



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

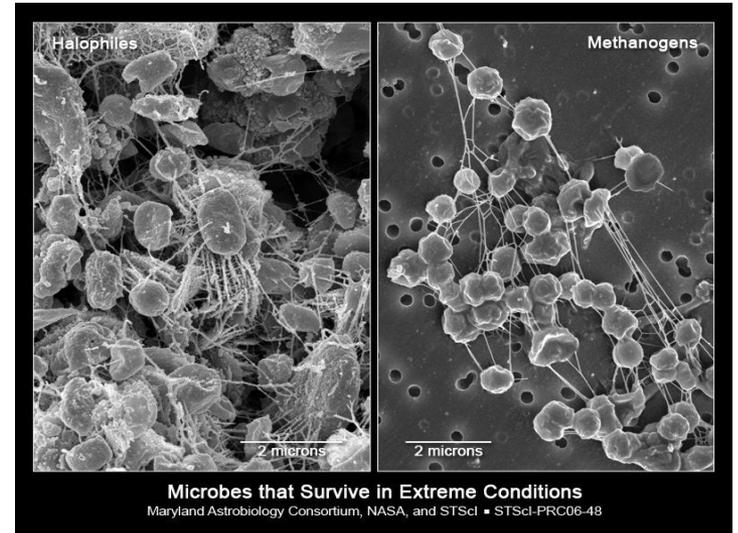
Operaciones en Yacimientos de Crudos Pesados y Extra pesados

TEMA II. MÉTODOS DE RECUPERACIÓN EN FRÍO

MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery)

La microbiología del petróleo, es definida como el estudio de la distribución de bacterias indígenas (autóctonas), su fisiología en condiciones de yacimiento e interacción con bacterias inyectadas (exógenas).

Los microorganismos son utilizados para producir químicos, llamados *metabolitos*, que mejoran la recuperación del petróleo.



MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery)

Los microorganismos exógenos

Se seleccionan microorganismos adecuados a las condiciones similares a las del yacimiento, pero que estos no se encuentran en los yacimientos. Las bacterias inyectadas deben ser capaces de sobrevivir y producir metabolitos en condiciones adversas.

MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery)

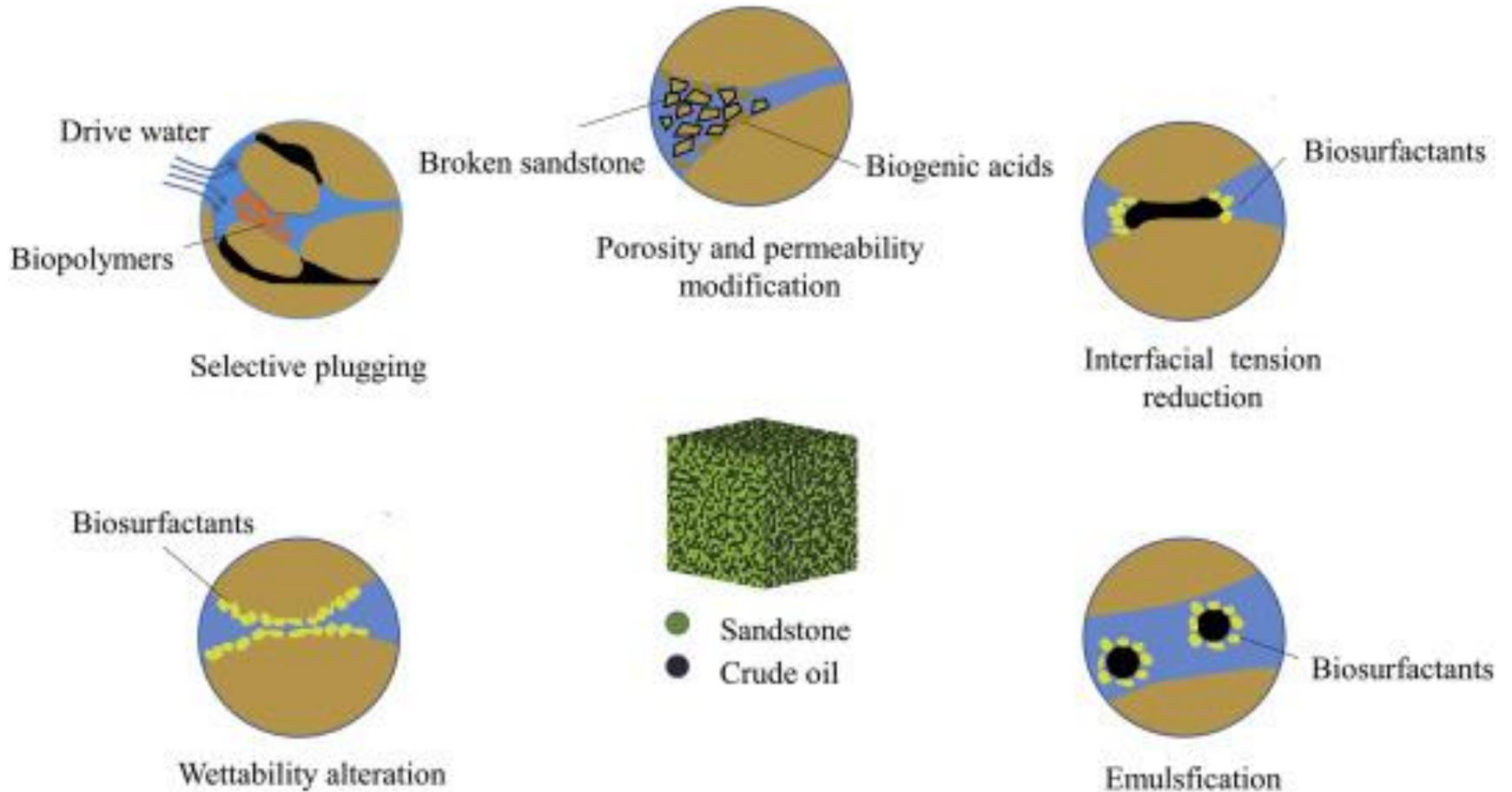
Los microorganismos autóctonos

Los microorganismos se desarrollan utilizando el petróleo presente en el reservorio como fuente de carbono. Se inyectan nutrientes para favorecer al crecimiento y la reproducción de los microorganismos nativos en el mismo.

Los Nutrientes pueden ser :

- Fuentes de Nitrógeno (Nitrato)
- Fuentes de azúcar (Melaza)
- Fuentes de proteínas (fosfato)

MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery)





UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

Operaciones en Yacimientos de Crudos Pesados y Extra pesados

TEMA II

MEOR: Mecanismos de Recuperación

Reduce la viscosidad por la generación de gases (Por ejemplo: Metano, etano y CO₂) o degradación de hidrocarburos saturados de altas cadenas. El aumento de componentes ligeros del petróleo crudo puede ser, más del 30%.

Mejora la permeabilidad absoluta de la roca debido a la generación de ácidos que disuelven la matriz de la roca. Prueba de laboratorio, la permeabilidad se redujo de 284 mD a 24 mD, y la viscosidad podría reducirse hasta en 10 veces debido a los efectos del ácidos (Zahid and H. A. Khan).

Los microorganismos pueden cambiar la mojabilidad del yacimiento de ser mojado por el petróleo a ser mojado por el agua(Zahid and H. A. Khan).

Mejora la movilidad relativa del petróleo con respecto al agua.

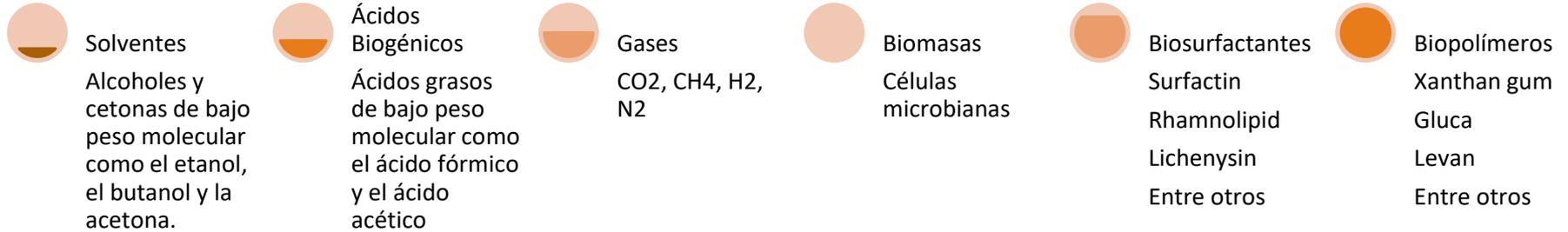
Producción de surfactante, biosurfactantes, solventes orgánicos, ácidos y gases y biopolímeros.



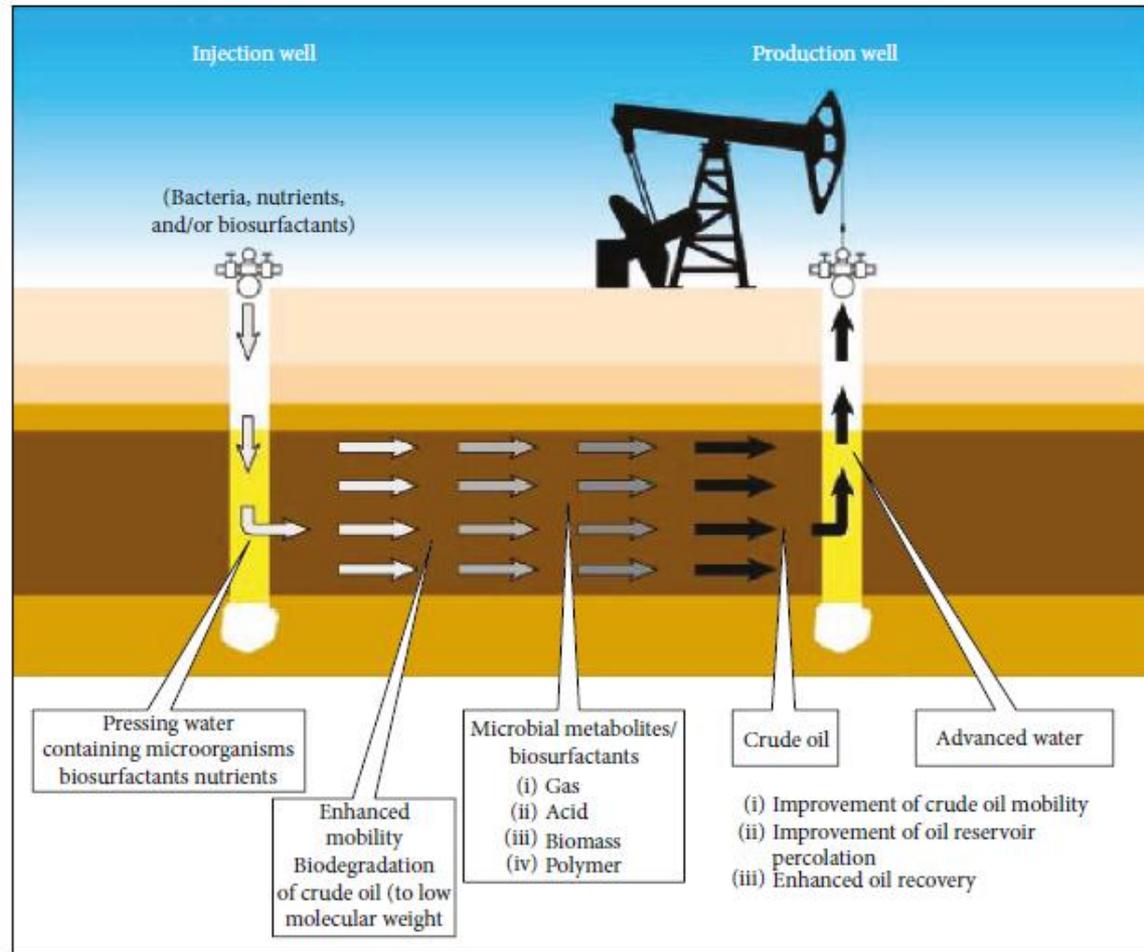
MEOR

Productos microbianos y los efectos que producen en MEOR		
Productos	Efecto	Microorganismo
Gases	<ul style="list-style-type: none"> 'Represurización del yacimiento. 'Incremento en el volumen de aceite. 'Reducción de la viscosidad. 'Incremento de la permeabilidad causada por la solubilidad de las rocas carbonatadas. 	<ul style="list-style-type: none"> '<i>Clostridium acetobutylicum</i>. '<i>Enterobacter aerogenes</i>. '<i>Methanobacterium sp.</i>
Solventes y ácidos	<ul style="list-style-type: none"> 'Incrementan la porosidad en las rocas. 'Producen CO₂ al reaccionar con carbonatos minerales. 	<ul style="list-style-type: none"> '<i>Clostridium spp.</i> '<i>Enterobacter aerogenes</i>.
Polímeros	<ul style="list-style-type: none"> 'Control de movilidad. 'Taponamiento selectivo y no selectivo. 	<ul style="list-style-type: none"> '<i>Bacillus polymyxa</i>. '<i>Brevibacterium viscogenes</i>. '<i>Leuconostoc mesenteroides</i>. '<i>Xanthomonas campestris</i>.
Surfactantes	<ul style="list-style-type: none"> 'Disminución de la tensión superficial. 'Emulsificación. 	<ul style="list-style-type: none"> '<i>Arthrobacter paraffineus</i>. '<i>Bacillus licheniformis</i>. '<i>Clostridium pasteurianum</i>. '<i>Clorynebacterium fasciens</i>. '<i>Pseudomonas rubescens</i>.
Biomasa	<ul style="list-style-type: none"> 'Taponamiento selectivo y no selectivo. 'Emulsificación mediante adhesión al gas. 'Ángulo de contacto variable en superficies minerales. 'Reducción de la viscosidad y punto de fluidez de aceite. 'Desulfuración del aceite. 	<ul style="list-style-type: none"> '<i>Bacillus licheniformis</i>. '<i>Leuconostoc mesenteroides</i>. '<i>Xanthomonas</i>.

MEOR: Productos

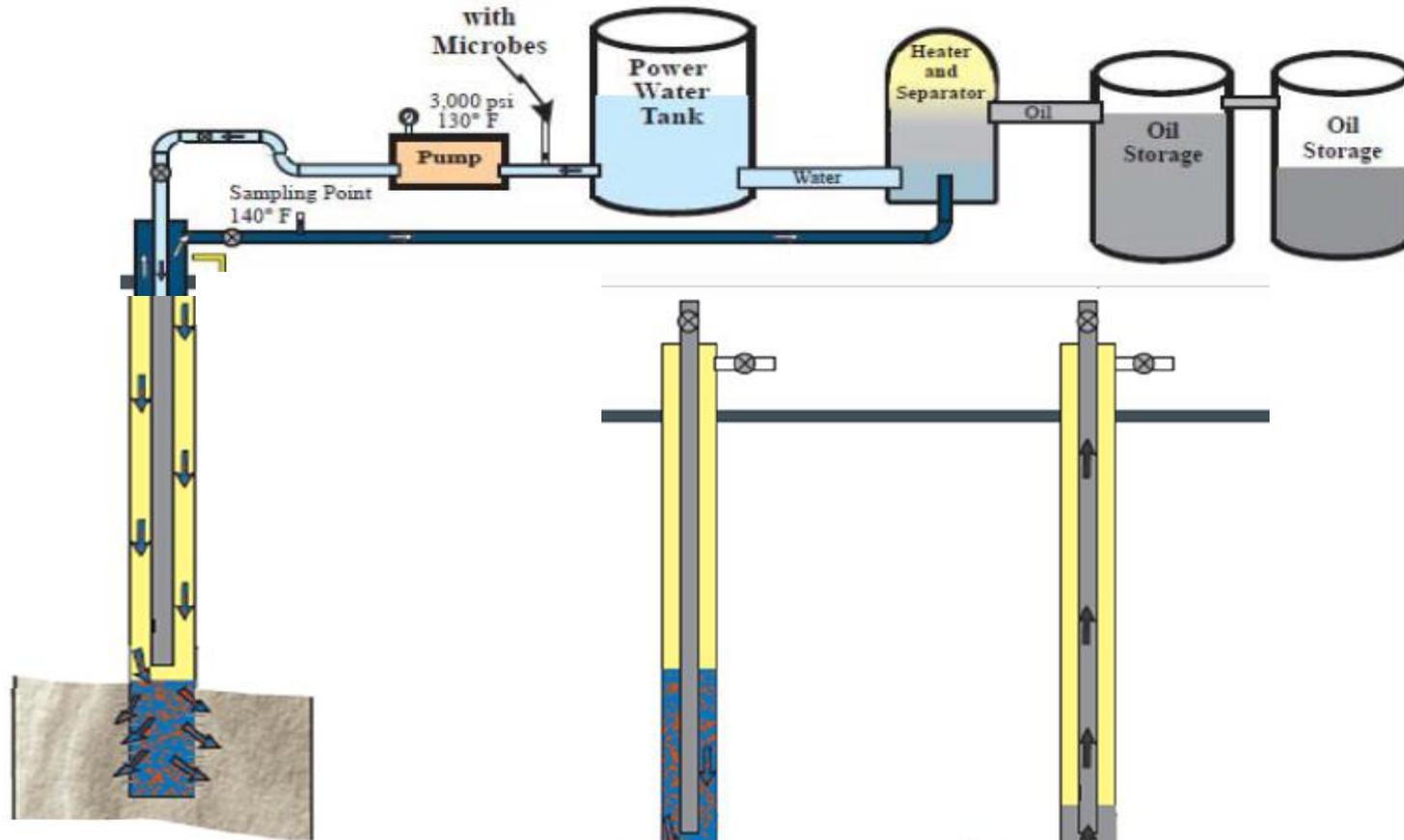


MEOR: Inyección

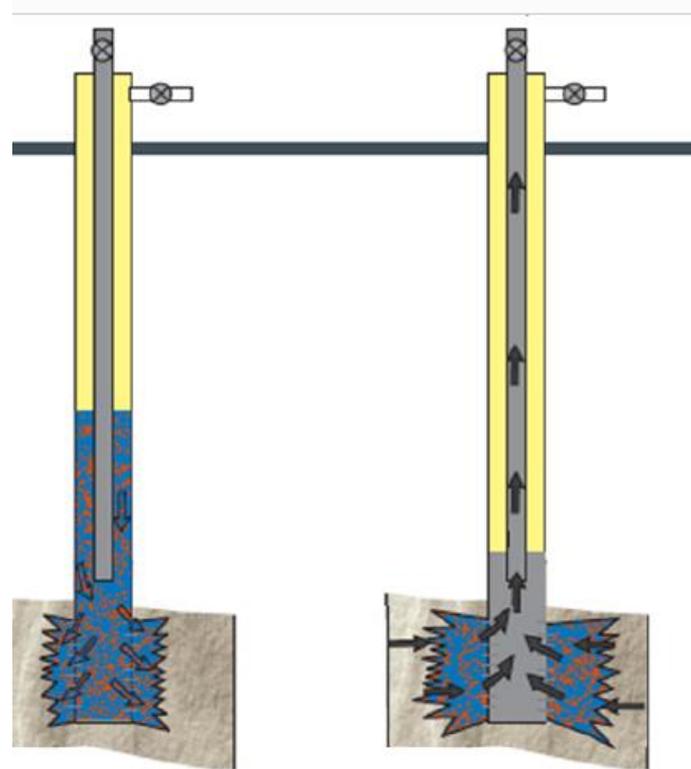


Fuente: R. Marchant and I. M. Banat, "Microbial biosurfactants: challenges and opportunities for future exploitation," Trends in Biotechnology, vol. 30, no. 11, pp. 558–565, 2012.

Inyección Cíclica o Alternada (Cíclica Microbial Recovery)



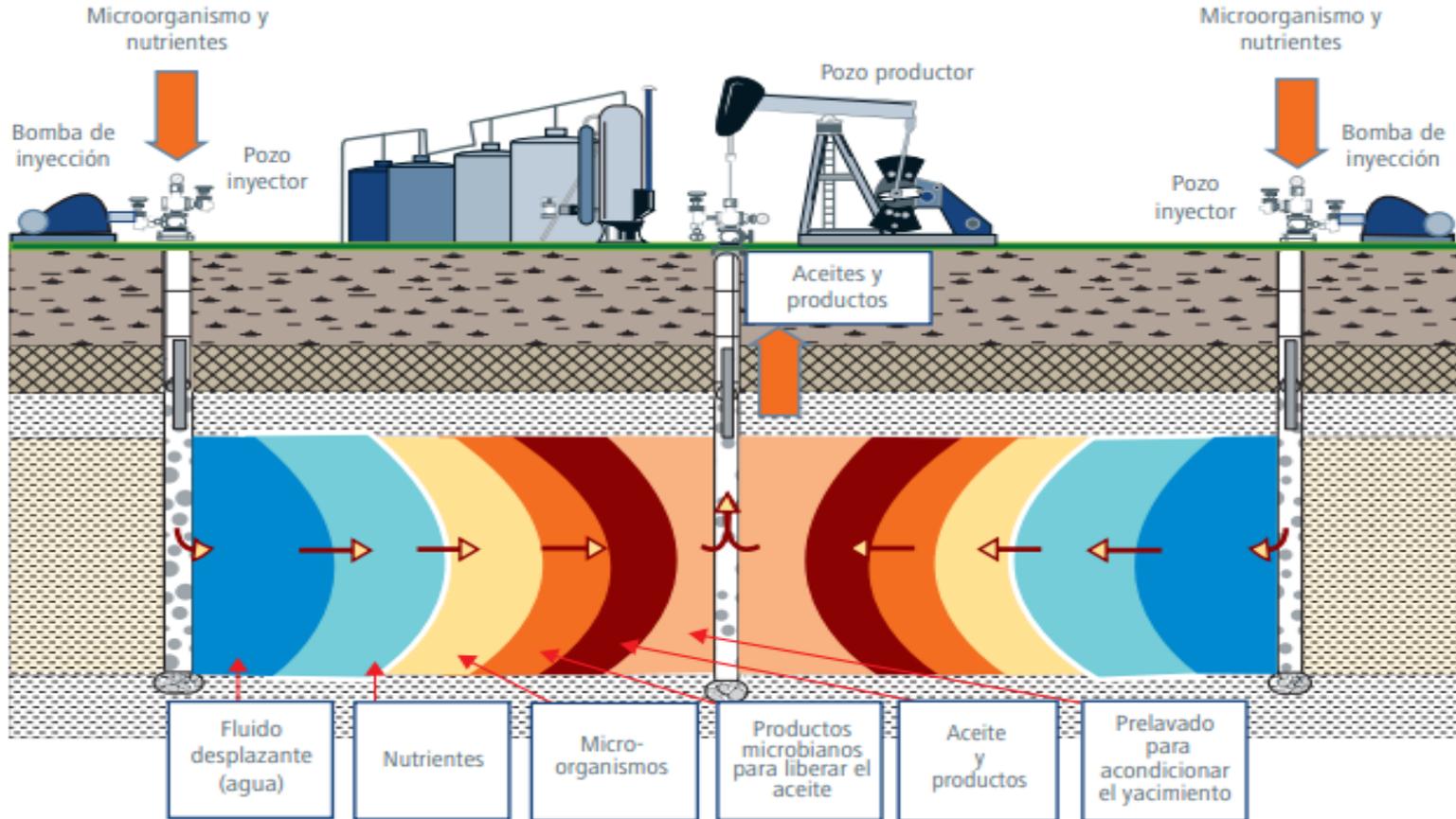
Inyección



Remojo

Producción

Inundación Microbiana (Microbial Flooding Recovery)



Fuente: Adaptada de DOE; DOE's Enhanced Oil Recovery Program, An Archive of Important Results; National Energy Technology Laboratory, 2008 Sección transversal de tres pozos de un patrón de 5 pozos.

Microorganismos se encuentran afectados:

Factor Ambiental	Grupo Microbiano	Característica
Temperatura	Psicrófilo	Temperatura de crecimiento entre 15°C y 19.9°C
	Termófilo e Hipertermófilo	Temperatura de crecimiento entre 45°C y 80°C
pH	Alcalófilo	pH de crecimiento mayor que 9.
	Acidófilo	pH de crecimiento menor que 5.
Salinidad	Halófilo	Microorganismos que requieren de la presencia de cloruro sódico, habitan en ambientes muy salinos
Presión	Barófilo	Crecimiento a presión mayor que 1 atm, incluso a 400 atm, habitan en fuentes hidrotermales o pozos petroleros.

Factores que afectan el Crecimiento de la Bacteria

Temperatura
(temp. Critica = 80°C)

Salinidad
(≥ 300 g/l) y alta
concentración de calcio

PH
(> 6)

Presión

Análisis Físico – Químico Del Agua De Formación

Pozo	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cl (ppm)	SO4 (ppm)	CO3 (ppm)	HCO3 (ppm)	Tf (°F)
1	3043	6.44	5.48	3500	76.81	174	1647	80
2	3185	32.65	12.90	3750	59.15	84	1915	85
3	3213	15.46	10.97	3700	56.18	54	2080	79
4	3378	32,00	18.53	3900	199.07	25	2135	81
5	3340	24.49	12.30	3600	59.15	0	1964	77
6	4207	25.60	13.61	5170	6	72	2257	78
7	2276	15.46	3.13	2000	106.3	66	2391	80
8	3272	32.65	13.89	3900	22.72	0	2110	84
9	2781	16.80	9.72	3030	16.19	24	2196	82
10	3272	32.65	13.89	3900	2272	0	2110	84

Muestreo, Manipulación y Preservación de las muestras



De polietileno, polipropileno o vidrio.

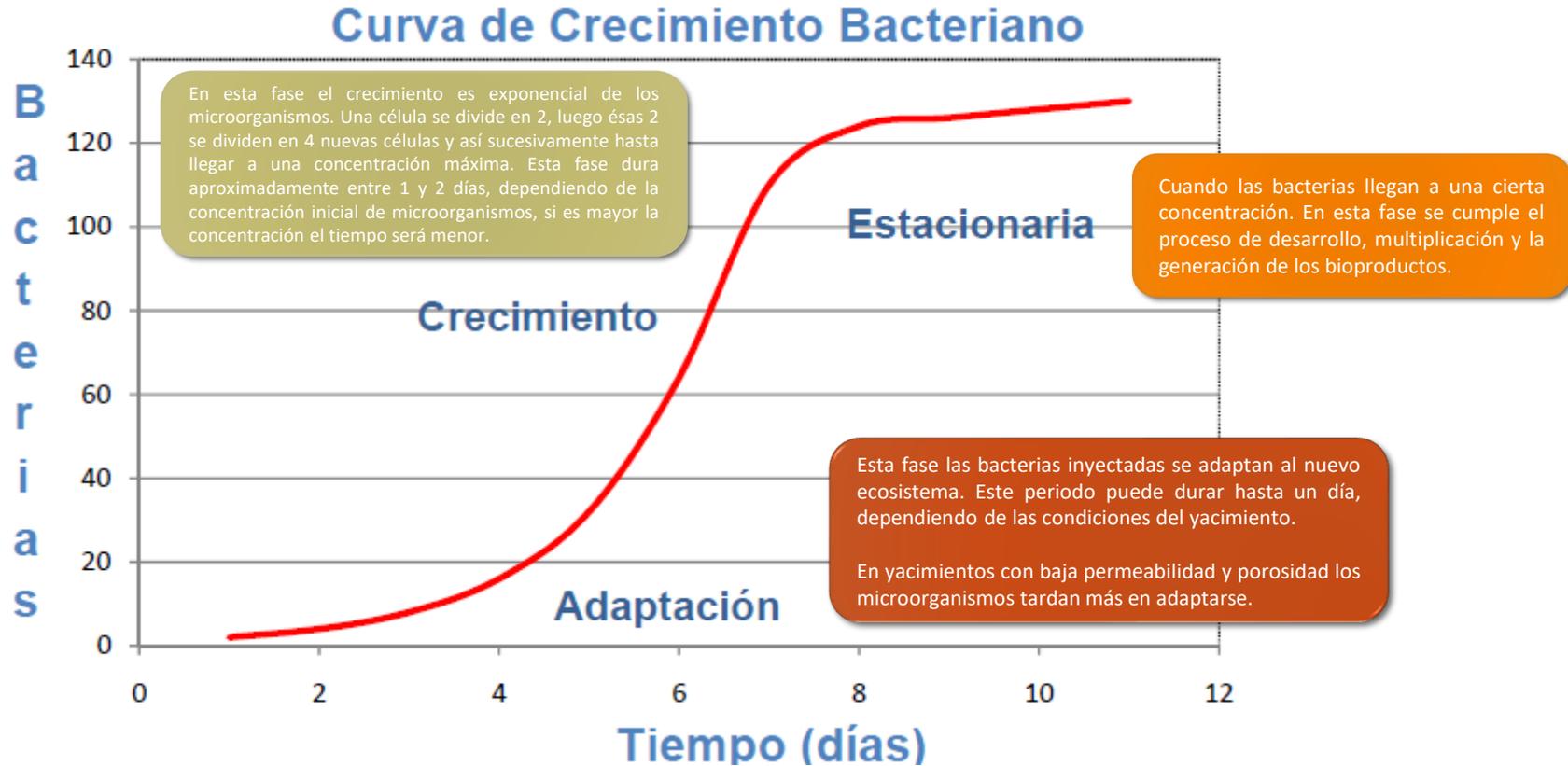


pH, salinidad, resistividad, turbidez, alcalinidad, carbonatos, hierro, ácido sulfhídrico, lo recomendable es que se mida en el sitio o en un período no mayor a las 40 hr.

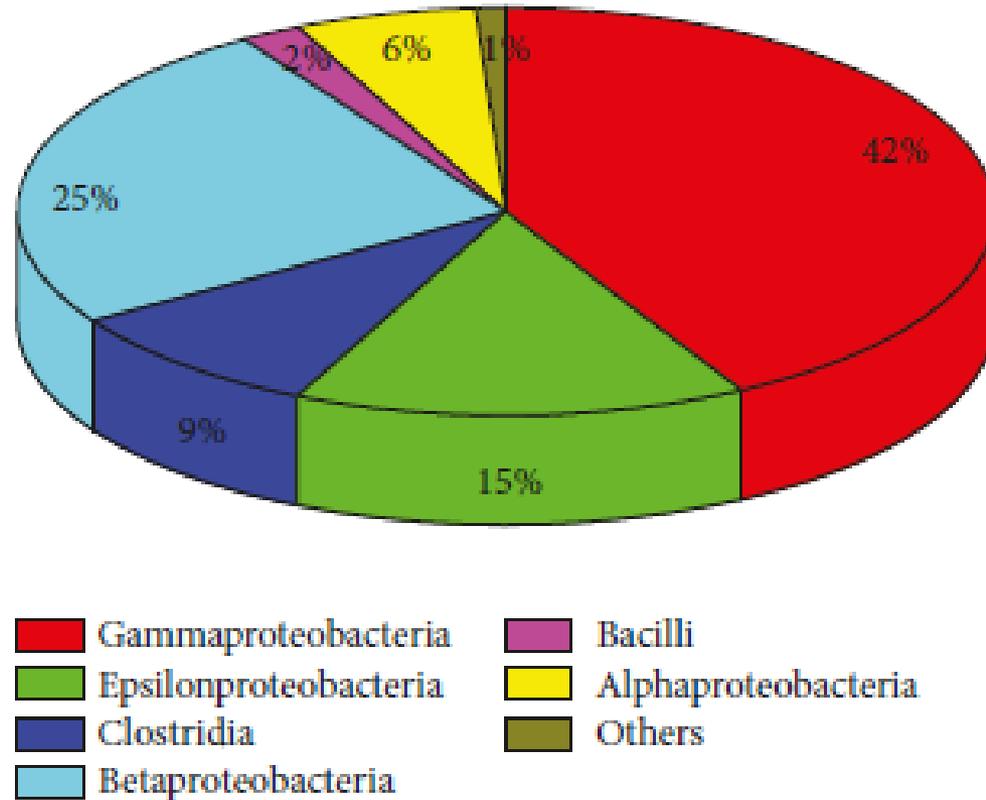
Recommended practice for analysis of oilfield waters. **API RP 45**

Fases del crecimiento Bacteriano

El tiempo que debe estar cerrado el pozo o los pozos, es determinado por la curva de crecimiento de las bacterias en función del tiempo.



The diversity of bacteria in oil reservoirs (CHINA)



Fuente: J. Lin, B. Hao, G. Cao et al., "A study on the microbial community structure in oil reservoirs developed by water flooding," Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 122, pp. 354–359, 2014.

MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery): Prueba Piloto

A nivel mundial, se han llevado a cabo numerosos ensayos de campo (Enhanced Oil Recovery by Microbial) que han alcanzado diversos grados de éxito.

Los datos estadísticos muestran que en las pruebas de campo, más del 90% de los ensayos resultaron prometedores [Safdel M, Anbaz MA, Daryasafar A, Jamialahmadi M.2017].

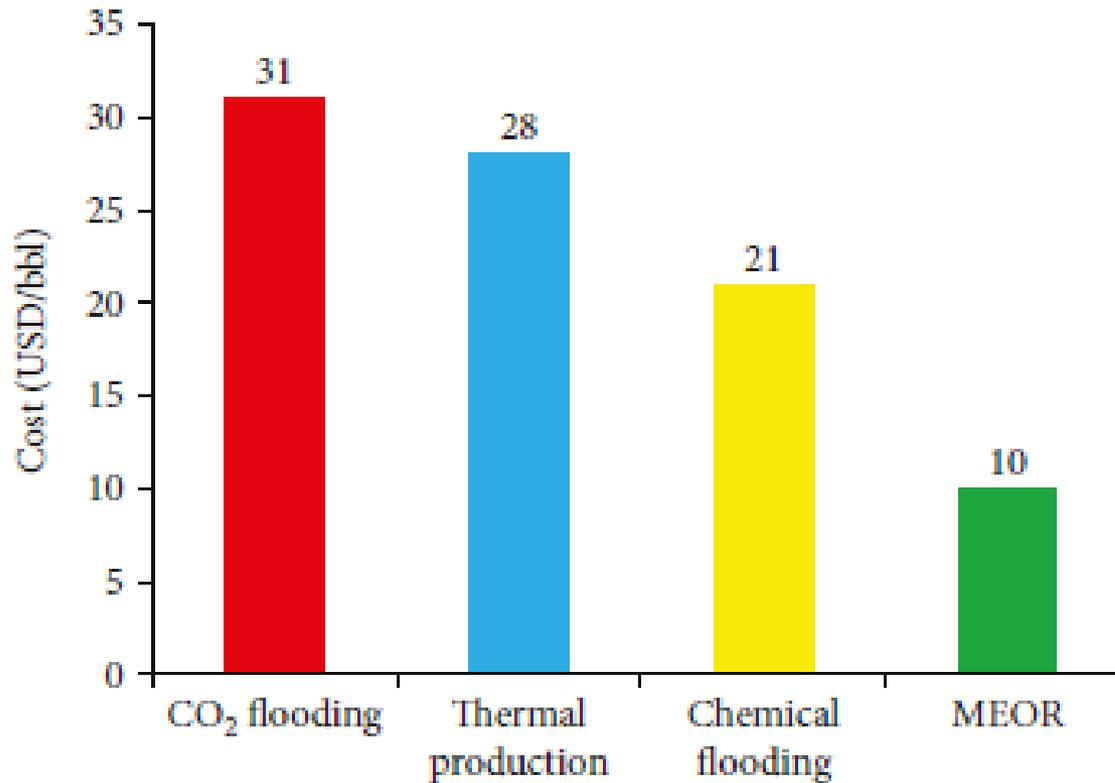
Estados Unidos fue el primer país en llevar a cabo un ensayo de campo en 1954. Adicionalmente, se han realizados pruebas pilotos en China, Rumania, Canadá e India, Venezuela, Australia, Rusia, entre otros.

MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery): % FR

- Oil & Natural Gas Corporation Ltd. (ONGC) y The Energy and Resources Institute (TERI) indican recuperación del 13% sobre la recuperación de inundación de agua y una reducción de la viscosidad del 86% después del tratamiento.
 - Otras instituciones señalan una recuperación del 13% con una reducción del 42% en la viscosidad del petróleo.
 - Pruebas de campo informan una reducción de la viscosidad del 11-25% .
-
- La recuperación de petróleo podría aumentar un 10% mediante microorganismos en un modelo terciario [J. Sui, M. Shi, F. Sun, Z. Yang, P. Han, and X. Wu,2001].
 - Aumentar un 5% mediante inundación microbiana.
 - Aumentar un 16% mediante inundación microbiana-química combinada en yacimientos posteriores a la inyección de polímeros [G. Liao, M. Shi, W. Li, Z. Hou, P. Han, and Z. Yang,2003].
 - En otro ensayo de alta permeabilidad (1400 mD), la recuperación de petróleo podría aumentar un 18,4% [Y. Li, J. Zhang, Q. Huang, and K. Ma,2014]

MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery): Costos

Different EOR technique cost estimation



Fuente: Q. Cui, "Recent progress in MEOR technology in low-medium permeability reservoirs," in Proceedings of 7th Chemical Flooding Enhanced Oil Recovery Conference, Chinese Petroleum Society, pp. 1–9, Dalian, Liaoning Province, China, 2017.

MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery): Costos

Costo por barril adicional para diferentes técnicas de recuperación mejorada de petróleo (EOR).

EOR techniques	Steam flooding	Combustion in situ	Gas flooding	Chemical flooding	MEOR
Cost (USD/bbl)	3-6	5-10	2-8	8-12	1-4

Fuente: J. He, Y. Wang, and G. Liang, Emerging Strategic Technology of the Oilfield Development, Petroleum Industry Press, 2018.

MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery): Criterios de Aplicación

Parameter	Value range	Optimum
Formation temperature (°C)	20-80	30-60
Crude viscosity (mPa·s)	10-500	30-150
Permeability (mD)	≥50	≥ 150
Porosity (%)	12-25	17-25
Brine salinity (g/L)	≥300	≥100
Wax content (%)	≥4	≥7
Water cut (%)	40-95	60-85
Total bacterial concentration in produced fluid (number/mL)	≥100	≥1000

Gravity API 10°

Fuente: J. He, Y. Wang, and G. Liang, Emerging Strategic Technology of the Oilfield Development, Petroleum Industry Press, 2018.

Aplicación de EOR



MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery): Resumen

