



**EL PROYECTO OEA/AE/141:  
TECNOLOGÍAS ECONÓMICAS PARA  
LA DESINFECCIÓN Y  
DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS  
EN ZONAS RURALES DE AMÉRICA  
LATINA**

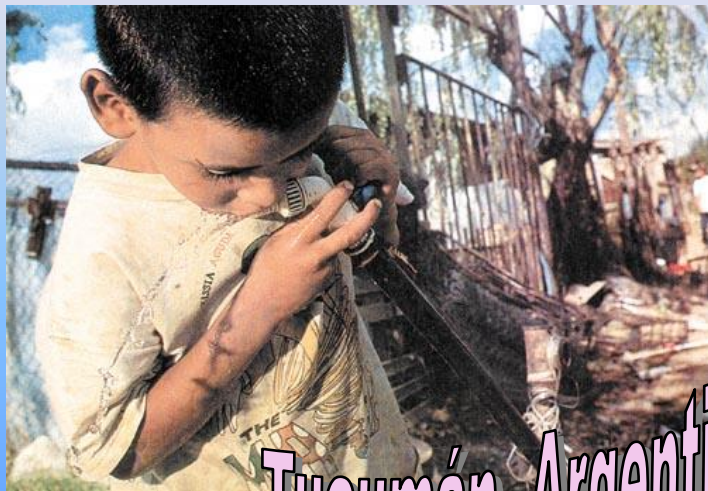
# El problema del agua

- Agua: 70% de la superficie de la Tierra
- Agua dulce: solamente 3% (la mayor parte: agua salada)
- Mucha de ella está congelada (Antártida, Groenlandia)
- Agua dulce para consumo humano: solamente 1%
- 6000 millones de personas dependen de este suministro
- 31 países = 2.800 millones de personas (China, India, Kenya, Etiopía, Nigeria, Perú, etc.) enfrentan problemas crónicos de agua.

**Sólo 1% de toda el agua**

# El problema del agua

Gestión racional del agua:  
uno de los problemas cruciales  
por los que atraviesa  
la región latinoamericana



Tucumán, Argentina

incide gravemente  
en la calidad  
de vida de extensas  
porciones de la población

# Regiones rurales de América Latina

La situación es peor: alrededor del 30% de la población vive:

- ✓ en asentamientos de menos de 2500 habitantes
- ✓ en condiciones de extrema pobreza
- ✓ sin acceso a agua segura
- ✓ se han usado plaguicidas y fertilizantes
- ✓ el ganado bebe agua de las fuentes existentes



Regiones rurales aisladas



# Regiones rurales de América Latina

Problema agravado por:

- Falta de técnicas bien establecidas para la potabilización
- Incidencia de diarrea infantil y enfermedades endémicas fatales (hepatitis, fiebre tifoidea o cólera)

## Diarrea, tífus

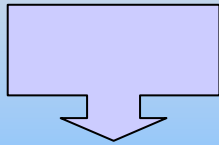


# AS

## El problema del As en agua

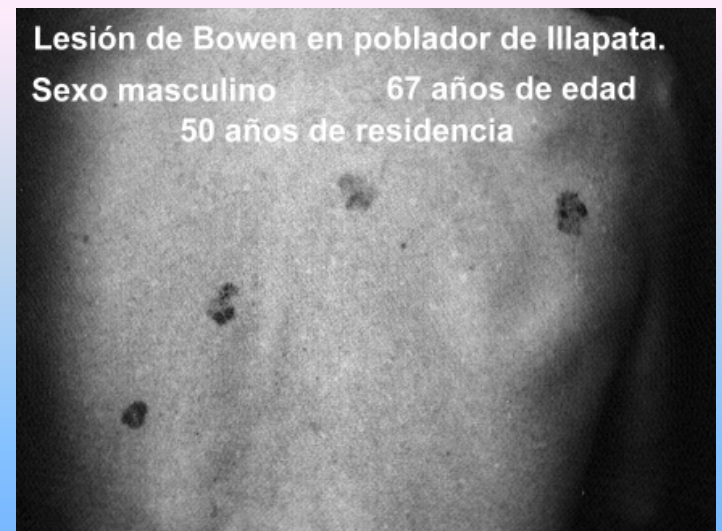
Otro aspecto dramático: presencia de arsénico en aguas subterráneas y cursos  
Argentina, Chile y México: altísimos niveles

As: altamente tóxico y responsable del hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE)

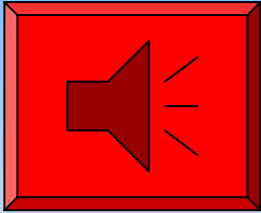


lesiones de la piel y cáncer

# HACRE



# América Latina: mortalidad infantil



La mortalidad infantil por enfermedades derivadas del agua en AL: 80.000 por año (OMS)

**Diarrea, tífus, HACRE**

# Metodologías económicas

Para los habitantes por debajo de la línea de pobreza, el tradicional método de hervir el agua puede no ser una solución adecuada por la posibilidad de ocurrencia de incendios y la escasez de energía.



## Hervir el agua

Tampoco elimina:

- arsénico
- metales pesados
- compuestos orgánicos recalcitrantes



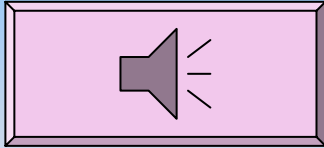
# Tratamientos Convencionales

Metodologías tradicionales extraordinariamente caras

- ósmosis inversa
- coagulación
- precipitación



# El porqué del proyecto:



**Desarrollo de tecnologías simples,  
eficientes y de bajo costo**



Límites indicados por la OMS para agua potable

- Coliformes fecales : 0 UFC
- Arsénico: 0,05 mg/L (0,01 mg/L)

## *Objetivo General de la Propuesta*

Proveer procedimientos simples,  
eficientes, amigables,  
económicos y socialmente aceptables  
para la purificación y desinfección de aguas  
en comunidades aisladas

# Países participantes

## •Argentina:



- ✓ Comisión Nacional de Energía Atómica (M. I. Litter y M. A. Blesa)
- ✓ Universidad de Tucumán (M. del V. Hidalgo y M. C. Apella)



•**Brasil:** Universidad de Campinas (W. F. Jardim y J. R. Guimaraes)

## •Chile:



- ✓ Universidad de Concepción (H. D. Mansilla)
- ✓ Universidad de Tarapacá (L. Cornejo)

## •México:



- ✓ Centro de Investigación en Energía, UNAM (A. Jiménez)
- ✓ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (M. T. Leal)



•**Perú:** Universidad de Ingeniería (J. Rodríguez)

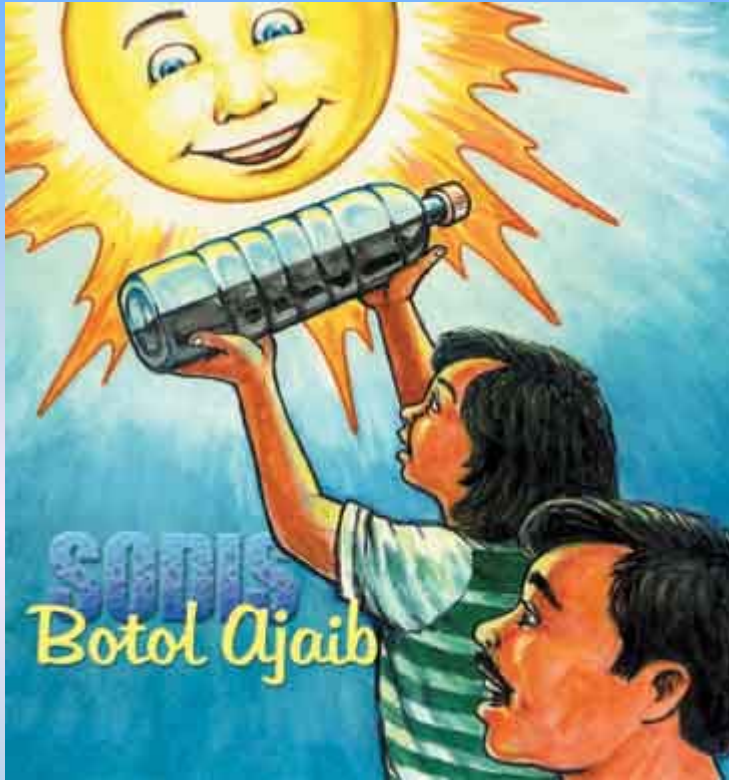


•**Trinidad & Tobago:** University of West Indies (R. Saunders)

# Objetivos específicos del Proyecto OEA/AE/141

- Desarrollo, puesta a punto y aplicación de tecnologías económicas para potabilizar agua en la región
- Establecimiento de una red de laboratorios en fotocatalisis heterogénea
- Establecimiento de contactos con OGs, ONGs y el sector productivo para diseminación de los métodos
- Aumento del conocimiento científico y tecnológico
- Formación de recursos humanos, especialmente en nuevas tecnologías para tratamiento de aguas
- Intercambio de información
- Difusión en general

# Tratamiento en botellas



- Excelentes criterios económicos y de factibilidad:
  - botellas: residuo de consumo habitual
  - se encuentran fácilmente en las regiones que padecen el problema
  - pueden usarse para tratamiento, transporte y consumo final del agua

# Tecnologías propuestas

SODIS

Desinfección Solar de Aguas

SORAS

Remoción de Arsénico por Oxidación Solar

FH

Fotocatálisis heterogénea solar con  $\text{TiO}_2$



# Tecnología SODIS

## *Solar disinfection*

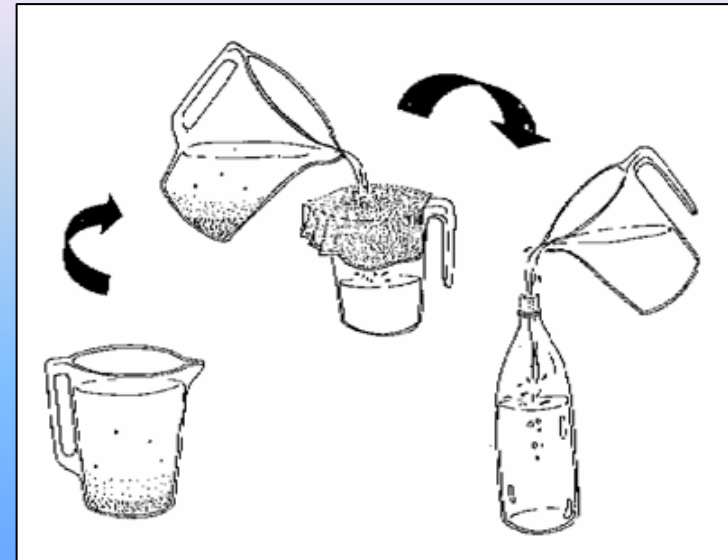
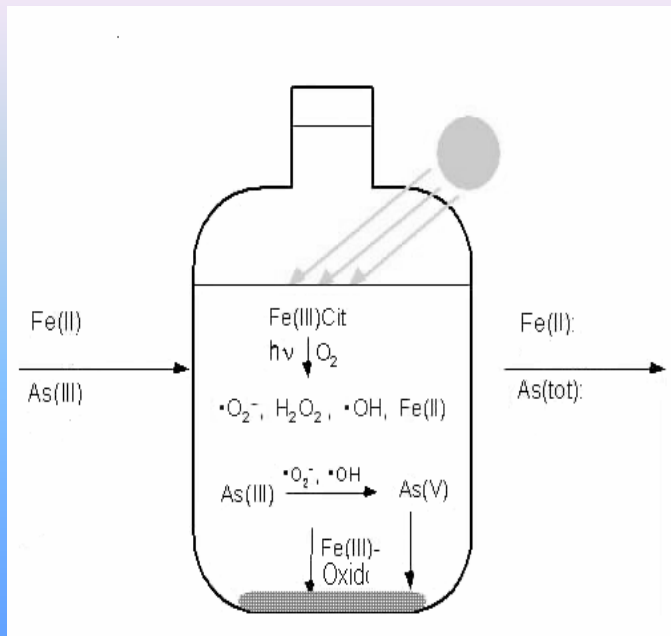
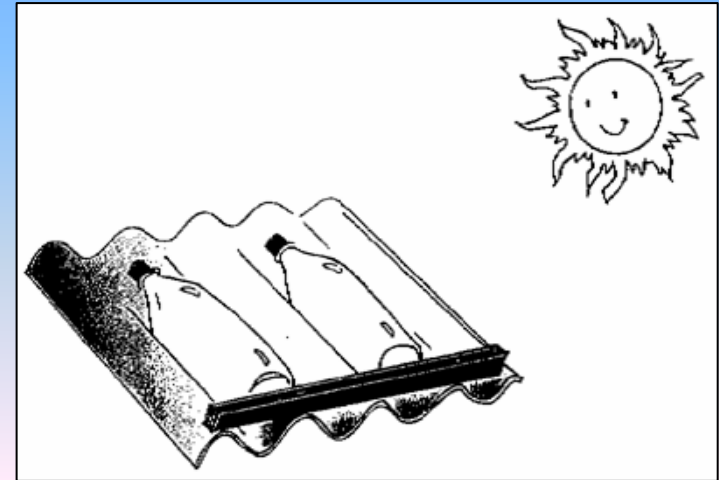


- Exposición al sol de botellas de plástico con el agua contaminada
- Combinación de UV-A (315-400 nm) e IR, 50-55°C
- Destrucción de bacterias y virus (incluyendo *Vibrio cholerae*)

# Tecnología SORAS

## Remoción de Arsénico por Oxidación Solar (SORAS)

- Exposición de botellas plásticas al sol conteniendo agua + jugo de limón + Fe (citrato de hierro) + luz y oxígeno: oxida As(III) a As(V)
- Precipita hidróxido de hierro, el As(V) se adsorbe y floccula
- Botellas en posición vertical durante la noche
- Decantación o filtración (por paños textiles o materiales económicos) del hidróxido de hierro



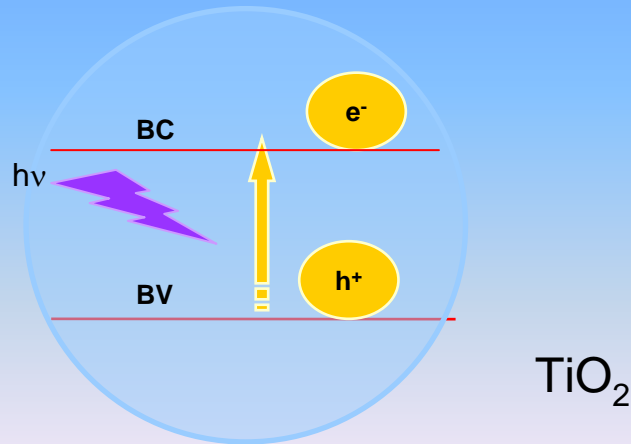
# Tecnología FH

**Contribución especial  
novedosa del proyecto**



- Incluir esferitas, varillas o anillos de vidrio impregnados con  $\text{TiO}_2$  o impregnar el plástico con  $\text{TiO}_2$
- Combinación de UV-A, IR, y FH
- Desinfección y destoxificación simultánea (incluyendo MO, As, etc.)

# Ventajas de FH



- UV/ $\text{TiO}_2$  y calor: formación de especies reactivas ( $\text{HO}^\bullet$ ).
- Desinfección y destoxicación simultánea (MO, As, etc.).
- Destrucción total de los microorganismos (mineralización) sin recrecimiento.
- $\text{TiO}_2$ : muy barato y poco tóxico.
- Pero: inmovilización de  $\text{TiO}_2$  en soportes o en las paredes de las botellas.

# Actividades realizadas

- Relevamiento de comunidades rurales para la aplicación de las tecnologías. Surgieron zonas en base a:
  - características geográficas
  - características demográficas
  - nivel de contaminación de las aguas



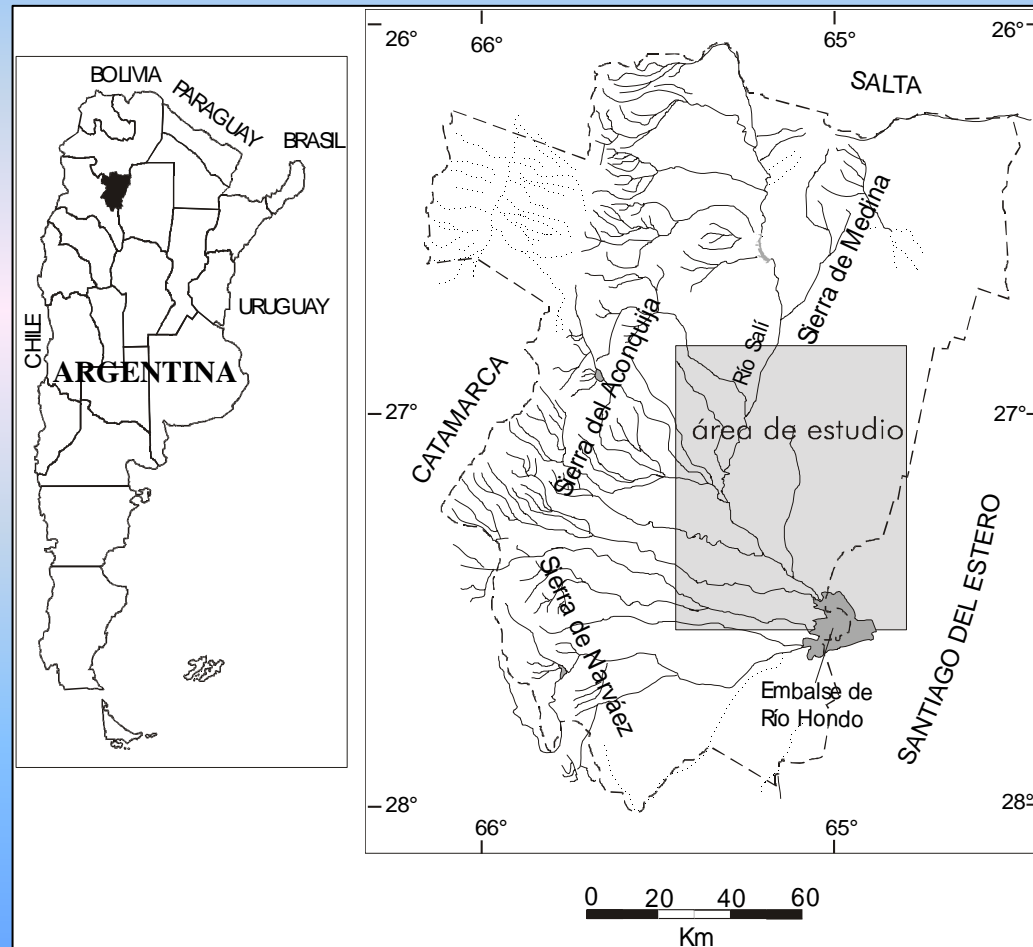
# Relevamiento de comunidades rurales para aplicación de las tecnologías:



## Argentina

### ➤ Los Pereyra, Provincia de Tucumán (NOA)

- Importante red hídrica
- Río Salí colector principal
- Pozos: condiciones de salubridad precarias, contaminación microbiológica
- Altos niveles de As e incidencia de HACRE
- Fácil acceso
- Proximidad de grupos técnicos (UNT)
- Apoyo de autoridades locales



# Brasil

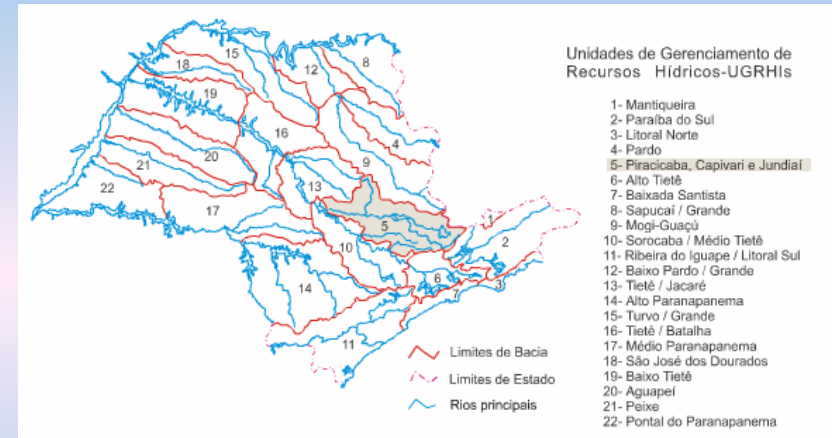


## Relevamiento de comunidades rurales para aplicación de las tecnologías

➤Município de Paulínia (Río Atibaia, Industrias Químicas Rhodia)

### Río Atibaia:

- enorme importancia para la región
- principal fuente de agua potable de Campinas
- alta carga de residuos domésticos y contaminación biológica
- próximo a la Universidad de Campinas
- muchas personas no atendidas por la red de distribución de agua.



# Brasil



## Relevamiento de comunidades rurales para aplicación de las tecnologías

### Paraíba (NE)



- recolección de agua para consumo doméstico.
- fuentes de contaminación ocasionadas por los mismos usuarios (entrada de carros al agua, bañistas) y por los animales.
- fácil acceso.
- proximidad a la Universidad Federal de Campina Grande.





# Chile

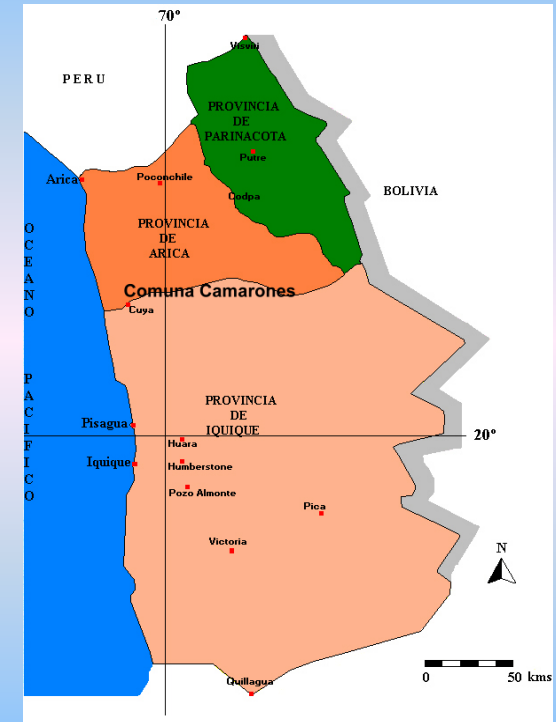
## Relevamiento de comunidades rurales para aplicación de las tecnologías



➤ Comuna rural de Camarones (Arica, región norte)



- Alta incidencia de HACRE.
- Poblados dispersos y aislados no conectados a red de agua potable.
- Condiciones socioeconómicas desfavorables.
- As  $\approx$  1,0 mg/L.
- Vías de acceso limitadas.
- Contactos con autoridades, funcionarios y representantes de la comunidad.



# México

## Relevamiento de comunidades rurales para aplicación de las tecnologías:



### ➤ Sierra de Huautla, estado de Morelos



- Población dispersa y de bajos recursos.
- No existe infraestructura para potabilización del agua.
- Arsénico (0,5-0,7 mg/L).
- Coliformes fecales por encima de límites.
- Presencia de virus.
- *Vibrio cholerae* no cultivable en Jojutla.



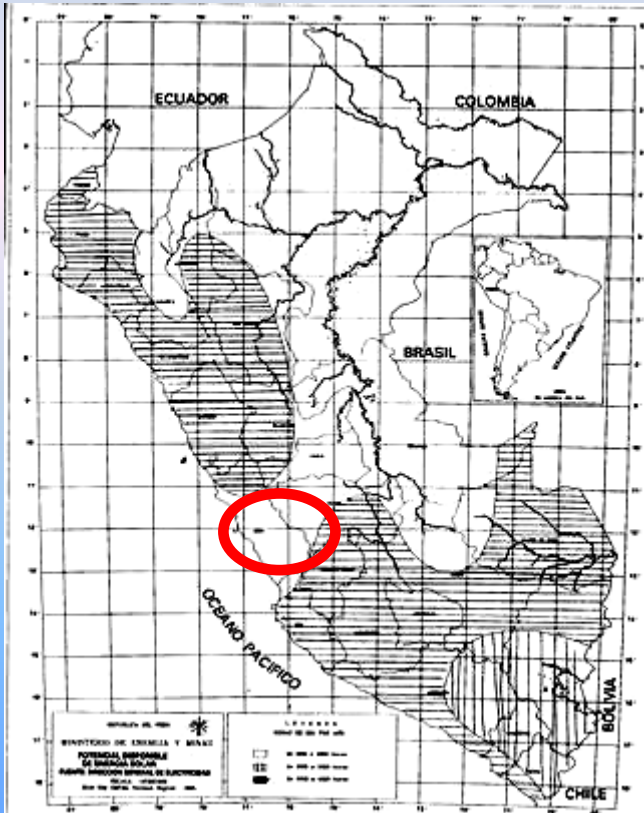
# Perú

## Relevamiento de comunidades rurales para aplicación de las tecnologías:



Dos zonas

- Tambo Pariachi, Huaycán
- Huaraz (región norcentral de Perú, 400 Km. de Lima)



### Tambo Pariachi

- Cercano a Lima.
- Sin sistema público de agua potable.
- El agua se usa para consumo humano.
- Alta concentración de coliformes.

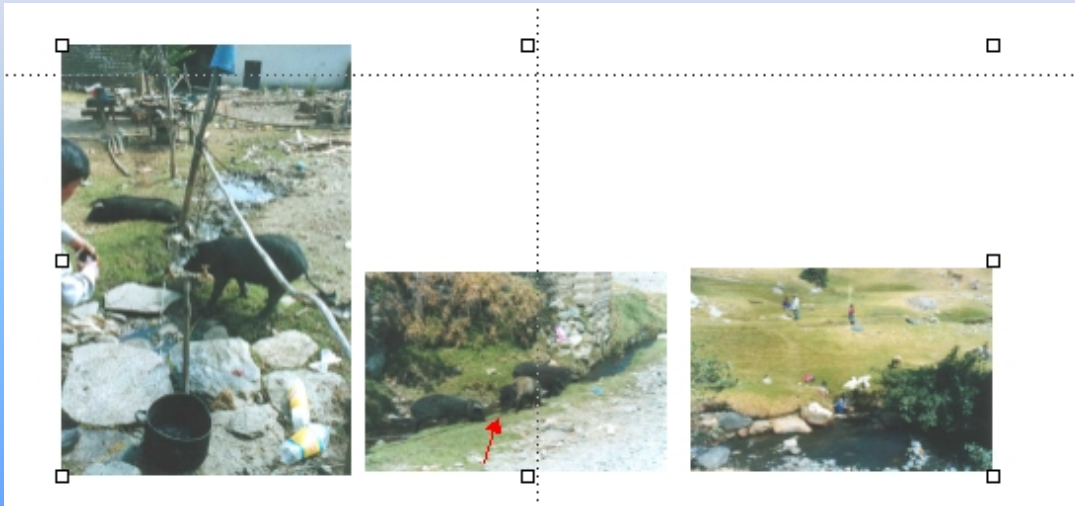
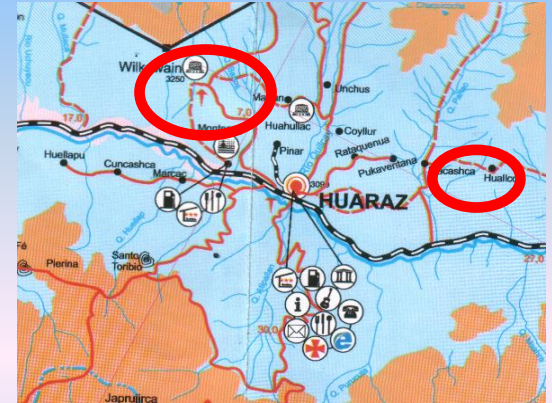
# Perú

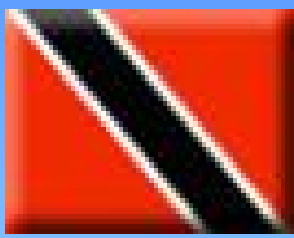
## Relevamiento de comunidades rurales para aplicación de las tecnologías:



➤ Huaraz (región norcentral, 400 km de Lima)

- Sin infraestructura sanitaria.
- Carga microbiana considerable.
- Actividades agrícola-ganaderas.
- Alta radiación solar.





## Relevamiento de comunidades rurales para aplicación de las tecnologías:

# Trinidad & Tobago

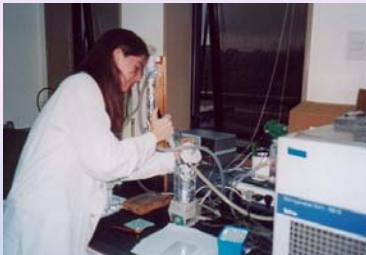
Mayaro, Manzanilla y Guayaguayare, costa este de la isla de Trinidad, rodeada por el Océano Atlántico.

- Actividades: pesca, cultivo agrícola, perforación de hidrocarburos.
- Agua de red potable, pero contaminación fecal en el agua de lluvia recogida para uso doméstico.
- Alta radiación solar.
- Popular destino ecoturístico: efluentes de hospedajes, serio riesgo ambiental.
- Acuerdos verbales con funcionarios locales.
- Disposición generalizada de los residentes locales para cooperar.



# Actividades realizadas

- Validación de SODIS, FH y RAOS en laboratorio y en aguas reales



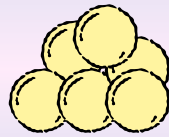
En laboratorio



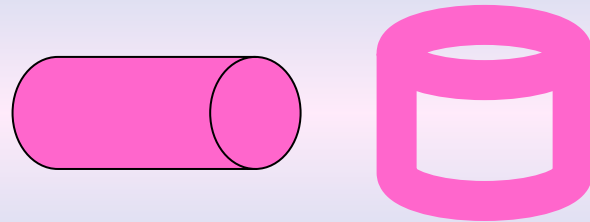
En aguas reales

- Fijación del catalizador soportado ( $\text{TiO}_2$ ) para FH

# Fijación de $\text{TiO}_2$ en superficies



Esferas de  
porcelana



Varillas de vidrio y anillos  
Raschig

# Fijación de $\text{TiO}_2$ a botellas de PET

Botellas comerciales comunes, de agua mineral o refrescos



1500 o 600 mL

- muy barato: suspensión de  $\text{TiO}_2$  en agua a pH 2,5 ( $\text{HClO}_4$ )
- Agitación para obtener una película homogénea sobre la pared.
- Drenaje de la suspensión remanente.
- La botella se deja invertida.
- Secado a temperatura ambiente por 24 hs.

película de  $\text{TiO}_2$  muy estable y fácil de preparar



# Validación de SODIS y FH

- Ensayos de SODIS y FH en botellas de bebida comunes.
- Ejemplo: pozos someros de Los Pereyra, Tucumán, Argentina.
- Eficiencia para abatir la contaminación microbiológica (filtro de membrana para coliformes totales y fecales).
- Eficiencia para destruir contaminantes químicos.

# Ensayos SODIS y FH

Dos pozos de Los Pereyra Sur, Tucumán, Argentina: 27° 0'30'' S; 64° 54'54'' O

Ensayos	Muestras					
	J <sub>1</sub> (6 m profundidad)			J <sub>2</sub> (18 m profundidad)		
	Conteo inicial	Conteo residual SODIS	Conteo residual FH	Conteo inicial	Conteo residual SODIS	Conteo residual FH
<b>Coliformes totales (UFC/100 mL)</b>	$2,3 \times 10^5$	0	0	$8,5 \times 10^4$	0	0
<b>Coliformes fecales (CFU/100 mL)</b>	$9,2 \times 10^4$	0	0	$5,2 \times 10^4$	0	0

TiO<sub>2</sub> en la pared

Con FH no hubo  
recrecimiento

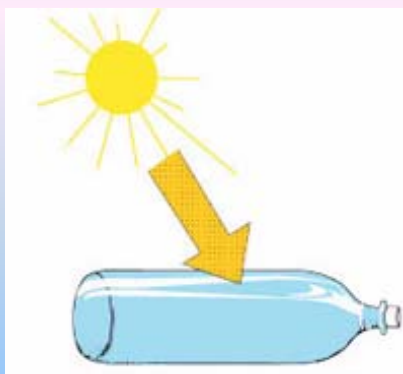
Se obtuvieron  
resultados similares  
en Brasil

Intensidad de radiación solar: 6 W m<sup>-2</sup>; tiempo de exposición: 4 hs.

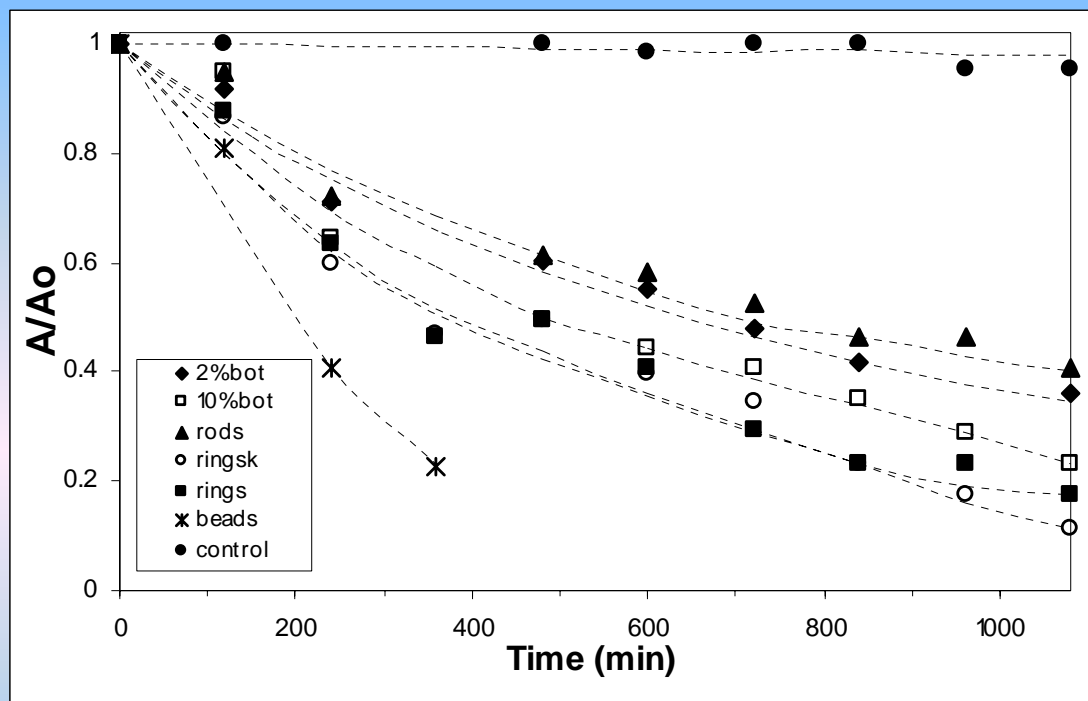
Volumen irradiado: 1 L en botellas de 1,5 L.

# Degradación de 4-clorofenol en botellas recubiertas con $\text{TiO}_2$

- 4-CP 0,2 mM
- pH<sub>0</sub> 3,  $\text{HClO}_4$
- Intensidad de luz UV promedio a 365 nm:  $5,9 \text{ W/m}^2$ .



Tiempo de irradiación: 18 hs.

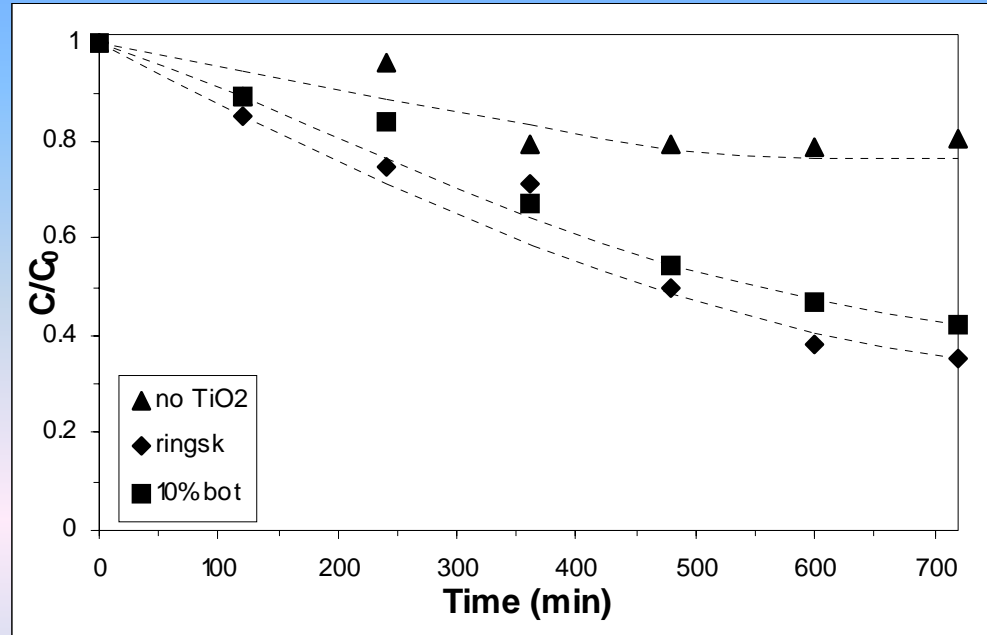


Mejor degradación:  
90%

iiiEn el invierno de Buenos Aires ( $34^\circ 38' \text{ S}$ ,  $58^\circ 28' \text{ O}$ )!!!

# Degradación de 2,4-D en botellas

- 2,4-D 0,5 mM
- pH<sub>0</sub> 6,8
- Intensidad de luz UV promedio a 365 nm: 5,3 W/m<sup>2</sup>.



Tiempo de irradiación: 12 hs.

Mejor degradación: 65%

Reducción de TOC: 29%

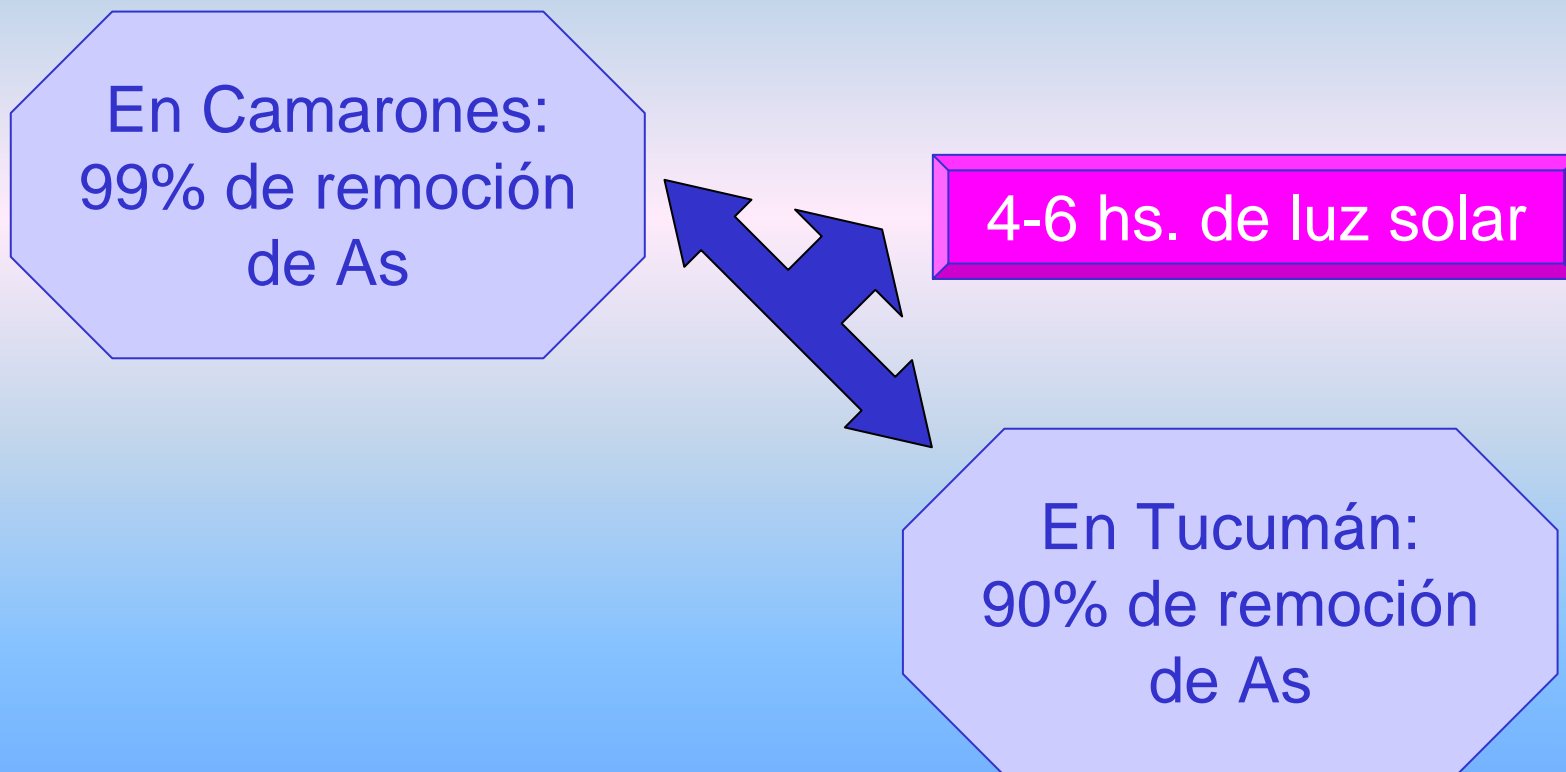
iii En el invierno de Buenos Aires (34° 38' S, 58° 28' O)!!!

## Resultados de validación de SODIS y FH

- Ambos son buenos para la desinfección de agua.
- Ventaja de FH: las especies de oxígeno reactivas dañan (mineralizan) las bacterias, sin recrecimiento.
- Se puede oxidar y mineralizar 4-CP y 2,4-D.
- FH: efectivo para eliminar la contaminación microbiológica y química (MO, As).

# Validación de SORAS, ensayos en botellas plásticas

Mejores condiciones: luz solar, moderada [Fe], muy baja [ácido cítrico].



## Resultados de validación de SORAS

- Dependiente de la matriz del agua.
- Modificación de acuerdo a cada localidad.
- Fe: debe agregarse externamente usando minerales locales o elementos típicos (pelitas, alambre de enfardar).
- Ácido cítrico: esencial para transformar As(III) en As(V) bajo la luz solar.
- Eficiencia de especies de limón: los limones verdes sin semilla han sido los mejores en Arica.

# Trabajando en Argentina

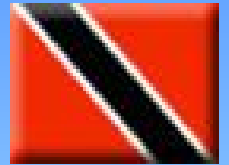




# Trabajando en Brasil



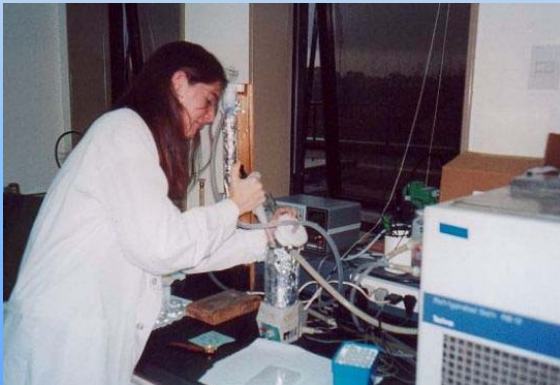
# Trabajando en Trinidad & Tobago



# Logros

## Formación de recursos humanos

- Participación y capacitación de alrededor de más de 15 profesionales y estudiantes-
- Entre 10 y 15 trabajos de grado, maestrías y tesis doctorales en temas relacionados con el proyecto.



**Formación de RR.HH.**



# Logros

**Culminación del relevamiento  
validación de tecnologías**

## Cuatro libros

1. “Relevamiento de Comunidades Rurales de América Latina para la aplicación de Tecnologías Económicas para Potabilización de Aguas”, 2002.
2. “Desinfección solar de aguas en comunidades rurales de América Latina”, 2003.
3. “Remoción de arsénico asistida por luz solar en comunidades rurales de América Latina”, 2003.
4. “Avances en tecnologías económicas solares para desinfección, descontaminación y remoción de arsénico en aguas de comunidades rurales de América Latina (métodos FH y RAOS)“, 2004.

# Logros

## Facilidades para FH

- Establecimiento de una red regional de laboratorios de referencia con facilidades fotocatalíticas demostrativas.
- Folleto de capacidades y laboratorios de referencia.

**Laboratorios de referencia**

# Logros

## Difusión

- En ambientes académicos
  - artículos
  - reuniones científicas
  - conferencias
  - cursos
- En medios de comunicación
  - notas en periódicos de América Latina y España
  - entrevistas radiales y televisivas
  - página web
- Contactos con:
  - técnicos (médicos)
  - cooperativas
  - Funcionarios (Secretaría de Ambiente en Argentina)



# Logros

## Escuelas y congresos más importantes

- Escuela de Tecnologías Avanzadas de Oxidación (Concepción, Chile, septiembre de 2002, 52 diplomas de asistencia)
- Encuentro de Procesos Avanzados de Oxidación, Campinas, Brasil, octubre 2003.
- Encuentro sobre uso y resultados de la aplicación de las tecnologías, CAC, CNEA, noviembre 2004 (participación de la industria, ONGs, científicos y tecnólogos)
- V Seminario CYTED, Buenos Aires, abril 2005
- Solar Energy Congress 2005 (agosto 2005, Orlando, USA)
- Curso y Simposio SOLARSAFEWATER: El Desafío de la Provisión de Agua Potable Segura: Tecnologías para la Región de Latinoamérica. Puerto Iguazú, Argentina, octubre 2005.
- SOLARSAFEWATER: Reunión Proyecto SOLWATER (UE), Buenos Aires, octubre 2005.

# Actividades a realizar

## Aplicación de la tecnología apropiada en las comunidades

Incluye:

- Viajes de campaña
- Acciones coordinadas con las autoridades
- Campañas de esclarecimiento de la población
- Establecimiento de una red de intercambio de información (pág. web)



# Actividades a realizar

## Diseminación de las tecnologías

Campañas en colaboración con gobiernos y ONGs: iniciadas

Camarones (Arica, Chile):  
apoyo explícito de la  
alcaldesa

Fundación SODIS  
(Cochabamba, Bolivia):  
Acuerdo firmado en mayo  
de 2005.

Tucumán (Argentina):  
apoyo de las autoridades y  
de los vecinos de las  
localidades

# Actividades a realizar

- Diseminación de los métodos
- Educación de la población
- Difusión en:
  - organismos gubernamentales
  - empresas
  - población en general

**Científicos**

**ONGS**

Esta es quizás la etapa más difícil del proyecto

# Conclusiones

Un profundo conocimiento de la interacción de la luz solar con agua, sustancias y bacterias

Tecnologías extremadamente simples y de bajo costo, basadas en el uso directo de la luz solar

# Conclusiones

Uso directo de la radiación solar  
para satisfacer las necesidades  
básicas de las poblaciones rurales  
pobres

con un uso sostenible de los  
recursos



**¡Muchas gracias por la atención!**

<http://www.cnea.gov.ar/ambiental/agua-pura>

[litter@cnea.gov.ar](mailto:litter@cnea.gov.ar)