



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA

INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA



**VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas**

COMET 2022 | Teziutlán, Puebla, México

El saneamiento de cuerpos de agua: problemática, evaluación y estrategias

Anne M. Hansen

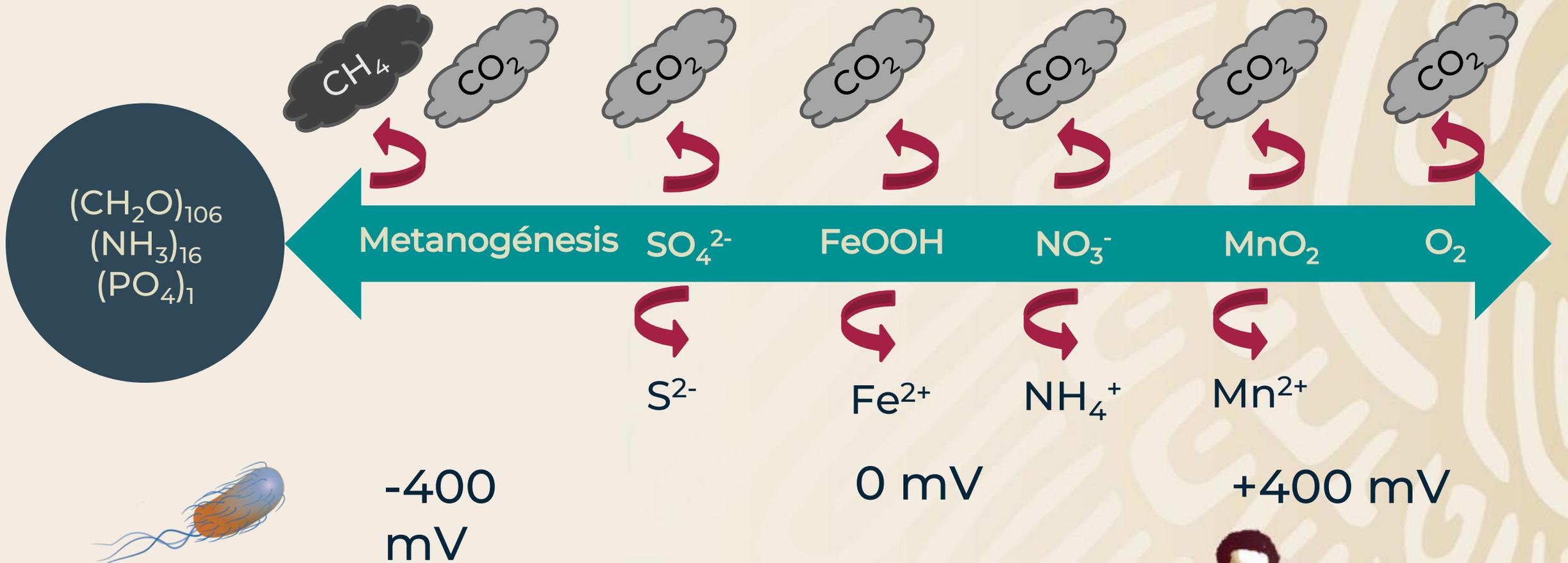
DAngelo A. Sandoval Chacón

Noviembre 23-26, 2022

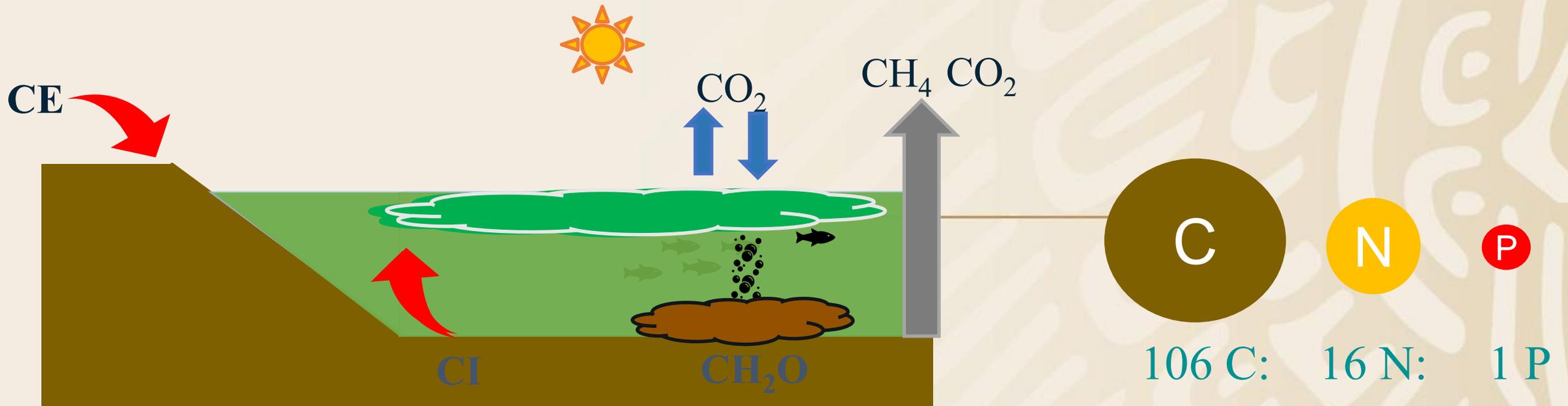


2022 *Ricardo Flores*
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

Carbono reactivo en cuerpos de agua

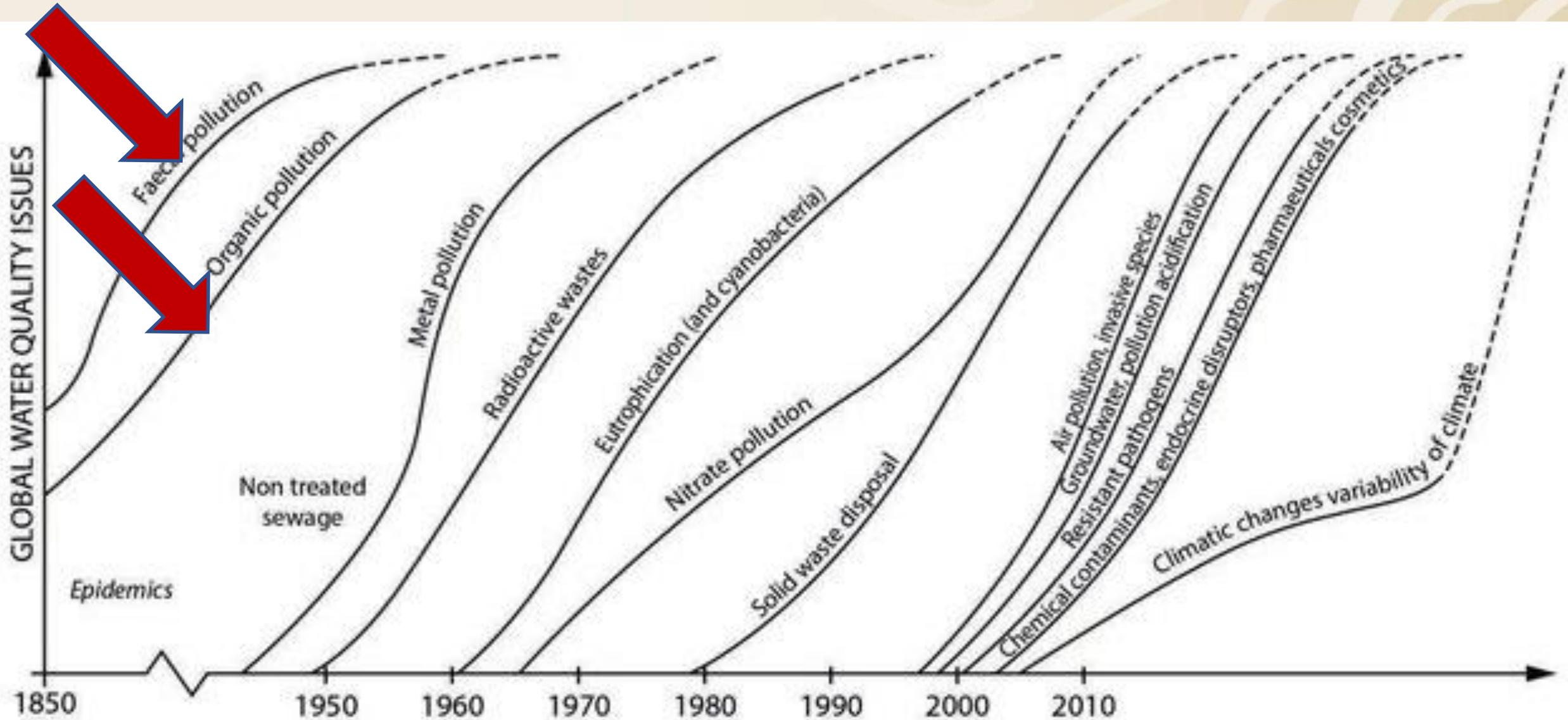


Carbono reactivo en cuerpos de agua



Ricardo
2022 Flores
Año de **Magón**
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

Carbono reactivo en cuerpos de agua



Situación de los cuerpos de agua en México

Entre 2012-2021 se monitorearon 334 ± 78 cuerpos de agua (CONAGUA, 2021)

CONAGUA (2021) <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua-en-mexico>

+70% sobrepasa el límite de P para agua en estado eutrófico ($P_T > 0.08 \text{ mg L}^{-1}$)

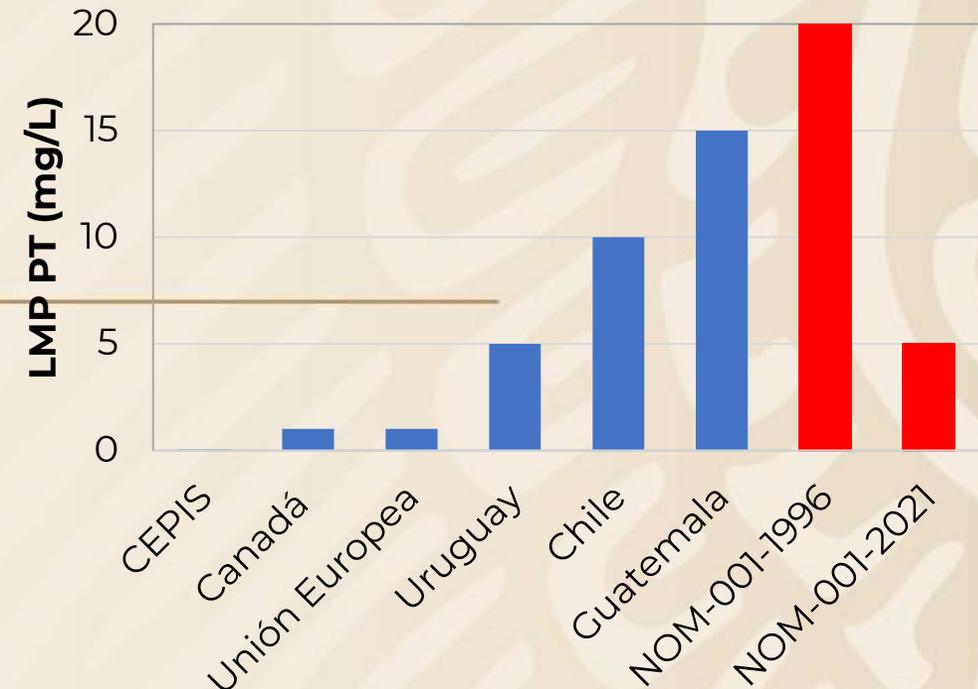
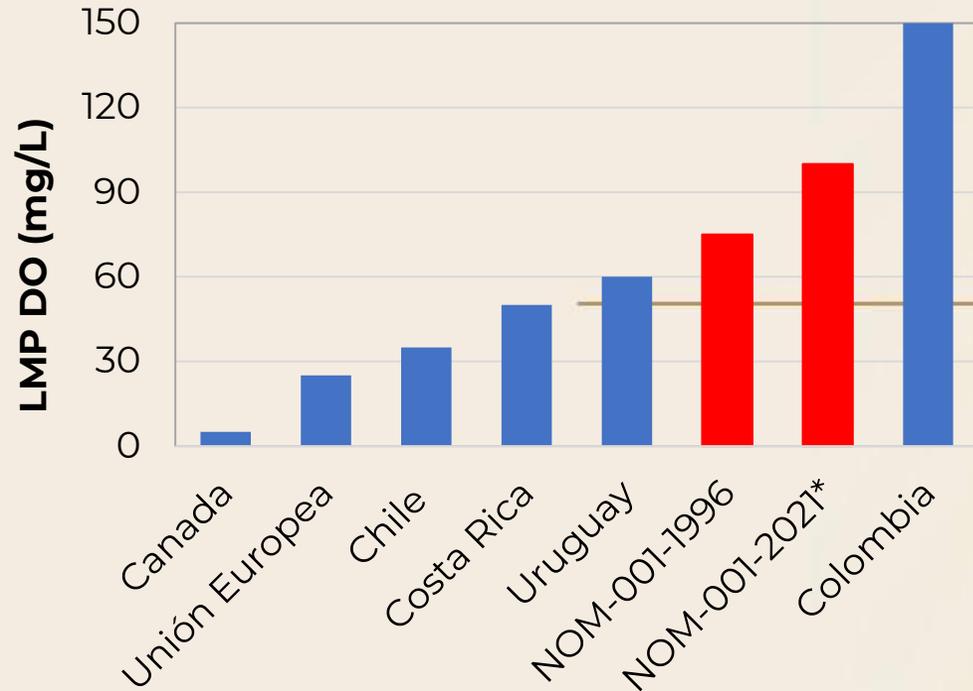
Salas y Martino (2001) https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55330/OPSCEPISPUB01_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

+50% se clasifican como (fuertemente) contaminados

($DQO > 40 \text{ mg/L}$) CONAGUA 2021 up cit



Situación de los cuerpos de agua en México



Ricardo Flores
Año de **Magón**
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

Saneamiento de cuerpos de agua

Conjunto de acciones que tienen como objetivo alcanzar niveles de salud ambiental/equilibrio ecológico

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (Art.3, inc X)

Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (PROFECO, 1989)

Límites máximos para la protección de la vida acuática: oxígeno disuelto (OD) de 5 a 8 mg L⁻¹ y P-PO₄: 0.025 mg L⁻¹

Objetivos:

- Saturación de OD mediante suministro de O₂(g)
- Control de la carga interna (P_T < 0.04 mg L⁻¹)



Ricardo
2022 Flores
Año de **Magón**
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

Saneamiento de cuerpos de agua

ANTES



DESPUÉS



Inactivación de P con adsorbente selectivo

Oxigenación en el fondo

Control de carga externa

Dilución de nutrientes

Cobertura de sedimentos

Dragado

Ultrasonido

Biorremediación

...



Ricardo
2022 Flores
Año de **Magón**
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

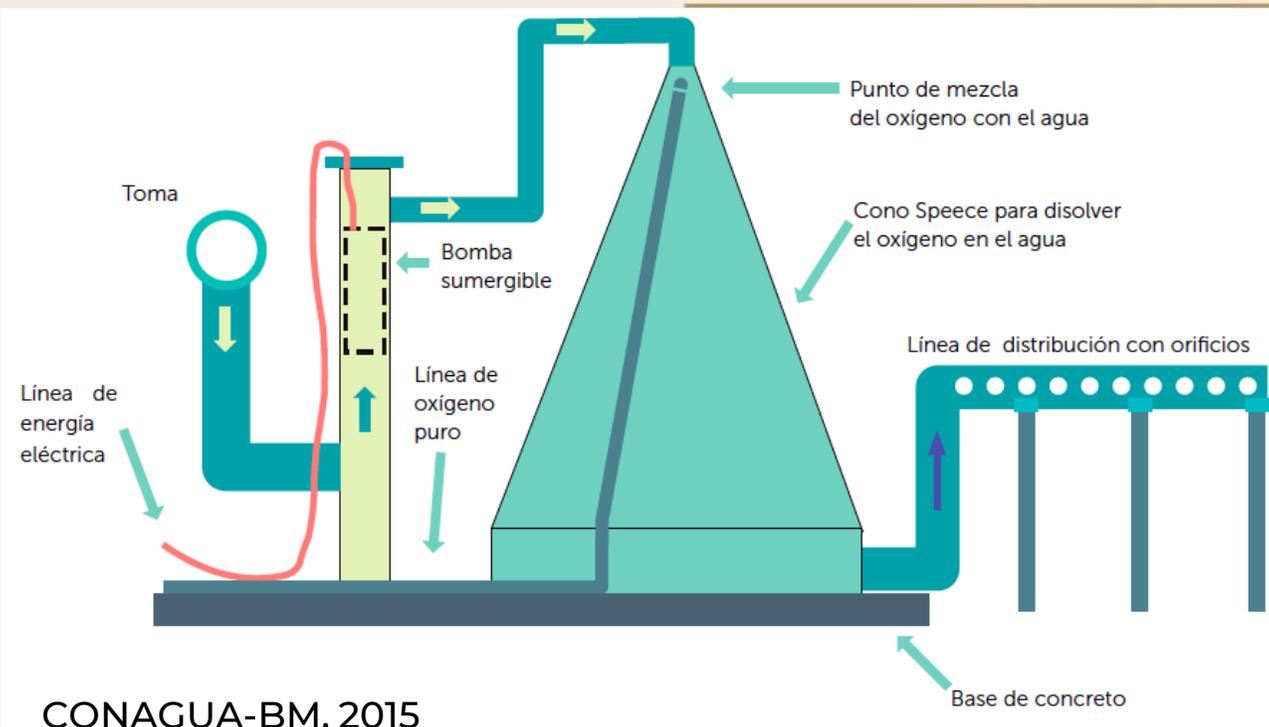
Saneamiento de cuerpos de agua

Oxigenación hipolimnética (HOS)

- $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Fe}(\text{OOH}) \approx \text{P}$ (Fe:P >2) (Gächter y Müller, 2003)

Adsorbente selectivo de P (PHOS)

- $>\text{La}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} \rightarrow >\text{LaPO}_4$ (100:1 w/w)



Phoslock, 2021

Zona de estudio



**VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas**

COMEI 2022 | Teziutlán, Puebla, México

Presas Valle de Bravo,
Estado de México

Área: 18 km²

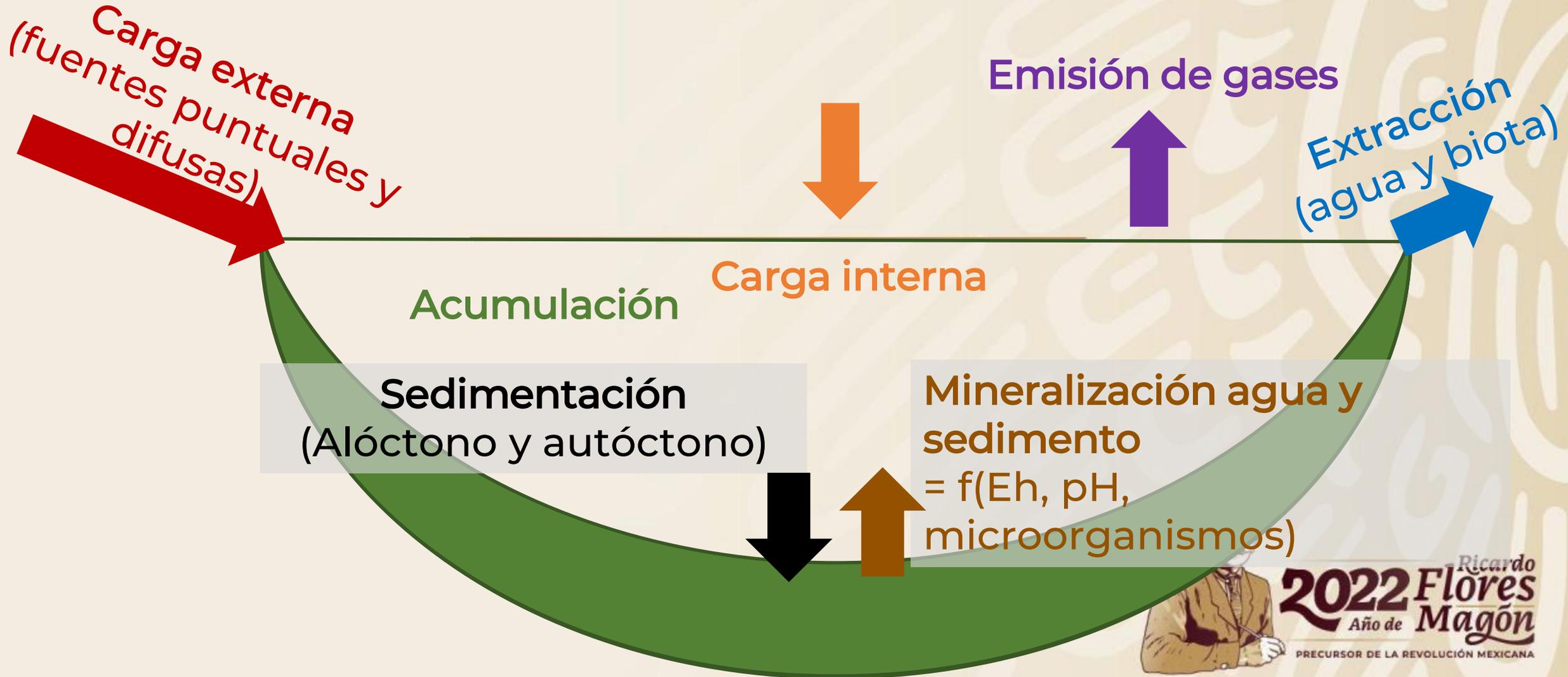
Capacidad: 394 Mm³

6 m³/s suministro de
agua para el VMX
(Sistema Cutzamala)

Estado: **Eutrófico**
(CONAGUA, 2021)

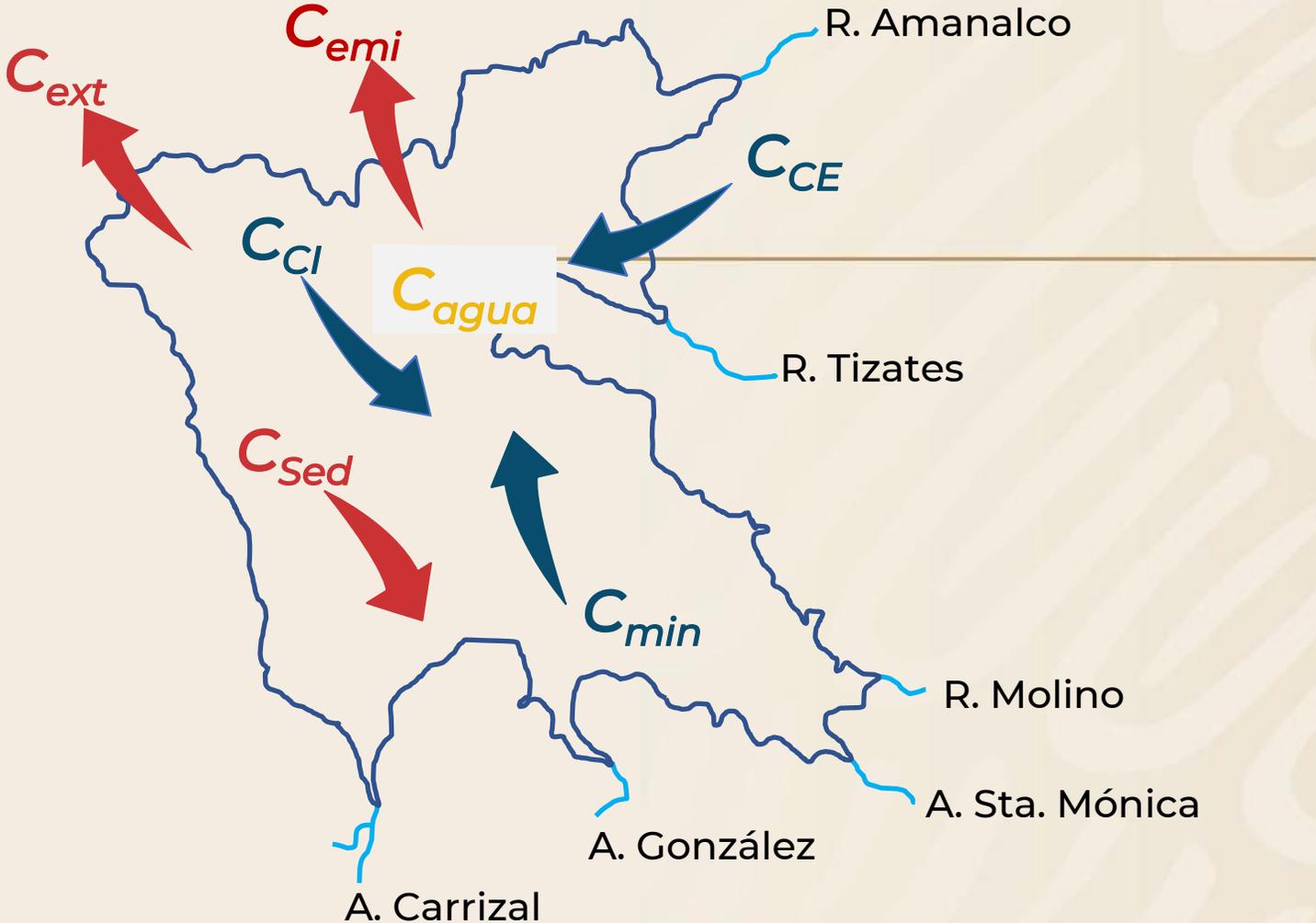


Balance de masas



Balance de masas

$$C_{fin} = C_{agua} + C_{CE} + C_{CI} - C_{sed} + C_{(min-sed)} + C_{(min-agua)} - C_{emi} - C_{ext}$$



Entradas

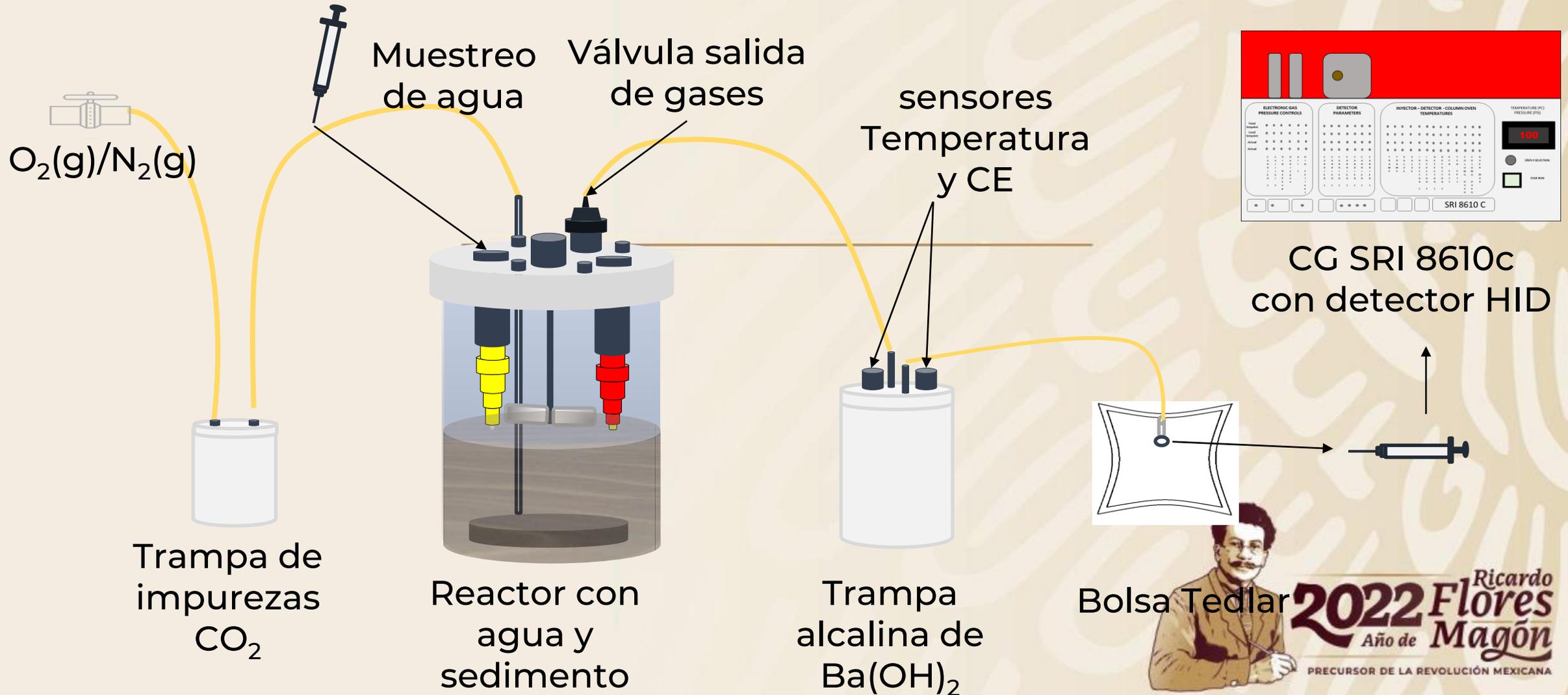
Salidas



Balance de masas

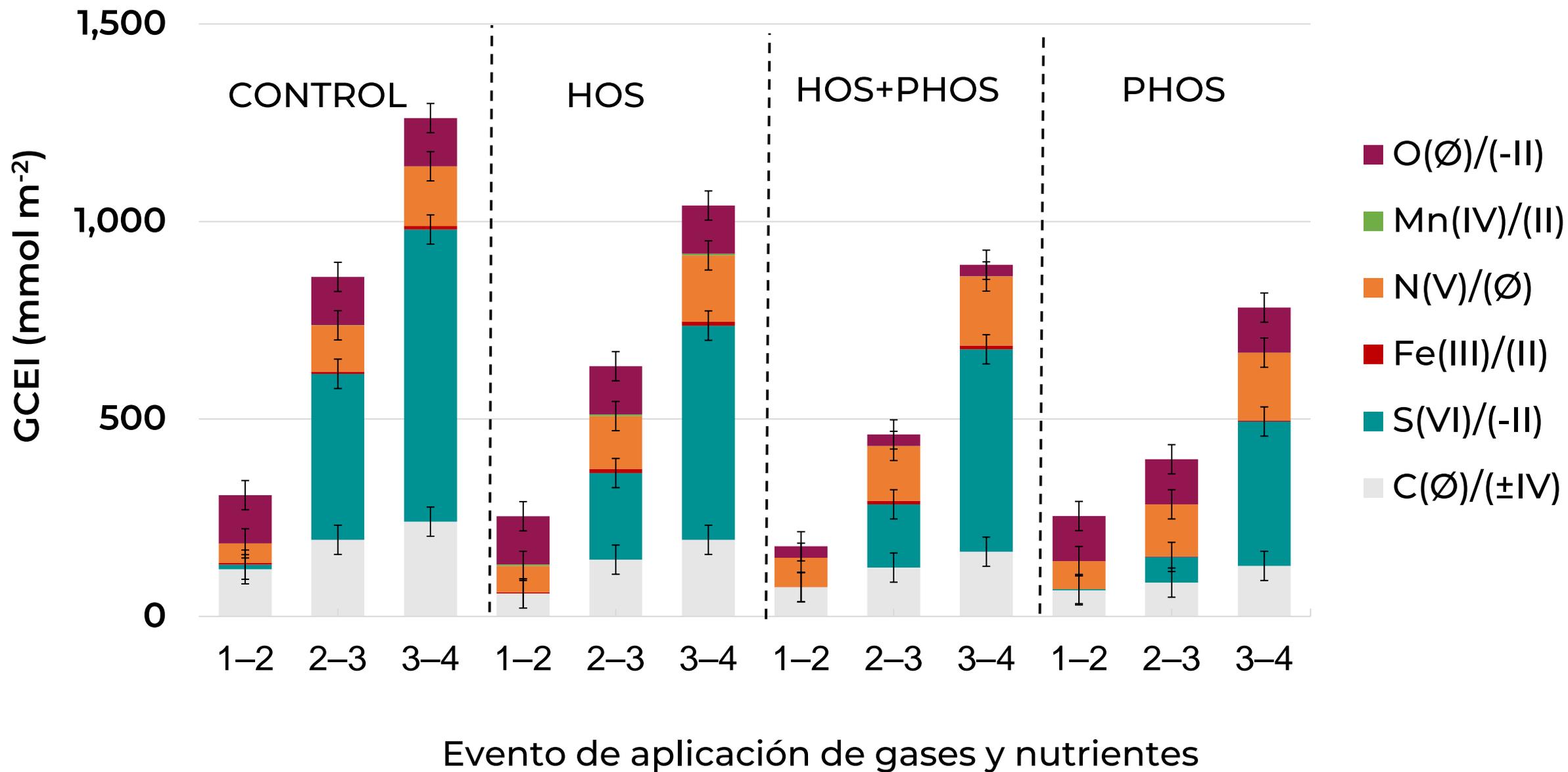
| | |
|-----------------------|--|
| C_{agua} | C-DQO promedio para volumen promedio de agua (300 Mm ³) |
| C_{CE} | C-DQO promedio en afluentes (estaciones hidrométricas) |
| C_{CI} | Modelación de resultados de variaciones isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$) |
| C_{sed} | Datación y COT en núcleos de sedimento (CONAGUA-IMTA, 2011) |
| $C_{\text{min-agua}}$ | $[C_{\text{afluentes}}] - [C_{\text{agua}}] * \text{extracción} (\sim 6 \text{ m}^3/\text{s}) - C_{\text{biomasa extraída}}$ |
| $C_{\text{min-sed}}$ | Datación y COT en el perfil de sedimento, respirometría |
| C_{ext} | $[C_{\text{agua}}] * \text{extracción} (\sim 6 \text{ m}^3/\text{s})$ |
| C_{emi} | Situación actual: Aplicación de fórmula (estado estacionario) Posterior: proporcional a la mineralización |

Balance de masas



Bolsa Tedlar

Ricardo Flores
2022 Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA



Escenarios de saneamiento

| Escenario | Descripción | OD final (mg L ⁻¹) | GCEI (t año ⁻¹) |
|------------------|--|--------------------------------|-----------------------------|
| Situación actual | Estado estacionario | -5.0 | 2,573 |
| HOS | Aplicación de 2 190 t año ⁻¹ de OD | 8.0 | 3,890 |
| PHOS | Aplicación de adsorbente de P para reducir C _{Cl} | 1.0 | 1,828 |
| HOS+PHOS | Aplicación de 2 190 t año ⁻¹ de OD y adsorbente de P para reducir C _{Cl} | 8.0 | 1,828 |

Calidad del agua en la presa Endhó: Hacia una solución compartida



Conclusiones



VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas

COMER 2022 | Teziutlán, Puebla, México

- Un número cada vez mayor de lagos y embalses que sufren eutroficación y deterioro en calidad del agua
- **Es urgente** dimensionar y solucionar este problema
- Las tecnologías adecuadas dependen de cada situación y **no existe solución mágica**
- Se deben de considerar las cargas contaminantes, las eficiencias, los tiempos de obtener resultados y los costos, que permitan mejorar **de forma sostenible** la calidad de los cuerpos de agua



Ricardo
2022 Flores
Año de **Magón**
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

Conclusiones



VII Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas

COMER 2022 | Teziutlán, Puebla, México

- Ese están agotando las reservas de fósforo en el mundo
- Sólo se debe **inactivar el fósforo que se libera del sedimento**
- Se debe combinar con métodos de separación de fósforo del agua, que **permiten su reuso**
- **¡Queremos que el fósforo fertilice a los cultivos y NO a los cuerpos de agua!**



Ricardo
2022 Flores
Año de **Magón**
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA



VII Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas

COMER 2022 | Teziutlán, Puebla, México



Agradecimientos:

Vanessa G. Moreno Ayala

Suhaila E. Díaz Valencia

Nadia V. Martínez Villegas

Denise Soares Freitas

Roberto Romero Pérez

Abel A. Ruiz Castro



Ricardo
2022 Flores
Año de **Magón**
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA