

Mercurio en ecosistemas amazónicos y estrategias de biorremediación

Gladys Cardona, Marcela Nuñez, Edwin Agudelo, María Camila Escobar & Astrid Acosta



Instituto
amazónico de
investigaciones científicas
SINCHI

II Encuentro Regional Amazónico Colombia, Perú, Brasil -
Minería y gestión conjunta en frontera.

Iquitos-Perú, 27 de octubre de 2022

Contaminación de los recursos hídricos, suelos, sedimentos y sistemas subterráneos



- ✓ Materia orgánica y nutrientes (materiales nitrogenados y fosforados)
- ✓ Sales (cloruros y sulfatos)
- ✓ Pesticidas y productos industriales
- ✓ Productos de cuidado personal
- ✓ Patógenos microbianos
- ✓ Partículas en suspensión (microplásticos)
- ✓ Productos farmacéuticos
- ✓ Metales pesados



Metales



Esenciales: Se requieren en pequeñas trazas para reacciones metabólicas



No Esenciales: Sin función biológica conocida

13 Al Aluminio 26.9815386	80 Hg Mercurio 200.59	48 Cd Cadmio 112.4	82 Pb Plomo 207.2	33 As Arsénico 74.921
---	---------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------

<https://es.dreamstime.com/stock-de-ilustraci%C3%B3n-concepto-sano-de-la-vida-sistema-de-elementos-minerales-image65482772>

<https://whaleshares.io/@yreudy/metales-toxicos>



Mercurio

El mercurio (Hg) existe naturalmente en la corteza terrestre

Su concentración en el ambiente aumenta por:



Actividad volcánica

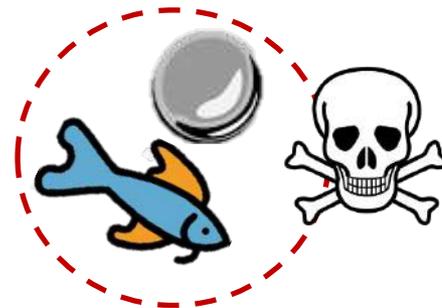
Incendios forestales



Erosión



Minería



Contacto de directo o consumo de peces contaminados con metilmercurio



Monitoreo de Mercurio total en peces

Detritívoro

Bocachico

0 10mm



Prochilodus nigricans

Baboso

0 10mm



Brachyplatystoma platynemum

Carnívoro/Piscívoro

Guabina



Rhamdia sp.



Tetranematchthys cf. quadrifilis

Pintadillo rayado



Pseudoplatystoma punctifer

Carnívoro/Necrófag

0 10mm



Simí o Mota

Calophysus macropterus

Herbívoro/frugívoro

Palometa

0 10mm



Mylossoma duriventre

Tucunaré

Cichla monoculus



Caloche

Apteronotus albifrons



Arenga

Pellona castelnaeana



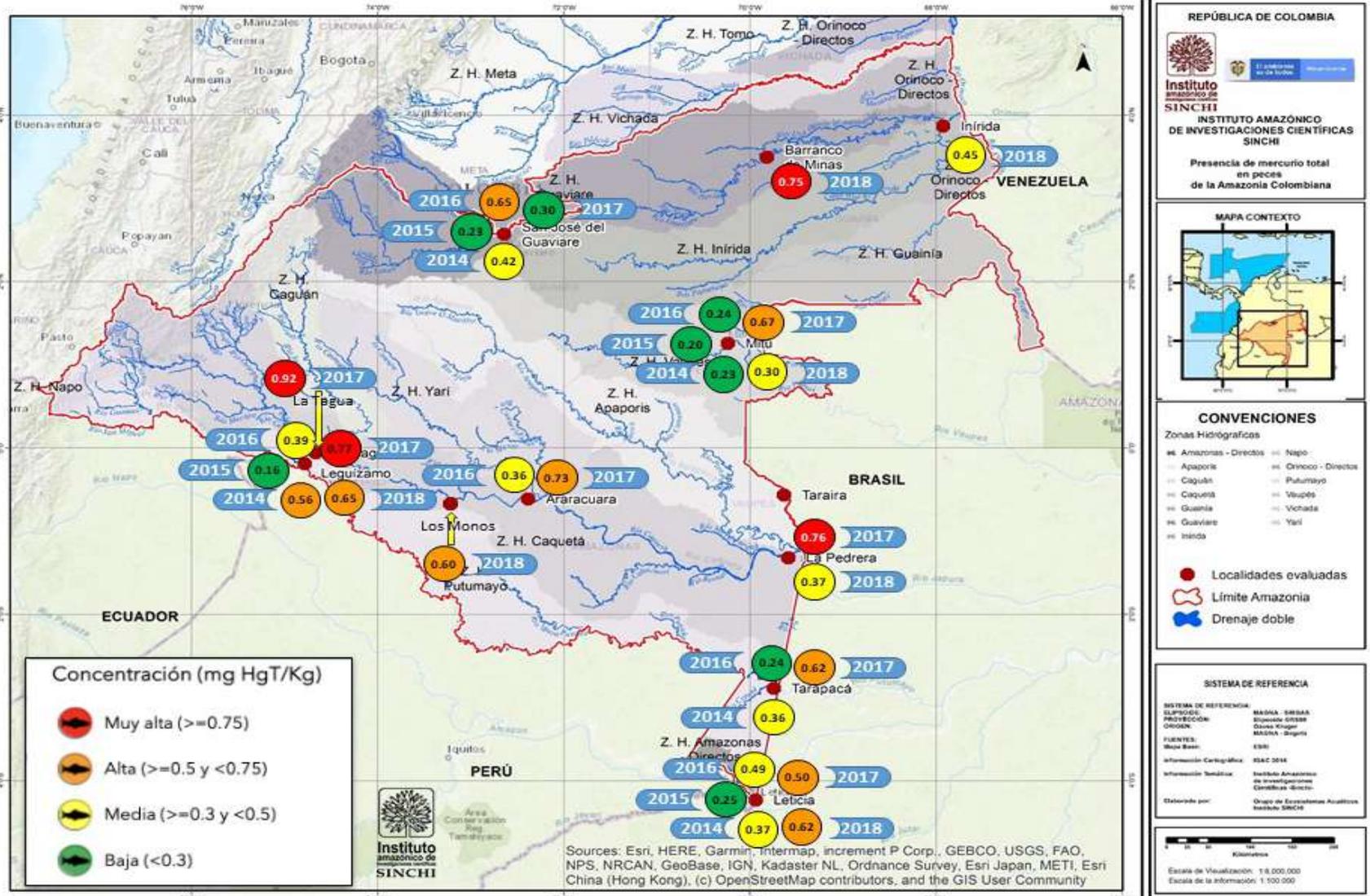
Los límites nacionales e internacionales actuales sobre el contenido de mercurio

Peces

OMS y en Colombia Resolución 122/2012
0,5 mg/kg Hg



Quantificación de Mercurio en peces de interés socioeconómico en la Amazonia Colombiana- HgT (2014-2018)



Fuente: Instituto Sinchi 2021



Cuantificación de mercurio en peces



	2014			2015			2016			2017		
	n	Promedio	%> 0.5 mg/kg	n	Promedio	%> 0.5 mg/kg	n	Promedio	%> 0.5 mg/kg	n	Promedio	%> 0.5 mg/kg
Valores >0.5	80	0.732 ± 0.274		23	0.721 ± 0.335		78	0.921 ± 0.517		91	1.147 ± 0.621**	
Total Muestras	260	0.355 ± 0.302	30%	265	0.221 ± 0.208	9%	222	0.451±0.474	35%	215	0.621 ± 0.681	42%

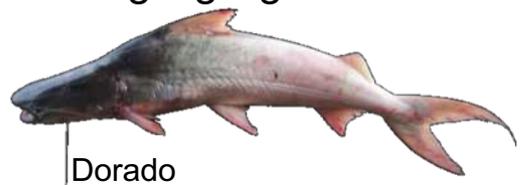
** Lechero, tucunaré, simí y dorado con valores > 2mg Hg/Kg



Lechero



Simí



Dorado



Tucunaré

(foto: Ciacol- Sichi)

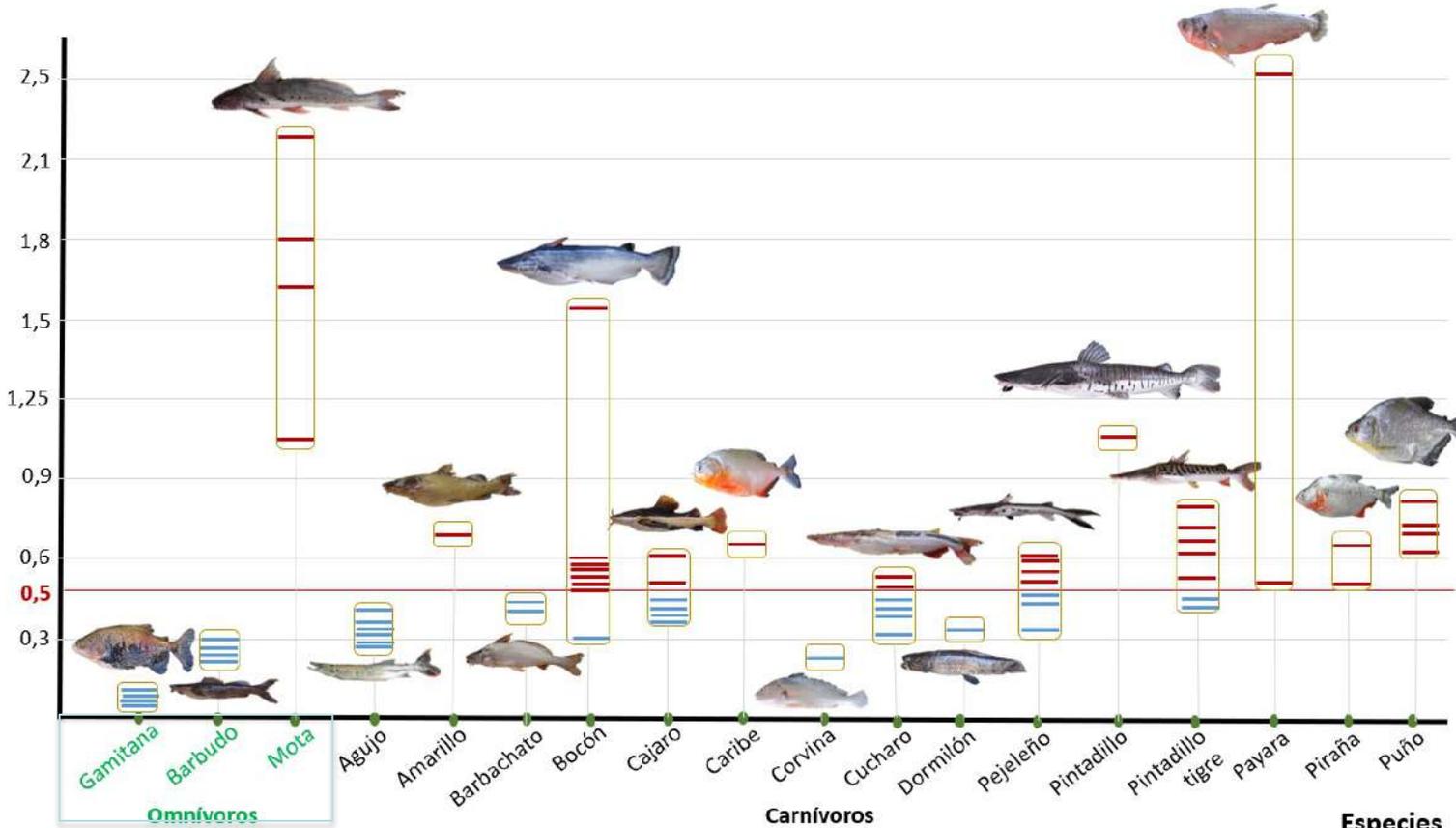
Alerta sobre el riesgo que puede derivar para la salud humana consumir altas cantidades de baboso, simí, lechero, dorado y pintadillo. Especies de alto interés en el mercado regional y nacional.



Quantificación de mercurio en peces: Puerto Zabalo-Los Monos Caquetá

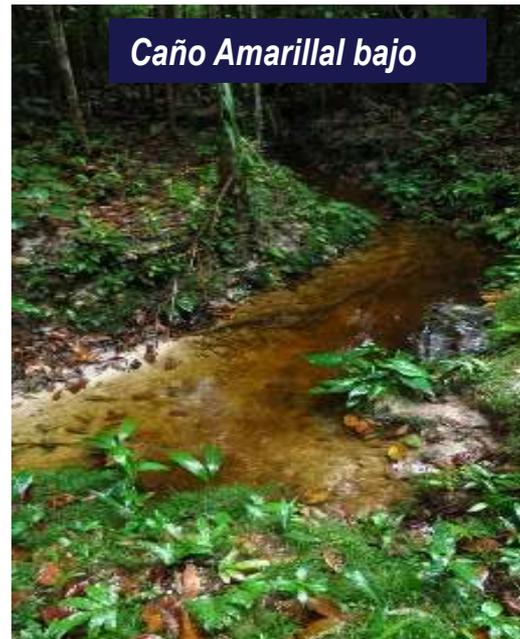


Valores de Mercurio Total mg/Kg



Sitios de muestreo

Taraira (Vaupés)



Caño Amarillal bajo



Caño Amarillal alto



Caño Rojo Bajo



Caño Telecom



Caño Rojo alto

Minería de socavón

Sitios de muestreo



Tarapacá (Amazonas)



Minería de oro de aluvi6n

Sitios de muestreo

Puerto Zábalo (Caquetá)



Cuemani



Isla Danta



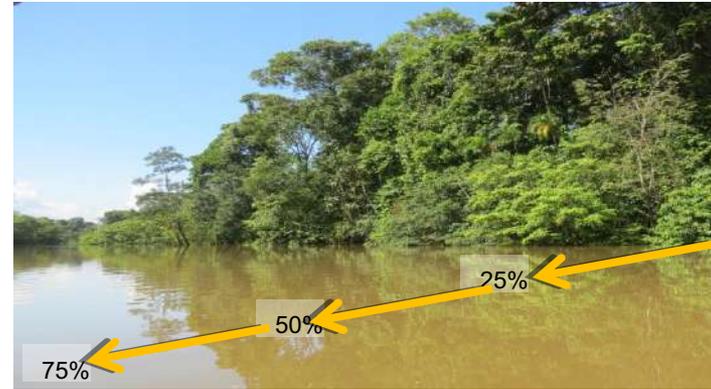
Estrechos



Minería de oro de aluvi6n

Toma de muestras

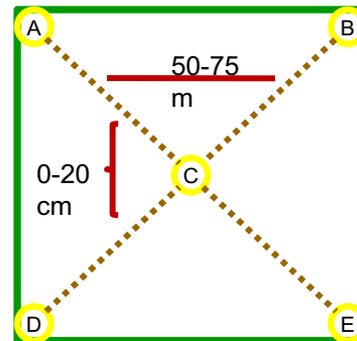
Agua



Sedimentos



Suelos de bosque inundable



Valores de referencia para el mercurio y la protección de la salud



Los límites nacionales e internacionales actuales sobre el contenido de mercurio

Agua

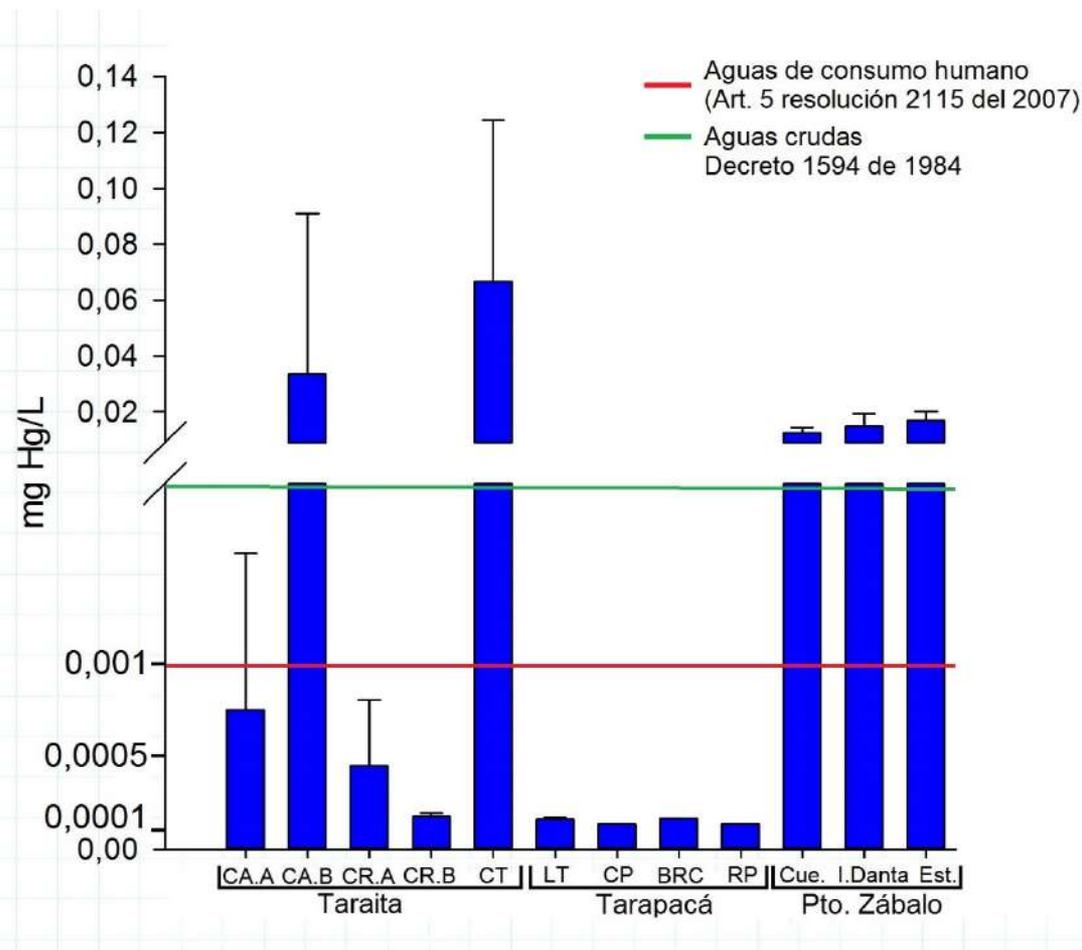
OMS y Resolución 2115 de 2007: 0,001 mg/l

Sedimento / Suelos

EPA en Estados Unidos de 0.15mg/kg Hg
ECMDEPQ, 2007 En Canadá 0.094 mg/kg Hg
Colombia no tiene normatividad

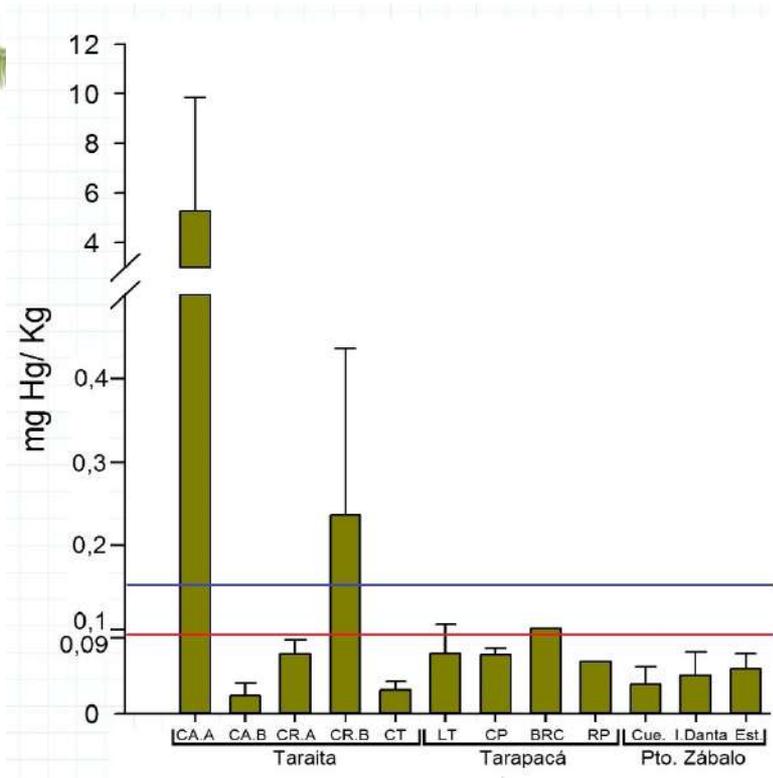


Cuantificación de mercurio en agua

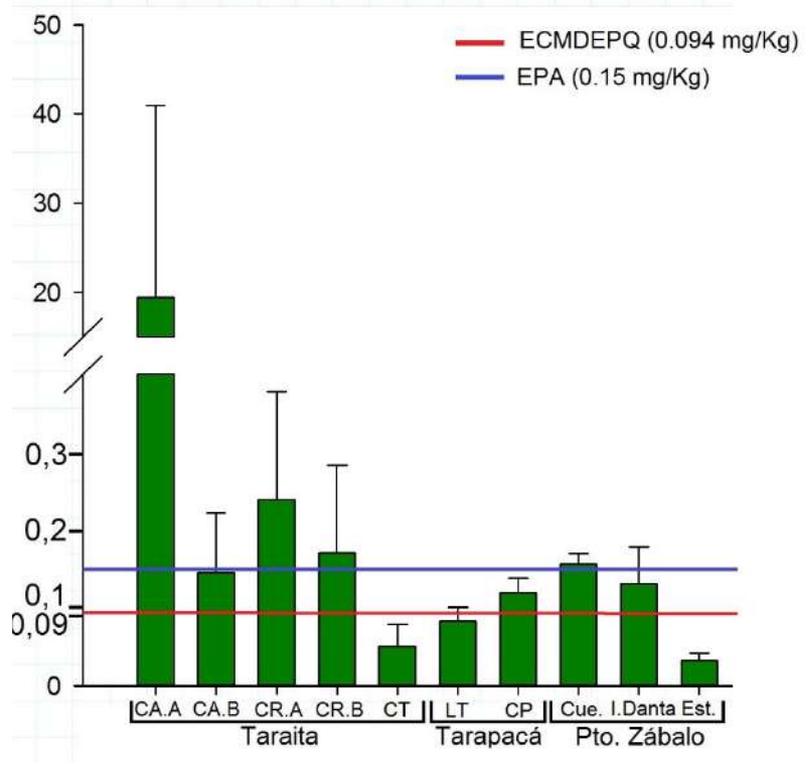


En las muestras CA.B, CT (Taraira), y de Puerto Zábalo se detectó mercurio en por encima de los límites de referencia, haciéndola no apta para el consumo humano.

Cuantificación de mercurio en sedimentos y suelos de bosque



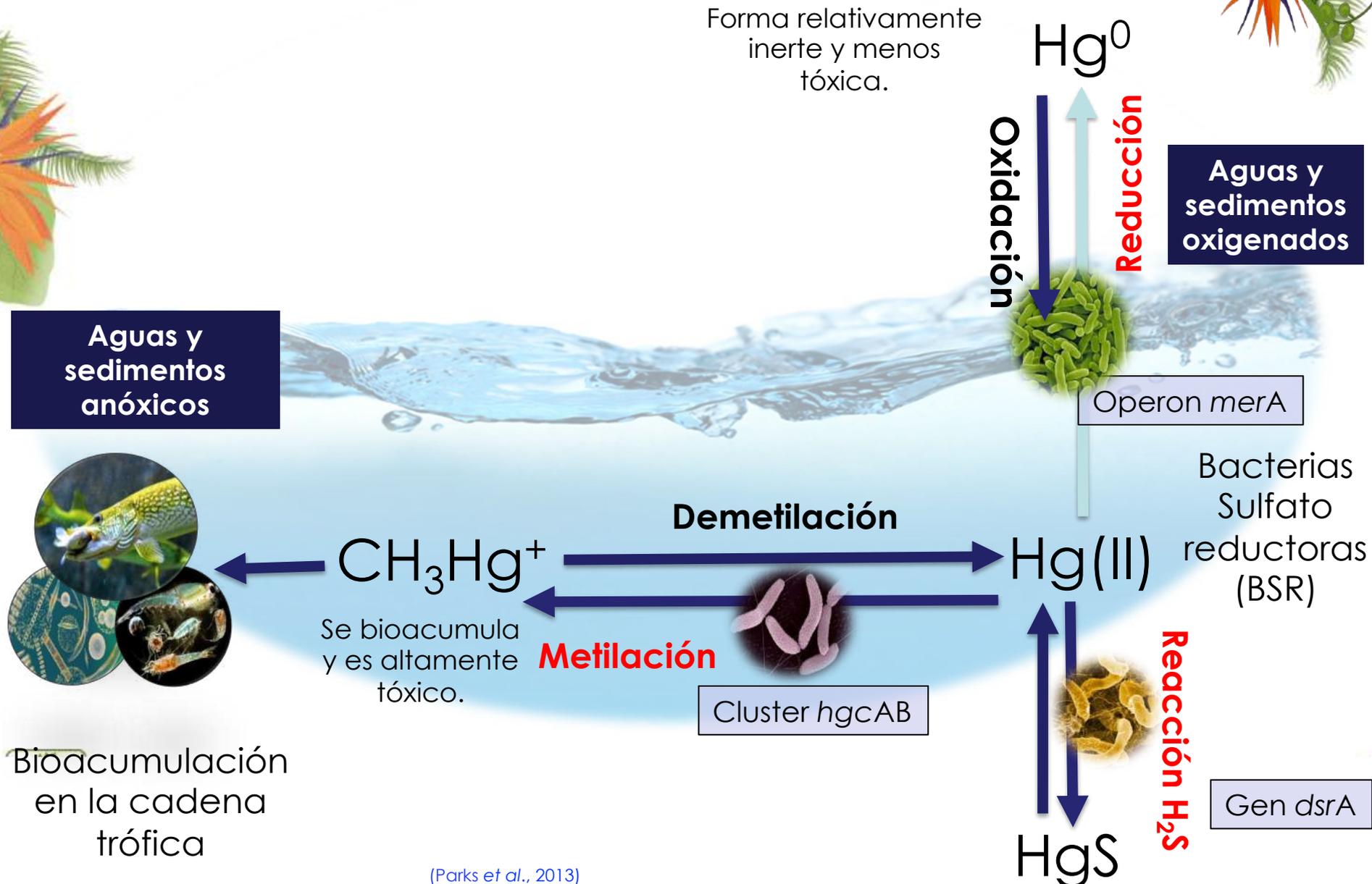
Sedimentos



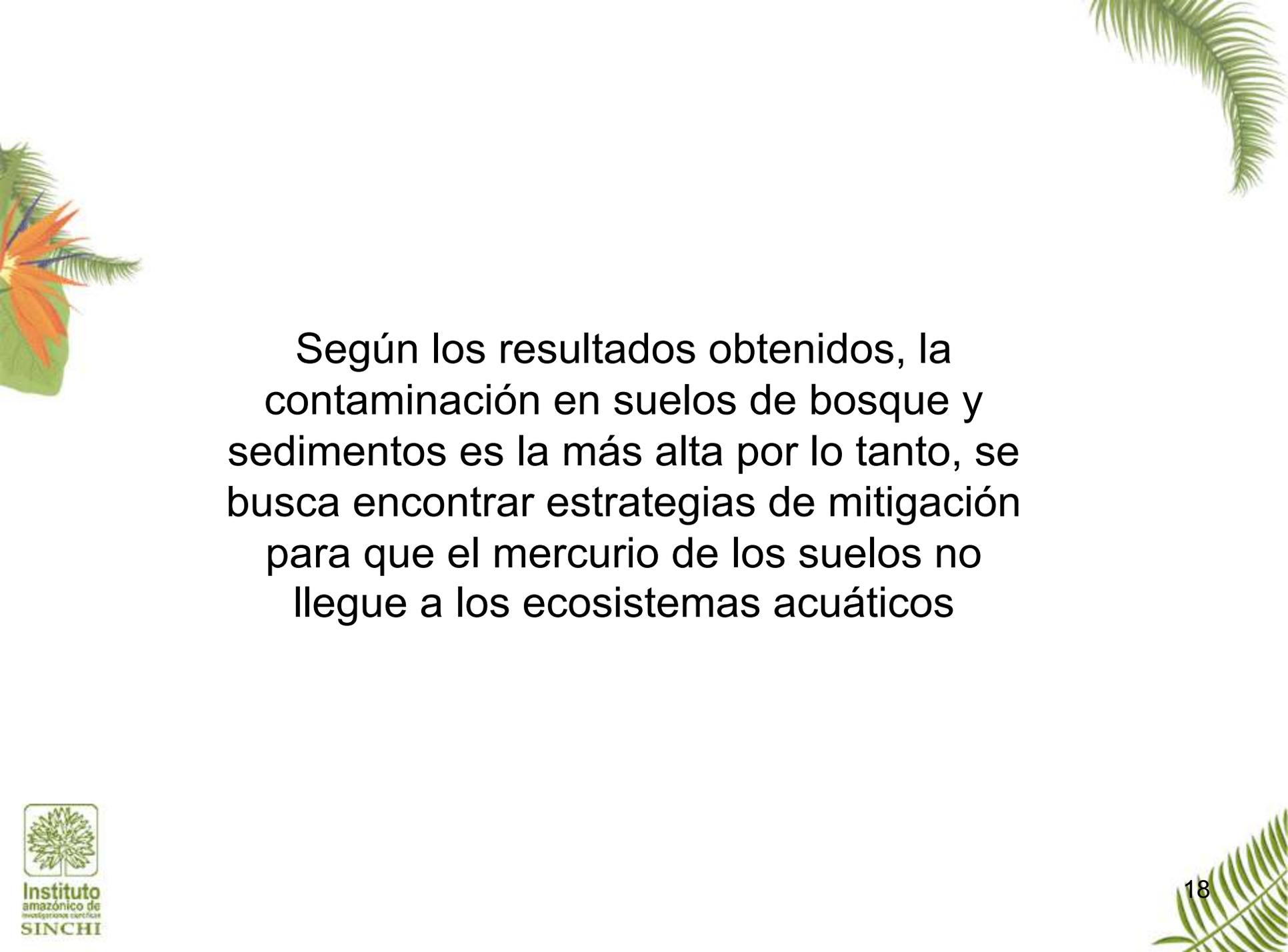
Suelos de bosque



Reacciones con Hg mediadas por microorganismos



(Parks et al., 2013)

The slide features decorative elements in the corners: a colorful bird of paradise flower and green foliage in the top-left, a green fern frond in the top-right, and another green fern frond in the bottom-right.

Según los resultados obtenidos, la contaminación en suelos de bosque y sedimentos es la más alta por lo tanto, se busca encontrar estrategias de mitigación para que el mercurio de los suelos no llegue a los ecosistemas acuáticos

Metodología

Muestra ambiental:
suelo –agua-sedimento

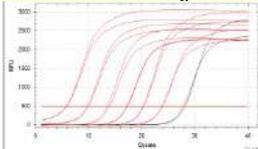


Estrategia Cultivo independiente

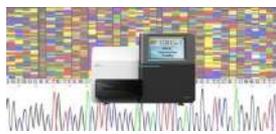
Extracción TC-ADN



qPCR
merA y



Illumina
Miseq

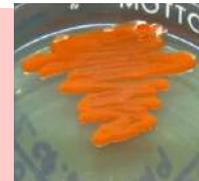


Estrategia cultivo dependiente

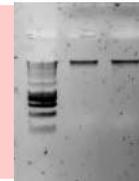
Aislamiento de Colonias en medio suplementado con $HgCl_2$



Selección morfotipos resistentes. CMI



Amplificación genes *merA*, *hgcA* y 16s rRNA



Selección 2 morfotipos para secuenciación

Estructura comunidades bacterianas y abundancia bacterias transformadoras de Hg

Parámetros FQ aguas, suelos y sedimentos

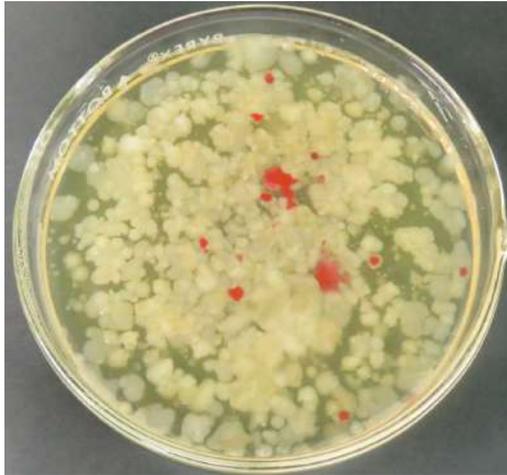
Análisis THg y MeHg en aguas, suelos, sedimentos



Resultados: Aislamiento de BRHg



LB (0 mg/L)



LB (10 mg/L)



Pruebas resistencia
a $HgCl_2$

Extracción de
ADN

Secuenciación
gen 16SrRNA

Selección microorganismos
resistentes



Aislamiento de microorganismos resistentes a Mercurio

110 aislamientos de cepas resistentes a mercurio

Género	N cepas	N especies	merA	Imagen
<i>Bacillus</i>	10	8	+(5/10)	
<i>Pseudomonas</i>	20	11	+(20/20)	
<i>Serratia</i>	7	4		
<i>Paenibacillus</i>	4	2		
<i>Lysinibacillus</i>	4	1		
<i>Achromobacter</i>	3	2	+(3/3)	
<i>Brevibacterium</i>	1	1		
<i>Comamonas</i>	1	1	+	
<i>Leclercia</i>	1	1	+	
<i>Microbacterium</i>	1	1		
<i>Ralstonia</i>	1	1	+	

Género	N cepas	N especies	merA	Imagen
<i>Psychrobacillus</i>	1	1	+	
<i>Staphylococcus</i>	1	1		
<i>Rhodococcus</i>	1	1		
<i>Burkholderia</i>	1	1	+	
<i>Arthrobacter</i>	1	1		
<i>Acidovorax</i>	1	1	+	
<i>Acinetobacter</i>	4	2	+(4/4)	
<i>Brevundimonas</i>	1	1		
<i>Enterobacter</i>	2	1	*(1/2)	
<i>Enterococcus</i>	2	2	*(1/2)	
<i>Stenotrophomonas</i>	1	1		

Las cepas altamente resistentes fueron aisladas de sedimentos y en suelo de bosque especialmente de Tarapacá y pertenecen al genero *Pseudomonas*

Procesos biológicos para la remoción de Hg

Fitorremediación

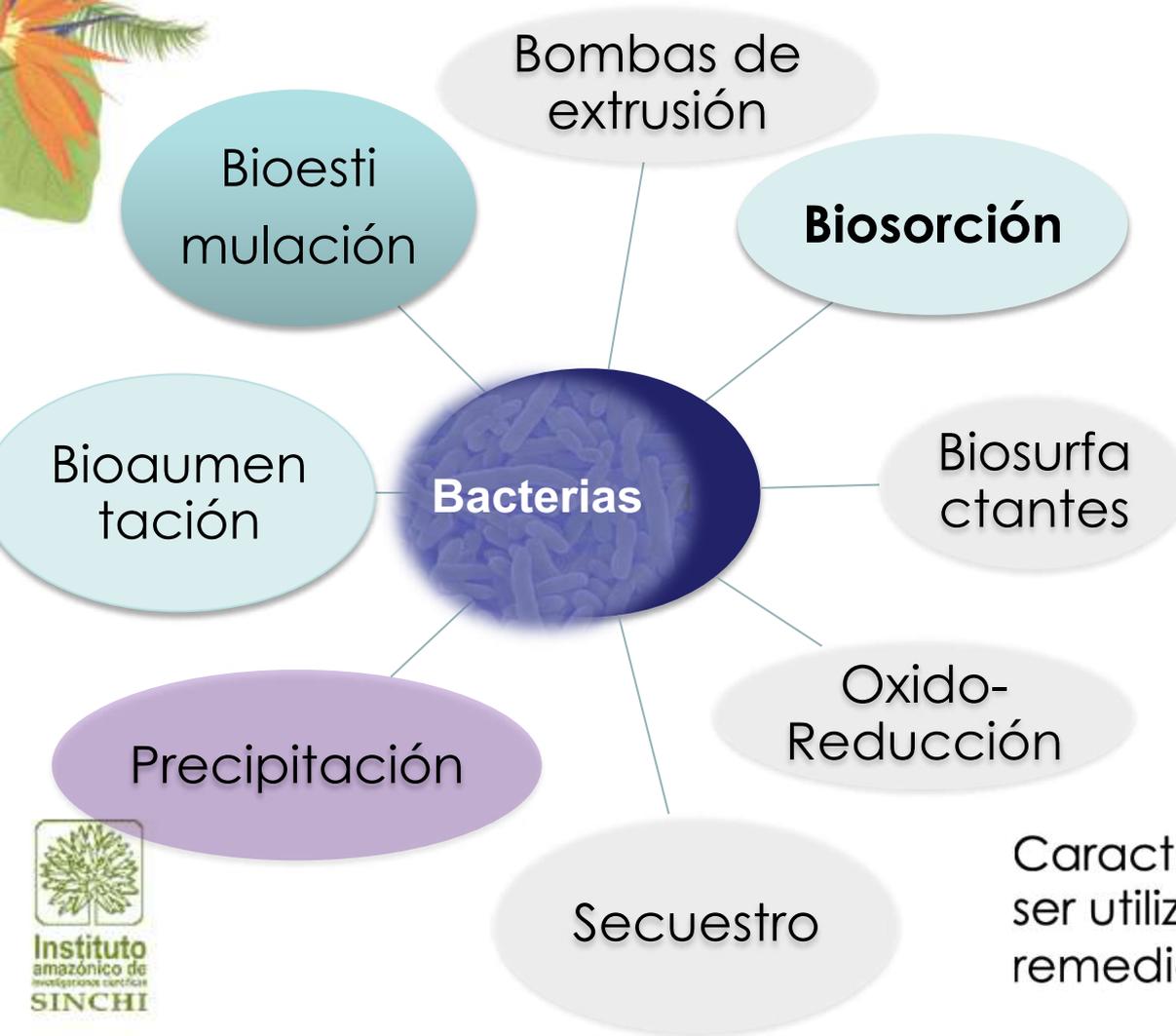
Bacterias

Tienen mecanismos de resistencia a Hg

Alto nivel de eficacia y especificidad

Transformación de iones tóxicos a formas menos tóxicas como Hg elemental, Hg volátil o sulfuro de Hg

Características de las bacterias a ser utilizadas en procesos de remediación de Hg



Estrategia de Biorremediación de Hg

- Elaboración y evaluación del biochar

pH, STV, cenizas, COT y %
humedad.

Microscopia electrónica de
trasmisión (TEM), electrónica de
fuerza atómica (AFM) Y
Espectroscopia infrarroja con
transformada de Fourier (FTIR)



500°C por
20 minutos

Pirólisis



<https://www.chardirect.com/>

<http://www.fao.org/ag/save-and-grow/cassava/es/index.html>

Biochar: Carbón activado generado por pirólisis de materiales orgánicos

Estrategia de Biorremediación de Hg en suelos amazónicos

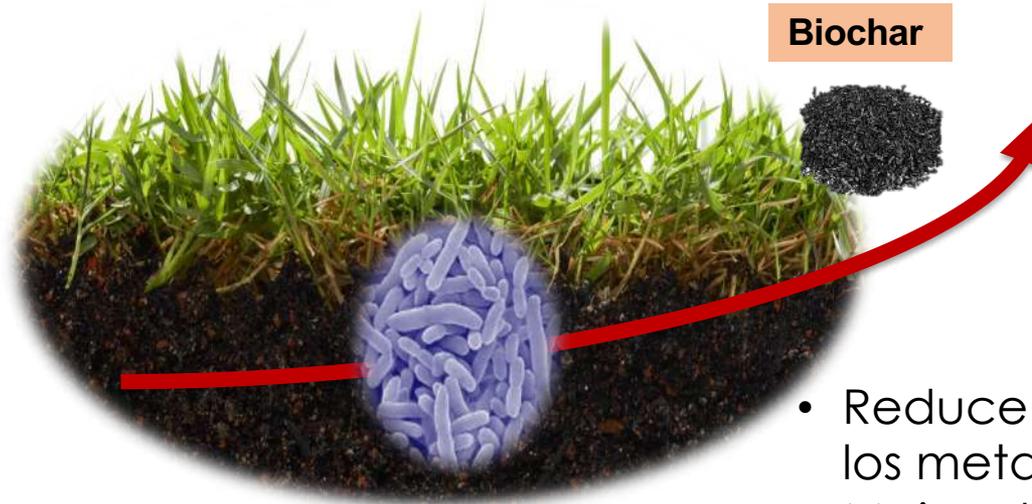
Bacterias reductoras de Hg (BRHg)

Forma relativamente inerte y menos tóxica.

Hg^0 Operon merA

Biochar

Hg^{2+}



- Reduce la biodisponibilidad de los metales.
- Mejora la estructura y fertilidad del suelo.
- Puede bioestimular los microorganismos del suelo.

Estrategia de Biorremediación de Hg

OBJETIVO: Evaluar la biorremediación de suelos contaminados con Hg mediante la coaplicación de biochar con bacterias reductoras de Hg y su efecto sobre las comunidades bacterianas del suelo.

FASE 1

Seleccionar y evaluar un consorcio reductor de Hg



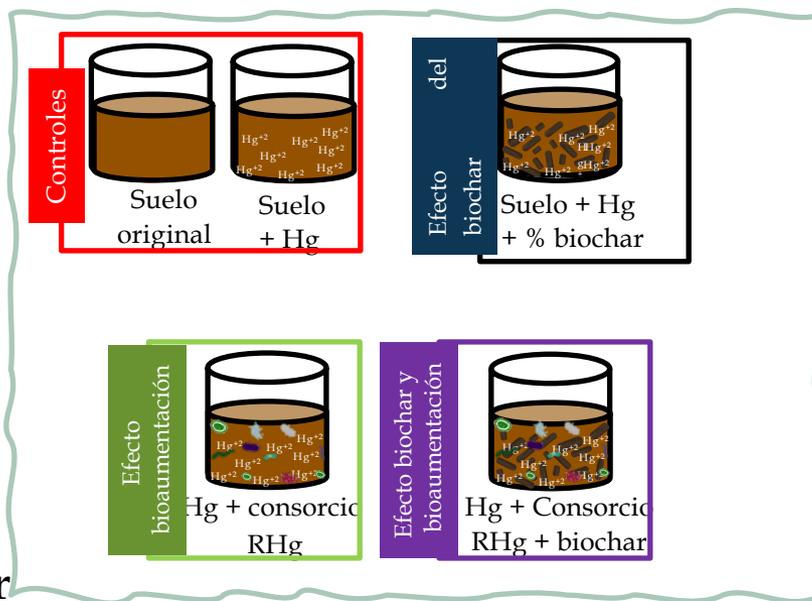
FASE 2

Caracterizar la efectividad de la coaplicación de biochar y un consorcio reductor de Hg



FASE 3

Analizar el efecto de la coaplicación de biochar y un consorcio en la diversidad y ecología de las comunidades microbianas



<https://perkinelmer-appliedgenomics.com/2019/05/22/soil-metagenomics/>

Conclusiones

- Se aislaron bacterias altamente resistentes a Hg a partir de suelo y sedimentos, las cuales fueron positivas para la presencia del gen *merA*, sugiriendo un mecanismo activo de resistencia al mercurio.
- *Pseudomonas* sp. TP30 y *B. contaminans* TR100 mostraron mayor resistencia al Hg, inducción del operon *mer* y reducción del Hg.
- Actualmente se está evaluando el potencial de estas cepas en las estrategias de remediación aplicables a la región de la selva amazónica.





Muchas gracias!

www.sinchi.org.co

[Gladys Cardona gcardona@sinchi.org.co](mailto:gcardona@sinchi.org.co)

[Marcela Nuñez mnunez@sinchi.org.co](mailto:mnunez@sinchi.org.co)

[Edwin Agudelo eagudelo@sinchi.org.co](mailto:eagudelo@sinchi.org.co)



Instituto
amazónico de
investigaciones científicas
SINCHI