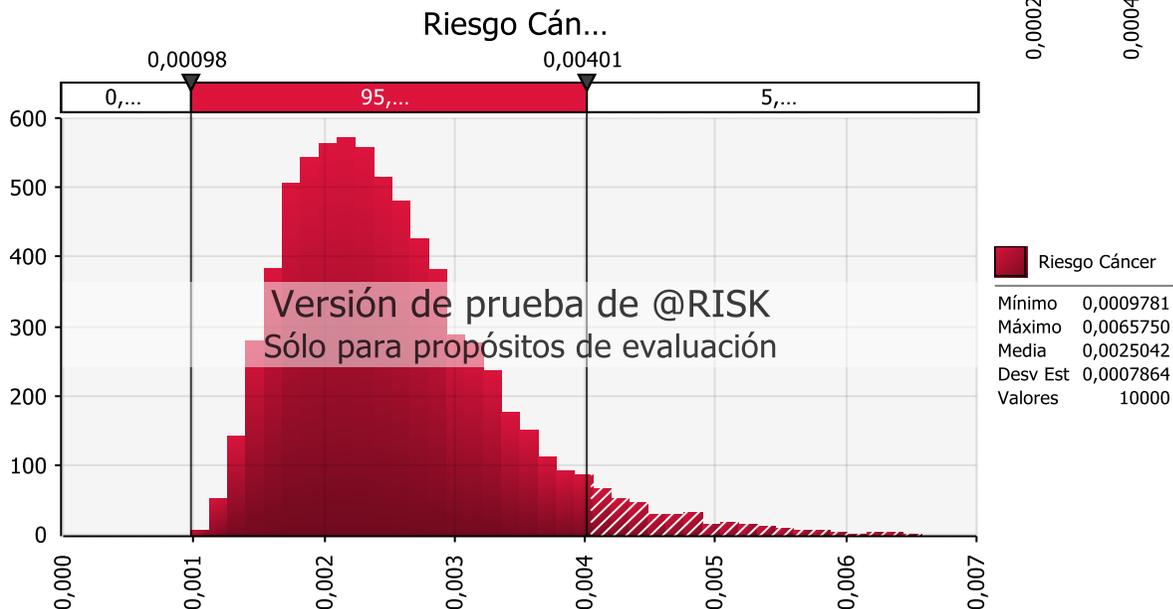
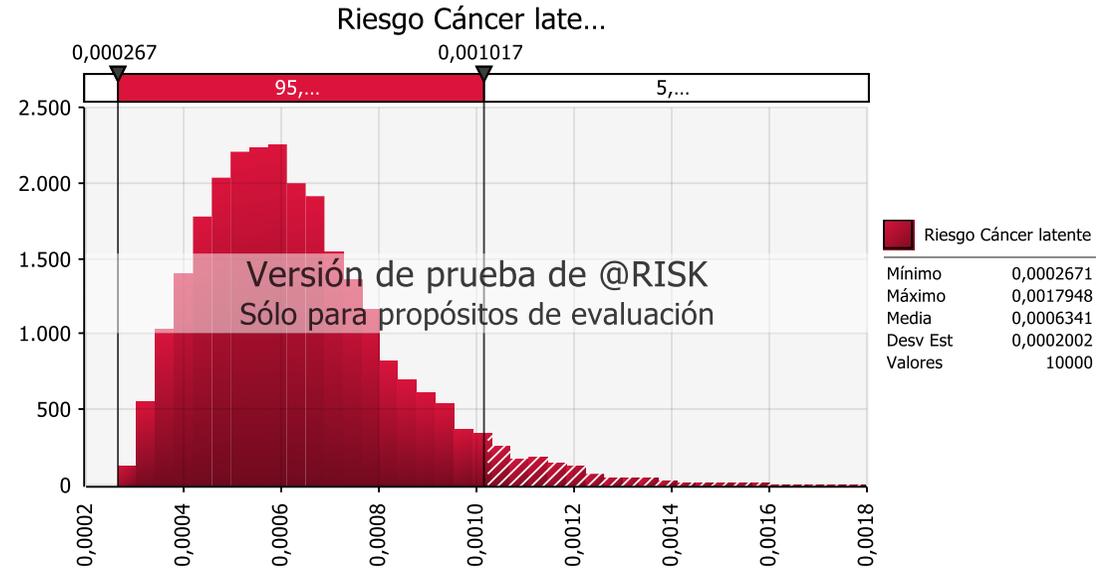
Parámetros para distribuciones				
Distribución	Variable	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3
Uniforme	T	1,5	2	3
Triangular	M	30	70	90
Normal	C	0,071	0,0047	-
Normal	B	0,7	0,0500	-
Triangular	RfD	0,0001	0,0003	0,0008
Triangular	P	75	77,66	80

# Simulación de Montecarlo



Con el panorama actual de concentraciones, se tiene un 17,2% de posibilidades, porque la dosis es menor a la de referencia por la EPA.

# Simulación de Montecarlo



Se comprueba que existe mayor riesgo de cáncer con la situación anterior (1 caso en 1000 personas), sin embargo, como la población en estudio es de 450 habitantes, es probable que no lleguen a darse casos de cáncer por arsénico en la población en estudio. Y en mucho menor probabilidad con la concentración actual (1 en 10 000 personas)

# Evidencia encontradas (mujer de 19 años)



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN: ANÁLISIS DE MARCADORES DE CONTACTO EN CABELLO



# Valores para las poblaciones

## Blancos / Agua Caliente

N° de muestra	Concentración de As (mg/kg)
1	< 0,007
2	0,018
3	0,018
4	0,018
5	0,010
6	< 0,007
7	< 0,007
8	0,013
9	0,007
10	0,013
11	0,053
12	< 0,007
13	0,013
14	0,030
15	< 0,007
17 A (raíz)	<b>0,920</b>
17 B (puntas)	<b>0,537</b>

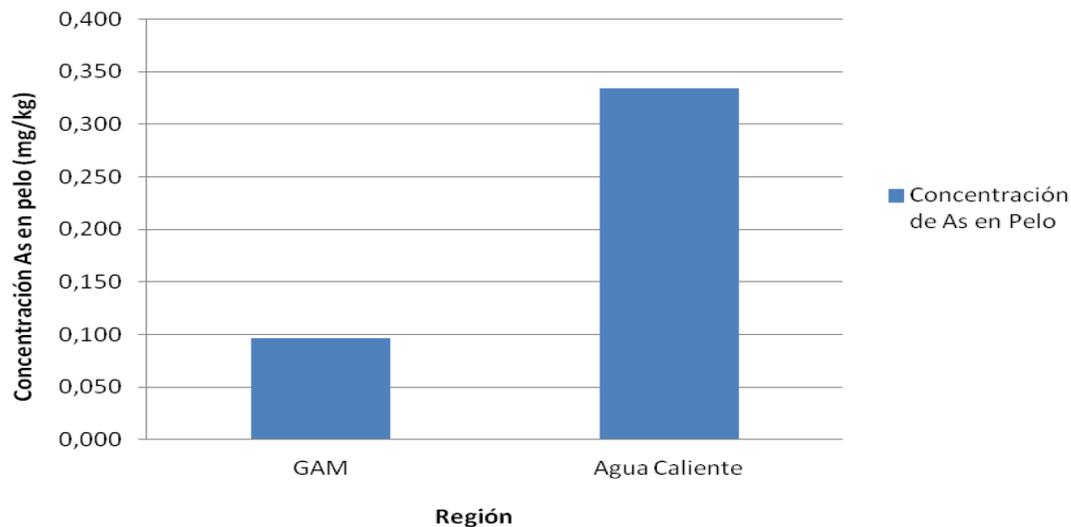
N°	Concentración de As (mg/kg)	H/M	Edad
A	0,670	H	53
B	0,228	M	55
C	< 0,003	M	51
D	0,012	H	51
E	<b>0,628</b>	<b>M</b>	<b>19</b>
G	0,028	M	23
H	0,003	M	52
I	0,078	M	10
J	0,545	M	11
K	0,445	M	12
L	0,787	M	11
M	0,995	H	10
N	0,687	M	12
O	0,028	M	22
P	0,553	H	45
Q	< 0,003	M	74

# Comparación de medias obtenidas de concentración de As en pelo, Agua Caliente vs. GAM

## Datos Estadísticos Comparativos

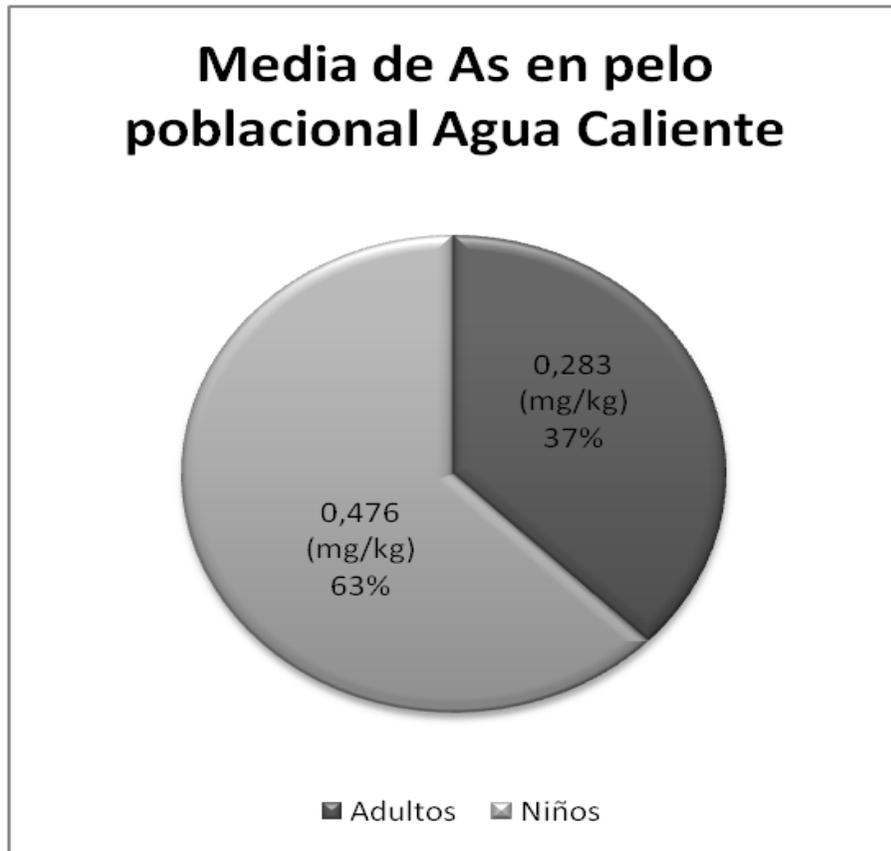
Zona	Promedio de As en pelo (mg/kg)	Desviación Estándar
GAM	0,097	0,247
Agua Caliente	0,335	0,343

## Media de As en Pelo (mg/kg) Regional

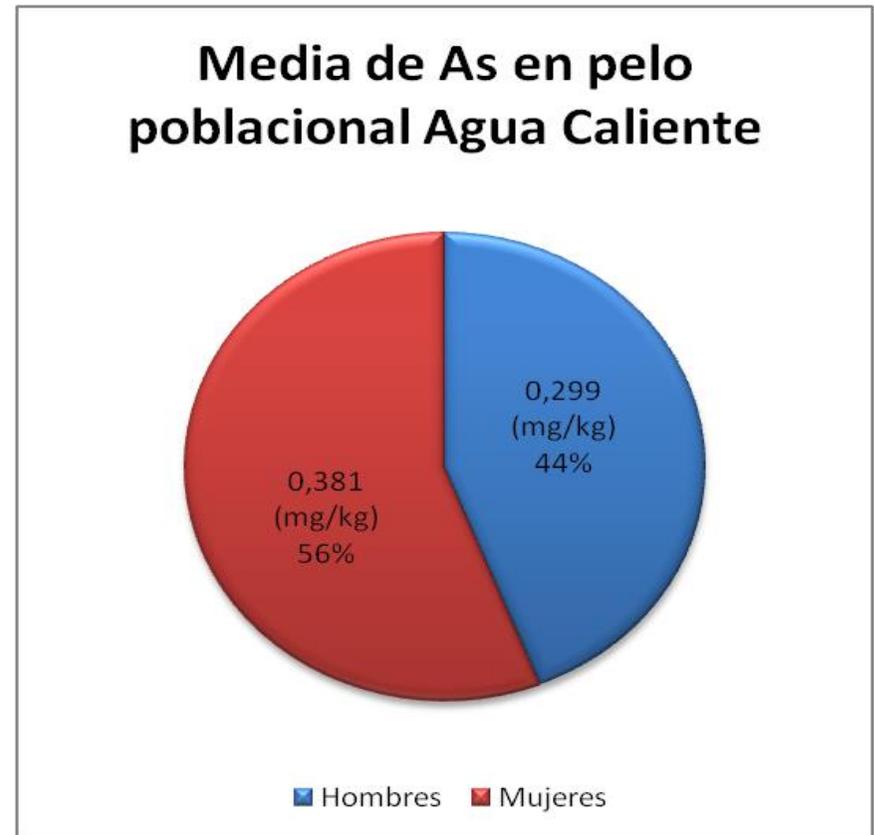


# RESULTADOS

Promedio de concentraciones de As en pelo de niños vs. a las concentraciones de adultos

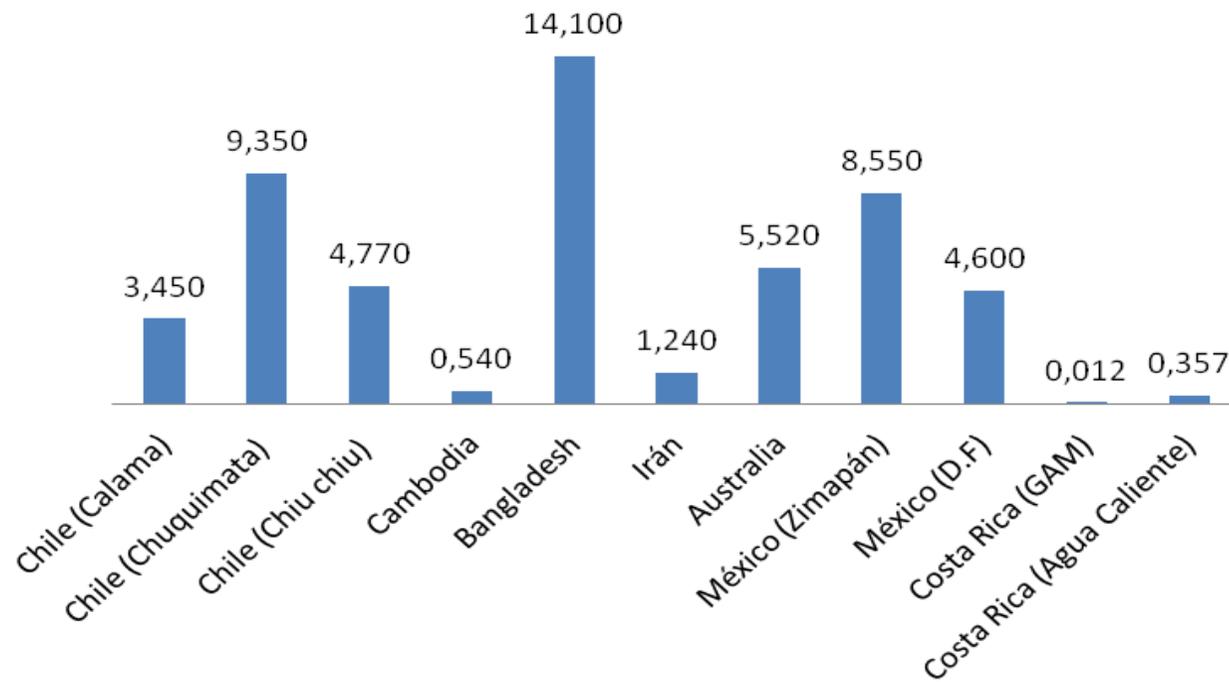


Promedio de concentraciones de As en pelo de mujeres vs. hombres

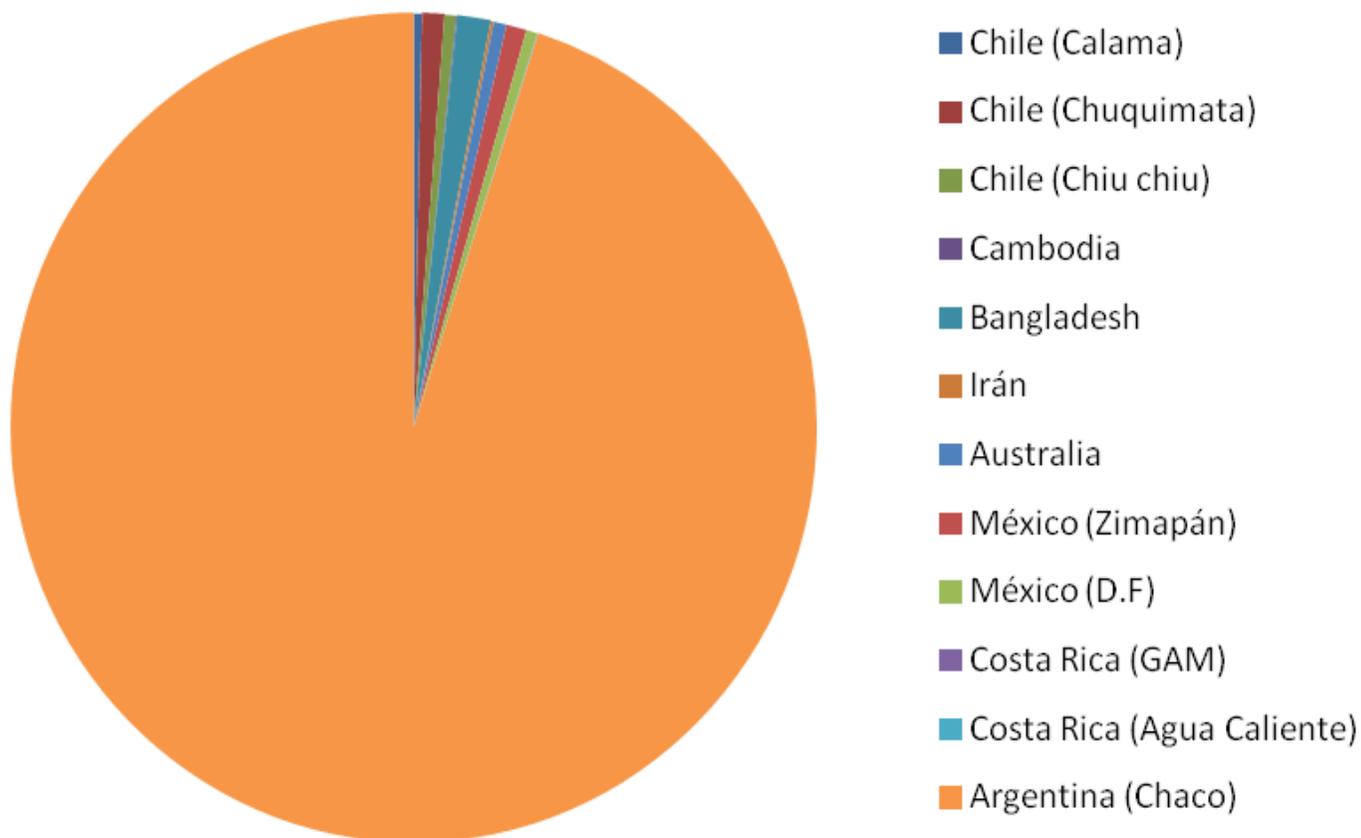


## Concentración de As en pelo (mg/kg) Gráfico Internacional

■ Concentración de As en pelo (mg/kg)

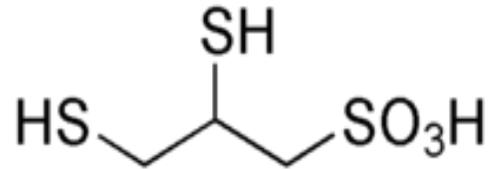


## Concentración de As en pelo (mg/kg) Gráfico Internacional

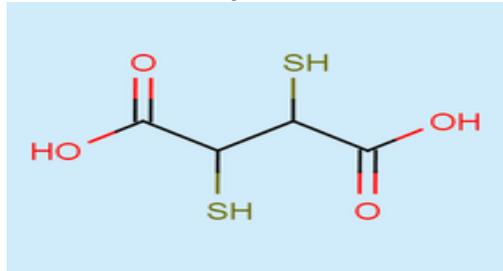


# Medidas preventivas y correctivas para tratar la intoxicación por arsénico

- **Remover** a las personas de la fuente de exposición
- Uso de **agentes quelantes** (grupos tiol):
  - 2-3-dimercapto-1-propanosulfonato (DMPS)



- Ácido meso 2, 3-dimer-captosuccínico (DMSA)



- Para queratosis pre-cancerosa → retinoides
- Para los casos de cáncer → cirugía o tratamientos con crio.

# Nutrición y prevención

- Importante tener una dieta balanceada
  - Dieta rica en:
    - Selenio (efecto antagónico con el As)
    - Otros antioxidantes (ej. Vitamina E)
    - Ácido fólico
  - Evitar el hábito del fumado (aumenta riesgo de cáncer de pulmón)
  - Limitar la exposición al sol y fomentar el uso del bloqueador solar
- 

# CONCLUSIONES



- Altos contenidos de arsénico generalmente presentan un origen geoquímico natural y de mayor cobertura que los de origen antropogénico.
- La ruta de exposición del arsénico en el agua suministrada a la comunidad de Agua Caliente, es una ruta completa, el tóxico estaba presente en la fuente, existía el contacto directo y se presentaba una vía de ingreso clara al organismo.



- La concentración de arsénico en el agua, suministrada desde el acueducto de Montenegro, es un **riesgo latente** en la población, ya que el cálculo del coeficiente de peligro es de 1,16. La probabilidad de cáncer en la población es de 1 en 10 000 personas.
- Dicha probabilidad dependerá de las condiciones genéticas, socioeconómicas y de susceptibilidad de la población afectada.



- En el cantón de Bagaces y la comunidad de Agua Caliente no se puede adjudicar la insuficiencia renal a la ingesta de arsénico en agua de consumo.
- Algunas de las personas con biomarcadores de contacto positivos, empiezan a presentar síntomas relacionados al arsénico en agua, como: manchas en manos, brazos y espalda, a su vez las personas describen molestias en la piel.
- Las condiciones climáticas, socioeconómicas y sanitarias del distrito de Agua Caliente facilitan las patologías ocasionadas por el arsénico.



- En comparación a otros países de Latinoamérica Costa Rica se encuentra en una posición favorable para contrarrestar los impactos hasta la fecha ocasionados por la contaminación de agua por arsénico en la provincia de Guanacaste.
- Para brindarle solución a las comunidades guanacastecas se requiere de la fusión de entidades como: AyA, CCSS, Instituciones Académicas.



# RECOMENDACIONES



- Seguimiento al estudio, por el nivel socioeconómico bajo, donde pueden acentuarse los efectos tóxicos
- Seguimiento al abastecimiento desde el acueducto de Montenegro no libera del riesgo tanto a la población de Agua Caliente, ni a la de Montenegro.
- Se debe analizar la exposición de la población mediante las otras vías posibles: alimentos, laboral.

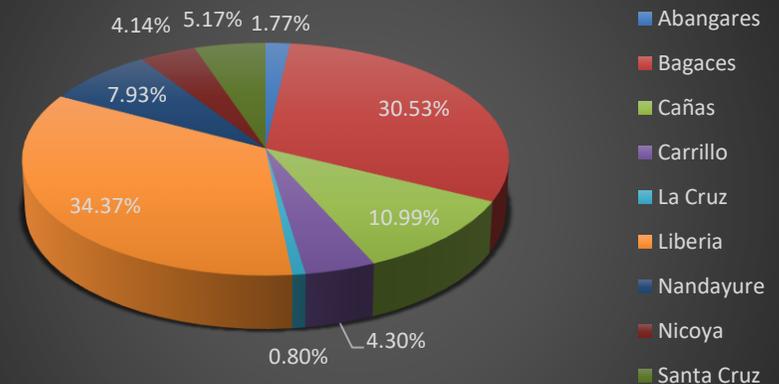
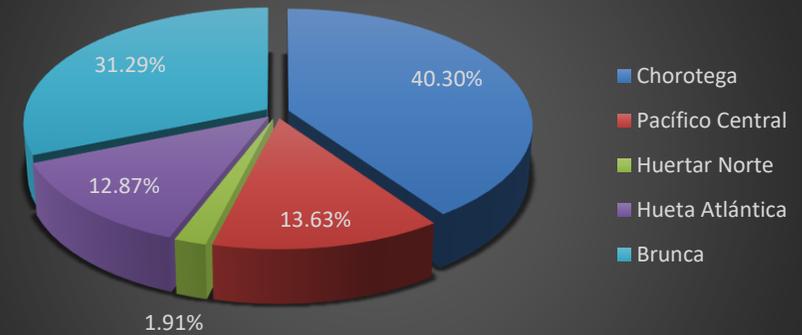


- Considerar realizar análisis de arsénico en agua de otras comunidades rurales cercanas a los demás Cordilleras Volcánicas (Central: Volcán Turrialba), para descartar situación similares.



## Porcentaje de área sembrada de arroz por zona socio económica de Costa Rica

- Se recomienda realizar otros muestreos al agua de actividades relacionadas como por ejemplo los canales de riego para los arrozales, por cuanto pueden estar impactados por los proyectos del ICE en la zona.



Porcentajes de área sembrada con arroz en cantones de la región Chorotega

- Es recomendable a partir de esta determinación informar a la población y a las autoridades sanitarias para que se presten atención a síntomas que pueda presentarse especialmente en población vulnerable (niños).
- No se recomienda subir el máximo permitido a 50  $\mu\text{g}/\text{L}$ .



# Un agradecimiento especial a:

- ❖ CEQIATEC al analista Sr Gilberto Brenes
- ❖ Dr Luis Carlos Vargas Coordinador I-D INAA
- ❖ Al personal del INAA de Bagaces, EBAIS, Lideres comunales, Director de la Escuela de AC
- ❖ A las personas de la comunidad que con confianza nos abrieron las puertas de sus casas.

