

AMIDIQ

Academia Mexicana  
de Investigación y Docencia  
en Ingeniería Química, A.C.

**La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, A.C.**

***“La Ingeniería Química en la Biotecnología y la Energía”***

Otorga el presente

# RECONOCIMIENTO

a:

José Martiniano Rocha Ríos, Sergio Revah Moiseev

Por la presentación del trabajo:

**“ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO EN UN  
BIORREACTOR DE PARTICION DE DOS FASES OPERADO EN REGIMEN  
ESTACIONARIO Y DONDE LA FUENTE DE CARBONO ES TAMBIEN UN GAS  
POCO SOLUBLE”**

ID: 954

**XXXIV Encuentro Nacional y III Congreso Internacional de la AMIDIQ**  
llevado a cabo del 7 al 10 de mayo de 2013 en el Puerto de Mazatlán, Sinaloa, México.

  
Dr. Rubén González Núñez  
PRESIDENTE DE AMIDIQ

  
Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia  
PRESIDENTE DEL COMITÉ TÉCNICO

  
Dr. Jorge Milán Carrillo  
PRESIDENTE DEL COMITÉ ORGANIZADOR

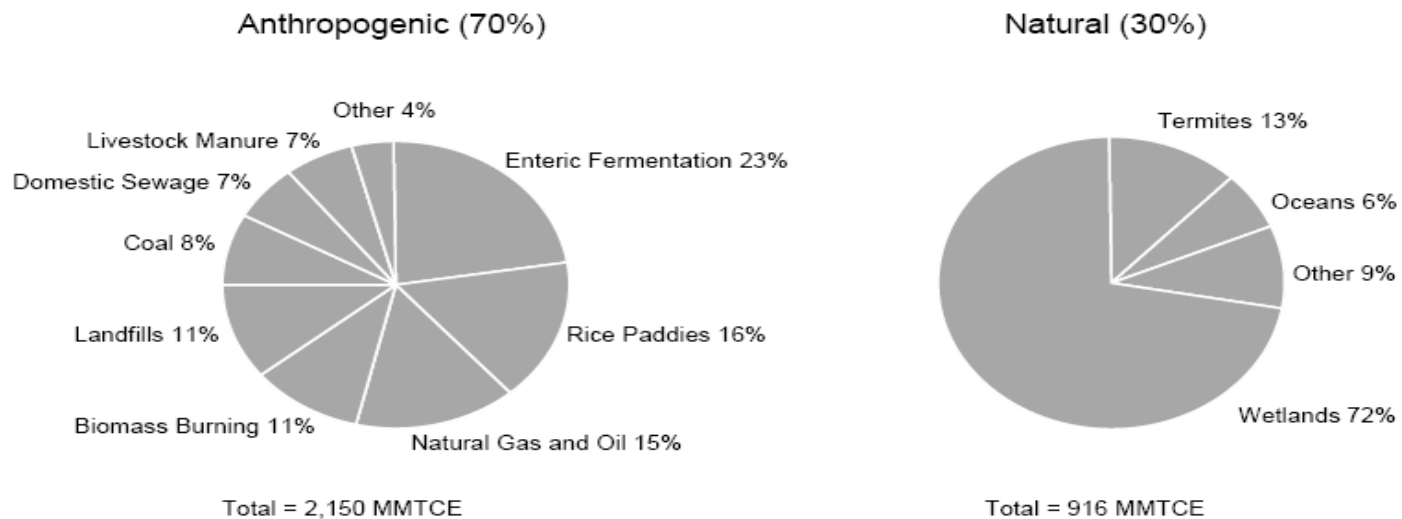


**Estimación de la velocidad de transferencia de oxígeno en un biorreactor de partición de dos fases operado en régimen estacionario y donde la fuente de carbono es también un gas poco soluble.**

José Rocha-Rios y Sergio Revah

# Introducción.

- Metano tiene un potencial de calentamiento global 25 veces superior al de CO<sub>2</sub> (horizonte de 100 años) y su concentración atmosférica se incrementa al doble de la concentración de CO<sub>2</sub>.
- 70% de las emisiones de metano provienen de fuentes antropogénicas (U.S. EPA, 2006).



World Total = 3,066 MMTCE  
Source: IPCC, 1995 and 1996a.

# Introducción.



Producción de energía: Flujo de biogás  $> 50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  y  $\text{CH}_4 > 30\%$  (v/v) (Haubrichs y Widman, 2006).



Combustión de biogás: Flujo  $10\text{-}15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  y  $\text{CH}_4 > 20\%$  (Jaffrin et al., 2003).



Oxidación biológica: Flujos variables y  $\text{CH}_4 < 5\%$  (Streese and Stegmann, 2003).

Rellenos sanitarios con más de 30 años, plantas de tratamiento de aguas, etc.





# Introducción.

- La principal limitante para degradación biológica de metano es su baja solubilidad en agua.
- Estudios previos han demostrado que la adición de aceite de silicón puede incrementar la degradación de metano en biorreactores de flujo laminar (Rocha-Rios et al., 2009 y 2013) y turbulento (Rocha-Rios et al., 2010 y 2011).
- La efectividad del aceite de silicón depende de su grado de dispersión en la emulsión que a su vez depende del consumo de potencia para agitación (Kraakman et al., 2012; Rocha-Rios et al., 2013).



# Introducción.

- En un reactor turbulento (por ejemplo CSTR), controlado por la transferencia de sustratos hidrofóbicos (metano y oxígeno), la adición de aceite de silicón impacta positivamente:
  - a) Incrementando la fuerza impulsora (gradiente de concentraciones).
  - b) Incrementando el área de contacto interfacial gas-líquido y reduciendo el diámetro de las burbujas (colisiones).
  - c) Induciendo la producción de biosurfactantes que estabilizan la emulsión reduciendo la tensión superficial entre fases y evitan la coalescencia de burbujas y gotas.

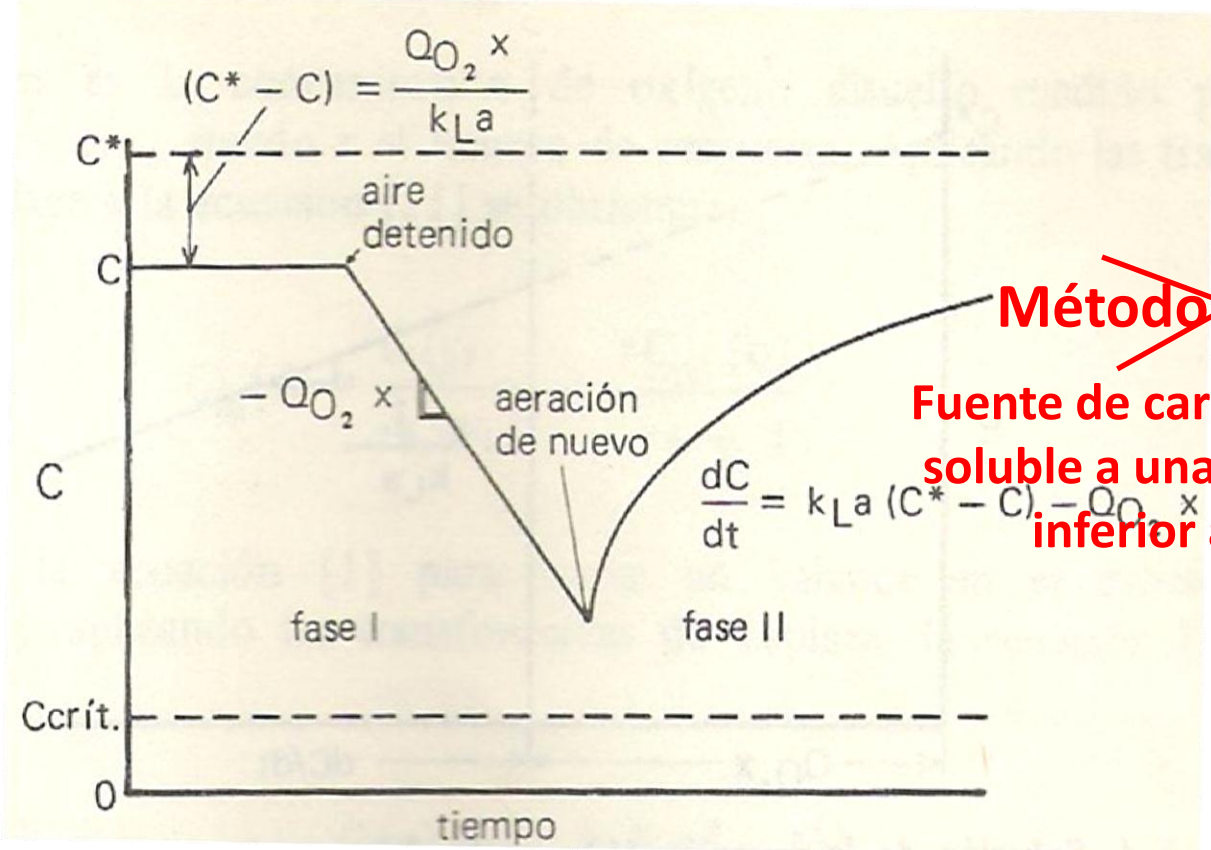


# Introducción.

- Pero también impacta negativamente:
  - a) Al incrementar la fracción de aceite (más viscoso que el agua) la hidrodinámica es afectada y se requiere mayor consumo de potencia para lograr un buen mezclado.
  - b) La mayor viscosidad también afecta la difusividad de los sustratos gaseosos en la fase acuosa  $D = k_B T / 6\pi\mu r$ . Incorporación de una nueva resistencia debido a la presencia del aceite.

# Planteamiento del problema.

La determinación de la velocidad de transferencia de oxígeno (OTR) en biorreactores de tanque agitado es sencilla cuando la fuente de carbono es soluble en el medio acuoso y no limita el proceso (método dinámico).



~~Método dinámico~~  
Fuente de carbono: Gas poco soluble a una concentración inferior a la del  $O_2$



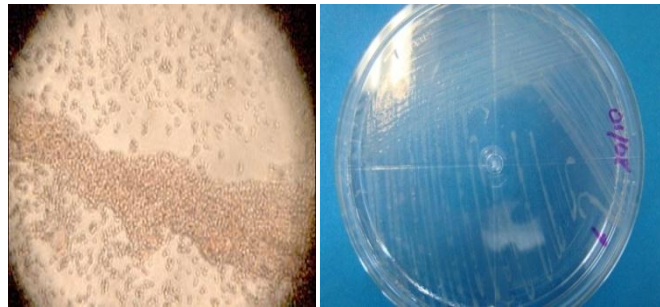


# Objetivos del estudio.

- **Objetivo general:**  
Determinación de la velocidad de transferencia de oxígeno en un biorreactor con dos fases de partición donde la fuente de carbono es al igual que oxígeno un gas poco soluble en agua (metano).
- **Objetivos particulares:**
  - a) Cuantificar el efecto de la velocidad de agitación sobre las velocidades de transferencia de oxígeno y metano.
  - b) Cuantificar el efecto de la fracción del vector de transferencia sobre las velocidades de transferencia de oxígeno y metano.

# Materiales y métodos.

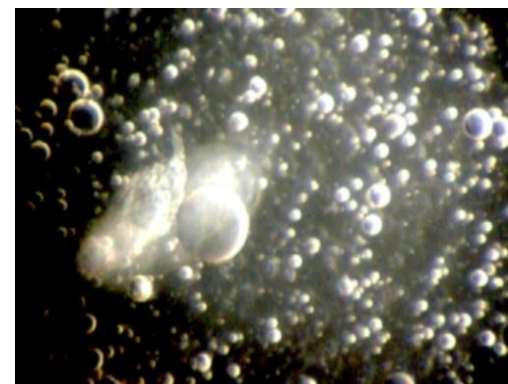
## *Microorganismos y condiciones de cultivo.*



Comunidad metanótrofa aislada de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UAM-I

*Methylobacterium organophilum* fue identificado como el microorganismo predominante (Zuñiga et al., 2011)

## *Químicos.*



Gas metano al 99.9% de Praxair México.

Aceite de silicón (polidimetilsiloxano, 200 cSt) de Sigma-Aldrich (USA).

# Materiales y métodos.

BIOFLO III (NBS, USA):

- Volumen de operación: 2 L
- Agitación: 2 turbinas Rushton (200, 500, 800 rpm).
- Fracción de aceite de silicón: 0, 5 y 10% (v/v).
- Flujo de gas:  $0.42 \text{ L min}^{-1} = 0.21 \text{ vvm} = 4.8 \text{ min (EBRT)}$ .
- Velocidad de dilución:  $0.05 \text{ d}^{-1}$
- Carga volumétrica de metano promedio ( $L$ ):  $65 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ .

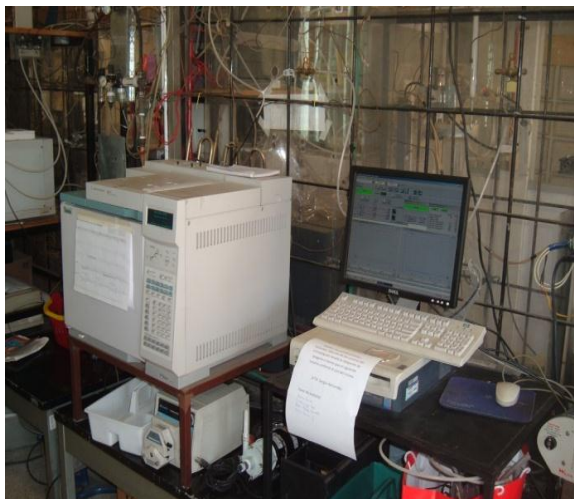


## *Procedimientos analíticos.*

Concentraciones influente y  
efluente de  $\text{CH}_4$  = FID-GC

Concentraciones influente y  
efluente de  $\text{CO}_2$   
= TCD-GC y analizadores  
infrarrojos.

T, pH,  $\text{C}_{\text{O}_2\text{liq}}$ ,  $N$  = En línea con  
Fermentor Control Software ®.







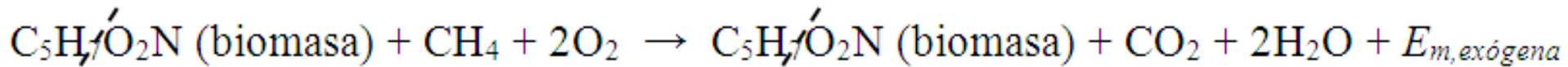
# Materiales y métodos.

Balance de oxígeno durante biodegradación en estado pseudo-estacionario:

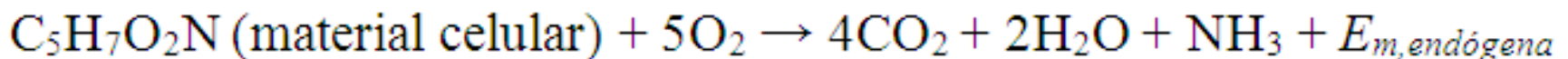
$$\frac{dC_{O_2}}{dt} = 0 = \text{OTR} - \text{OUR} \therefore \text{OTR} = \text{OUR}$$

La concentración de biomasa fue controlada en  $3 \pm 0.1 \text{ g L}^{-1}$  limitando la fuente de nitrógeno.

Velocidad exógena de consumo de oxígeno ( $\text{OUR}_{\text{Exo}}$ ):



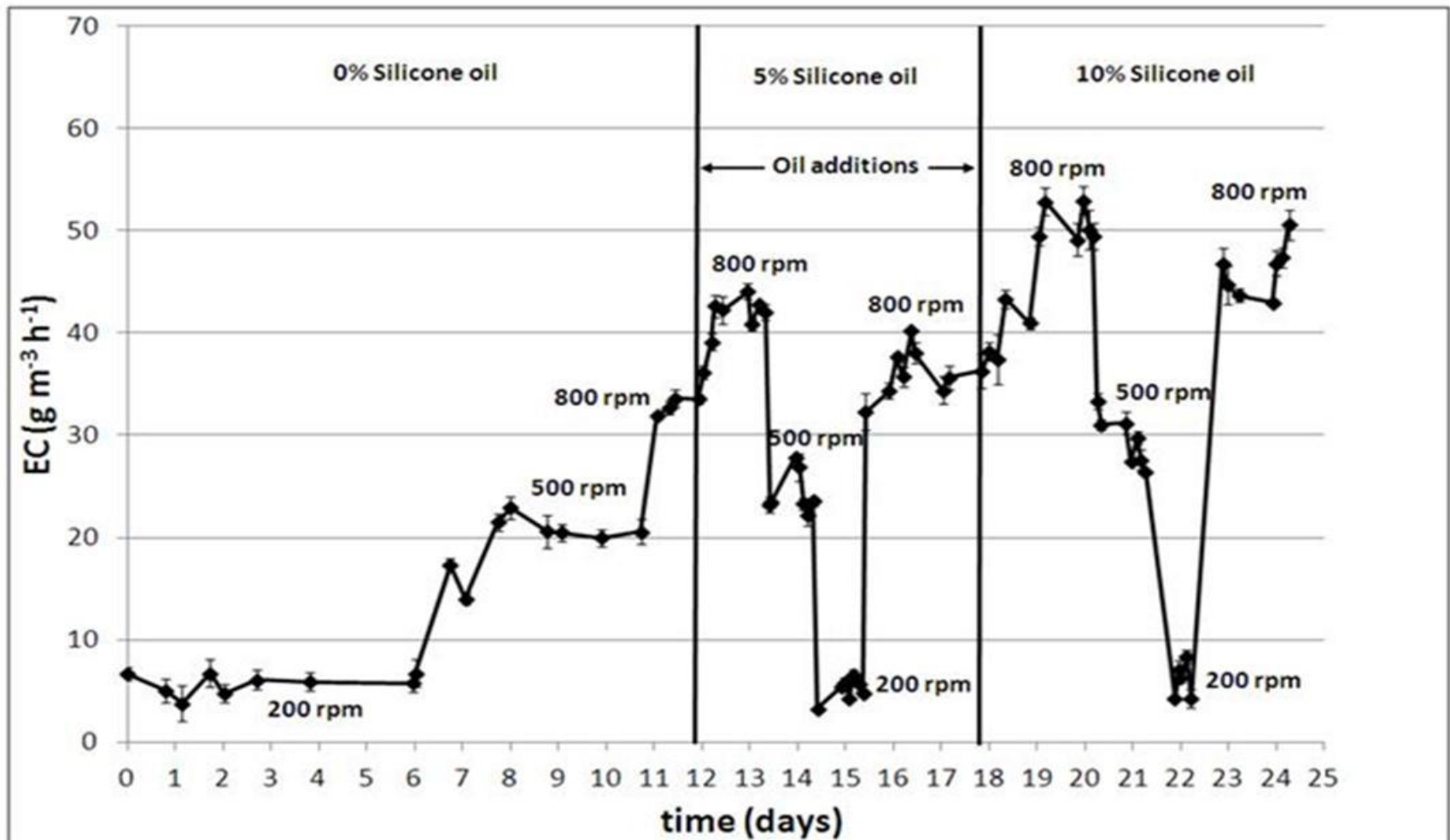
Velocidad endógena de consumo de oxígeno ( $\text{OUR}_{\text{End}}$ ):





# Resultados.

Capacidades de eliminación volumétrica (EC) para estimación de  $OUR_{EXO}$ :



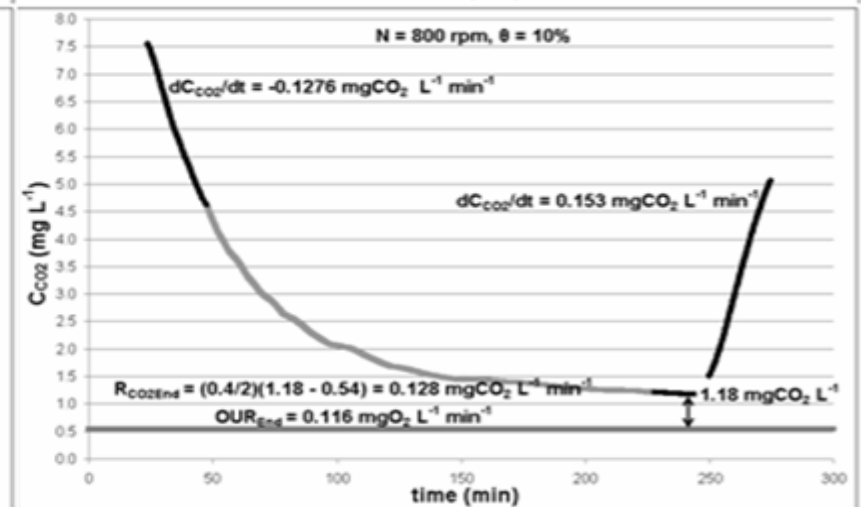
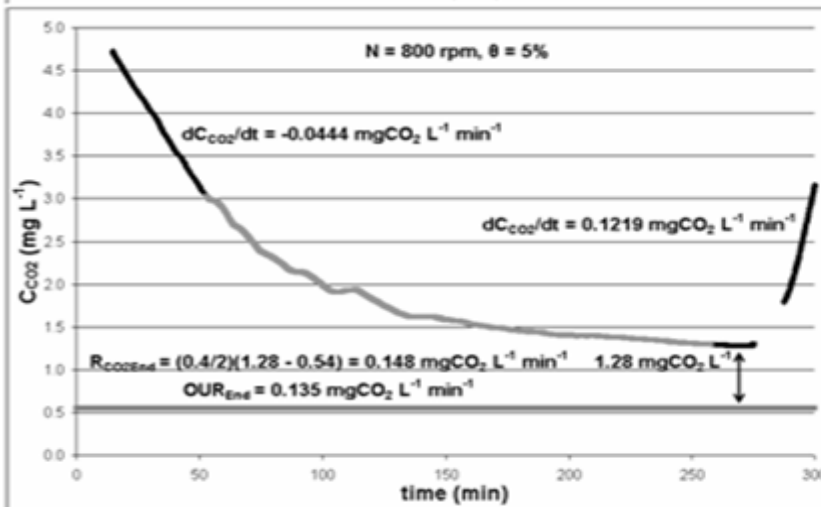
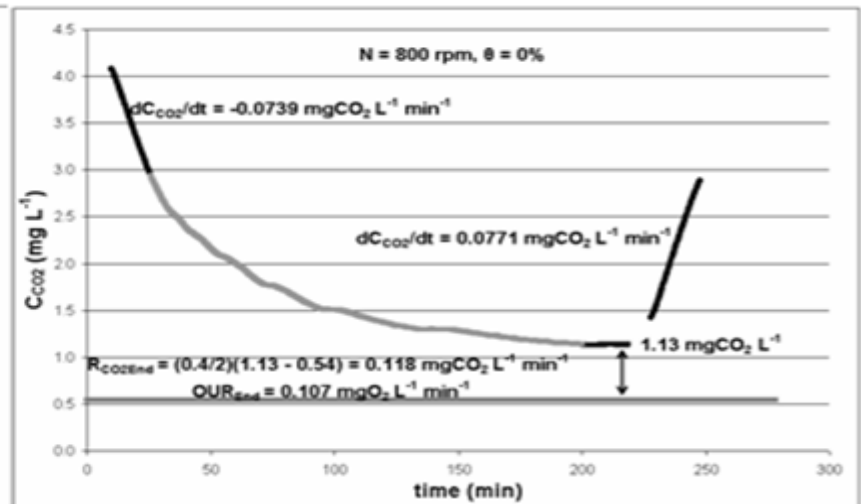
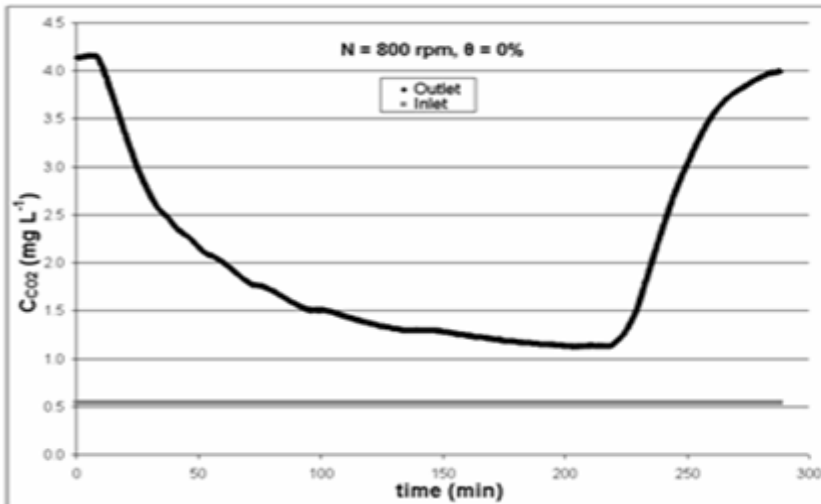
# Resultados.

**Velocidades exógenas de consumo de oxígeno estimadas a partir de las capacidades de eliminación.**

<b><i>N</i> (rpm)</b>	<b>OUR<sub>Exo</sub> (mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>)</b>					
	<b>0%</b>	<b>SE</b>	<b>5%</b>	<b>SE</b>	<b>10%</b>	<b>SE</b>
200	0.38	0.07	0.36	0.05	0.40	0.09
500	1.31	0.06	1.45	0.04	1.97	0.04
800	2.30	0.04	2.83	0.03	3.38	0.04

# Resultados.

Disminución en producción de CO<sub>2</sub> (respiración endógena):

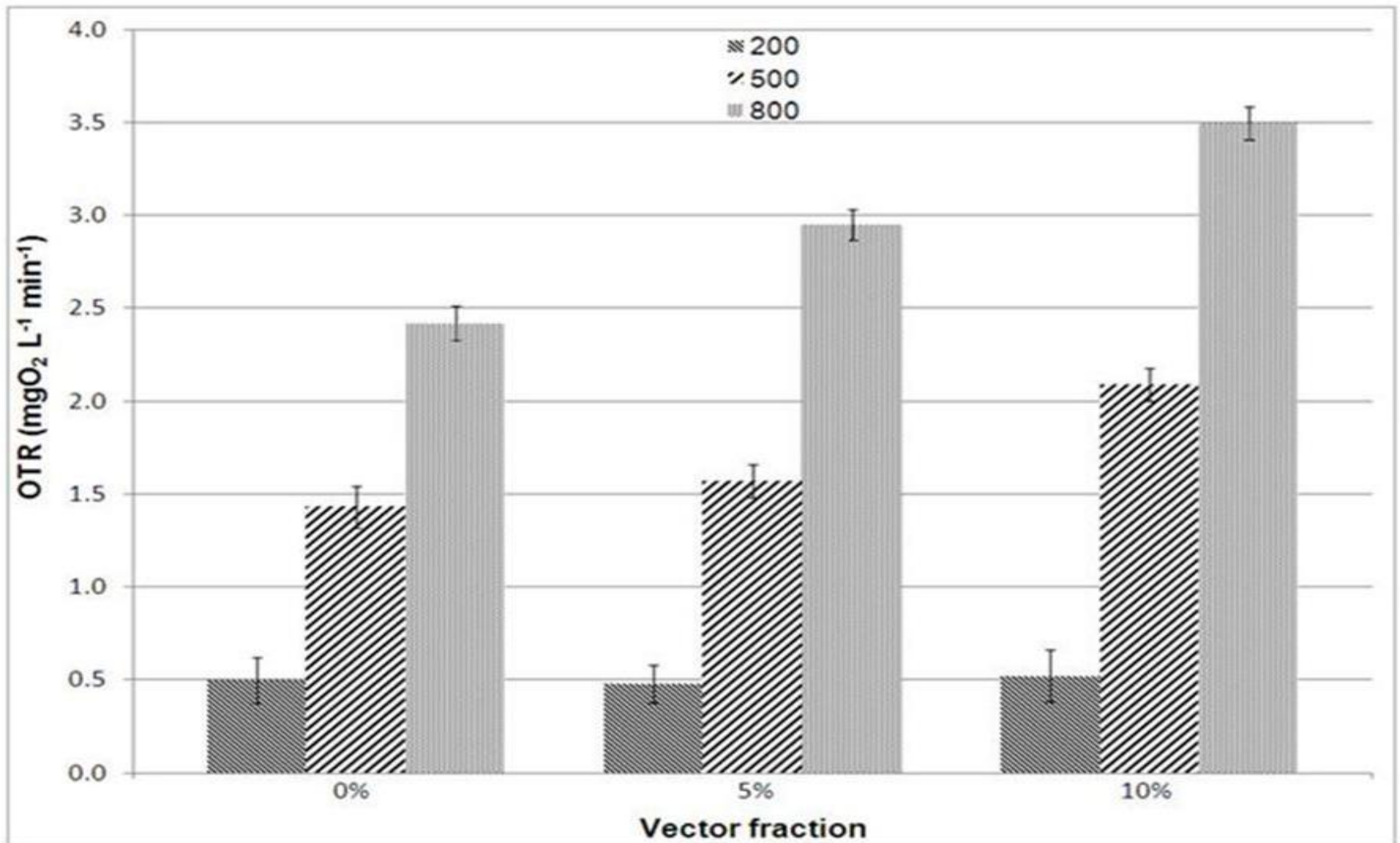


$R_{CO_2}$  basal =  $0.13 \pm 0.08 \text{ mgCO}_2 \text{ L}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ;  $OUR_{\text{End}} = 0.12 \pm 0.05 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1} \text{ min}^{-1}$



# Resultados.

$$\text{OUR} = \text{OUR}_{\text{Exo}} + \text{OUR}_{\text{End}} = \text{OTR}:$$





The background features a collage of three images: on the left, a worker in a red suit and yellow helmet working in an industrial facility; in the center, a close-up of green liquid being poured into a glass; on the right, laboratory glassware including beakers and test tubes containing colored liquids.

# Resultados.

## Porcentaje de oxígeno disuelto durante los experimentos de biodegradación.

<i>N</i> (rpm)	%DO		
	0%	5%	10%
200	92.4±0.04	85.4±0.06	80.9±0.09
500	95.0±0.01	94.0±0.04	93.1±0.02
800	97.7±0.02	96.5±0.05	96.7±0.03



# Conclusiones.

1. OUR y por ende OTR se incrementaron de forma general al incrementar la velocidad de agitación o la fracción de aceite (excepto a 200 rpm).
2. El incremento máximo en OTR fue 789% (a 800 rpm y 10% de aceite de silicón).
3.  $OUR_{Exo}$  controló la OUR global (u OTR) mientras que la contribución de  $OUR_{End}$  fue importante sólo a 200 rpm.
4. Análisis simultáneo de EC,  $OUR_{Exo}$  y %DO sugiere que la efectividad del aceite depende de su grado de dispersión y que el consumo directo de metano y oxígeno es importante en estos sistemas.
5. Los estudios respirométricos permitirán comprender mejor los procesos de transferencia de masa en TPPB.