

# 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 <b>Al</b> Aluminio 26.9815386	80 <b>Hg</b> Mercurio 200.59	48 <b>Cd</b> Cadmio 112.4	82 <b>Pb</b> Plomo 207.2	33 <b>As</b> 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:



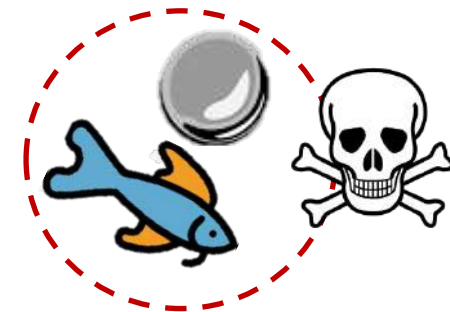
Actividad volcánica

Incendios forestales



Erosión

Minería



Contacto de directo o consumo de peces contaminados con metilmercurio



Instituto  
amazónico de  
investigaciones científicas  
SINCHI

<https://www.twinkl.es/illustration/tupi-child-tribe-amazon-indigenous-rainforest-geography-ks3>

# 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

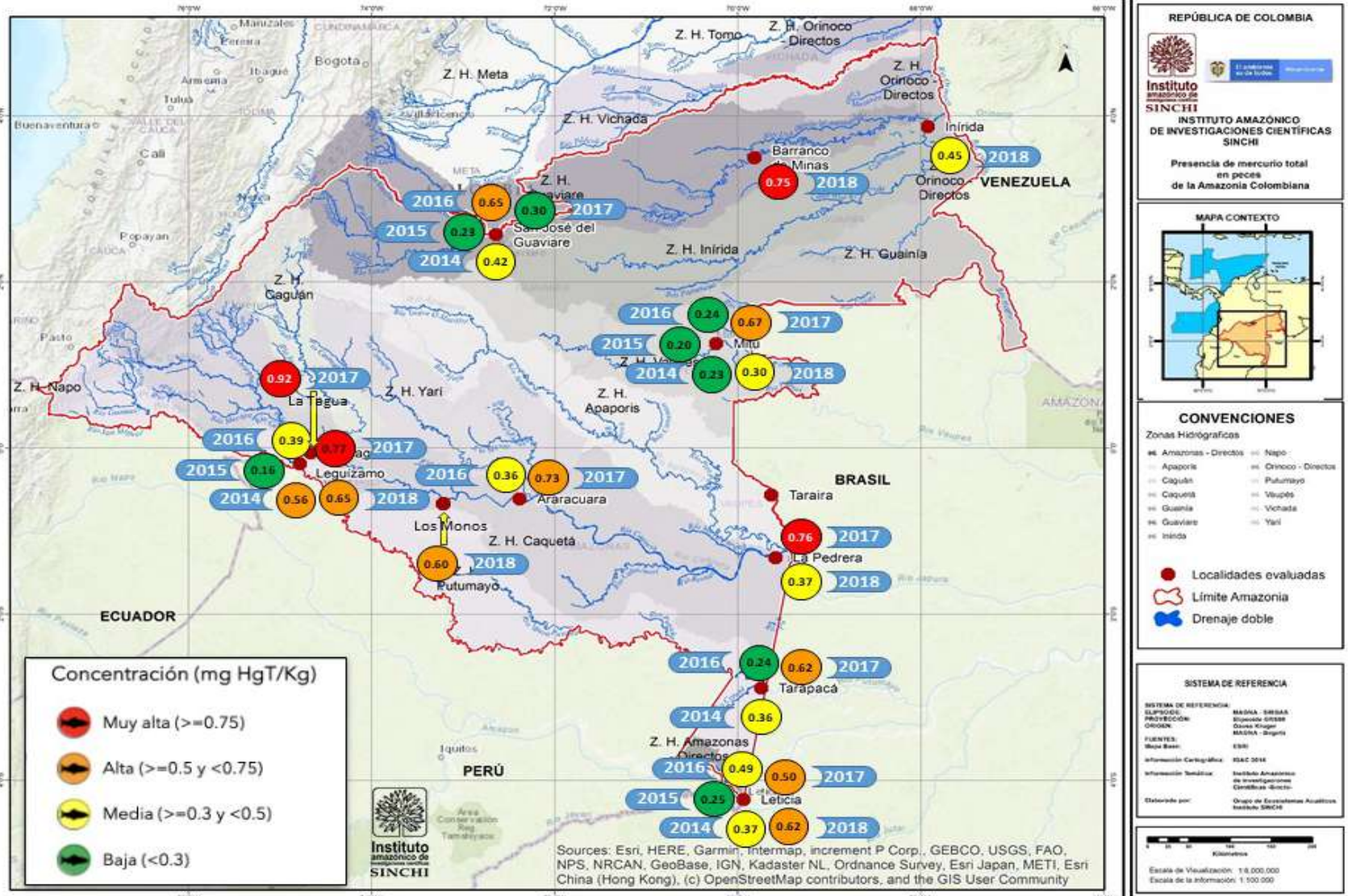
Peces

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
<b>Valores &gt;0.5</b>	<b>80</b>	<b>0.732 ± 0.274</b>		<b>23</b>	<b>0.721 ± 0.335</b>		<b>78</b>	<b>0.921 ± 0.517</b>		<b>91</b>	<b>1.147 ± 0.621**</b>	
<b>Total Muestras</b>	<b>260</b>	0.355 ± 0.302	<b>30%</b>	<b>265</b>	0.221 ± 0.208	<b>9%</b>	<b>222</b>	0.451±0.474	<b>35%</b>	<b>215</b>	0.621 ± 0.681	<b>42%</b>

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



Lechero



Simí



Dorado



Tucunaré

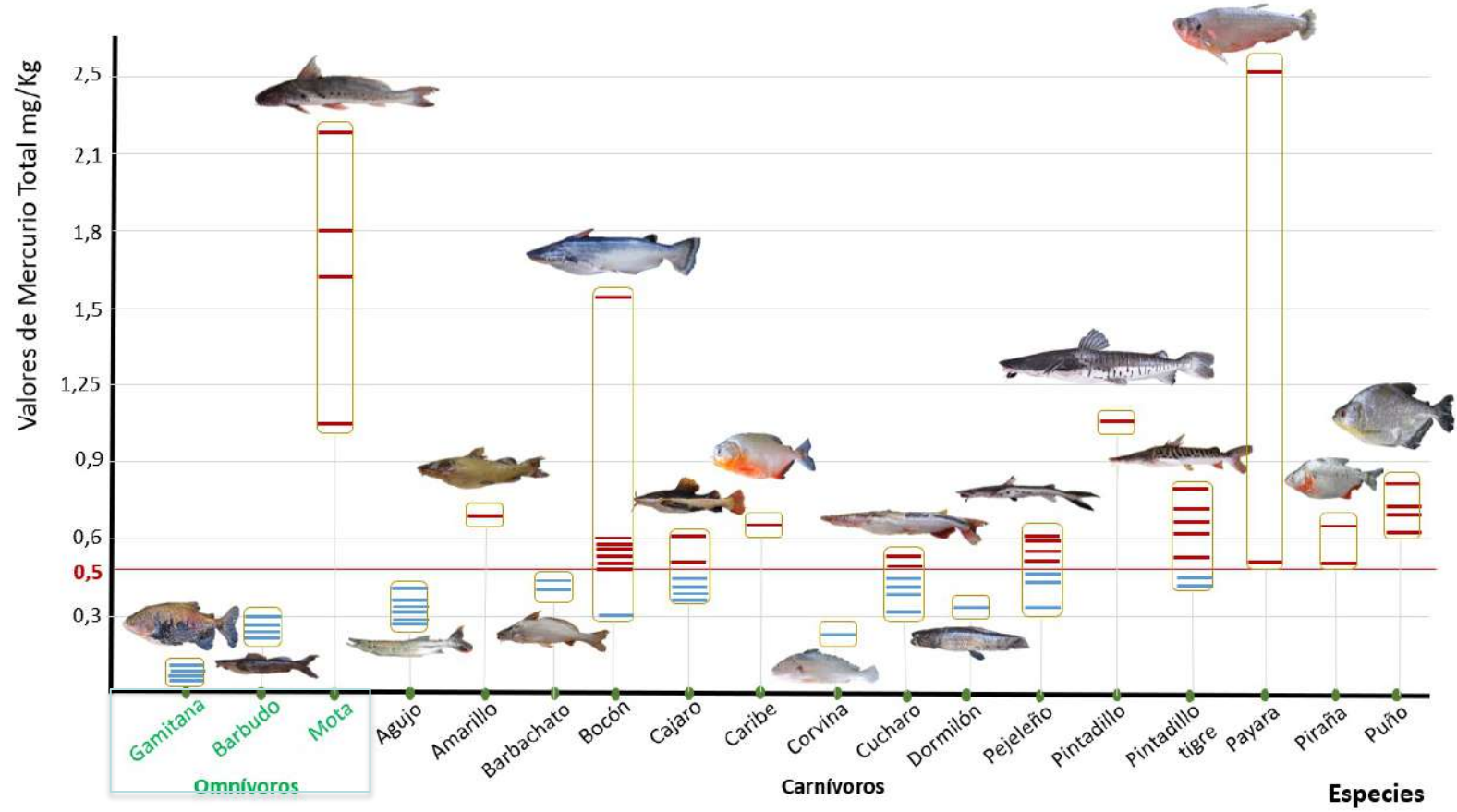
(foto: Ciacol- Sichi)

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



# 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 aluvi3n



# Sitios de muestreo

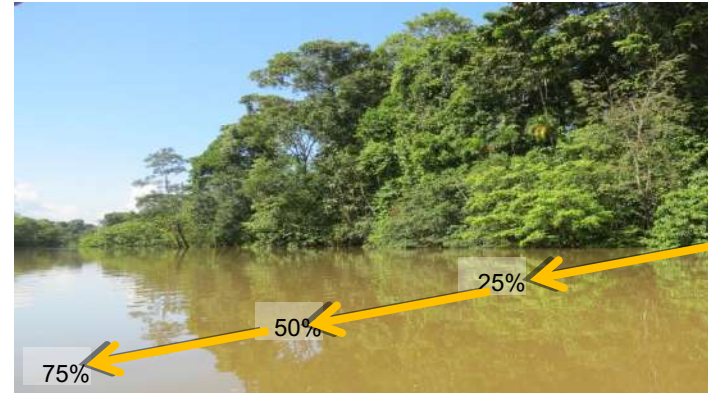
## Puerto Zábalo (Caquetá)



Minería de oro de aluvi6n

# Toma de muestras

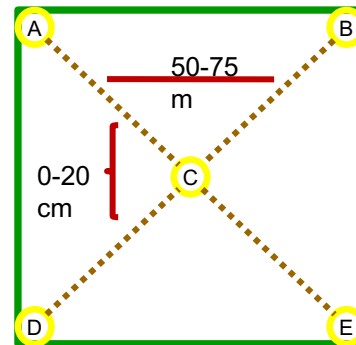
## Agua



## 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

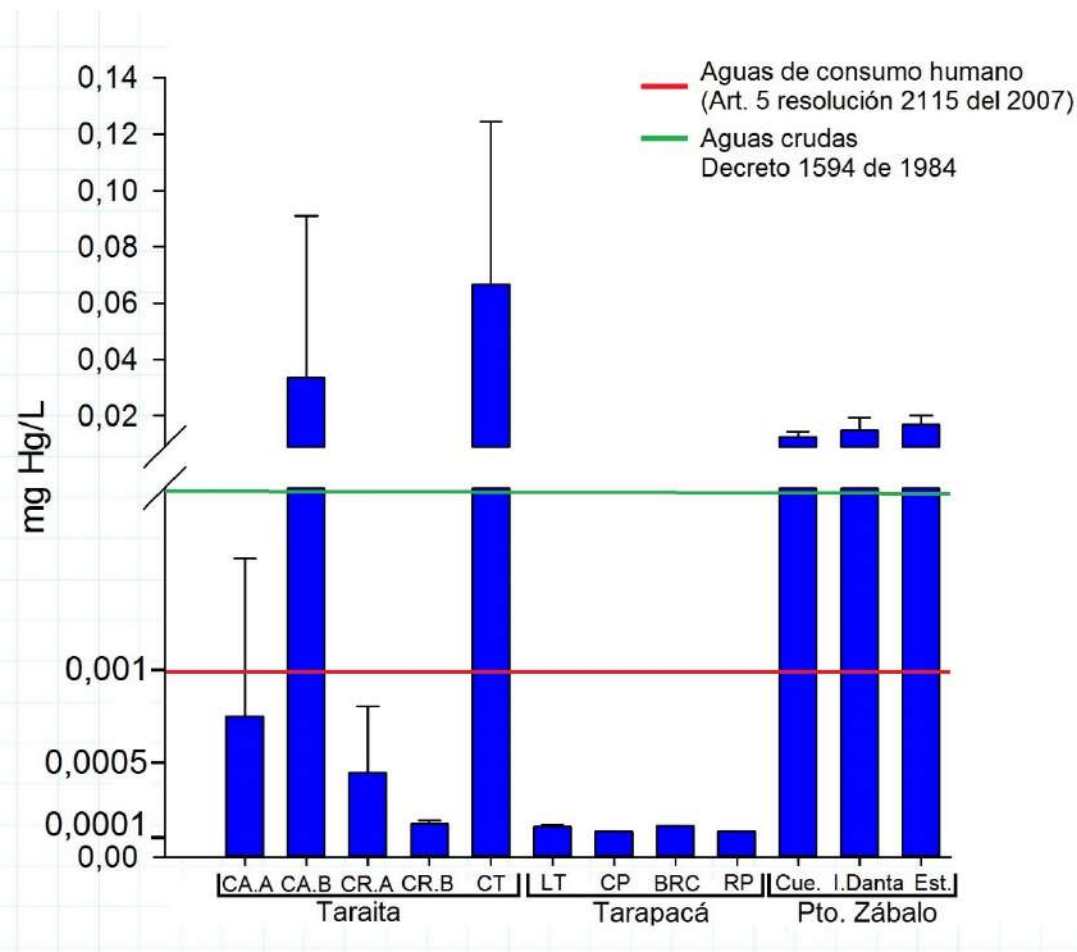
Sedimento / Suelos

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



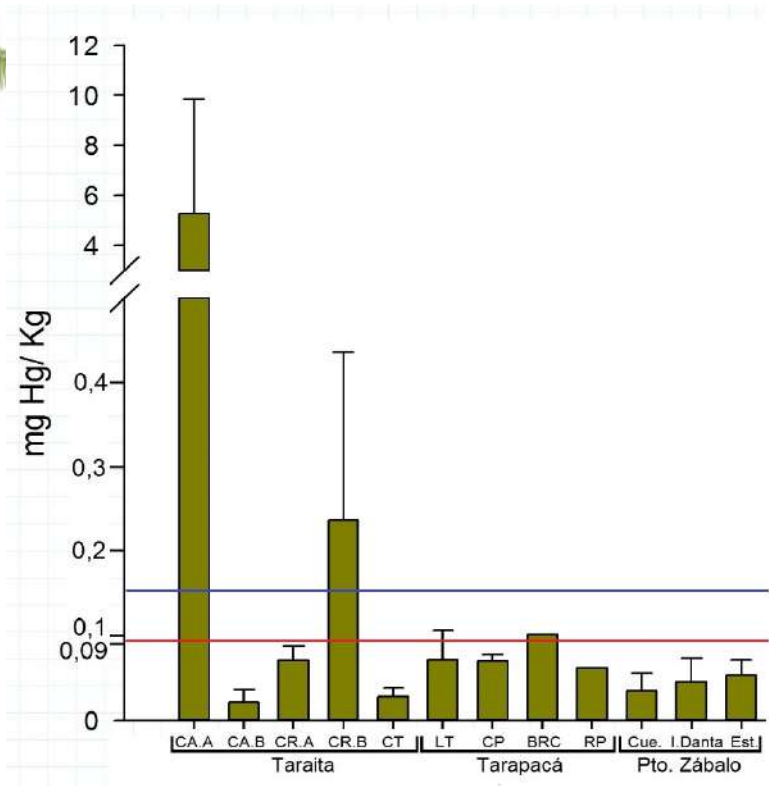


# Cuantificación de mercurio en agua

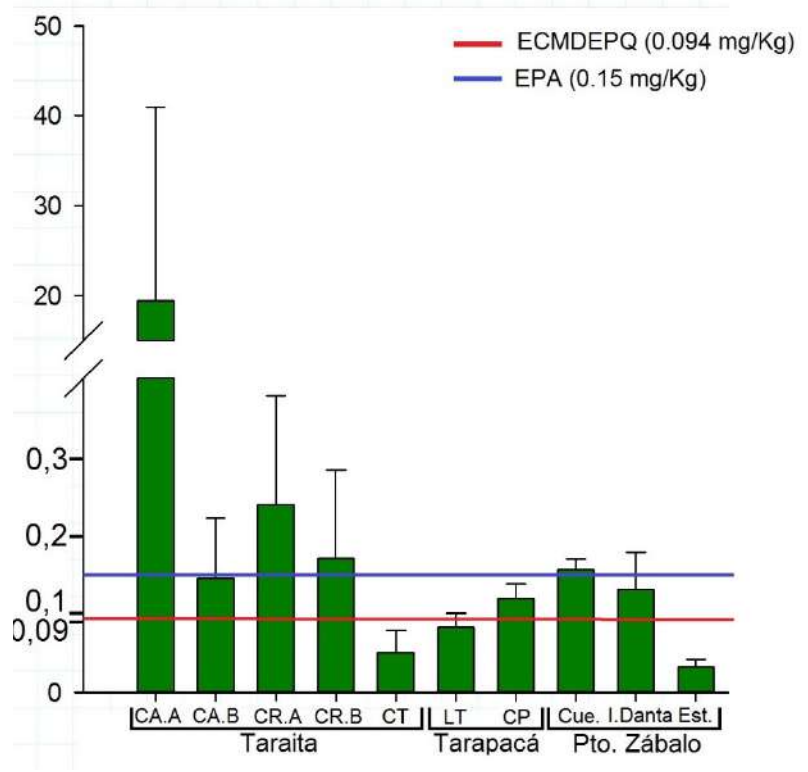


En las muestras CA.B, CT (Taraira), y de Puerto Zábalo se detectó mercurio en por encima de los límites de referencia, haciéndola no apta para el consumo humano.

# Cuantificación de mercurio en sedimentos y suelos de bosque



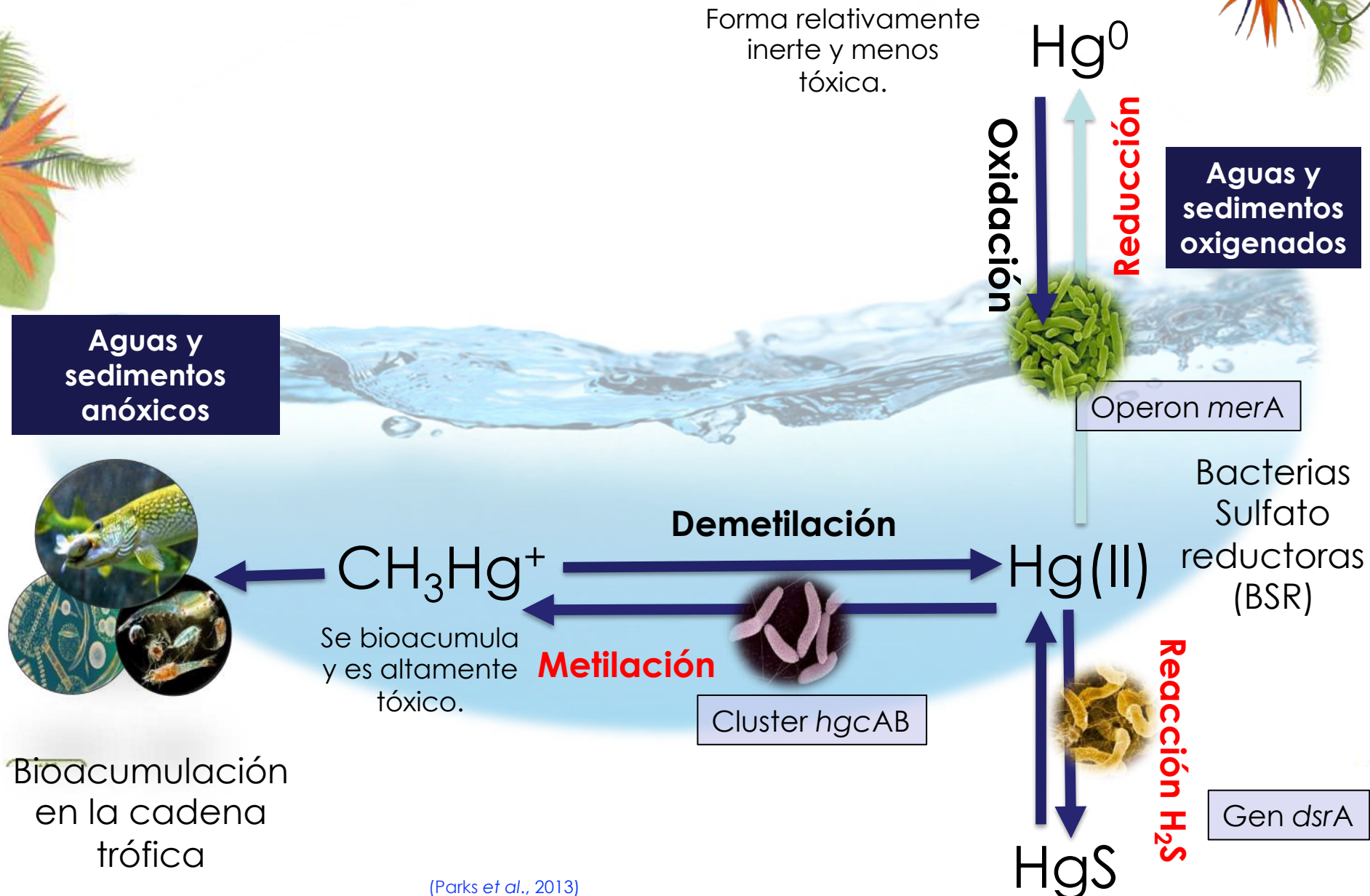
**Sedimentos**



**Suelos de bosque**

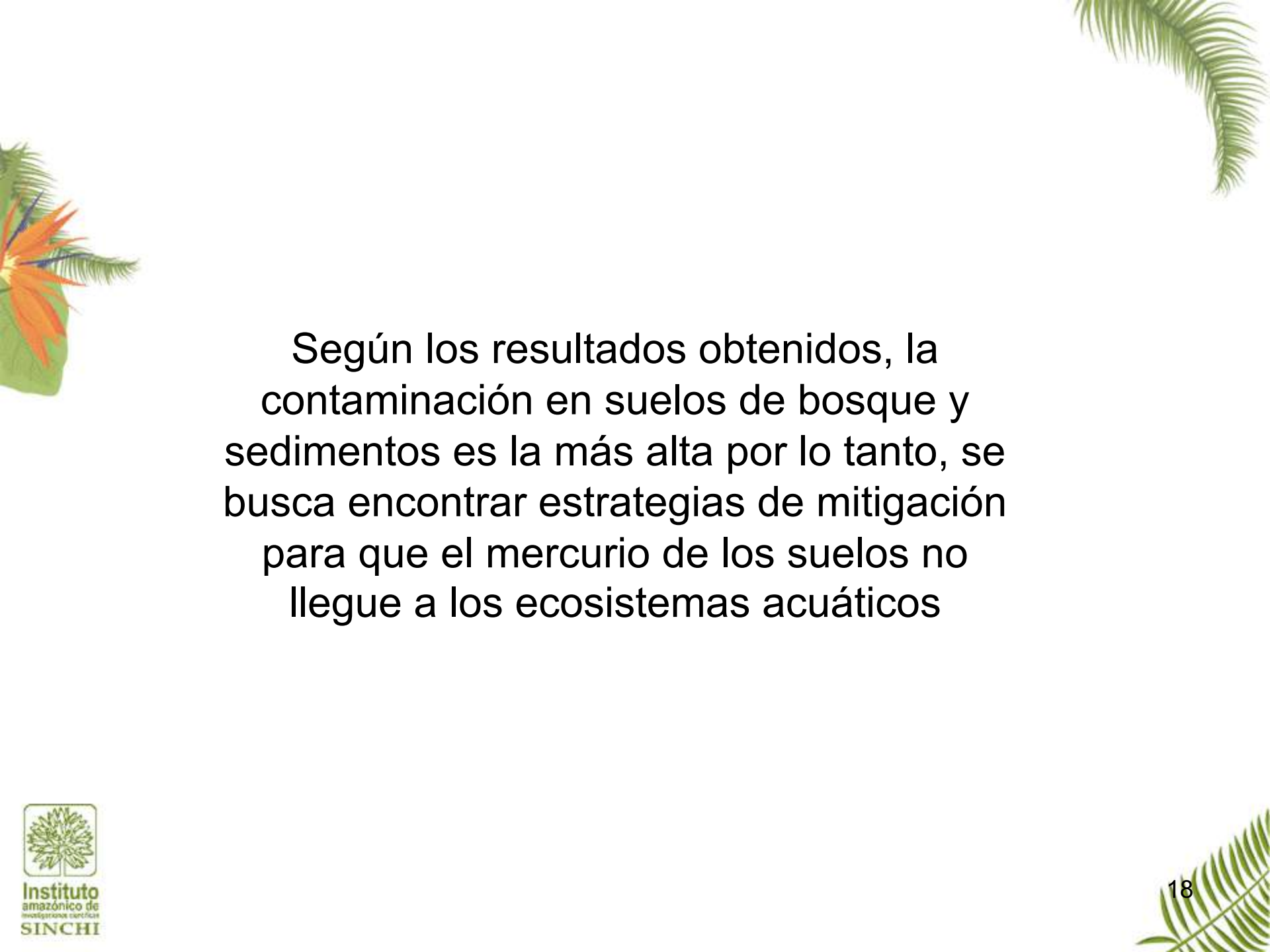


# Reacciones con Hg mediadas por microorganismos



(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

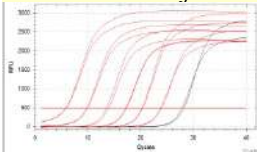


Estrategia Cultivo independiente

Extracción TC-ADN



qPCR  
*merA* y



Illumina  
Miseq



Estrategia cultivo dependiente

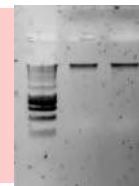
Aislamiento de Colonias en medio suplementado con  $HgCl_2$



Selección morfotipos resistentes. CMI



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



Selección 2 morfotipos para secuenciación

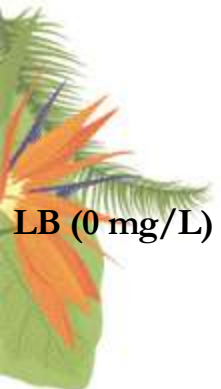
Estructura comunidades bacterianas y abundancia bacterias transformadoras de Hg

Parámetros FQ aguas, suelos y sedimentos

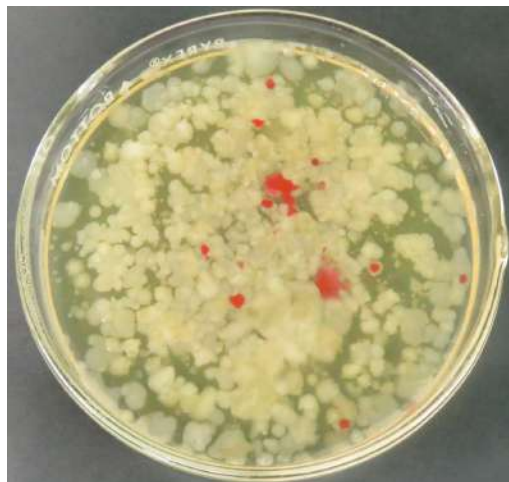
Análisis THg y MeHg en aguas, suelos, sedimentos



# 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

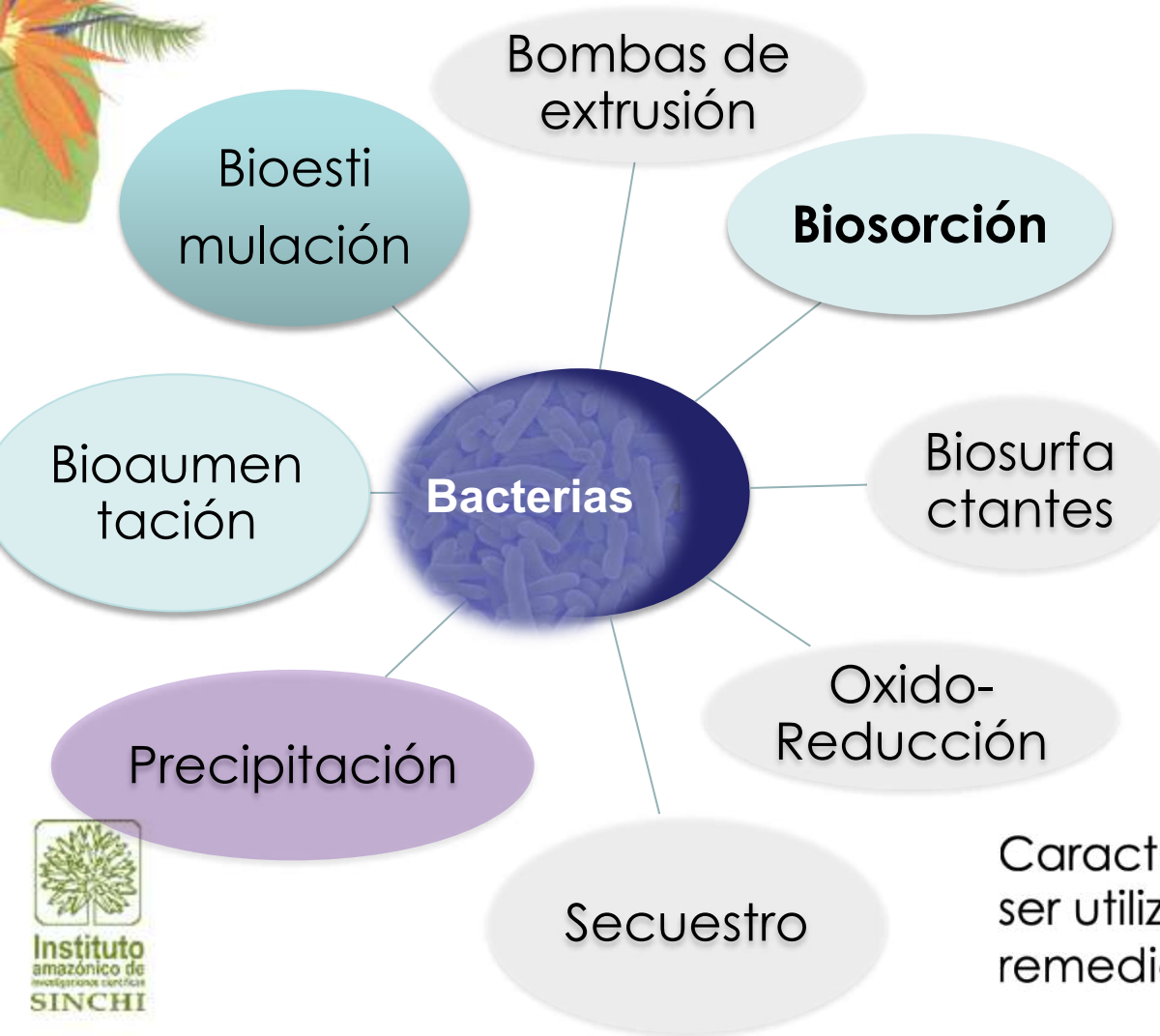
Bacterias

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

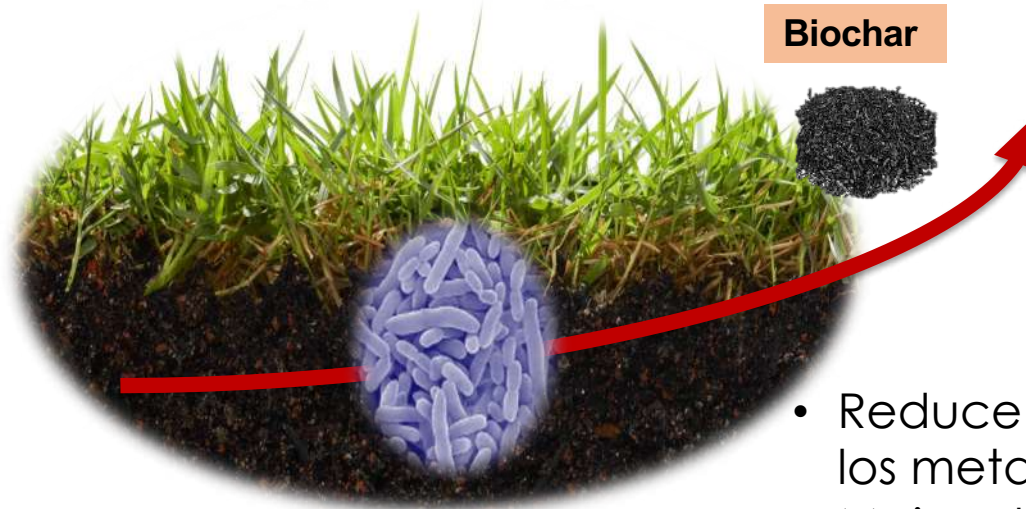
Bacterias reductoras de Hg (BRHg)

Forma relativamente inerte y menos tóxica.

$\text{Hg}^0$  Operon merA

Biochar

$\text{Hg}^{2+}$



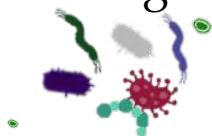
- Reduce la biodisponibilidad de los metales.
- Mejora la estructura y fertilidad del suelo.
- Puede bioestimular los microorganismos del suelo.

# 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



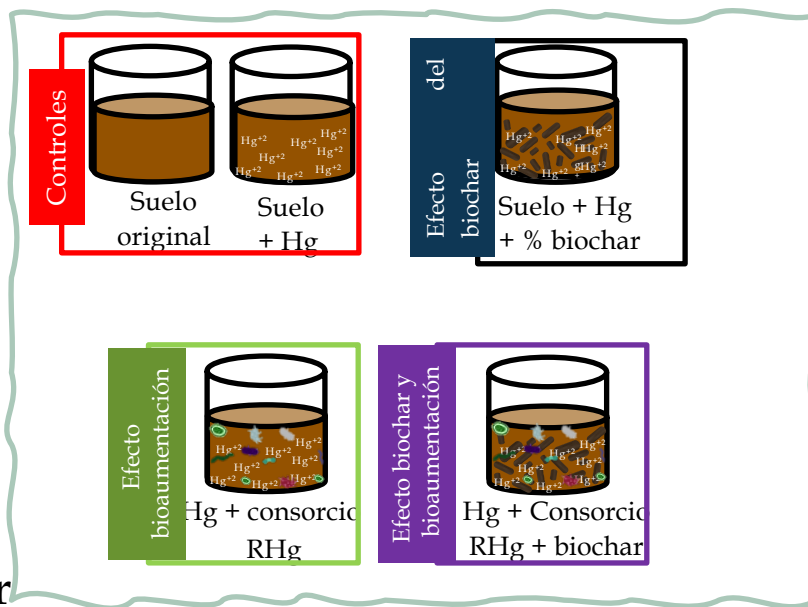
## FASE 2

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](http://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