



ISSN 2448-508X

KUXULKAB'

-Tierra viva o naturaleza en voz Chontal-

Volumen 25

Número 51

Enero-Abril 2019

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
División Académica de Ciencias Biológicas



« REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA »



PRÁCTICAS DE CAMPO EN LA ASIGNATURA «ALGAS Y BRIOFITAS» DENTRO DE LAS INSTALACIONES DE LA DACBiol.
División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: cortesía de Ma. Guadalupe Rivas Acuña.



UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE ”

DIRECTORIO

Dr. José Manuel Piña Gutiérrez
Rector

Dra. Dora María Frías Márquez
Secretaria de Servicios Académicos

M. en C. Raúl Guzmán León
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

M. en A. Rubicel Cruz Romero
Secretario de Servicios Administrativos

L.C.P. Elena Ocaña Rodríguez
Secretaria de Finanzas

M.C.A. Rosa Martha Padrón López
Directora de la División Académica de Ciencias Biológicas

Dr. Raúl Germán Bautista Margulis
Coordinador de Investigación y Posgrado, DACBiol-UJAT

M. en A. Arturo Enrique Sánchez Maglioni
Coordinador Administrativo, DACBiol-UJAT

M. en C. Andrés Arturo Granados Berber
Coordinador de Docencia, DACBiol-UJAT

Biól. Blanca Cecilia Priego Martínez
Coordinadora de Difusión Cultural y Extensión, DACBiol-UJAT

COMITÉ EDITORIAL DE KUXULKAB'

Dr. Andrés Reséndez Medina (†)
Editor fundador

Dra. Lilia María Gama Campillo
Editor en jefe

Dra. Carolina Zequeira Larios
Dra. María Elena Macías Valadez Treviño
Editores asociados

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo
Editor ejecutivo

M.C.A. Ma. Guadalupe Rivas Acuña
L.D.C. Rafael Sánchez Gutiérrez
Correctores de estilo

M.C.A. María del Rosario Barragán Vázquez
Corrector de pruebas

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo
Lic. Ydania del Carmen Rosado López
Téc. Juan Pablo Quiñonez Rodríguez (†)
Diseñadores

L.Comp. José Juan Almeida García
Soporte técnico institucional

M.Arq.; M.A.C. Marcela Zurita Macías Valadez
Traductor

Pas. Lic. Biología José Francisco Juárez López
Apoyo técnico

CONSEJO EDITORIAL (EXTERNO)

Dra. Julieta Norma Fierro Gossman
Instituto de Astronomía, UNAM - México

Dra. Tania Escalante Espinosa
Facultad de Ciencias, UNAM - México

Dr. Ramón Mariaca Méndez
El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR San Cristóbal, Chiapas - México

M. en C. Mirna Cecilia Villanueva Guevara
Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco - México

Dr. Julián Monge Nájera
Universidad Estatal a Distancia (UNED) - Costa Rica

Dr. Jesús María San Martín Toro
Universidad de Valladolid (UVA) - España

ISSN 2448-508X

KUXULKAB'

La revista KUXULKAB' (vocablo chontal que significa «tierra viva» o «naturaleza») es una publicación cuatrimestral de divulgación científica la cual forma parte de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; aquí se exhiben tópicos sobre la situación de nuestros recursos naturales, además de avances o resultados de las líneas de investigación dentro de las ciencias biológicas, agropecuarias y ambientales principalmente.

El objetivo fundamental de la revista es transmitir conocimientos con la aspiración de lograr su más amplia presencia dentro de la propia comunidad universitaria y fuera de ella, pretendiendo igualmente, una vinculación con la sociedad. Se publican trabajos de autores nacionales o extranjeros en español, con un breve resumen en inglés, así como también imágenes caricaturescas.

KUXULKAB' se encuentra disponible electrónicamente y en acceso abierto en la siguiente dirección: www.revistas.ujat.mx; por otro lado se halla citada en:

PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias):
www.dgbiblio.unam.mx

LATINDEX (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal):
www.latindex.unam.mx/index.html



Nuestra portada:

Interacción con el entorno: conocimiento y aplicación.

Diseño de:

Fernando Rodríguez Quevedo; División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT.

Fotografías: Imágenes cortesía de Rosique, Valdez y colaboradores; así como de Peña López; artículos publicados en este número.

KUXULKAB', año 25, No. 51, enero-abril 2019; es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) a través de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol). Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura; Col. Magisterial; Villahermosa, Centro, Tabasco, México; C.P. 86040; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; <http://www.revistas.ujat.mx>; kuxulkab@ujat.mx. Editor responsable: Lilia María Gama Campillo. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2013-090610320400-203; ISSN: 2448-508X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Editor ejecutivo, Fernando Rodríguez Quevedo; Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5; entronque a Bosques de Saloya; CP. 86039; Villahermosa, Centro, Tabasco; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; Fecha de la última modificación: 11 de enero del 2019.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la revista, ni de la DACBiol y mucho menos de la UJAT. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



Editorial

Estimados lectores:

En este número 51 (enero-abril, 2019) de **KUXULKAB'**, se presentan cinco interesantes artículos, principalmente y en su mayoría, relacionados a temas dirigidos al estudio de tópicos taxonómicos, herramientas para la conservación y preservación de flora y fauna, así como la mitigación del cambio climático. A continuación, brindamos una corta reseña sobre las aportaciones expuestas en este número de la revista.

«*Estudio morfológico de 10 taxa de los Jardines de la DACBIOL de Villahermosa, Tabasco*»; en esta ocasión los autores aportan información respecto a la generación de una palinoteca, exponiendo los resultados encontrados en un estudio sobre espacios de la División Académica de Ciencias Biológicas.

«*¿Son los modelos de distribución potencial una herramienta certera de la biología de la conservación?*»; en dicho escrito se describe la utilización de esta herramienta como alternativa en la toma de decisiones para la conservación de flora, fauna, áreas y ecosistemas, así como para identificar el efecto del cambio climático.

«*Métodos ex situ de recuperación terciaria de petróleo empleando microorganismos*»; escrito donde se expone un método de recuperación de dicho producto como materia prima en México, considerando principalmente, la disminución del impacto a los ecosistemas.

«*Propagación de plantas de cacao mediante injertos*» material que aborda uno de los diversos métodos para propagar el cultivo del cacao, considerando, la alta eficacia que tiene el proceso de enjertación en la región.

«*Conocimiento tradicional, ¿una alternativa al cambio climático?*»; aportación que menciona ejemplos en donde la practica tradicional de las comunidades indígenas, forman parte de la capacidad de adaptación al cambio climático .

Siempre es grato tener la oportunidad de reconocer el interés de la comunidad en considerarnos como un espacio para compartir sus resultados, reflexiones e ideas, siendo objetivos al fortalecimiento de la divulgación científica. Además, este trabajo solo es posible gracias a la labor de los profesores e investigadores que nos apoyan en la revisión y dictamen del material, con el fin de garantizar la calidad de nuestra revista.

El decidido impulso de las autoridades de la División Académica de Ciencias Biológicas que dan a **KUXULKAB'**, permite ratificar nuestra invitación a utilizar esta plataforma de divulgación para compartir la información, que, desde cada una de sus áreas de trabajo generan día a día.

Lilia María Gama Campillo
EDITOR EN JEFE DE KUXULKAB'

Rosa Martha Padrón López
DIRECTORA DE LA DACBIOL-UJAT

Contenido

ESTUDIO MORFOPOLÍNICO DE 10 TAXA DE LOS JARDINES DE LA DACBioI DE VILLAHERMOSA, TABASCO 05-16

MORPHOLINO STUDY OF 10 TAXA IN THE GARDENS OF THE DACBioI OF VILLAHERMOSA, TABASCO

Marcela Alejandra Cid Martínez, Karla Yanet Reyes García & Reyna Lourdes Fócil Monterrubio

¿SON LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL UNA HERRAMIENTA CERTERA DE LA BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN? 17-24

ARE POTENTIAL DISTRIBUTION MODELS AN ACCURATE TOOL OF CONSERVATION BIOLOGY?

Yazmin del Carmen Rosique de la Cruz, Juan de Dios Valdez Leal, Coral Jazvel Pacheco Figueroa, Lilia María Gama Campillo, Eduardo Javier Moguel Ordóñez, Luis José Rangel Ruiz & Francisco Javier Hernández Sánchez

MÉTODOS *ex situ* DE RECUPERACIÓN TERCIARIA DE PETRÓLEO EMPLEANDO MICROORGANISMOS 25-32

ex situ METHODS FOR THIRD OIL RECOVERY USING MICROORGANISMS AND THEIR METABOLITES

Fátima García Frías, Reyna Lourdes Fócil Monterrubio, Marcia Eugenia Ojeda Morales, Miguel Ángel Hernández Rivera & Uri Marcial Ojeda Morales

PROPAGACIÓN DE PLANTAS DE CACAO MEDIANTE INJERTOS 33-40

PROPAGATION OF COCOA PLANTS BY GRAFTING

Jorge Luis Peña López

CONOCIMIENTO TRADICIONAL, ¿UNA ALTERNATIVA AL CAMBIO CLIMÁTICO? 41-47

TRADITIONAL KNOWLEDGE, AN ALTERNATIVE TO CLIMATE CHANGE?

Milca Mayo Mendoza



MÉTODOS *ex situ* DE RECUPERACIÓN TERCIARIA DE PETRÓLEO EMPLEANDO MICROORGANISMOS

ex situ METHODS FOR THIRD OIL RECOVERY USING MICROORGANISMS AND THEIR METABOLITES

Fátima García Frías^{1✉}, Reyna Lourdes Fócil Monterrubio², Marcia Eugenia Ojeda Morales³, Miguel Ángel Hernández Rivera⁴ & Uri Marcial Ojeda Morales⁵

¹Ingeniera Química Petrolera; Estudiante de la Maestría en Ciencias Ambientales de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología) en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). ²Bióloga y Maestra en Ciencias por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesora-investigadora de la DACBiología-UJAT. Colaboradora del Laboratorio de Bioprocesos y del Cuerpo Académico «Evaluación y Tecnología Ambiental»; especialista en aerobiología, microbiología ambiental y genotoxicología. ³Maestra en Ingeniería y Protección Ambiental por la UJAT; Doctora en Ciencias por el Colegio de Postgraduados (COLPOS, campus Tabasco). Estudiosa de la biotecnología y ciencias agropecuarias (biotecnología microbiana, animal y vegetal). ⁴Maestro en Ciencias de Tecnología del Petróleo y Petroquímica; Doctor en Ciencias Químicas. Especialista en el desarrollo de materiales para el control ambiental. ⁵Maestro en Ciencias en Producción Agroalimentaria en el Trópico por el COLPOS (campus Tabasco); estudiante del Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales (DACBiología-UJAT).

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT): Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya; C.P. 86039; Villahermosa, Tabasco; México.

✉ fatigf18@gmail.com

0000-0001-8927-2536

Como referenciar:

García Frías, F.; Fócil Monterrubio, R.L.; Ojeda Morales, M.E.; Hernández Rivera, M.Á. & Ojeda Morales, U.M. (2019). Métodos *ex situ* de recuperación terciaria de petróleo empleando microorganismos. *Kuxulkab'*, 25(51): 25-32, enero-abril. DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a25n51.2908>

Disponible en:

<http://www.revistas.ujat.mx>

<http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a25n51.2908>

Resumen

El petróleo es la principal materia prima usada como energético. En él se basa la economía de muchos países. Su utilidad estriba en su capacidad de transformación, como el caso de los combustibles. Sin embargo, el descenso en la producción mundial ha impulsado la búsqueda de métodos de recuperación mejorada de petróleo que además impacten lo menos posible los ecosistemas. Estos métodos son probados en condiciones controladas de laboratorio antes de ser aplicados en campo. En la literatura se reportan diversos métodos, que se describen en la presente investigación. Todos hacen uso de microorganismos y sus productos metabólicos. La eficiencia entre un método y otro depende de la geología del yacimiento y de las características biológicas de los microorganismos empleados en la recuperación del petróleo.

Palabras clave: Biosurfactante; core flooding; columnas de arena; celda Amott.

Abstract

Oil is the main raw material used as energy. The economy of many countries based on it. Its usefulness is its capacity of transformation, for example fuels. However, the fall in world production has driven to search new oil recovery methods that should affect ecosystems as little as possible. These methods are tested in controlled laboratory conditions before being applied in the field. Various methods. In literature are described in this work. All of them use microorganisms and their metabolic products. The efficiency between one method and another depends on the geology of the reservoir and the biological characteristics of the microorganisms used in oil recovery.

Keywords: Biosurfactant; core flooding; sand-pack columns; Amott cell.

El petróleo es considerado la materia prima de mayor importancia a nivel mundial, ya que muchos de los productos que conocemos y utilizamos se obtienen de su extracción y transformación; es por eso que la demanda de producción aumenta conforme los países se vuelven más industrializados (Bachmann, Clemens & Edyvean, 2014). El proceso de extracción se compone de varias etapas (primaria, secundaria y terciaria), también conocidas como 'métodos convencionales', después de las cuales, se estima que alrededor del 55 al 66 % del petróleo queda atrapado en los poros de las rocas.

Es por ello que, es importante su recuperación generando el menor impacto ambiental posible (Geetha, Banat & Joshi, 2018). Y esto es muy importante ante el descenso en la producción mundial de petróleo, ya que parte de la solución no está en hallar más depósitos, sino en hacer más eficiente los métodos de recuperación. Probar los métodos de recuperación mejorada de petróleo a escala de laboratorio es importante, porque de ello, depende lograr porcentajes de recuperación viables económicamente. Para esto el uso de microorganismos productores de metabolitos (cualquier sustancia producida durante el metabolismo microbiano), tales como *biosurfactantes*, *biopolímeros*, *bioácidos* y otros más; es importante porque al ser estos de origen biológico son menos dañinos e invasivos, y el impacto es menor sobre la biósfera.

Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es describir algunos métodos de recuperación terciaria de petróleo, haciendo uso de cepas microbianas que produzcan metabolitos que permitan una recuperación mejorada de hidrocarburos.

Características generales

El petróleo, también conocido como petróleo crudo, es una mezcla de cadenas de carbono e hidrógeno (hidrocarburos) que se hallan bajo la corteza terrestre a diferentes profundidades, en lugares conocidos como depósitos o reservorios. Estos hidrocarburos se pueden encontrar en estado líquido (petróleo crudo), sólido (resinas o asfaltenos) o en estado gaseoso (gas natural), lo que va depender de muchas variables como la profundidad, la presión atmosférica y la temperatura del yacimiento petrolero (Speight, 2011; Jafarinejad, 2017).

El petróleo y sus derivados contribuyen en más de la mitad de la energía utilizada a nivel mundial, ya que este no solo aporta la materia prima para la fabricación de combustibles como gasolinas, diesel, turbosina y keroseno, sino que además es una de las principales fuentes para la elaboración de muchos derivados, entre los cuales predominan los plásticos, textiles, lubricantes, fertilizantes, insecticidas, jabones, caucho sintético, pinturas e incluso algunos alimentos (Bachman *et al.*, 2014; Gaytán, Mejía, Hernández-Gama, Torres, Escalante & Muñoz-Colunga, 2015).

En cuanto al clasificar las diferentes formas del petróleo, existen diversas maneras, por ejemplo según su localización o geografía, como es el caso del West Texas Intermedio de Estados Unidos, el Brent del Reino Unido, Oman de Oman, el Olmeca de México, entre otros.

«El petróleo crudo, conocido también como petróleo, es una mezcla de cadenas de carbono e hidrógeno, se hallan bajo la corteza terrestre a diferentes profundidades, estos sitios son conocidos como depósitos o reservorios. Este hidrocarburo puede encontrarse en estado líquido, sólido o gaseoso»

(2019). Fuente: pixabay.com
<https://pixabay.com/es/photos/plataforma-petrolera-la-industria-3820929/>



Por otro lado, incluso, por el contenido de azufre; cuando este es menor al 1 % se le llama petróleo crudo dulce, pero cuando contiene más del 1 % recibe el nombre de petróleo crudo amargo (Jafarnejad, 2017). Otra forma de clasificación lo constituye su volatilidad. Al calentarse los más ligeros se evaporan con facilidad, de tal manera que los más pesados se quedan al tener un punto de ebullición más alto. Así mismo, se le puede dividir según densidad (como se muestra en el cuadro 1), un parámetro internacional del Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés), que diferencia las calidades del crudo (IMP, 2016).

Las moléculas de los hidrocarburos del petróleo están compuestas por cuatro tipos principales: los alcanos o parafinas, los cuales representan entre 15 y 60 % del petróleo crudo; los naftenos o ciclo-parafinas, entre 30 y 60 %; los aromáticos, entre 3 y 30 %; mientras que las resinas y los asfaltenos componen el resto. La cantidad presente de cada uno de los componentes dentro de los hidrocarburos, varía de petróleo a petróleo, lo que determina sus propiedades (Jafarnejad, 2016).

Y finalmente, el gas natural también se libera. Este se encuentra presente durante la explotación de un yacimiento de petróleo, donde el metano (el gas natural) es el predominante, pero también se pueden encontrar otros hidrocarburos como el etano, propano y butano. Las proporciones varían de acuerdo a la presión del reservorio y a la cantidad de biomasa que da origen al yacimiento (Speight, 2011; Jafarnejad, 2016).

Etapas de recuperación de petróleo

Las reservas de petróleo se ubican dentro de la corteza terrestre como depósitos de aceite atrapado dentro de los tubos capilares de una roca madre. Están en combinación con el agua (llamada agua de formación). En general, el petróleo es extraído por perforación del pozo, el cual es diseñado con el fin de contener y controlar el flujo de fluido durante los procesos de perforación, todo lo cual depende de la capacidad para cuantificar la cantidad de petróleo recuperable. Este proceso de extracción recibe el nombre de *recuperación* (Speight, 2016).

La primera de tres etapas de recuperación recibe el nombre de *Recuperación primaria*. Esta se lleva a cabo cuando el petróleo es forzado a salir a la superficie por diferencias naturales de presión, es decir, se aprovecha la fuerza de conducción natural para que el fluido emerja a la superficie, y lo hace gracias la expansión del petróleo al disminuir la presión atmosférica que lo comprime, expansión del gas, desplazamiento por migración del agua naturalmente presurizada, y el drenaje natural de la roca (Speight, 2011; El-Sheshtawy, Aiad, Osman, ELnasr & Kobisy, 2015; Speight, 2016; Safdel, Anbaz, Daryasafar & Jamialahmadi, 2017).

La mayor parte de las veces la etapa primaria es una recuperación natural. Sin embargo, no siempre es así, de modo que es necesario hacer uso de equipos de bombeo en la parte inferior del tubo de producción, el cual es operado por un motor y una especie de balancín que sube y baja, extrayendo el petróleo con el mínimo de energía necesaria. Pero eventualmente la presión tendrá una caída o descenso natural. En esta fase se recuperan los hidrocarburos ligeros de cadena corta (entre 10 y 15 % como promedio), los cuales tienen el mayor precio en el mercado y requieren los menores costos energéticos para su extracción, transporte y refinación (Speight, 2016; Safdel *et al.*, 2017; Varjani, 2017).

Durante la segunda etapa, llamada *Recuperación secundaria*, el pozo se somete a un proceso de estimulación mediante la inyección de algún fluido a presión, con la finalidad de ejercer un empuje sobre el aceite y desplazarlo hacia el pozo productor. En esencia, es la introducción de energía para producir más petróleo reduciendo tensión interfacial (la cual se da entre dos líquidos inmiscibles separados por una interfase) entre los diferentes fluidos. Si la tensión interfacial no se reduce, el petróleo no escapa de los capilares de la roca y por lo tanto no se puede llevar a cabo la recuperación.

Cuando se inyecta agua, el proceso se conoce como *inundación con agua* ("water-flooding"). La inyección de fluidos también realiza un barrido de la roca yacimiento, y en algunos casos, se puede llegar a la presión de fractura de la roca, liberando cantidades variables de petróleo. Esta técnica es la más eficiente en relación con los fluidos que se inyectan, recuperando del 40 al 80 % del petróleo original en el lugar, aunque el promedio típico es de 50 % (Hernández, 2016).

Finalmente, la tercera etapa es denominada *Recuperación terciaria*. Esta etapa por lo común recibe el nombre de

Cuadro 1. Clasificación del petróleo en México con base en grados API.

Aceite crudo	Densidad (g/cm ³)	Densidad grados API
Extra pesado	> 1.0	10.0
Pesado	1.0 - 0.92	10.0 - 22.3
Mediano	0.92 - 0.87	22.3 - 31.1
Ligero	0.87 - 0.83	31.1 - 39.0
Súper ligero	< 0.83	> 39.0

Fuente: IMP (2016).

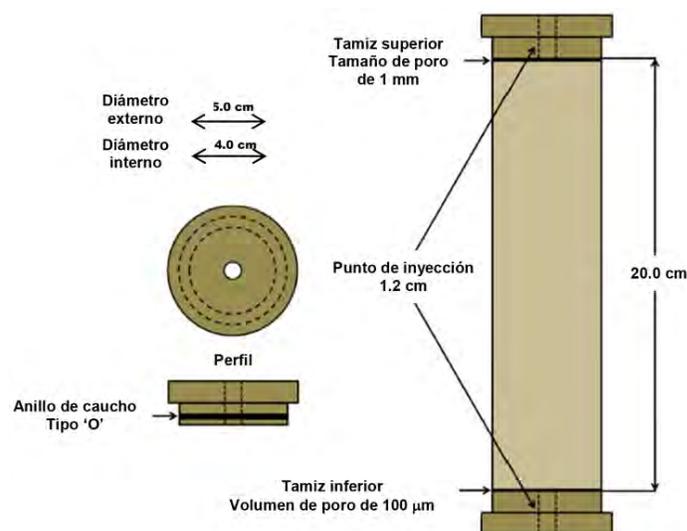


Figura 1. Ilustración del modelo de columna del paquete de arena utilizado para evaluar la movilización de aceite residual por microorganismos (Fuente: Gudina *et al.*, 2013).

Recuperación Mejorada de Petróleo (EOR, por sus siglas en inglés), y consiste en el uso e inyección de sustancias de origen químico, inundación con dióxido de carbono, inundación con nitrógeno molecular, inundación con gas miscible, el empleo de surfactantes químicos, así como métodos más invasivos como la inundación con fuego, extracción con vapor, uso de sustancias alcalinas, e incluso el empleo de fractura multietapa (Satter & Iqbal, 2016).

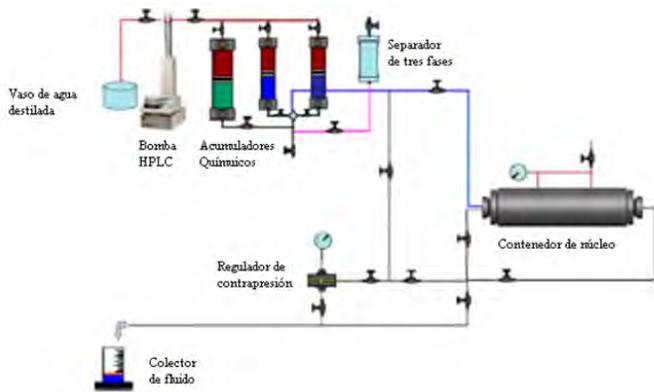


Figura 2. Sistema de inundación de núcleo o "core flooding" (Fuente: Darvishi et al., 2011).

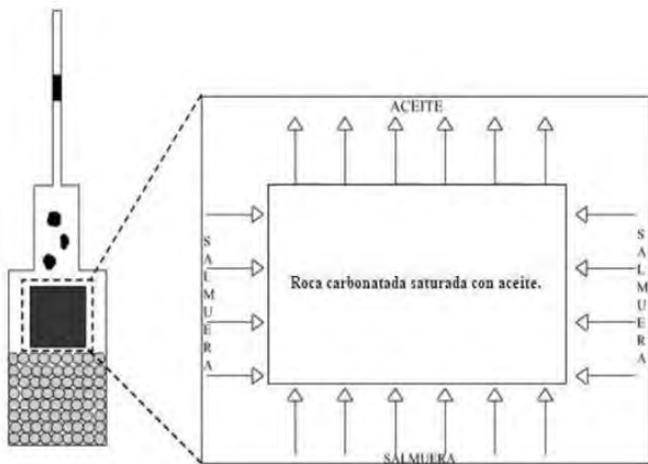


Figura 3. Esquema de una celda de imbibición espontánea o celda de Amott (Fuente: Ramírez, 2010).

Sin embargo, dentro de los métodos de EOR existen métodos microbianos, los cuales consisten en el uso de microbios y sus metabolitos como los surfactantes de origen biológico (los de mayor interés), así como otros metabolitos de vital importancia en el proceso de recuperación de petróleo, como bioácidos, biopolímeros, biosolventes, biogás, bioemulsificantes y biomasa microbiana, los cuales pueden ser producidos por una amplia variedad de microorganismos que forman parte de la microbiología nativa de un yacimiento, y que se halla adaptada a las condiciones de temperatura, salinidad, pH, presión atmosférica y las condiciones geológicas, características que cambian de un campo petrolero a otro, e incluso de un pozo a otro (Bachman et al., 2014; Safdel et al., 2017).

El empleo de microorganismos y sus productos metabólicos recibe el nombre de *Recuperación Microbiana Mejorada de Petróleo* (MEOR, por sus siglas en inglés).

Aunque la literatura indica diferentes porcentajes de recuperación de petróleo en esta tercera etapa empleando la tecnología MEOR, los porcentajes reales van a depender del metabolismo del microorganismo, así como también de la densidad del aceite (su gravedad API) y la geología del yacimiento. Pero el promedio general oscila entre el 10 y el 15 % (Fooladi, Moazami, Abdeshahian, Kadier, Ghojavand, Yusoff & Hamid, 2016; Satter & Iqbal, 2016).

A diferencia de los otros métodos de EOR que no son microbianos, el uso de microorganismos y sus metabolitos para recuperar petróleo es una tecnología amigable con el ambiente, de baja toxicidad, biodegradable y de bajo costo (siempre que no se use con elevado porcentaje de pureza), por lo que las técnicas empleadas en su recuperación hacen uso de ellos. Teóricamente del 55 al 66 %, es decir dos terceras partes aproximadamente, del petróleo crudo queda atrapado en los reservorios después de los métodos de recuperación primaria y secundaria (Safdel et al., 2017; Geetha et al., 2018). Por esta causa, se ha enfocado la atención en los métodos de recuperación mejorada con el fin de recuperar más petróleo de los campos marginales y de los pozos maduros.

Métodos *ex situ* de recuperación

Como se ha dicho, existen dos formas de recuperar el petróleo: '*in situ*' (que significa en su sitio), lo cual implica la inyección de cepas microbianas a los pozos o también proporcionando nutrientes a los microorganismos nativos donde se lleve a cabo la MEOR. Y '*ex situ*' (que significa fuera de su sitio), donde las cepas microbianas son extraídas del pozo y cultivadas en condiciones controladas de laboratorio, haciendo un riguroso proceso de selección con base en su temperatura de crecimiento, tolerancia a diferentes rangos de salinidad, entre otros. Los productos microbianos (es decir: sus metabolitos) son producidos fuera del pozo e inyectados posteriormente en él con el fin de recuperar petróleo (Geetha et al., 2018).

Pero antes de probarlos directamente en campo deben ser evaluados en condiciones de laboratorio, para probar su eficiencia y funcionamiento. Para esto se han desarrollado métodos, los cuales, emplean equipos de diferentes capacidades y complejidad. Existen tres métodos, los cuales son los más frecuentes y a continuación se describen de manera general.

Ensayos de inundación de núcleo ("core flooding").

Este consiste en el uso de un núcleo de roca (o fragmento de roca) cuya composición es variada, dependiendo de las características del yacimiento donde se busca la recuperación, y puede ser de origen comercial u obtenido durante los procesos de perforación del yacimiento. Mientras que el sistema experimental lo constituye una bomba de inyección continua, un horno para control de temperatura, cilindros de transferencia, un medidor de presión, un transductor de presión diferencial, un sistema de adquisición de datos y una celda de acero inoxidable (Castorena-Cortes, Zapata-Peñasco, Roldan-Carrillo, Reyes-Avila, Mayol-Castillo, Román-Vargas & Olguín-Lora, 2012).

El núcleo es saturado con petróleo, luego es bañado por una solución de salmuera; después se inyectan los nutrientes y los microorganismos con un periodo de confinamiento de 10 días dos veces seguidas, para finalizar una nueva inundación con salmuera, la cual termina por arrastrar el petróleo que los microbios y sus metabolitos lograron recuperar (Sarafzadeh, Niazi, Oboodi, Ravanbakhsh, Hezave, Ayatollahi & Raeissi, 2013). Este método permite llevar a cabo inundaciones de núcleo continuas y mediciones muy precisas.

Celda de Amott. Este se lleva a cabo a través de un proceso de imbibición espontánea, lo cual quiere decir, que un fluido que satura un medio capilar es desplazado por otro fluido. Este método también emplea un núcleo de las mismas características que el usado en el ensayo de "core flooding"; el cual se satura de aceite para después sumergirse en una celda llena de salmuera, la cual contiene los microorganismos o los productos metabólicos (biosurfactantes, biopolímeros, bioácidos, etcétera) libres de células. Esta celda tiene una capacidad de 350 cm³, un volumen capilar de 5 ml y una escala mínima de 0.05 ml para registrar mediciones directas del petróleo expulsado del núcleo (Ramírez, 2010).

Las celdas de Amott, a diferencia de los ensayos de inundación de núcleo, son sistemas estáticos y permiten simular mejor las condiciones de pozo. Cuando se inunda con salmuera nuevamente, el petróleo excedente es liberado y medido, lo que permitirá evaluar el porcentaje de recuperación.

Columnas empacadas con arena. Como la celda de Amott es un sistema estático, pero a diferencia de ella y del "core flooding", no hace uso de núcleos, sino de paquetes de arena cuyo tamaño de partícula es de 150

µm en promedio. Es una columna de acrílico (aunque también puede ser de vidrio) orientada verticalmente de 40 x 50 x 175 mm de dimensiones, con un tamiz, tamaño de poro de 100 µm (el tamaño de poro es el espacio vacío total dentro de la columna) y una tapa fija en el fondo (Gudiña, Rodrigues, De Freitas, Azevedo, Teixeira & Rodríguez, 2016).

Una vez que la arena es depositada dentro de la columna, debe hacerse vacío para extraer el aire que pueda interferir con la saturación posterior con salmuera, eliminando así cualquier burbuja de aire. Luego se satura la arena con petróleo, y en seguida, se lava con salmuera a fin de arrastrar el petróleo que no se adsorbió en la arena. Entonces se hace la inundación con los microorganismos productores de biosurfactantes y otros metabolitos, o sólo los metabolitos sin células dándose un periodo de 24 horas. Finalmente se barre con salmuera con el fin de cuantificar el petróleo que pudo ser removido por el efecto microbiano y sus metabolitos (Gudiña *et al.*, 2016).

Las columnas de arena son de fácil construcción y manejo, y no requieren el manejo y preservación de los núcleos usados en los ensayos de "core flooding" y la celda de Amott, así como tampoco de equipos especializados; sin embargo, el drenaje es mucho más alto que en los núcleos que suelen ser de rocas muy duras como el granito u otros minerales más sedimentarios como los carbonatos. Es probable que las columnas empacadas con arena sean más útiles en yacimientos cuyo tipo de roca es más un arenito (es decir, yacimientos arenosos), donde la densidad es más baja en comparación con yacimientos de roca más compactas y densas.

Microorganismos y la recuperación de petróleo

Como se ha mencionado, los microorganismos mejor capacitados para recuperar petróleo son los nativos de cada yacimiento. El hecho de una tecnología MEOR haya sido usada con éxito en un campo petrolero, no implica que deba funcionar en otro, ni siquiera entre dos pozos contiguos, por lo que se requieren estudios específicos para cada caso (Bachman *et al.*, 2014).

Los microorganismos empleados en la recuperación mejorada de petróleo producen durante el proceso un <caldo>, en el que se hayan metabolitos muy importantes en la recuperación, de donde destacan los biosurfactantes. Sin embargo, cuando ese caldo se purifica con el fin de extraer al biosurfactante, los costos de producción se elevan y hacen que la recuperación de petróleo sea inviable económicamente, por lo que es mejor manejar el biosurfactante en su forma

impura o 'caldo' en el cual se hayan contenidos los demás metabolitos que también tienen su efecto en los procesos de recuperación, porque su uso elimina aproximadamente el 60 % de los costos de producción.

Los biosurfactantes y los metabolitos asociados que forman el 'caldo' son producidos por microorganismos como las bacterias (las más estudiadas), pero también por hongos (levaduras y mohos) y algunas algas (Soares da Silva, Alemida, Meira, Silva, Farías, Rufino, Luna & Sarubbo, 2017; Geetha et al., 2018). Entre las cepas reportadas y que son empleadas en la recuperación mejorada de petróleo, se encuentran: caben mencionar:

Bacillus (SLDB1), *Bacillus* (SB2), '*Bacillus sp.*' I-15, '*B. pumilus*' 21R (Fooladi et al., 2016; Joy, Rahman & Sharma, 2017).

'Pseudomona aeruginosa' (Gudiña et al., 2016; Oluwaseun, Kola, Mishra, Ravinder, Kumar, Singh & Oluwasesan, 2017).

'Azospirillum brasilense', '*A. lipoferum*' (Severo, Hernández, Fócil & Ojeda, 2015).

'Pseudomona cepacia' (Soares da Silva et al., 2017).

Thermoshipo, Geotoga, Thermotoga, '*Garciella nitratreducens*', '*Petrotoga mexicana*', '*Caldanaerobacter subterraneus*' (Gaytán et al., 2015).

'Starmerella bombicola' (Konishi, Yoshida & Horiuchi, 2015).

'B. mojavensis' JF-2 (Armstrong, Wildenschild & Bay, 2015).

Sin embargo, se vuelve a mencionar que los organismos mejor capacitados para la recuperación mejorada de petróleo son los nativos de cada pozo, ya que están adaptados a las condiciones particulares de cada uno.

Conclusión

La necesidad de hallar nuevas alternativas para la extracción del petróleo se hace cada vez más grande, ya que es la principal fuente de energía en todo el mundo, pero no solo se deben buscar métodos para la recuperación de este y aumentar la productividad, sino también hallar métodos que tengan menor impacto en el ambiente.

Así también, el uso de microorganismos y sus metabolitos asociados como los biosurfactantes, bioácidos, biosolventes, biopolímeros, bioemulsificantes y biomasa, son una alternativa para mejorar la recuperación de petróleo en pozos maduros e inactivos, con la ventaja de que son de baja toxicidad e impactan menos el ambiente.

Referencias

Armstrong, R.T.; Wildenschild, D. & Bay, B.K. (2015). The effect of pore morphology on microbial enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 130:16-25. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2015.03.010>»

Bachmann, R.T.; Clemens J., A. & Edyvean, R.G.J. (2014). Biotechnology in the petroleum industry: An overview. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 86(part C): 225-237. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.09.011>»

Castorena-Cortés, G.; Zapata-Peñasco, I.; Roldán-Carrillo, T.; Reyes-Avila, J.; Mayol-Castillo, M.; Román-Vargas, S. & Olguín-Lora, P. (2012). Evaluation of indigenous anaerobic microorganisms from Mexican carbonate reservoirs with potential MEOR application. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 81: 86-93. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2011.12.010>»

Darvishi, P.; Ayatollahi, S.; Mowla, D. & Niazi, A. (2011). Biosurfactant production under extreme environmental conditions by an efficient microbial consortium, ERCPP1-2. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 84(2): 292-300. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.01.011>»

El-Sheshtawy, H.S.; Aiad, I.; Osman, M.E.; Abo-ELnasr, A.A. & Kobisy, A.S. (2015). Production of biosurfactant from '*Bacillus licheniformis*' for microbial enhanced oil recovery and inhibition the growth of sulfate reducing bacteria. *Egyptian Journal of Petroleum*, 24(2): 155-162. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.05.005>»

Fooladi, T.; Moazami, N.; Abdesahian, P.; Kadier, A.; Ghojvand, H.; Yusoff, W.M.W. & Hamid, A.A. (2016). Characterization, production and optimization of lipopeptide biosurfactant by new strain '*Bacillus pumilus*' 21R isolated from an Iranian oil field. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 145: 510-519. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2016.06.015>»

Gaytán, I.; Mejía, M.Á.; Hernández-Gama, R.; Torres, L.G.; Escalante, C.A. & Muñoz-Colunga, A. (2015). Effects of indigenous microbial consortia for enhanced oil recovery in a fragmented calcite rocks system. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 128: 65-72. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2015.02.028>»

Geetha, S.J.; Banat, I.M. & Joshi, S.J. (2018). Biosurfactants: Production and potential applications in microbial enhanced oil recovery (MEOR). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 14: 23-32. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.01.010>»

Gudiña, E.J.; Pereira, J.F.B.; Costa, R.; Coutinho, J.A.P.; Teixeira, J.A. & Rodrigues, L.R. (2013). Biosurfactant-producing and oil-degrading '*Bacillus subtilis*' strains enhance oil recovery in laboratory sand-pack columns. *Journal of Hazardous Materials*, 261: 106-113. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.06.071>»

Gudiña, E.J.; Rodrigues, A.I.; De Freitas, V.; Azevedo, Z.; Teixeira, J.A. & Rodrigues, L.R. (2016). Valorization of agro-industrial wastes towards the production of rhamnolipids. *Bioresource Technology*, 212: 144-150. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.027>»

Hernández, M. (2016). *Factores que afectan la Recuperación Mejorada del Petróleo empleando microorganismos*. Brasil: COPPE-Universidad Federal de Río de Janeiro.

IMP (Instituto Mexicano del Petróleo). (2016). Tipos de Petróleo. *Instituto Mexicano del Petróleo* [web]. Consultado el 16/sep/2018 de «<http://www.imp.mx/petroleo/?imp=tipos>»

Jafarnejad, S. (2016). Control and treatment of sulfur compounds specially sulfur oxides (SOx) emissions from the petroleum industry: a review. *Chemistry International*, 2(4): 242-253. Recovered from «<http://bosajournals.com/chemint/images/pdffiles/44.pdf>»

Jafarnejad, S. (2017). 1. Introduction to the Petroleum Industry. *Petroleum Waste Treatment and Pollution Control*: 1-17. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809243-9.00001-8>»

Joy, S.; Rahman, P.K.S.M. & Sharma, S. (2017). Biosurfactant production and concomitant hydrocarbon degradation potentials of bacteria isolated from extreme and hydrocarbon contaminated environments. *Chemical Engineering Journal*, 317: 232-241. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.02.054>»

Konishi, M.; Yoshida, Y. & Horiuchi, J. (2015). Efficient production of sophorolipids by '*Starmerella bombicola*' using a corn cob hydrolysate medium. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 119(3): 317-322. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2014.08.007>»

Oluwaseun, A.C.; Kola, O.J.; Mishra, P.; Ravinder Singh, J.; Kumar Singh, A.; Singh Cameotra, S. & Oluwasesan Michael, B. (2017). Characterization and optimization of a rhamnolipid from '*Pseudomonas aeruginosa*' C1501 with novel biosurfactant activities. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 6: 26-36. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2017.07.001>»

Ramírez Pacheco, C. (2010). *Nuevo surfactante en el control e inhibición de asfaltenos en un pozo-yacimiento*, (Tesis de Licenciatura Ingeniero Petrolero). México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Recuperado de «<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1356/Tesis.pdf?sequence=1>»

Safdel, M.; Anbaz, M.A.; Daryasafar, A. & Jamialahmadi, M. (2017). Microbial enhanced oil recovery, a critical review on worldwide implemented field trials in different countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74: 159-172. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.045>»

Sarafzadeh, P.; Niazi, A.; Oboodi, V.; Ravanbakhsh, M.; Hezave, A.Z.; Ayatollahi, S.S. & Raeissi, S. (2013). Investigating the efficiency of MEOR processes using '*Enterobacter cloacae*' and '*Bacillus stearothermophilus*' SUCPM#14 (biosurfactant-producing strains) in carbonated reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 113: 46-53. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2013.11.029>»

Satter, A. & Iqbal, G.M. (2016). 17 - Enhanced oil recovery processes: thermal, chemical, and miscible floods. *Reservoir Engineering: The Fundamentals, Simulation, and Management of Conventional and Unconventional Recoveries*: 313-337. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-800219-3.00017-6>»

Severo Domínguez, A.L.; Hernández Rivera, M.Á.; Fócil Monterrubio, R.L. & Ojeda Morales, M.E. (2015). Estudio de la producción de biosurfactantes obtenidos de bacterias fijadoras de nitrógeno y degradadoras de petróleo. *Kuxulkab'*, 21(41): 23-28. DOI «<https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a21n41.1428>»; «<http://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/1428>»

Soares da Silva, R.C.; Alemida, D.G.; Meira, H.M.; Silva, E.J.; Farías, C.B.B.; Rufino, R.D.; Luna, J.M. & Sarubbo, L.A. (2017). Production and characterization of a new biosurfactant from '*Pseudomonas cepacia*' grown in low-cost fermentative medium and its application in the oil industry. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 12: 206-215. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.09.004>»

Speight, J.G. (2011). *An Introduction to Petroleum Technology, Economics, and Politics*, (p. 334). United States of America: Scrivener Publishing LLC.; John Wiley & Sons, Inc. Hoboken; Scrivener Publishing. DOI «<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118192528>»

Speight, J.G. (2016). Chapter 1 - Heavy Oil and Tar Sand Bitumen. *Introduction to Enhanced Recovery Methods for Heavy Oil and Tar Sands*, (Second Edition). U.S.A. DOI «<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-849906-1.00001-1>»

Varjani, S.J. (2017). Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresource Technology*, 223: 277-286. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.037>»



FOMENTO Y PERMANENCIA DE NUESTRAS TRADICIONES: ALTARES DE DÍA DE MUERTOS.
División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: Rafael Sánchez Gutiérrez (Coordinación de Difusión Cultural y Extensión de la DACBiol).

«La disciplina es no perder de vista lo que se desea alcanzar»

DACBiol



INSTALACIONES DEL «HERBARIO UJAT»

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: José Francisco Juárez López.



KUXULKAB'

División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

☎ +52 (993) 358 1500, 354 4308 ext. 6415
✉ kuxulkab@ujat.mx • kuxulkab@outlook.com
🌐 www.revistas.ujat.mx

Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya. C.P. 86039.
Villahermosa, Tabasco. México.

