



Encuentranos
en Facebook



V SIMPOSIO INTERNACIONAL AGUAS CONTINENTALES DE LAS AMÉRICAS

Más allá de lo visible: dinámicas limnológicas y metales pesados en Atitlán a través de una década de ciencia de SUNY Oneonta



Hugo Alejandro Villavicencio

- **Masters of Science in Biological Sciences obtained at University of Alaska Anchorage**
 - *Trophic Ecology and Bioaccumulation of Toxic Metals in Lake Atitlán, Guatemala*
- **Adjunct Professor at State University of New York Oneonta (SUNY Oneonta)**
 - *Water and the Environment of Guatemala - GEOL 3085*
- **CEO at Siucom**
 - *A multisectional environmental intelligence company and research center specializing in real-time, on-site IoT monitoring and advanced data analytics*



V SIMPOSIO INTERNACIONAL
AGUAS CONTINENTALES
DE LAS AMÉRICAS

WATER AND THE ENVIRONMENT OF GUATEMALA - GEOL 3085

“A LIFE-CHANGING COURSE”

- **Clase inicia en 2014**
 - Fundada por Devin Castendyk
 - Liderada por Tracy Allen
 - SUNY Oneonta Dean, School of Sciences
- **Mi rol:**
 - TA del curso en años pre pandemia
 - **Profesor Adjunto y co-líder del curso** post pandemia
- **Enfoque del curso:**
 - **Educación**
 - Investigación científica
 - Sostenibilidad
 - Cultura
 - Servicio comunitario
 - Soluciones locales
- **Hospedaje en Santa Catarina Palopó, Sololá**
 - Curso en verano de USA (mayo-junio)
 - Expedición de 2 semanas (24/7)
 - Finalización en Antigua Guatemala



Actividades: trasfondo y conexión

- **Cátedras y discusiones en campo sobre Atitlán y Guatemala**
 - Geología, hidrología, limnología, ecología, biogeografía
- **Reuniones y visitas con actores clave de Atitlán**
 - AMSCLAE
 - Porta Hotel y Posada de don Rodrigo (sostenibilidad)
 - Plantas de tratamiento
 - Santa Catarina: aguas residuales
 - Panajachel: aguas residuales
 - San Jorge: desechos sólidos
 - Finca de café orgánico comunitario La Voz, San Juan La Laguna
- **Visitas a sitios culturales e históricos de Guatemala**
 - Museo de Samabaj en Posada de Don Rodrigo
 - Museo de Jade en Antigua
 - Iximché
 - Catedrales y parques de Antigua Guatemala
 - Mercado de Sololá
- **Hikes**
 - San Marcos La Laguna a Santa Cruz
 - Volcán de Pacaya
- **Servicio comunitario**
 - Instalación de filtros purificadores de agua en Santa Catarina, a familias en pobreza extrema
 - Clase de ciencia y sostenibilidad en escuela de Santa Catarina, a 5º y 6º grado



Investigación científica: +10 años de monitoreo

- **Monitoreo de ríos Quiscab y San Francisco (principales afluentes)**

- **San Francisco: Cuenca alta, media, baja**
 - Concepción, Finca intermedia, desembocadura
- **Quiscab: Cuenca alta y baja**
 - Corazón del bosque, desembocadura
- **Reserva Atitlán**
 - Catarata
- **Parámetros fisicoquímicos**
 - Temperatura, Turbidez, Conductividad, DO, pH, nitratos, fosfatos



- **Perfil limnológico del Lago Atitlán**

- Iniciando con **Weiss G**, profundidad 340m
- **Parámetros físicoquímicos**
 - Temperatura, Turbidez, Conductividad, DO, pH, nitratos, fosfatos



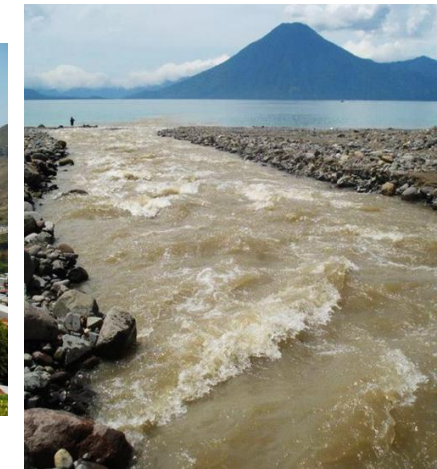
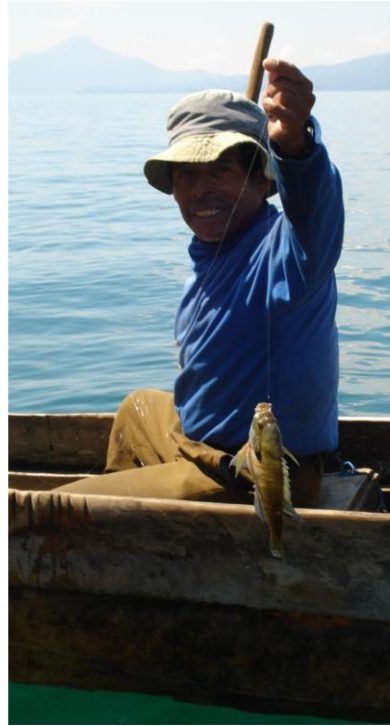
- **Análisis de aguas subterráneas: Arsénico, hierro, manganeso, boro (ICP-MS)**

- Lago
- Ríos
- Aguas subterráneas: aguas termales y pozos
- Escuelas



Lago de Atitlán: Contexto

- **Chocoyos (84,000 años)**
- **Diversidad cultural**
 - Tz'utujil, Kaqchikel & K'iche' – poblaciones mayas
 - 500,000 habitantes
- **Lago más profundo de Centroamérica**
 - Prof: 340 m, Vol: 24.4 km³ H₂O, Superficie: 130 km²
- **Endorreico**
 - Quiscab & San Francisco
- **120 años de residencia**
- **Troficidad**
 - Oligotrófico a Mesotrófico, Eutrófico (Cuando hay FLORECIMIENTO)
 - Aguas residuales, agricultura
- **Problemas ecológicos**
 - Aguas residuales, agroquímicos, especies invasoras, cambio climático, riesgo de cianobacterias tóxicas, erosión y sedimentación de ríos, etc...



Importancia de estudiar nutrientes y metales en el Lago de Atitlán como un *SISTEMA INTEGRADO*

ATITLÁN ES UN SISTEMA ACOPLADO

- Dos o más sistemas están conectados e influyen mutuamente entre sí.
- Nutrientes (N y P) y metales no actúan de forma independiente.
- **Ríos transportan:**
 - Nutrientes
 - Sedimentos
 - Materia orgánica
 - Metales adsorbidos a partículas
- **Atitlán es un lago volcánico profundo**
 - Presencia natural de **arsénico, manganeso, boro, hierro** y otros elementos mediante meteorización, aguas subterráneas y fuentes hidrotermales.
- **La estratificación profunda del lago controla los procesos REDOX que regulan la movilidad de nutrientes y metales.**
- **Bajo condiciones oxigenadas:**
 - $\text{Fe(III)} + \text{PO}_4^{3-} \rightarrow$ fosfato retenido en sedimentos
 - **Menor fósforo disponible en la columna de agua**
- **Bajo condiciones reductoras (ó bajo O_2):**
 - $\text{Fe(III)} \rightarrow \text{Fe(II)}$
 - Liberación de PO_4^{3-} desde los sedimentos
 - **Aumento de fósforo disponible**
 - Potencial incremento de productividad
 - Posible movilización simultánea de arsénico



V SIMPOSIO INTERNACIONAL
AGUAS CONTINENTALES
DE LAS AMÉRICAS

RÍOS DE ATITLÁN: San Francisco

Concepción (cuenca alta)



Finca Intermedia



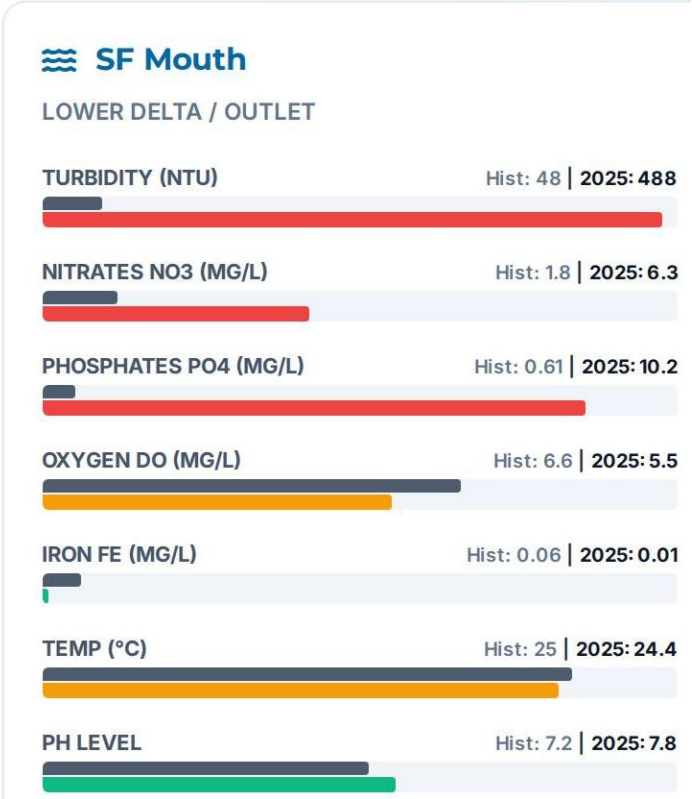
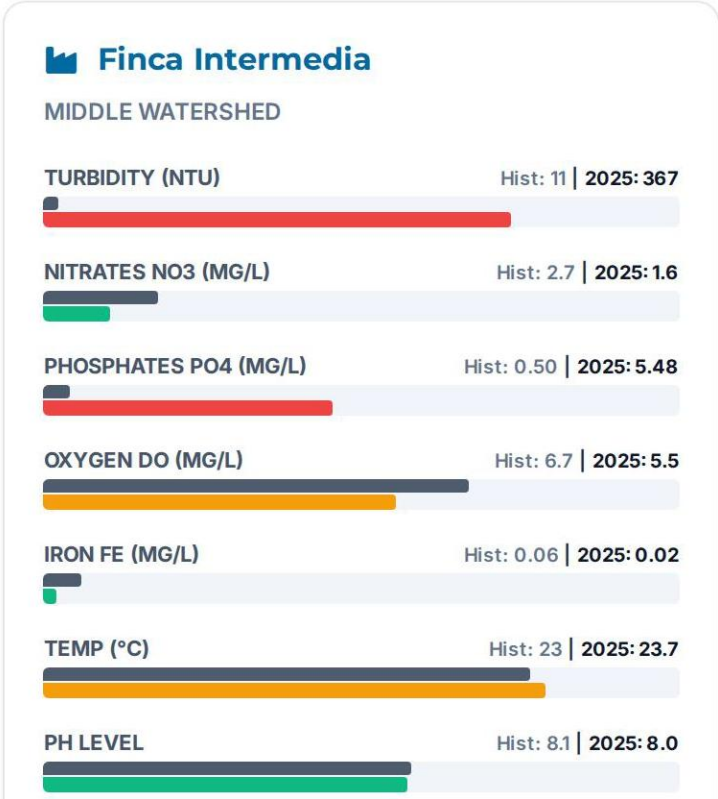
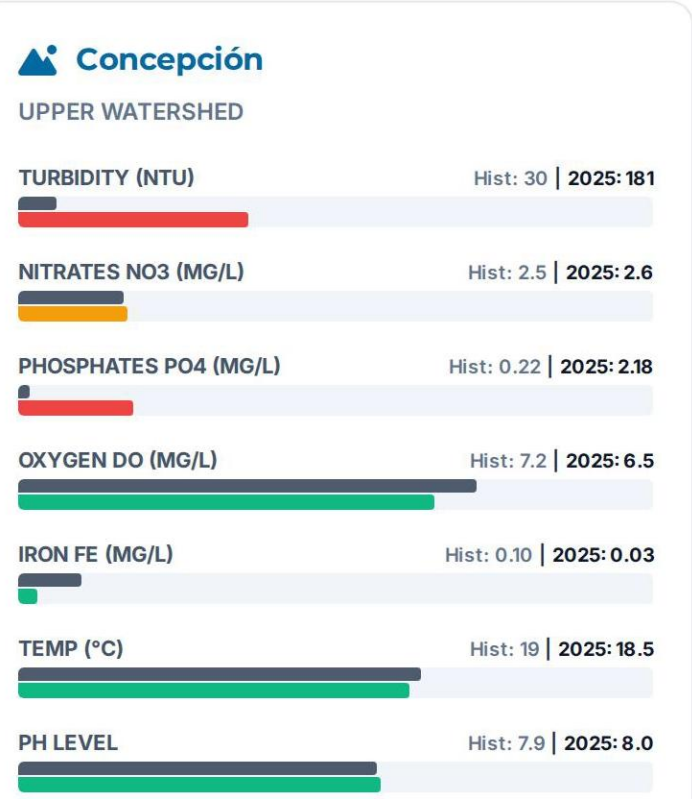
Desembocadura



RÍOS DE ATITLÁN: San Francisco

■ Historical Baseline (2014) ■ Healthy 2025 ■ Elevated 2025 ■ Critical 2025

SAN FRANCISCO RIVER GRADIENT (2014 VS. 2025)

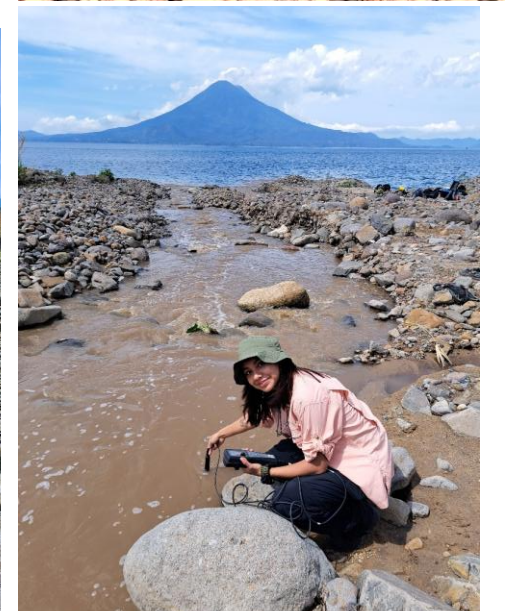


- **Severa degradación longitudinal y a través del tiempo del Río San Francisco**
 - **Turbidez se multiplica por más de 16 veces** y los fosfatos aumentan drásticamente desde la cuenca alta hasta la desembocadura.
 - En mayo de 2025 la desembocadura alcanzó niveles críticos de contaminación antropogénica: pico histórico de **fosfatos (10.2 mg/L)** y **nitratos (6.3 mg/L)**.
 - El hierro disminuye por oxidación y precipitación, favorecidas por la oxigenación, el pH alcalino y los fosfatos.
 - **Más oxígeno en 2014 que 2025.**
 - Cangrejos nativo “canchito” en cuenca alta (*Raddaus bocourti*).
 - **Aguas residuales con descarga directa.**

RÍOS DE ATITLÁN: Quiscab

Corazón del Bosque

Desembocadura



RÍOS DE ATITLÁN: Quiscab

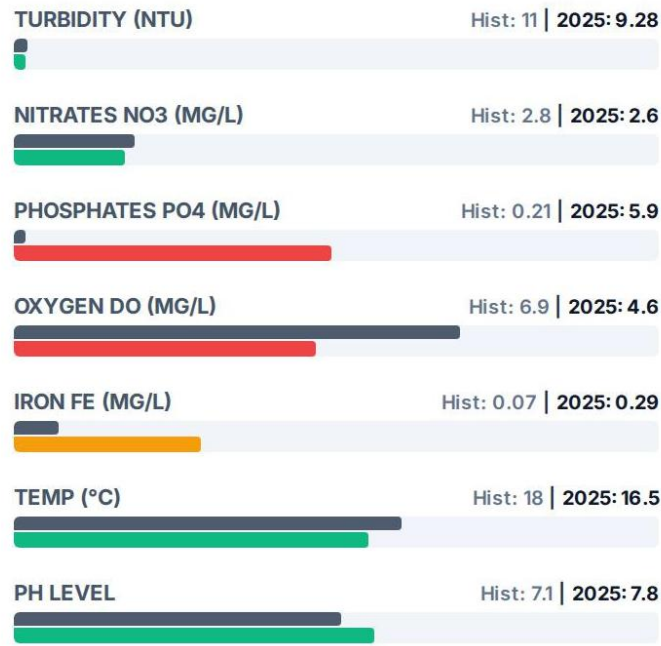
■ Historical Baseline (2014) ■ Healthy 2025 ■ Elevated 2025 ■ Critical 2025

QUISCAB RIVER: FOREST ORIGIN TO DELTA (2014-2025)



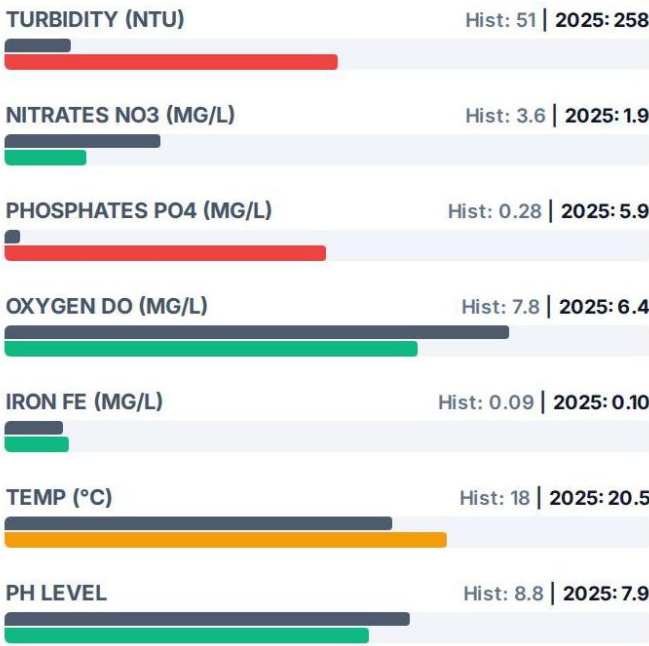
🌲 Corazón del Bosque

UPPER WATERSHED



🌊 Quiscab Mouth

LOWER DELTA / OUTLET



- **Degradación longitudinal y a través del tiempo**
 - Desde la **cuenca alta hasta la desembocadura, la turbidez aumenta 27 veces**, evidenciando una fuerte acumulación de sedimentos.
 - Comparado con el 2014, **2025 muestra un enriquecimiento extremo de fosfatos (x28)**, indicando una creciente presión de nutrientes en la cuenca.
 - **Más oxígeno en 2014 vs 2025.**
 - El **incremento de hierro en Corazón del Bosque (0.29 ml/L)** se debe a la **baja oxigenación del agua (4.68 mg/L)** y a la abundancia de materia orgánica en el suelo forestal, condiciones químicas que provocan que el **hierro natural de la roca volcánica se disuelva en el río en lugar de asentarse en los sedimentos.**

RÍOS DE ATITLÁN: La Reserva

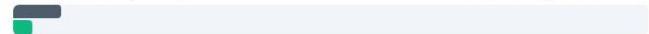
■ Historical Baseline (2014) ■ Healthy 2025 ■ Elevated 2025 ■ Critical 2025

LA RESERVA: ECOLOGICAL CONTROL ANALYSIS

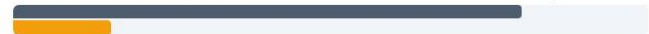
La Catarata (Reserva)

PROTECTED REFERENCE POINT

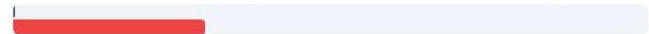
TURBIDITY (NTU) Hist: 37 | 2025: 15.2



NITRATES NO3 (MG/L) Hist: 12.0 | 2025: 2.3



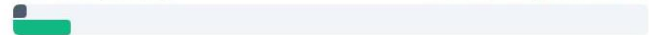
PHOSPHATES PO4 (MG/L) Hist: 0.05 | 2025: 3.6



OXYGEN DO (MG/L) Hist: 8.0 | 2025: 6.33



IRON FE (MG/L) Hist: 0.02 | 2025: 0.09



TEMP (°C) Hist: 18 | 2025: 18.8



PH LEVEL Hist: 8.4 | 2025: 8.0



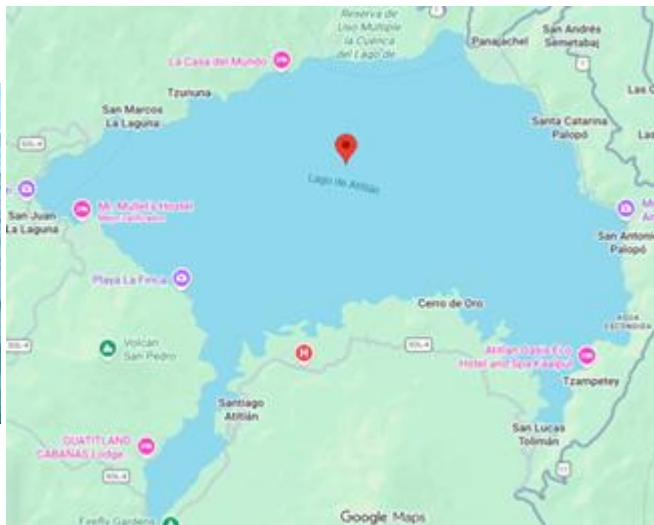
V SIMPOSIO INTERNACIONAL
AGUAS CONTINENTALES
DE LAS AMÉRICAS



- La Reserva mantiene baja turbidez y condiciones físicas relativamente conservadas, funcionando como **sitio de referencia ecológica**. Sin embargo, el **aumento de fosfatos de 0.05 a 3.6 mg/L** evidencia que el enriquecimiento de nutrientes ya alcanza incluso áreas protegidas, sugiriendo una presión regional que trasciende el uso local del suelo.
- En La Reserva, el **hierro se mantiene en un nivel óptimo y muy bajo (0.09 mg/L)** porque la excelente oxigenación de sus aguas (**6.33 mg/L**) y su pH alcalino (**8.0**) hacen que el metal se oxide rápidamente y se asiente en los sedimentos en lugar de quedarse disuelto.
- Más oxígeno en 2014 vs 2025.**

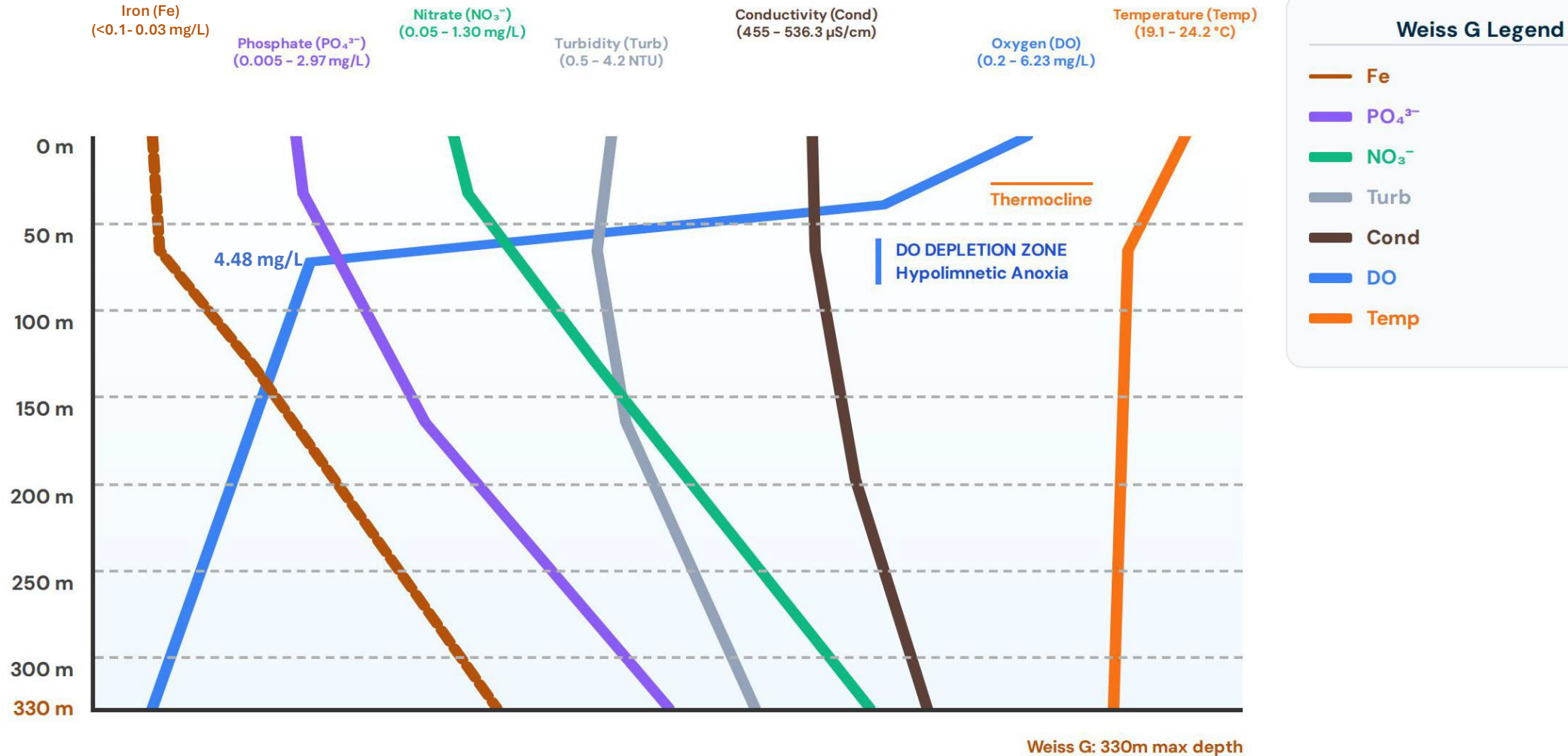
Punto más profundo del Lago de Atitlán

Weiss G: Perfil Limnológico

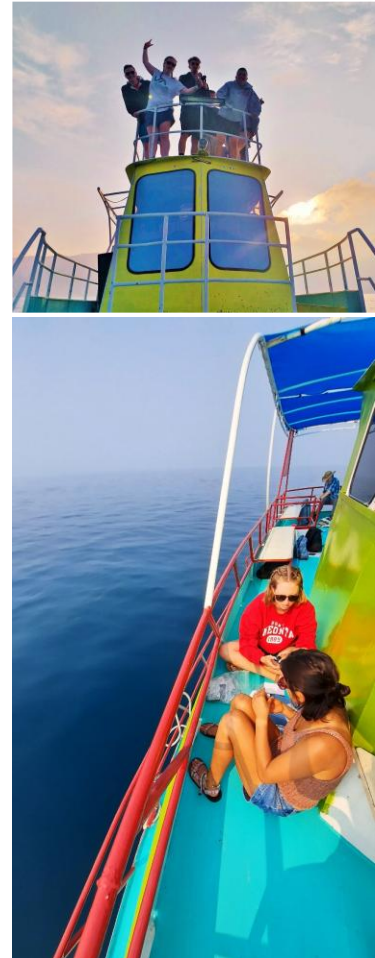


SUNY ONEONTA: HIGH RESOLUTION LIMNOLOGICAL PROFILE

Lake Atitlán Trends and Redox-Driven Nutrient Dynamics (Weiss G: 2014–2025)



- Declive de oxígeno a 60m: **anoxia hipolimnetica**
- Correlación directa y positiva entre hierro y fósforo: En condiciones de anoxia (sin oxígeno), los óxidos de hierro se disuelven y liberan fósforo atrapado.
- Hipolimnion del lago actúa como un reservorio interno de nutrientes y metales pesados.



Estudios de metales tóxicos por SUNY Oneonta

Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)

- **Ubicaciones:**

- Lago
- Ríos
- Aguas termales
- Pozos
- Hoteles
- Escuelas
- Estadios



- **Arsénico:**

- Problemas cardiovasculares
- Efectos neurotóxicos
- Diabetes

- **Manganeso:**

- Abundante en aguas termales
- Efectos neurotóxicos



- **Boro:**

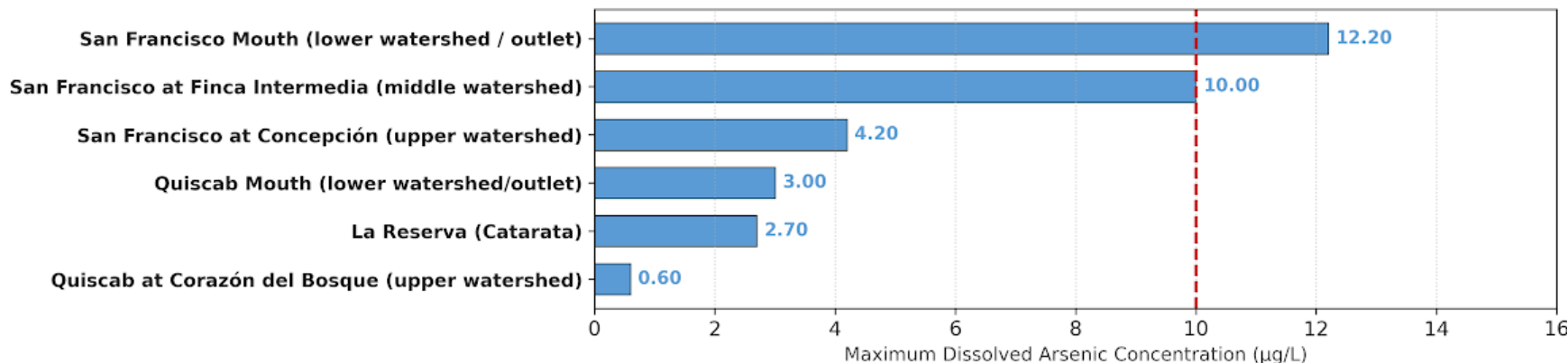
- Nauseas
- Fitotoxicidad agrícola

Arsénico (As): Ríos, Lago y Escuelas

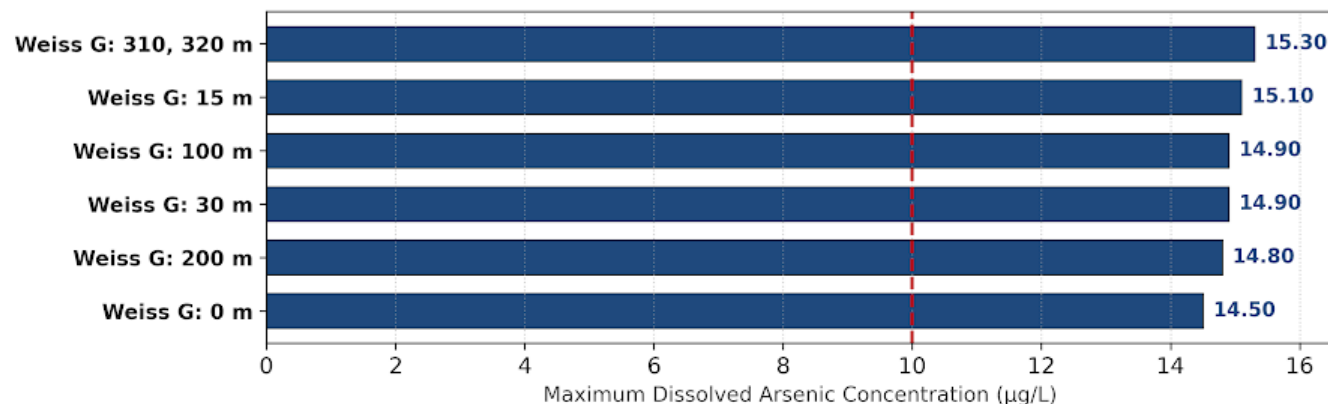
Maximum Dissolved Arsenic Levels in Lake Atitlán Watershed, Guatemala Peak Concentrations Recorded across Sampling Sites (2014-2025)

Dashed Red Line (---): WHO/USEPA Drinking Water Guide Limit (10 µg/L)

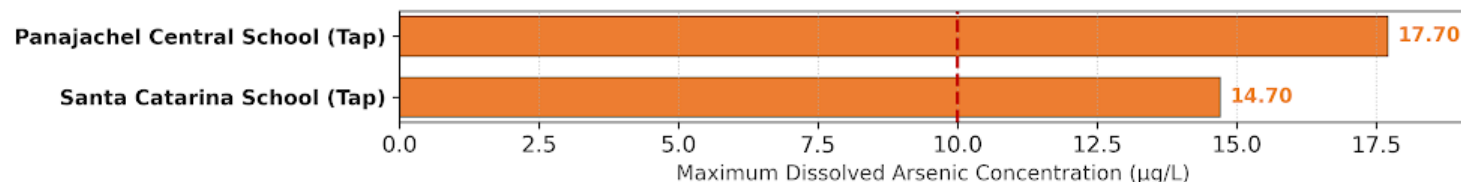
STREAMS



LAKE SITES



SCHOOL SITES

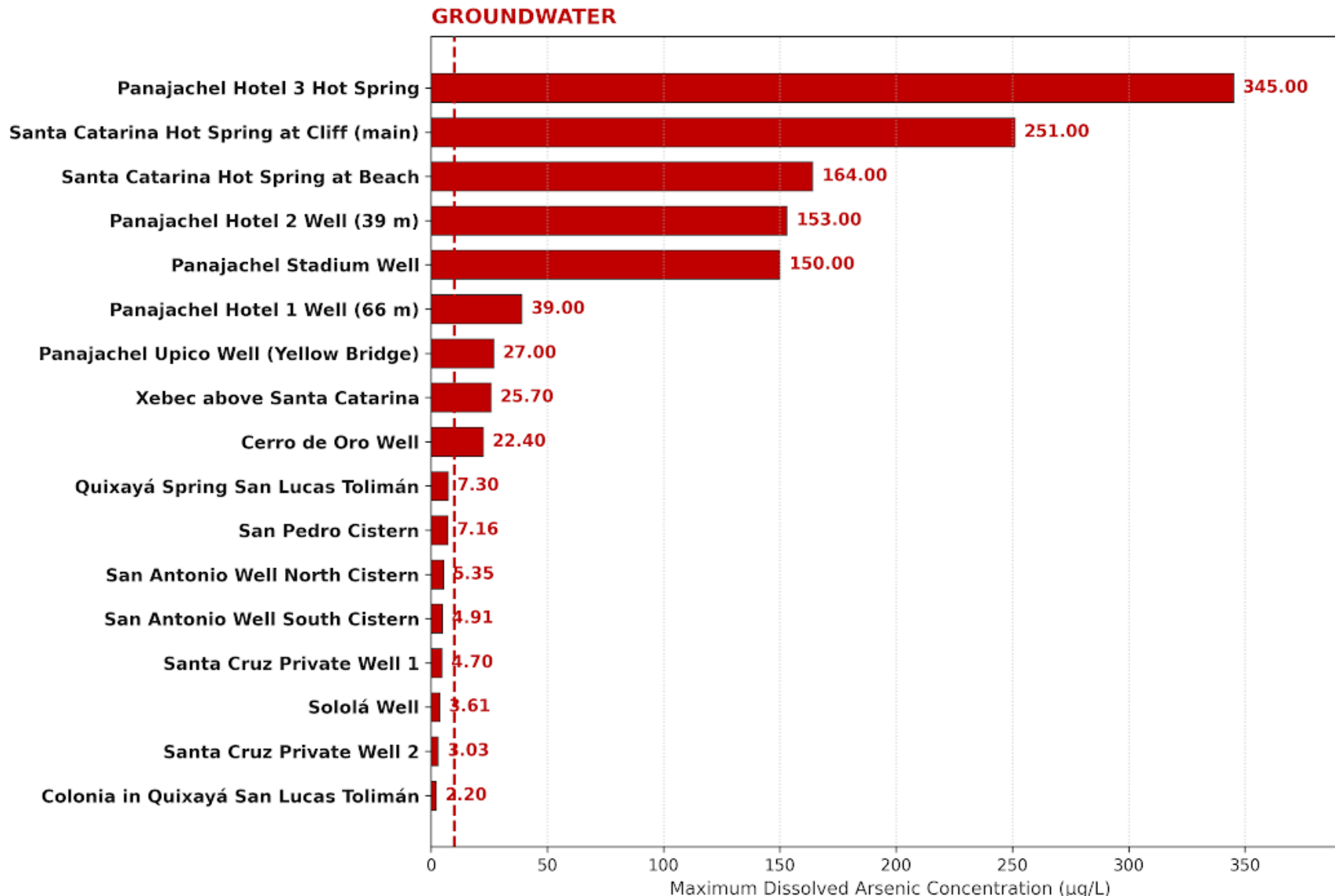


- San Francisco Mouth: **posible acumulación** por influencia geotérmica, sedimentación y agroquímicos
- Lago: Preocupante al **sobrepasar en todos los puntos el límite para beber.**
- Escuelas: **Crítico** al poder impactar a niños diariamente
 - Deben promoverse **filtros** de arsénico.

Arsénico (As): Aguas subterráneas

Maximum Dissolved Arsenic Levels in Lake Atitlán Watershed, Guatemala Peak Concentrations Recorded across Sampling Sites (2014-2025)

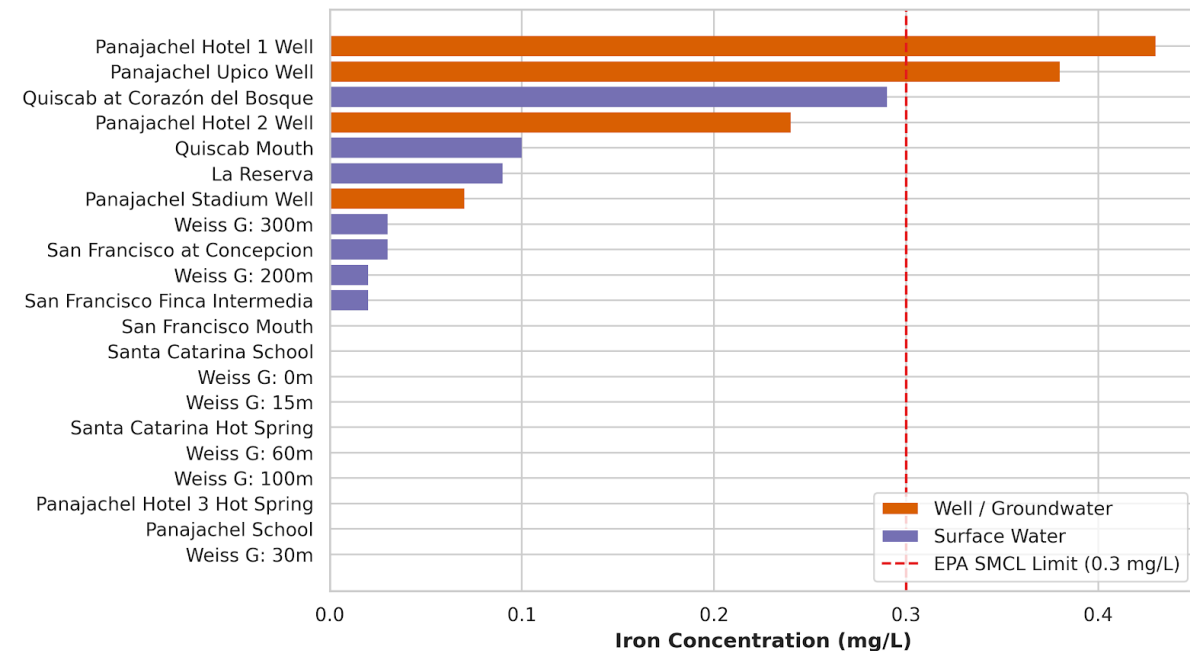
Dashed Red Line (--): WHO/USEPA Drinking Water Guide Limit (10 µg/L)



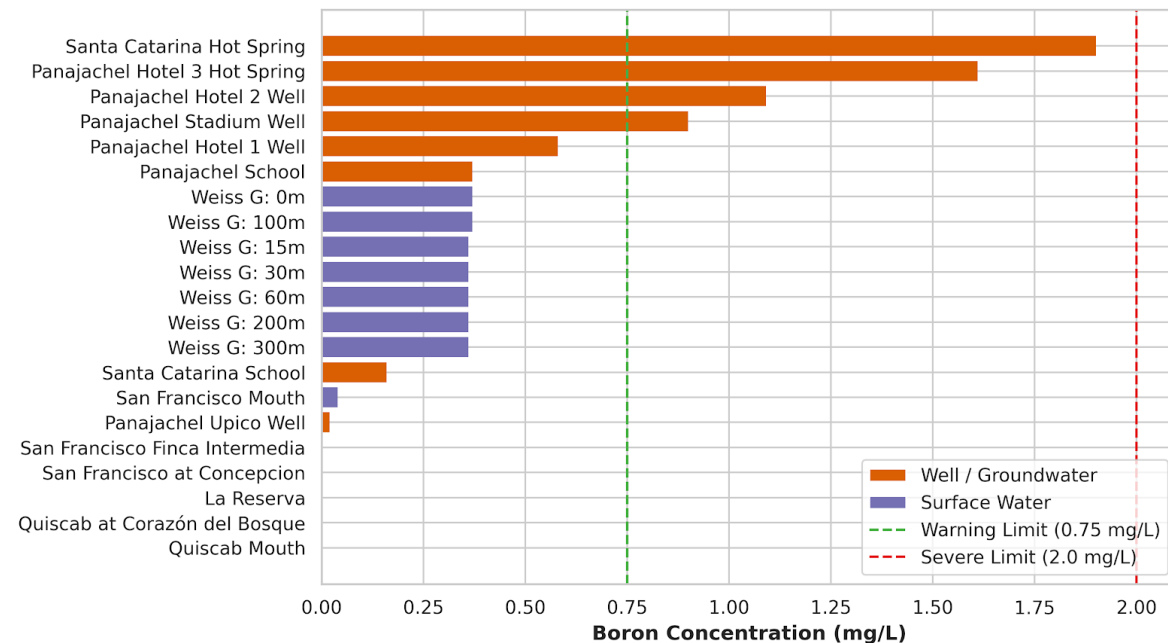
- El arsénico en el agua subterránea presenta una **distribución altamente localizada** en la cuenca de Atitlán.
- Aguas termales, pozos de abastecimiento de Panajachel y los nacimientos termales de Santa Catarina superan ampliamente el límite de la OMS (10 µg/L), alcanzando hasta 345 µg/L debido a un **enriquecimiento geogénico** asociado a la actividad volcánica e hidrotermal.
- En contraste, los pozos de Sololá, Santa Cruz y San Lucas Tolimán mantienen niveles seguros.
- **Hoteles implementaron filtros de arsénico** luego de nuestro estudio.
- **Riesgo para la salud pública en zonas de fallas activas y acuíferos con influencia volcánica.**

Hierro (Fe), Boro (B) y Manganeso (Mn)

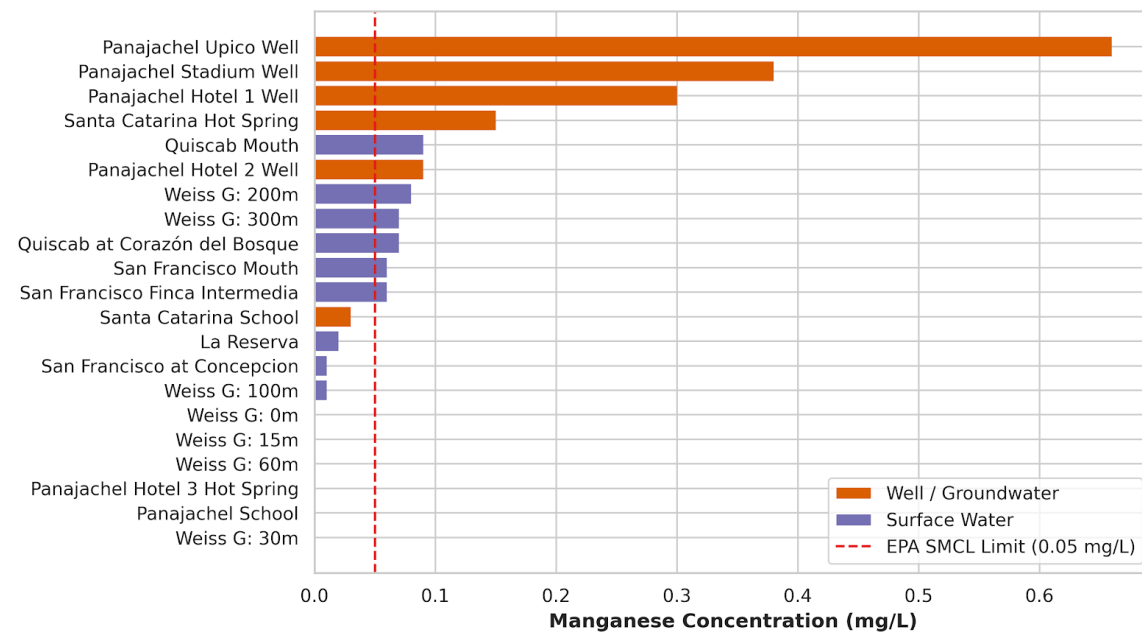
Iron Concentrations by Location (Sorted)



Boron Concentrations by Location (Sorted)



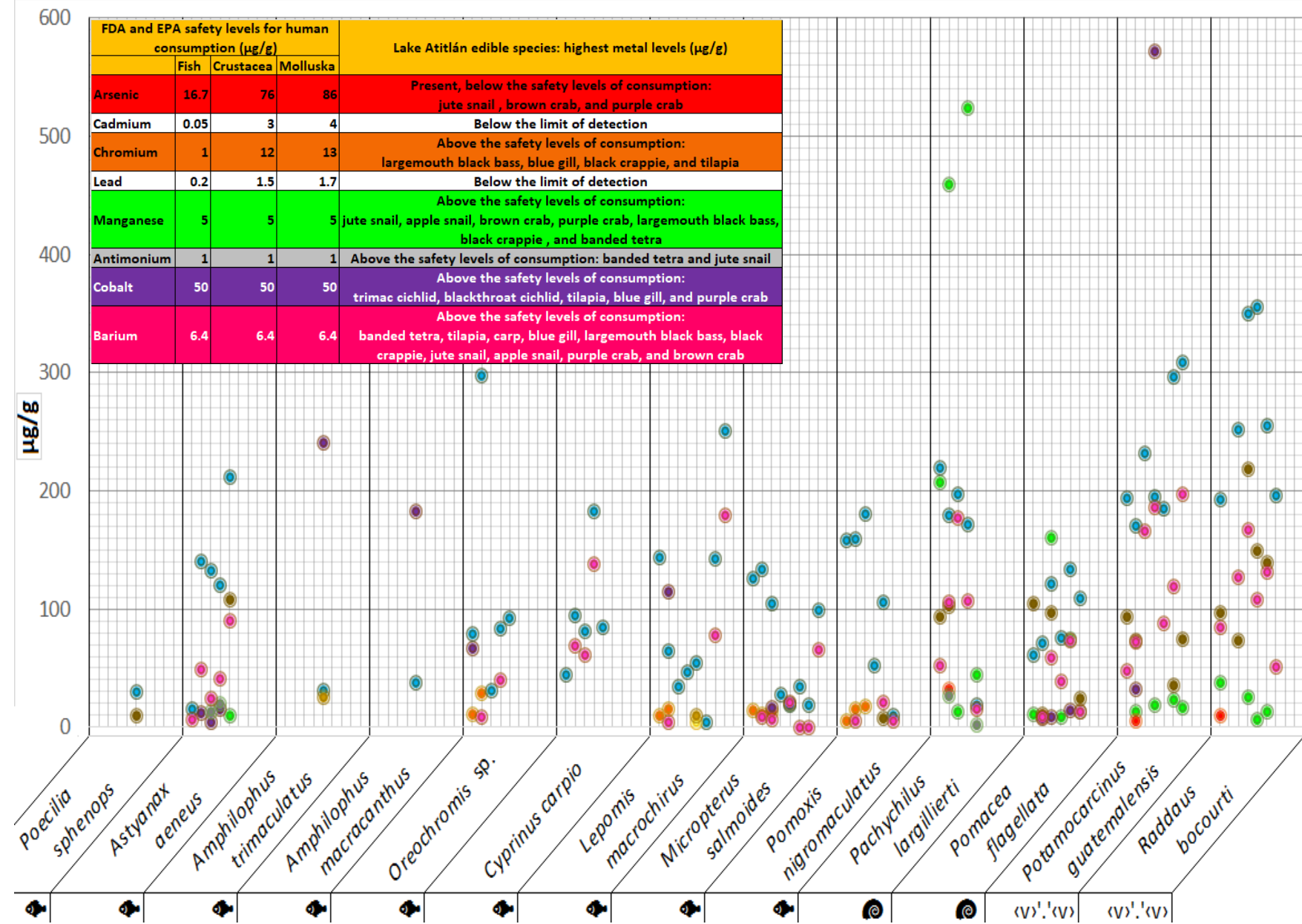
Manganese Concentrations by Location (Sorted)



- Las aguas subterráneas y fuentes hidrotermales de la cuenca muestran concentraciones elevadas de hierro, manganeso y boro que superan los umbrales operativos y agrícolas.
- El manganeso constituye el problema más extendido, mientras que el boro refleja una fuerte influencia geotérmica y el hierro alcanza niveles críticos en pozos localizados.
- Estos patrones evidencian la necesidad de tratamiento o manejo diferenciado antes de su uso en abastecimiento e irrigación.

Comparación con ICP-MS en peces, cangrejos y moluscos del Lago Atitlán

De: *Trophic Ecology and Bioaccumulation of Toxic Metals in Lake Atitlán, Guatemala, Villavicencio (2019)*



V SIMPOSIO INTERNACIONAL
AGUAS CONTINENTALES
DE LAS AMÉRICAS

Conclusiones



V SIMPOSIO INTERNACIONAL
AGUAS CONTINENTALES
DE LAS AMÉRICAS

1. Dinámica Limnológica y Estratificación del Lago (Perfil Weiss G)

- **Anoxia hipolimnética:** El oxígeno disminuye drásticamente bajo los 60 m, generando anoxia en el fondo del lago.
- **Liberación interna de nutrientes:** La anoxia favorece la liberación de hierro y fósforo desde los sedimentos, enriqueciendo el hipolimnion.

2. Degradación de los Ríos Afluentes **de cuenca alta a baja y a través del tiempo (2014 vs. 2025)**

- **Río San Francisco:** Presenta un fuerte aumento de turbidez y nutrientes, reflejando una creciente influencia antropogénica.
- **Río Quiscab:** Registra un enriquecimiento marcado de fosfatos y sedimentos desde la cabecera hasta la desembocadura.
- **Reserva (sitio control):** Mantiene baja turbidez, pero el aumento de fosfatos evidencia una contaminación regional por nutrientes.

3. Presencia y Riesgo de Arsénico (As)

- **Aguas subterráneas:** Los niveles más altos se asocian a fuentes geogénicas e hidrotermales, superando en varios casos los límites de la OMS.
- **Lago y escuelas:** Varias muestras exceden los valores guía para agua potable, representando un riesgo para la salud pública.

4. Concentraciones de Hierro (Fe), Boro (B) y Manganeseo (Mn)

- Las **mayores concentraciones se encuentran en aguas subterráneas y termale**s. El manganeso es el elemento más extendido, mientras que el boro destaca en fuentes hidrotermales específicas.

• Conclusión General

- El Lago de Atitlán funciona como un **sistema acoplado** donde la actividad humana y la geología volcánica favorecen el enriquecimiento de nutrientes y metales, afectando la calidad del agua y la salud del ecosistema.



RECOMENDACIONES Y FUTUROS ANÁLISIS

- **Recomendaciones**

- Fortalecer el monitoreo continuo de ríos, pozos, escuelas y zonas profundas del lago.
- Priorizar tratamiento de agua en sitios con arsénico elevado, especialmente escuelas y pozos de consumo.
- Reducir aportes de fósforo y nitrógeno mediante control de aguas residuales, agricultura y erosión.
- Proteger cabeceras y zonas de recarga, pero también evaluar contaminación química invisible.
- Vigilar fuentes termales y subterráneas antes de usarlas para consumo o riego.
- **Educación ambiental y científica a niños.**
- **Soluciones locales y comunitarias.**



- **Futuros análisis**

- Usar isótopos estables para diferenciar fuentes geogénicas, agrícolas y urbanas.
- Desarrollar mapas de riesgo para arsénico, nutrientes y metales por microcuenca.



V SIMPOSIO INTERNACIONAL
AGUAS CONTINENTALES
DE LAS AMÉRICAS

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!



“I do not give up. Sometimes we cannot completely turn back the clock, but we believe there is still much that can be done to improve the situation.”

— Margaret Dix

Email: hugolvillavicencio@gmail.com



V SIMPOSIO INTERNACIONAL
AGUAS CONTINENTALES
DE LAS AMÉRICAS

Hugo A. Villavicencio

LinkedIn





V SIMPOSIO INTERNACIONAL AGUAS CONTINENTALES DE LAS AMÉRICAS



Autoridad
para el Manejo Sustentable
de la Cuenca del Lago
de Atitlán y su Entorno



UVG
UNIVERSIDAD
DEL VALLE
DE GUATEMALA



CENTRO
DE ESTUDIOS ATITLÁN - CEA -
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES



simposio.atitlan@gmail.com



<https://simposioatitlan.org.gt/>



Encuentranos
en Facebook