



## **Desinfección de agua por fotocatalisis solar**

**S. Gelover, M. T. Leal, K. Reyes y L. Gómez**  
**Subcoordinación de Calidad del Agua**



## AGUA MICROBIOLÓGICAMENTE INSEGURA



- Ocasiona problemas de salud y económicos.
- Acarrea enfermedades como hepatitis, diarreas, tifoidea, cólera, amibiasis, etc.
- Las enfermedades infecciosas del tracto intestinal son transmitidas a través de excretas de humanos y animales de sangre caliente.
- En México, la carencia de sistemas de conducción y tratamiento de aguas residuales, se acentúa en zonas indígenas y rurales.
- Cada año mueren casi 3 millones de seres humanos, en su mayoría niños, por enfermedades asociadas a las diarreas (OMS).

## Desinfección de agua

- Proceso que se utiliza para eliminar microorganismos del agua que pudieran causar enfermedades.

### Técnicas de desinfección de agua

- Ebullición, pasteurización, filtración, cloración u otros compuestos químicos, ozonización, radiación ultravioleta y desinfección solar del agua (SODIS).

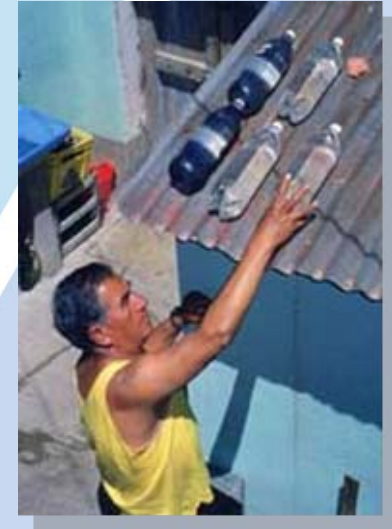
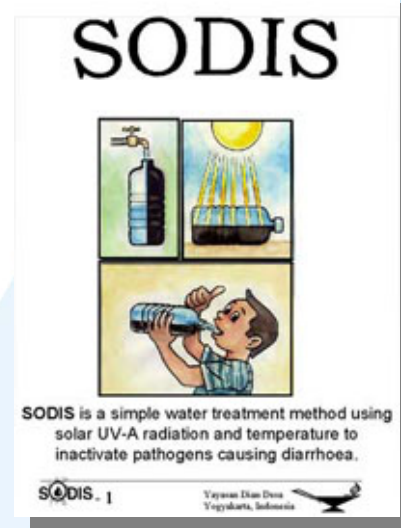


## Antecedentes: SODIS

- Utiliza (Luz UV e Infrarrojo) para destruir bacterias y virus patógenos en el agua.
- Usa botellas de plástico, las cuales se exponen al sol, sobre material reflejante de luz UV.

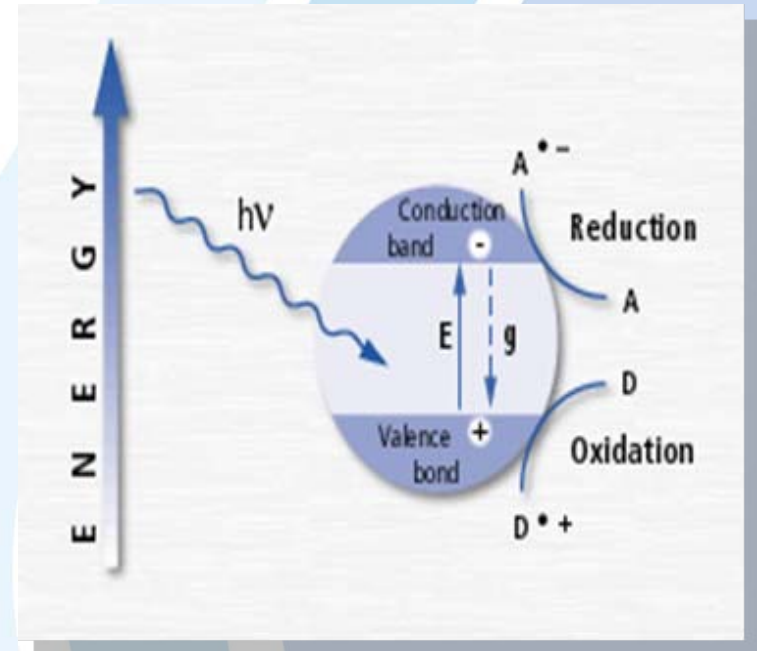
### Limitantes:

- Suficiente radiación solar
- Tiempos prolongados de exposición
- Agua sin turbiedad
- No cambia la calidad química del agua
- No puede usar grandes volúmenes.



## Fotocatálisis heterogénea

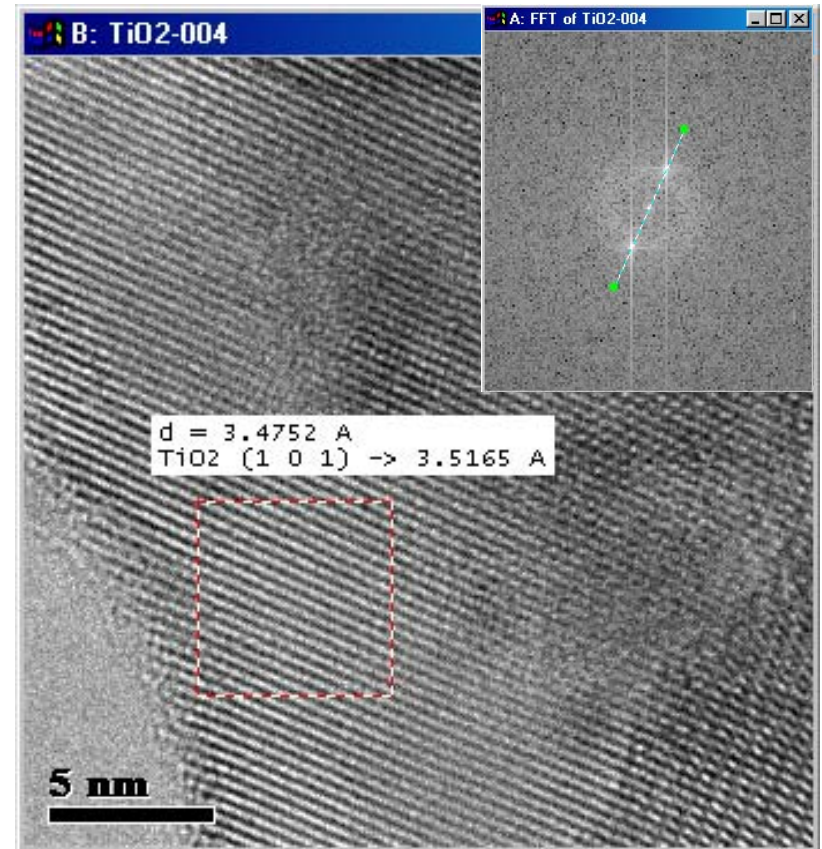
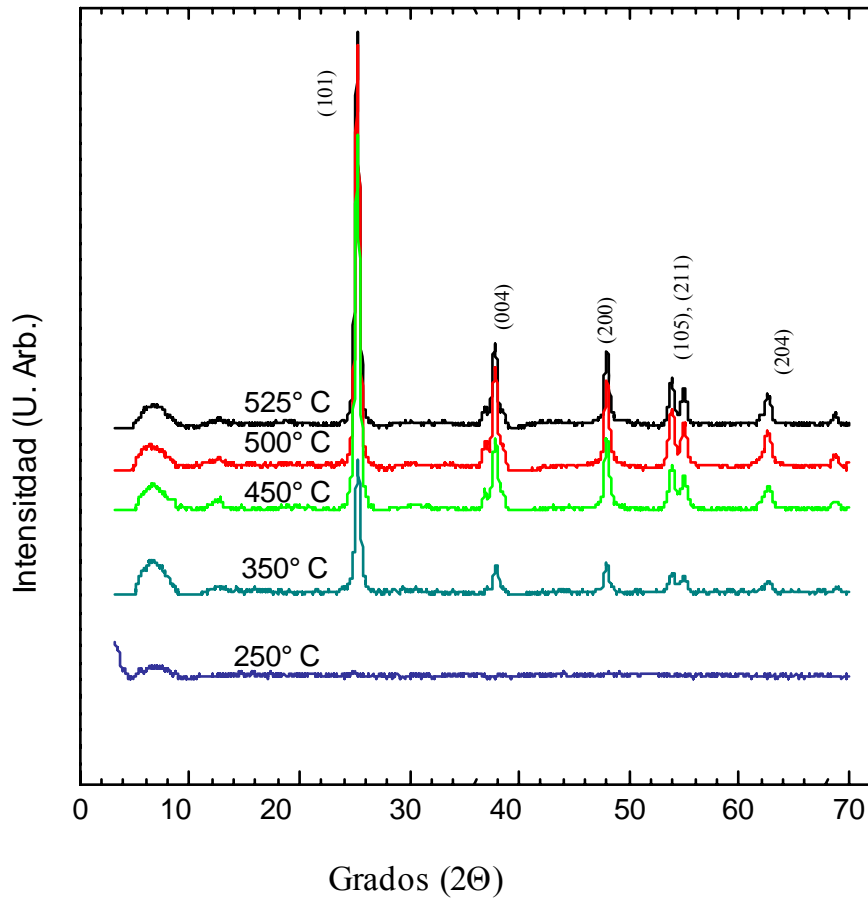
- Proceso promovido por energía ultravioleta, que al actuar sobre un semiconductor ( $\text{TiO}_2$ ), desarrolla reacciones de óxido-reducción, que modifican las especies a su alrededor.
- El blanco de acción son especies inorgánicas y orgánicas. Esto permite su acción sobre microorganismos patógenos.



## El catalizador

- El  $\text{TiO}_2$  se fijó sobre anillos de vidrio Pyrex para facilitar su uso
- Depósito por inmersión en un sistema sol-gel usando isopropóxido de titanio como precursor
- Sinterizado a  $500^\circ \text{C}$  (anatasa).
- Enjuague exhaustivo con agua deionizada.





- Fase cristalina: anatasa
- Espesor: 600 nm

Tamaño de grano: 15 nm  
Fotosensibilidad:  $3.32 \times 10^2$



## Desinfección de agua



Agua de buena calidad fisicoquímica, bajo contenido de materia orgánica pero microbiológicamente insegura.

## Desinfección en dos sistemas.

- Sistema estático: botellas en un colector simple de paredes planas

SODIS

SODIS+  $\text{TiO}_2$  inmovilizado en cilindros de vidrio Pyrex



- Sistema semicontinuo: colector tipo cpc, utiliza dos sistemas catalíticos:

$\text{Ru (II)}$  y  $\text{TiO}_2$  inmovilizado (papel Arshtrum), simultáneamente.



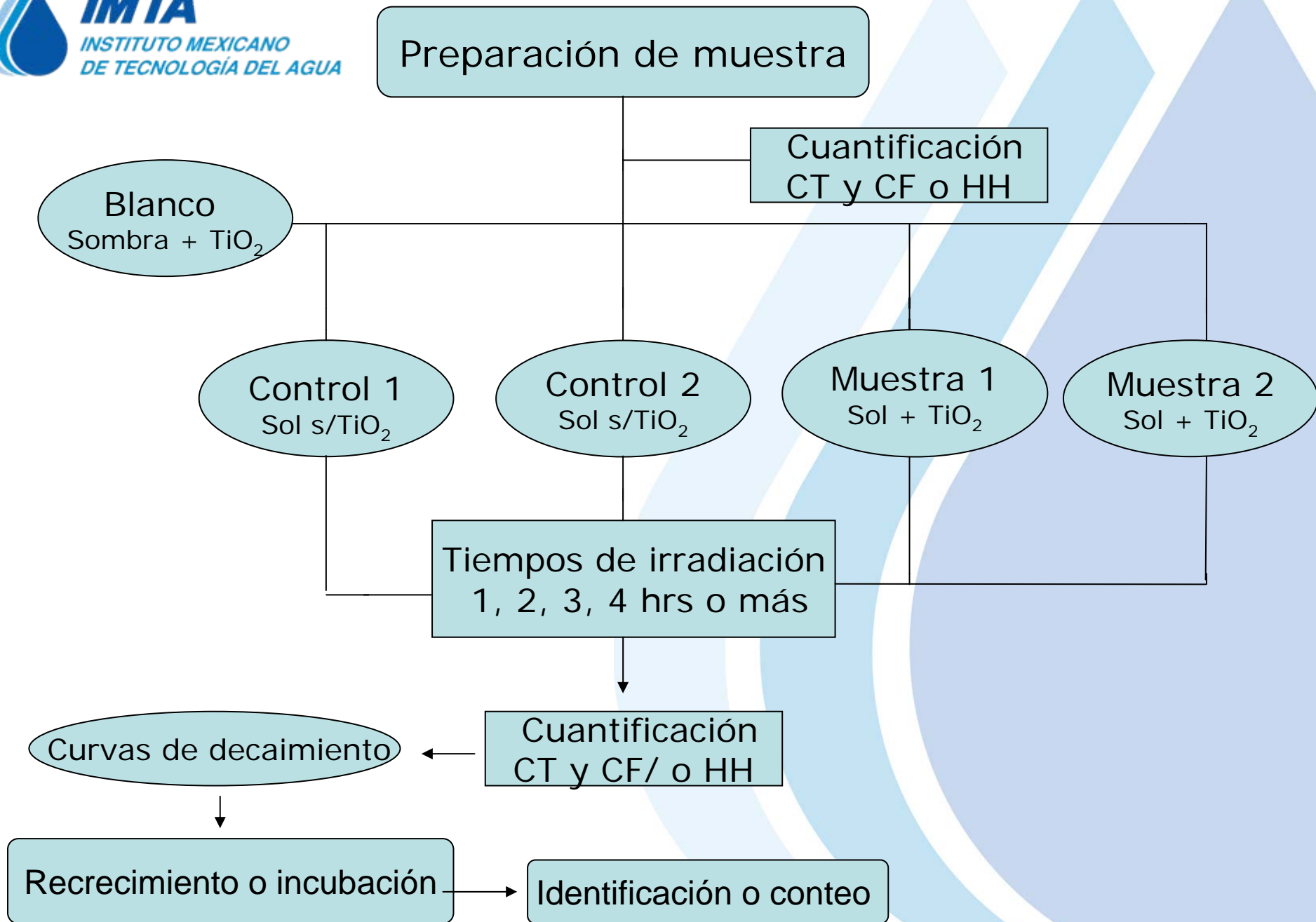
## Objetivos

- Determinar el grado de seguridad microbiológica que ofrece el agua sometida a un proceso de desinfección por fotocátalisis heterogénea.
- Comparar la eficiencia del proceso de desinfección solar de agua, por medio de fotocátalisis heterogénea con dióxido de titanio, contra el proceso SODIS.
- Determinar el grado de recrecimiento microbiano en agua desinfectada mediante SODIS y fotocátalisis heterogénea (FH).

## Indicadores microbiológicos

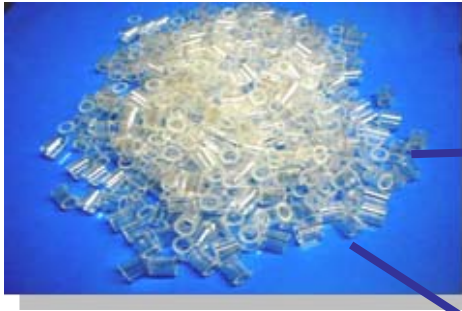
- Indican el estado microbiológico del agua.
- Entre los más representativos para indicar contaminación fecal se encuentra el grupo de coliformes, además parásitos como *Giardia* y *Entamoeba*.
- También se usaron huevos de helminto, aislados de una descarga de agua residual



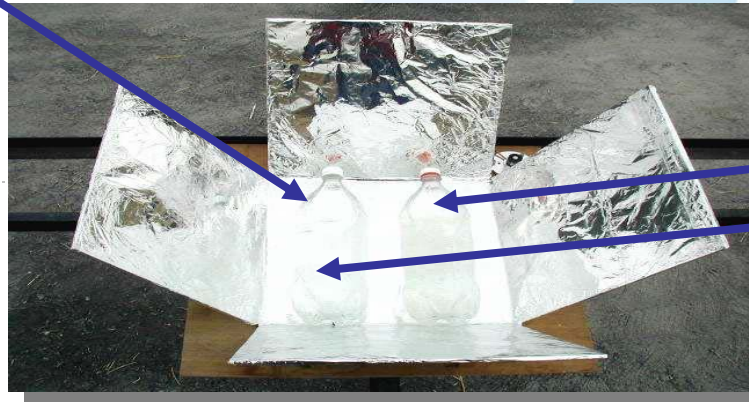


# Irradiación solar

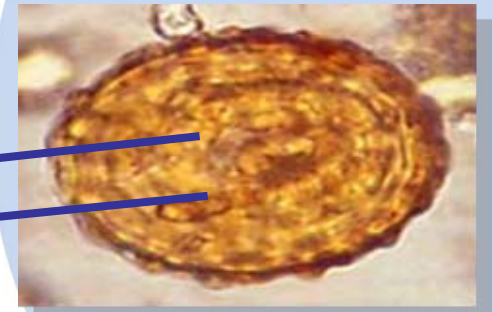
Agua de manantial  
(Coliformes fecales,  
totales + *Pseudomonas  
aeruginosa*)



Anillos de vidrio  
con  $\text{TiO}_2$  inmovilizado

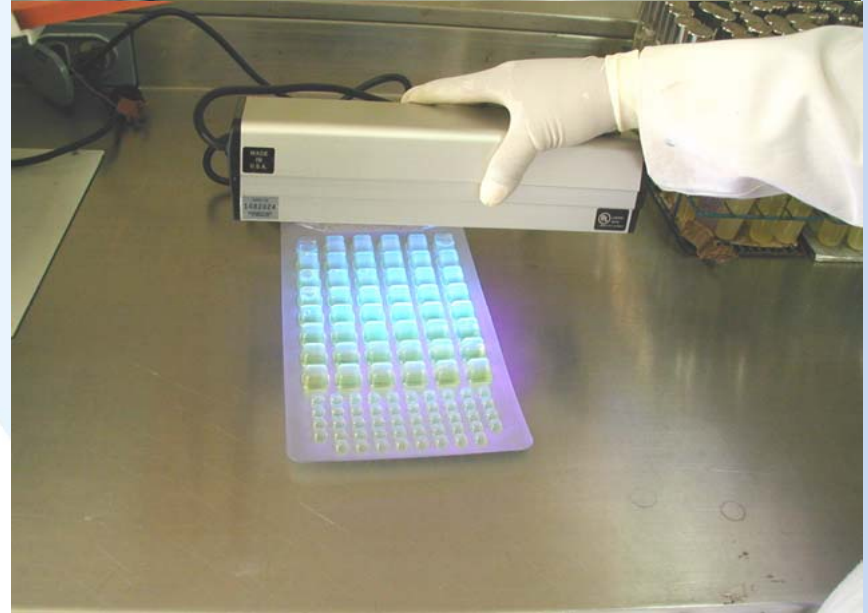


Botellas de plástico en  
concentrador solar simple  
(Fotocatálisis solar y SODIS)



Huevos de helminto  
para los experimentos







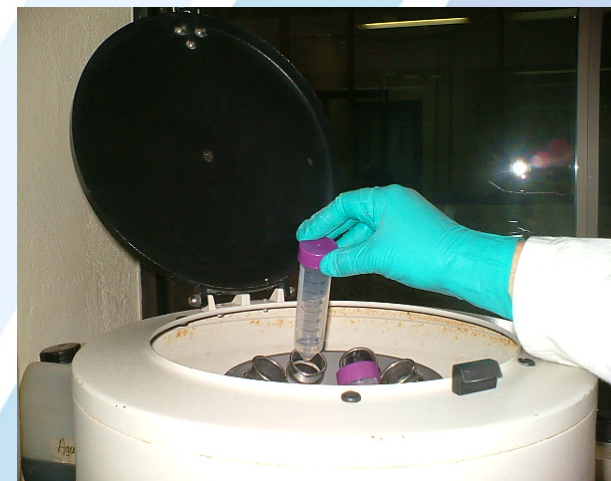
# Cuantificación de huevos de helminto



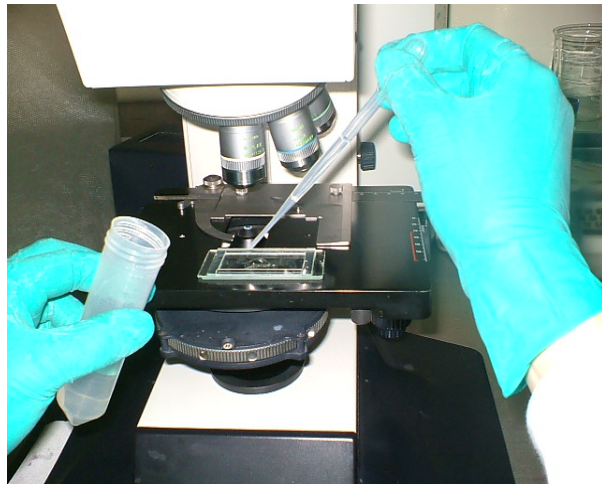
Aspirado después de sedimentación



Lavado de los anillos



Centrifugado para concentrar los huevos de helminto



Toma de muestra en cámara Sedgwich-Rafter



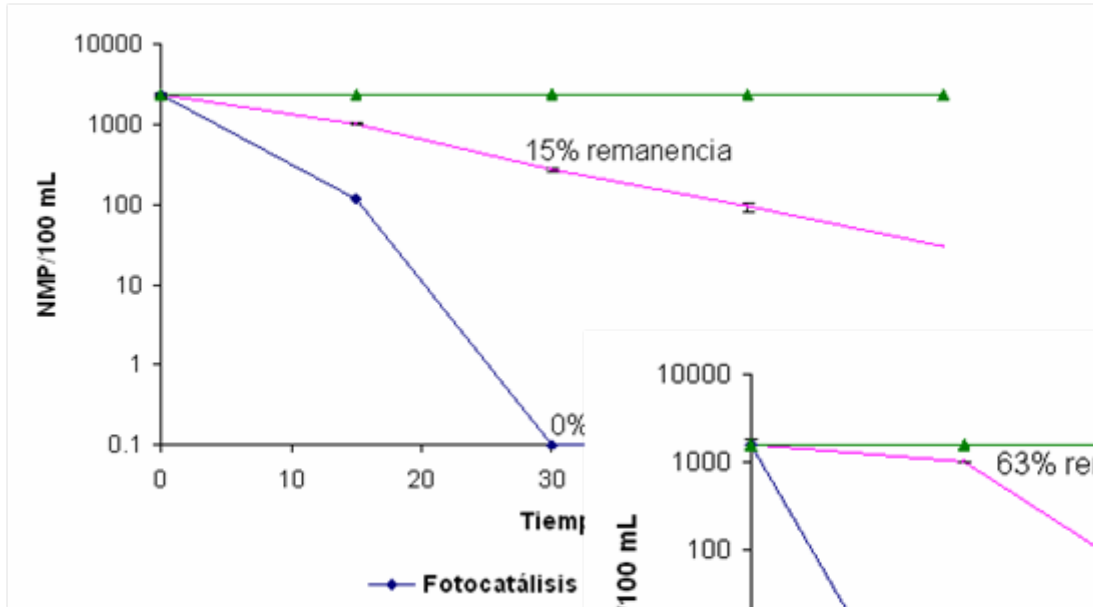
Conteo e identificación de HH al microscopio de contraste de fases



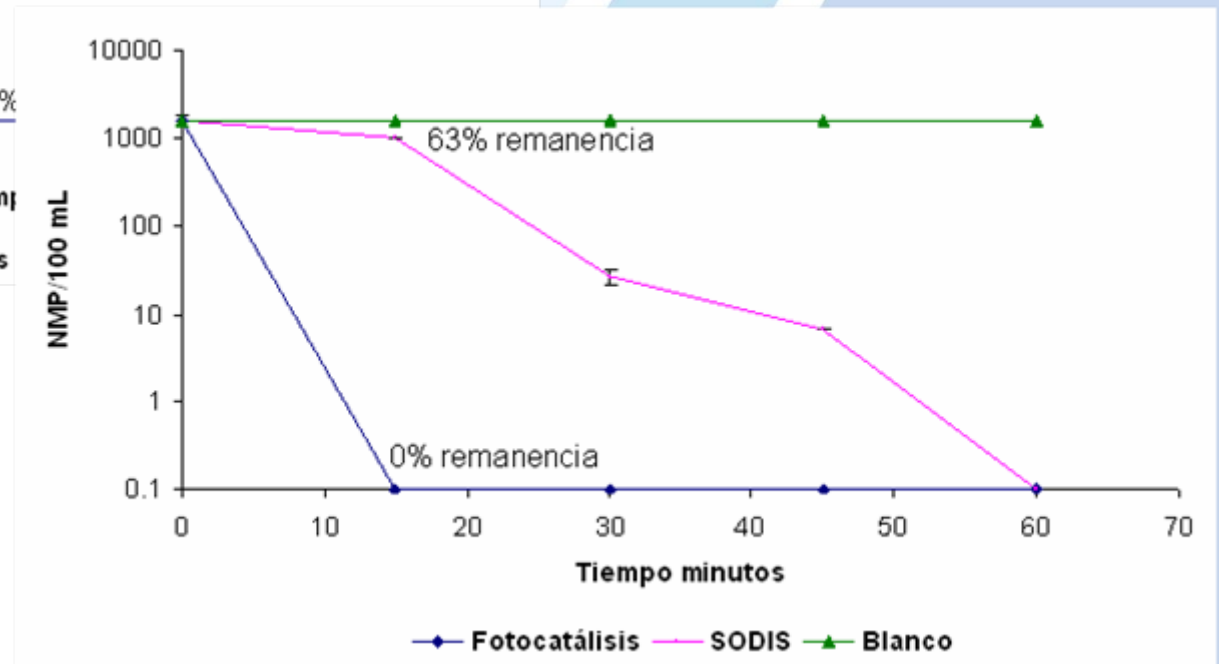
Incubación de HH (26° C/ 30 días)



# Resultados



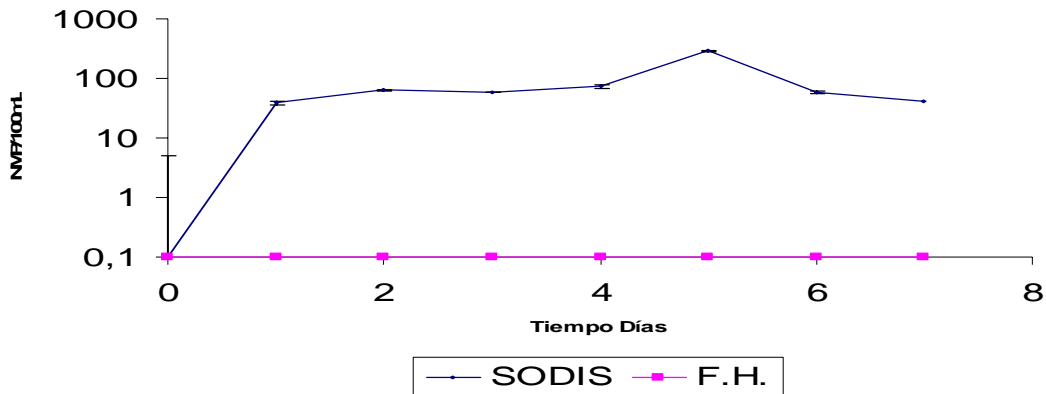
Coliformes totales



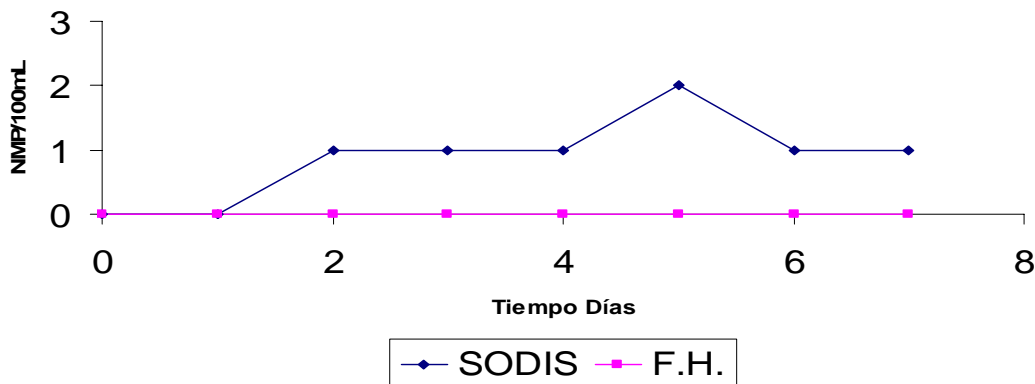
Coliformes fecales

# Resultados

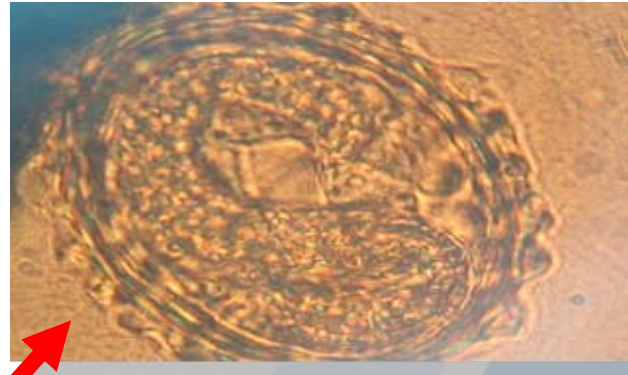
**Recrecimiento Coliformes Totales**



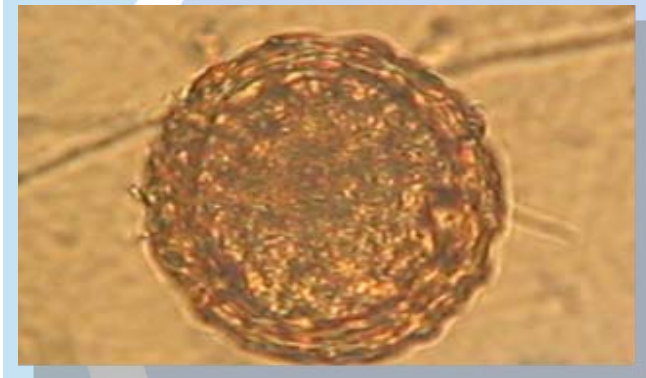
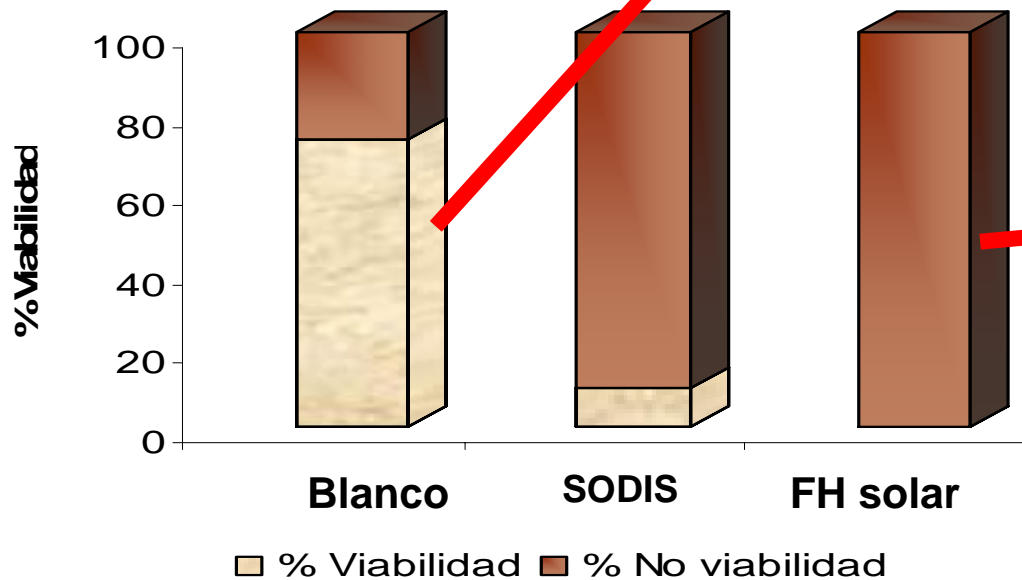
**Recrecimiento Coliformes Fecales**



Se identificaron especies como *Enterobacter cloacae*, *Rhanella aquatillis* y *Klebsiella terrigena* como responsables del recrecimiento



Huevo larvado de *Ascaris spp.*  
(viable)



Huevo no larvado de *Ascaris spp.*  
(no viable)

Viabilidad de huevos de helminto tras 6 horas de desinfección por fotocatalísis y SODIS

## Objetivos

- Determinar la capacidad de un sistema secuencial de desinfección por oxígeno singlete (Ru(II)) y  $\text{TiO}_2$  inmovilizado sobre papel de Arhmstrom.





## Metodología

- Se trabajó con 18 L de agua de manantial
- Recirculación por 4 h
- Se midieron coliformes fecales, totales y mesófilos aerobios
- Características fisicoquímicas







## Aislamiento de bacterias en medios selectivos



## Identificación por pruebas bioquímicas API 20-E



## Conclusiones

- En las condiciones probadas, las películas de  $\text{TiO}_2$ , han sido eficientes para la desinfección de agua
- Han permitido la eliminación de coliformes fecales, totales y *Pseudomonas aeruginosa*.
- Los coliformes pueden ser inactivados en menos de una hora. La inactivación de *Pseudomonas* requiere mayores tiempos de exposición (2.5 hrs).
- Se ha logrado la pérdida total de viabilidad de huevos de helminto.

## Conclusiones

- El aprovechamiento de la energía solar en el proceso de desinfección se potencia con la aplicación del dióxido de titanio.
- El uso de dióxido de titanio inmovilizado permite reutilizar fácilmente el catalizador, lo que representa una ventaja de esta tecnología alternativa.
- El tratamiento con  $\text{TiO}_2$  supera al tratamiento SODIS en su capacidad de inactivación de coliformes, ya que no se observa recrecimiento.

# Conclusiones

- Los resultados hasta ahora son satisfactorios y prometedores, sin embargo hay aspectos, tanto biológicos como químicos, que deben ser aclarados antes de iniciar la transferencia de estos sistemas al público.



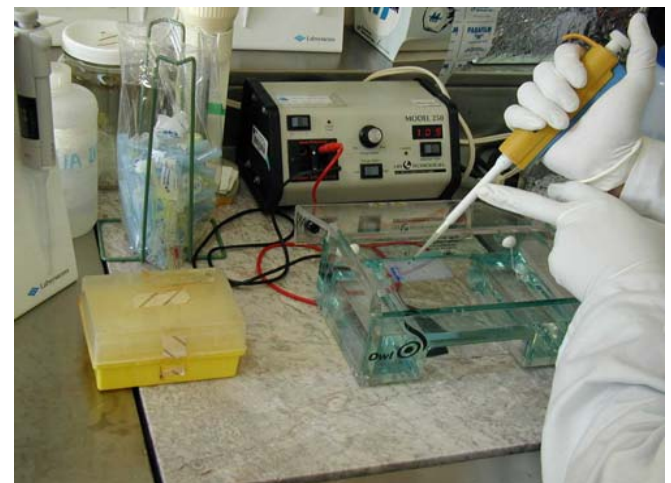
## Perspectivas

Continuar pruebas con otros organismos como

Virus de hepatitis, *Giardia*, Amibas, *Cryptosporidium*.

Profundizar en el conocimiento sobre el efecto del proceso fotocatalítico sobre los huevos de helminto y sobre *Pseudomonas auruginosa*.

Determinar la naturaleza y toxicidad de los restos de microorganismos destruidos durante el proceso fotocatalítico.



## Conclusiones equipo SOLWATER

- Se ha logrado la inactivación de coliformes fecales y totales sin recrecimiento con 4h de tratamiento
- A la fecha no se han encontrado las condiciones que permitan eliminar *Pseudomonas aeruginosa* en el sistema prototipo.









## MECANISMO DE ACCIÓN DEL $\text{TiO}_2$

