



Análisis de la capacidad absorbente del olote de maíz en derrames petroleros

Analysis of the absorbent capacity of corn in oil spills

César L. Redonda-Deceano¹ <https://orcid.org/0000-0003-1340-9115>

David Arroyo-Acosta¹ <https://orcid.org/0000-0001-6308-6452>

Arturo Bueno-Tokunaga² <https://orcid.org/0000-0002-7658-4490>

David Reyes-Gonzalez¹ <https://orcid.org/0000-0001-6400-5984>

¹Instituto Tecnológico Superior de Misantla, México

² CIGA-Universidad Autónoma de Coahuila, México

*Autor para la correspondencia: cesarluisrd@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio sobre la capacidad de absorción de petróleo crudo contenido en un medio acuoso, utilizando olote de maíz como absorbente. Se propone un diseño experimental del tipo factorial generalizado, tomando en cuenta los siguientes factores: tamaño de partícula, densidad API del petróleo, temperatura y salinidad del agua; estos valores emulan un derrame de petróleo real. Se realizan 36 corridas experimentales, se mide el porcentaje de petróleo absorbido en una muestra de olote de maíz. A partir de un análisis de varianza estadístico, se determina que el proceso de absorción la salinidad del agua es un factor que tiene mayor efecto en el proceso de absorción; mientras que la calidad del aceite, medida en API (de acuerdo al American Petroleum Institute) presenta un efecto menor. Se presenta el resultado de un análisis de optimización de condiciones y calidad de petróleo que presentan el mayor porcentaje de absorción.

Palabras clave: absorción, petróleo, olote de maíz.

ABSTRACT

This work presents a study on the absorption capacity of crude contained in aqueous medium, using corncob as absorbent. An experimental design of the generalized factorial type is proposed, taking into account the following factors: particle size, API density of the oil, temperature and salinity of the water; these values emulate a real oil spill. 36 experimental runs are carried out, the percentage of oil absorbed in a sample of corn cob is measured, from a statistical analysis of variance it is possible to determine the factors that have greater and

C. L. REDONDA-DECEANO, D. ARROYO-ACOSTA, A. BUENO-TOKUNAGA, D. REYES-GONZALEZ

lesser effect on the water absorption process, salinity is a factor that has a greater effect on the absorption process, while the oil quality, measured in API (according to the American Petroleum Institute) has a lesser effect. In addition, the result of an analysis of optimization of conditions and quality of the oils that present the highest percentage of absorption is presented.

Key words: Absorption, oil, corn cob.

Recibido: 21/02/2022

Aprobado: 29/04/ 2022

Introducción

El manejo y transporte inadecuados de materiales clasificados como residuos peligrosos genera un problema de contaminación en el medio ambiente. Destacando los residuos de hidrocarburos como uno de los tipos de contaminantes actuales más severos, por el volumen generado y la frecuencia de ocurrencia. Los derrames de petróleo generados por las actividades del sector constituyen un riesgo ambiental permanente para el ecosistema y las comunidades que dependen de ellos, junto a los derrames provocados por fugas en las líneas de abastecimiento y transporte especializado. Durante un derrame de hidrocarburos en el agua, la capa menos densa se esparce por la superficie e impide que el aire y la luz ingresen al agua provocando: que la flora y la fauna no realicen correctamente su proceso metabólico y que el agua presente una variedad de químicos tóxicos. Se mezcla el aceite con el agua, contaminándolo gravemente.

Alrededor del 0,1 al 0,2% de la producción mundial de petróleo termina derramada en el mar, este porcentaje puede no parecer muy grande, pero debemos recordar que según la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) la producción mundial de petróleo fue de 75,78 millones de barriles, esto ocasiona daños a los ecosistemas marinos [1]. En México, existen grandes áreas contaminadas con hidrocarburos procesados a partir del petróleo, principalmente por derrames, así como por las actividades de su industria. Se estima que en los últimos 20 años dichos derrames han provocado pérdidas por más de 50 mil millones de dólares, con mayor impacto en el aspecto ambiental y agrícola [2].

En la actualidad, la remediación de suelos y cuerpos de agua contaminados representa un enorme costo económico para el sector productivo, que debe ser el responsable de compensar los daños generados. Para lograr un costo asequible para la prevención de un derrame, la selección de materiales debe basarse en factores, tales como: eficiencia en la remoción de hidrocarburos, costos

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ABSORBENTE DEL OLOTE DE MAÍZ EN DERRAMES PETROLEROS

relativamente bajos, que sea un producto amigable con el medio ambiente, que esté disponible localmente y que tiene la capacidad de ser reutilizado [3].

Los absorbentes de derrames se han utilizado históricamente para contener el petróleo derramado en el mar. Estos absorbentes se pueden clasificar en tres grupos: productos minerales inorgánicos, productos orgánicos sintéticos y productos vegetales orgánicos. Algunos productos sintéticos, como el propileno, poliuretano, espuma, tereftalato de polietileno (PET) y teflón, se utilizan ampliamente en la limpieza de derrames de petróleo debido a su bajo costo y disponibilidad. Los productos vegetales orgánicos son generalmente fibras naturales, como kenaf, algodón y algodoncillo de seda. Se prefieren estos absorbentes ya que en su mayoría son biodegradables y seguros para su eliminación. Los residuos lignocelulósicos o fibras naturales constituyen la biomasa de los cultivos forrajeros de gramíneas y leguminosas; y tienen la capacidad de absorber diversas sustancias orgánicas como los hidrocarburos, que lo retienen en su estructura interna. Las fibras naturales se caracterizan por la diversidad de características inherentes a su origen, clasificándose en: origen animal, como la seda; y vegetales, como lino, sisal, algodón, entre otros [4]. Existen estudios de la capacidad de absorción de fibras naturales y sintéticas en un baño simulado de agua de mar que contiene hidrocarburos, observándose un mayor porcentaje de absorción por el uso de fibras naturales [5].

Los absorbentes orgánicos naturales tienen un bajo costo de producción debido a su abundancia, en general se pueden reutilizar o incinerar en hornos sin producir gases tóxicos, pueden absorber de 3 a 15 veces su peso en aceite y son biodegradables. Los estudios demuestran que los fenoles, hidrocarburos poliaromáticos y clorados, así como los materiales pesados, pueden ser absorbidos por la lignina [6, 7]. Por otro lado, existen estudios que involucran a la turba como material absorbente en la recuperación de diversos tipos de hidrocarburos [8, 9]. Las pruebas de laboratorio demostraron una eliminación del aceite derramado en agua con un espesor de 1,3 cm cercano al 99% [10]. Estas turbas, o absorbentes con base a la capacidad de absorción (absorbencia = 4.5359 Kg / Kg de agua) de un musgo del género Sphagnum, se han utilizado para casos de remediación de sitios contaminados, y / o en derrames de petróleo en ríos o mares. La madera, la celulosa y el carbono, biomasa vegetal, se citaron por primera vez en 1997, como materiales que pueden utilizarse como absorbentes en un estudio de la absorción de hidrocarburos del petróleo [11-13]. El uso de fibra de madera (aserrín) como absorbente de hidrocarburos, reporta una capacidad de absorción de 5.499 g de petróleo/g de aserrín [14]. El uso de Lignina Técnica Hidrolizada (THL, por sus siglas en inglés) producida durante la hidrólisis de madera, aserrín y corteza que se genera durante la fabricación mecánica de la madera, midiendo la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se obtiene que los productos de fibra de madera presentan un alta tasa y

grado de depuración en condiciones estáticas en aguas muy contaminadas, y que el THL tiene mayor capacidad absorbente que el aserrín y la corteza [15].

Este trabajo muestra la evaluación de los efectos principales y los efectos de interacción de los factores: temperatura, API de aceite, tamaño de partícula y salinidad del agua, que están relacionados con la capacidad de absorción del olote de maíz en un derrame petrolero, identificando los factores con un efecto significativo en la absorción de petróleo y aquellos factores sin efecto significativo en la absorción de aceite por olote de maíz.

Métodos

Se utiliza un modelo de diseño de experimentos del tipo factorial generalizado, se tienen en cuenta dos factores con tres niveles y dos factores con cuatro niveles, y se obtiene un diseño de 36 corridas experimentales. La (tabla 1) muestra la descripción de los factores utilizados y los niveles correspondientes a cada factor. Cada factor se supone para emular las condiciones de campo donde ocurre un derrame de aceite; considerando la temperatura ambiental de dos escenarios diferentes, los valores de la salinidad del agua representan el comportamiento de un derrame de aceite en agua de mar y agua dulce, mientras que la gravedad API del representa un derrame de aceite de diferente densidad; finalmente, el tamaño de partícula se orienta a evaluar la eficiencia en la absorción del olote de maíz.

Tabla 1 - Factores y niveles para el Diseño de Experimentos.

Diseño de Experimento			
Factor		Niveles	Valores
Temperatura		2	18°C, 25°C
Salinidad		2	0 ppm, 4ppm
Gravedad API		3	34.99, 31.37, 23.19
Tamaño de partícula		3	Retenido en malla: #16, #30, #50.

El olote de maíz se utiliza como material absorbente, que se recolecta como residuo, de la zona central de Veracruz, México. Este material se seca en condiciones ambientales, para reducir el efecto de la humedad y así aumentar el efecto de la absorción del crudo. El olote de maíz se lleva a tres tamaños de partículas diferentes utilizando un molino de cuchillas. Para obtener los diferentes tamaños de partícula, el olote de maíz molido se somete a un proceso de tamizado, con tamices # 16, # 30 y # 50, cumpliendo con la especificación de la Norma ASTM E-11. Las partículas utilizadas en la experimentación son las retenidas en cada tamiz. La (figura 1) muestra las partículas separadas por tamaño después del proceso de tamizado.

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ABSORBENTE DEL OLOTE DE MAÍZ EN DERRAMES PETROLEROS



Fig. 1. Tamaño de partícula retenido en tamices:
#16 (A), #30 (B) y #50 ©

Se realiza un diseño experimental con 36 corridas, relacionando los distintos niveles de cada uno de los factores establecidos, cada corrida se realiza utilizando un volumen de 75 ml de agua y 12 ml de petróleo crudo; la tabla 2 muestra la distribución de las corridas experimentales realizadas.

Tabla 2 - Corridas experimentales desarrolladas.

No.	Salinidad (ppm)	Temperatura (°C)	°API	Tamaño de partícula	No.	Salinidad (ppm)	Temperatura (°C)	°API	Tamaño de partícula
1	0	18	34.99	#16	19	4	18	34.99	#16
2	0	18	34.99	#30	20	4	18	34.99	#30
3	0	18	34.99	#50	21	4	18	34.99	#50
4	0	18	31.37	#16	22	4	18	31.37	#16
5	0	18	31.37	#30	23	4	18	31.37	#30
6	0	18	31.37	#50	24	4	18	31.37	#50
7	0	18	23.19	#16	25	4	18	23.19	#16
8	0	18	23.19	#30	26	4	18	23.19	#30
9	0	18	23.19	#50	27	4	18	23.19	#50
10	0	25	34.99	#16	28	4	25	34.99	#16
11	0	25	34.99	#30	29	4	25	34.99	#30
12	0	25	34.99	#50	30	4	25	34.99	#50
13	0	25	31.37	#16	31	4	25	31.37	#16
14	0	25	31.37	#30	32	4	25	31.37	#30
15	0	25	31.37	#50	33	4	25	31.37	#50
16	0	25	23.19	#16	34	4	25	23.19	#16
17	0	25	23.19	#30	35	4	25	23.19	#30
18	0	25	23.19	#50	36	4	25	23.19	#50

Se vierte el olole de maíz molido en cada uno de los recipientes, de acuerdo al diseño experimental. Se observa el proceso de absorción del crudo. La figura 2 presenta la forma en que se visualizan las muestras de agua y petróleo crudo. Seguidamente, la figura 3 muestra el proceso de absorción del crudo mediante la adición de olole de maíz; de igual forma, la figura 4 presenta la mezcla de olole de maíz con aceite crudo absorbido, extraído de cada muestra.



Fig. 2 - Representación experimental de derrame de petróleo en agua.

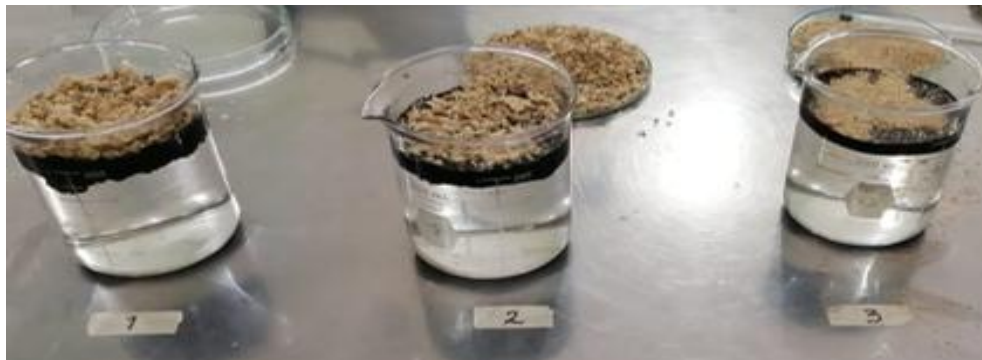


Fig. 3 - Proceso de absorción de aceite por olote de maíz.



Fig. 4 - Determinación de la capacidad de absorción del olote en un derrame de petróleo.

Resultados

Con base en el diseño factorial propuesto, se evaluó la capacidad de absorción de hidrocarburos utilizando olote de maíz. Se realizaron 36 corridas experimentales con diferentes condiciones de temperatura y salinidad del agua, diferentes tamaños de partículas, así como diferentes densidades API de los aceites. La Tabla 3 muestra el resultado del Análisis de Varianza generado por tratamiento estadístico considerando un valor $\alpha = 0.15$. Se analiza el efecto de factores de forma independiente, así como la interacción entre dos y tres factores. Se

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ABSORBENTE DEL OLOTE DE MAÍZ EN DERRAMES PETROLEROS

observó que la gravedad API es un factor no significativo para determinar la capacidad de absorción de hidrocarburos, y sobre las interacciones con la variación de temperatura y con la salinidad del agua; sin embargo, en una consideración de efecto de tres factores: Temperatura - Salinidad - API presenta un efecto significativo sobre el comportamiento de absorción. De acuerdo al Análisis de Varianza, en el tratamiento estadístico es posible observar un valor $R^2 = 87,75\%$, este valor indica que el modelo estadístico explica el comportamiento de absorción de los hidrocarburos, satisfactoriamente, con una varianza $S = 1,5235$.

Tabla 3 - Análisis de Varianza de Diseño Experimental.

Fuente	GDL	Ajuste SC	Ajuste MC	Valor F	Valor P
Modelo	15	332.461	22.164	9.55	0.000
Lineal	6	280.448	46.741	20.14	0.000
Temperatura	1	9.103	9.103	3.92	0.062
Salinidad	1	253.254	253.254	109.10	0.000
API	2	4.521	2.261	0.97	0.395
Tamaño de partícula	2	13.569	6.785	2.92	0.077
Interacciones de 2 términos	7	36.179	5.168	2.23	0.076
Temperatura*Salinidad	1	11.197	11.197	4.82	0.040
Temperatura*API	2	7.837	3.918	1.69	0.210
Temperatura*Tamaño de partícula	2	12.917	6.459	2.78	0.086
Salinidad*API	2	4.227	2.114	0.91	0.418
Interacciones de 3 términos	2	15.833	7.917	3.41	0.053
Temperatura*Salinidad*API	2	15.833	7.917	3.41	0.053
Error	20	46.425	2.321		
Total	35	378.886			

La figura 5 muestra el diagrama de Pareto, de efectos estandarizados, donde se puede observar que la salinidad es el factor de mayor incidencia en el comportamiento de la capacidad de absorción. Le sigue el efecto de interacción Temperatura - Salinidad, los efectos independientes: Temperatura, Tamaño de partícula y el efecto de interacción Temperatura - Tamaño de partícula. Se observa que los efectos de interacción Temperatura - API y Salinidad - API, además del efecto independiente de la API, no presentan un efecto significativo sobre el comportamiento de la capacidad de absorción de hidrocarburos por el olole de maíz.

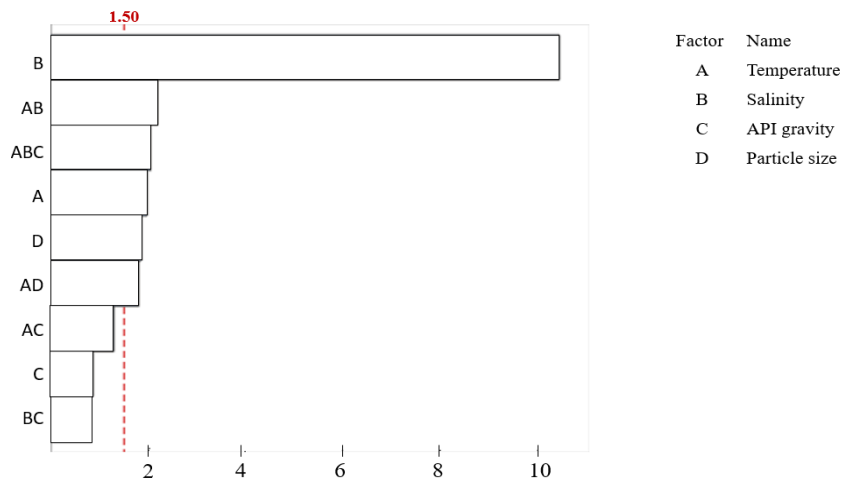


Fig. 5 - Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

En las Figuras 6, 7, 8 y 9 se observa el resultado de los gráficos de residuos, que constituyen el gráfico de residuos 4 en 1. La gráfica de probabilidad normal presenta una tendencia lineal ajustada por encima de la línea de referencia, lo que indica un comportamiento apropiado. Las gráficas de valor ajustado y orden de observación de los residuales, presentan un comportamiento aleatorio, lo que refuerza la representatividad del diseño factorial propuesto, de acuerdo a las corridas experimentales generadas y analizadas estadísticamente. El gráfico del histograma presenta una tendencia similar a un comportamiento de distribución normal, apoyando así que el modelo estadístico es adecuado para describir la capacidad de absorción medida en las corridas experimentales realizadas.

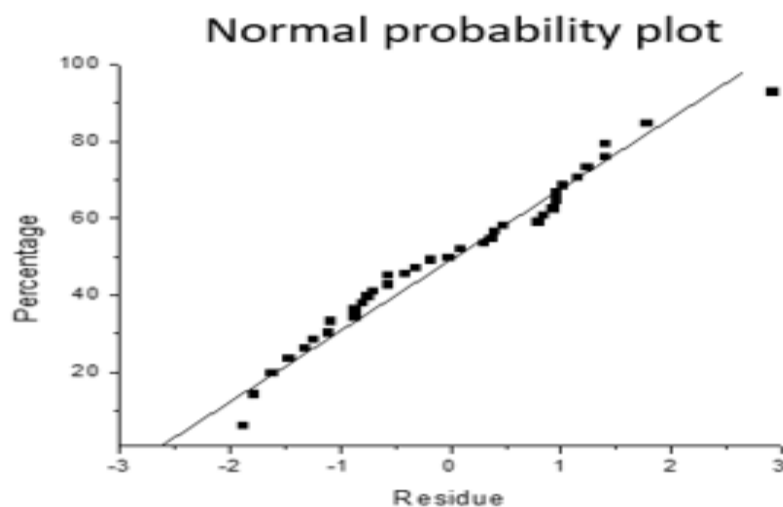


Fig. 6 - Gráfica de probabilidad normal de residuales.

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ABSORBENTE DEL OLOTE DE MAÍZ EN DERRAMES PETROLEROS

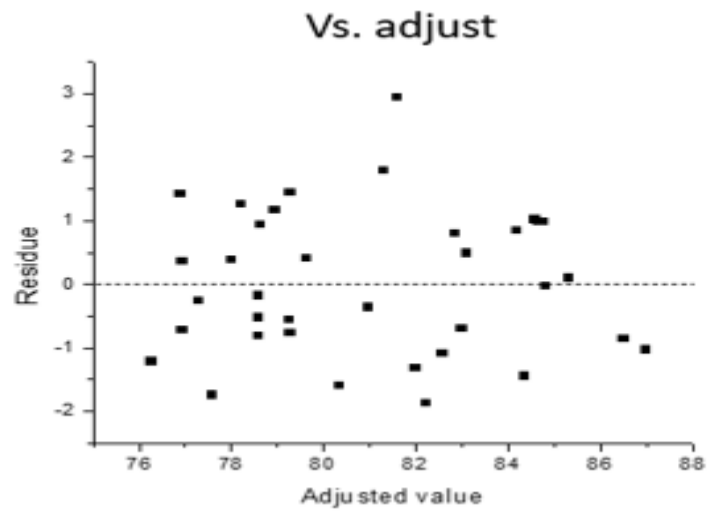


Fig.7 - Gráfica de residuales de valores ajustados.

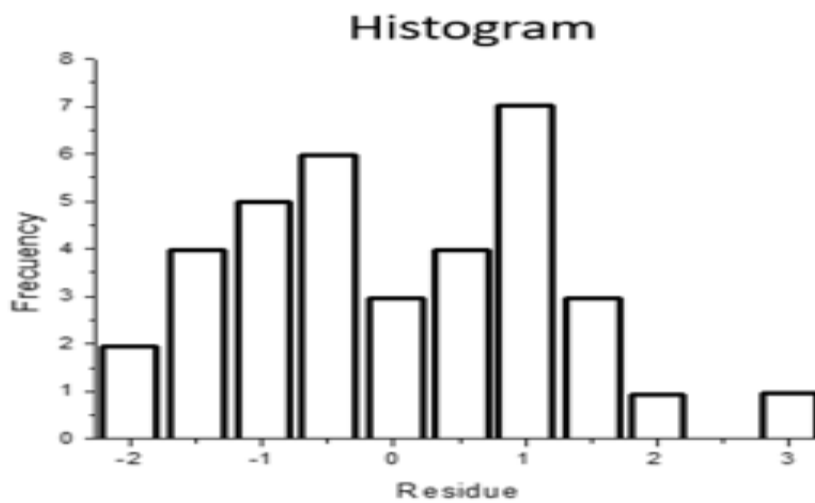


Fig. 8 - Gráfica de distribución normal de residuales.

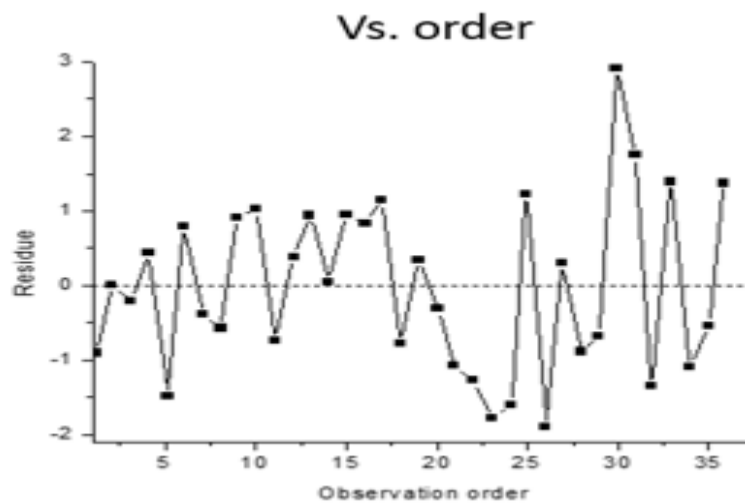


Fig. 9 - Gráfica de orden de observación vs residuales.

C. L. REDONDA-DECEANO, D. ARROYO-ACOSTA, A. BUENO-TOKUNAGA, D. REYES-GONZALEZ

Las figuras 10 y 11 muestran los efectos principales y de interacción de los factores propuestos. Se observa gráficamente que la salinidad es el factor con mayor efecto significativo y la gravedad API del aceite tiene el menor efecto, aunque es posible observar que se produce una mayor absorción en el fluido más ligero considerando que: 1 = 34,99, 2 = 31,37 y 3 = 23,19. Por otro lado, el tamaño de partícula tiene su mayor efecto sobre la absorción cuando se usa el tamaño de partícula retenido en el tamiz # 16 (id 1 en el gráfico de efectos medios), mientras que el tamaño de partícula retenido en el tamiz # 30 (id 2 en el gráfico de efectos medios) tiene el menor absorción.

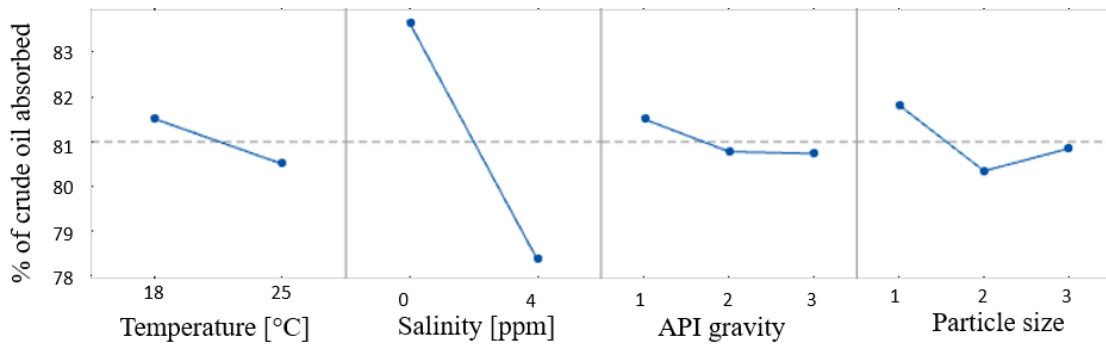


Fig. 10 -Efectos medios para la absorción de aceite crudo.

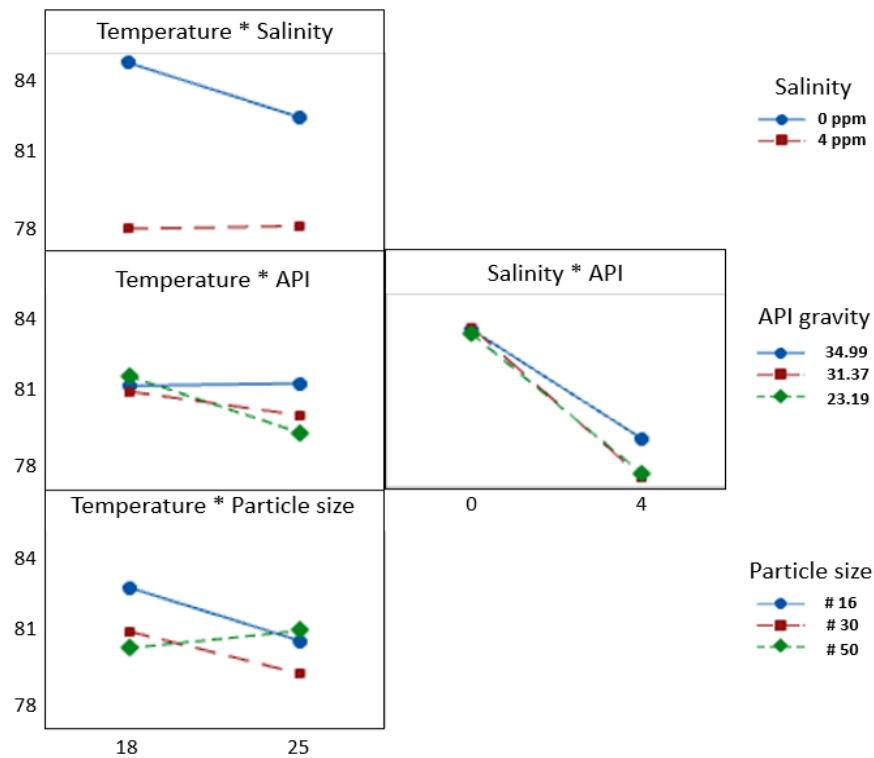


Fig. 11 - Efectos de interacción para la absorción de aceite crudo.

Discusión


Se observa el efecto predominante de la salinidad del agua en la variación de la capacidad de absorción de petróleo al utilizar olole como agente absorbente. El efecto de la capacidad de absorción de petróleo en agua con 4 ppm es menor que en agua con 0 ppm, esto es atribuido a la disociación de iones de Na^+ presentes en el medio acuoso, los cuales alteran la efectividad del área activa de absorción del olole, reduciendo su capacidad. Se destaca que, contrario a lo común, el tamaño de partícula incide significativamente en el proceso de absorción siendo la partícula de mayor tamaño la de mayor eficiencia de absorción; pues el tamaño de partícula del experimento es demasiado pequeño, y el área superficial activa de las partículas se rebasan por la viscosidad del fluido. Esto genera un efecto de aglutinamiento con las partículas más pequeñas, en lugar de una absorción efectiva; por lo que se recomienda utilizar tamaños de partícula no menores a un tamiz #16, para garantizar un contacto adecuado entre el petróleo y el área superficial del material absorbente.

La temperatura presenta una variación significativa en la capacidad de absorción de petróleo, en forma independiente, aunque con variaciones pequeñas en el porcentaje de absorción registrado. Al combinarse con la salinidad, el efecto de la temperatura aumenta, ya que tiene la capacidad de modificar la viscosidad del fluido, para incrementar su movilidad y favorecer a la preferencia de contacto entre la superficie activa del material y el propio fluido de hidrocarburo. De acuerdo a los resultados observados, es recomendable realizar una evaluación de la capacidad de absorción del material celuloso utilizado, utilizando nuevos tamaños de partícula. Por otra parte, los efectos no significativos de las características evaluadas, permiten establecer un análisis de priorización de la selección de parámetros incidentes en el efecto de absorción de petróleo; la sustitución de estas características no significativas como la gravedad API, y su interacción con la temperatura y la salinidad, puede ser sustituida por otro efecto no considerado, como el tiempo de contacto entre el material absorbente y el petróleo.

Como recomendación complementaria, considera que este tratamiento se puede combinar con un tratamiento posterior para el tratamiento de los hidrocarburos remanentes de los cuales es una cantidad mínima que se puede tratar de forma complementaria con emulsiones, agentes dispersantes u otros métodos de contención de derrames de hidrocarburos. y evaluar la efectividad de las mismas combinaciones, así como la reutilización y separación del crudo. Adicionalmente, es posible realizar un análisis económico para establecer una producción para comercializar dicho material absorbente además de un estudio comparativo con otros materiales absorbentes para observar la viabilidad económica de este producto.

Conclusiones

A partir de los ensayos experimentales, basados en un diseño factorial completo a nivel de laboratorio, en orden aleatorio, se observó que la salinidad del agua es el factor con mayor efecto sobre la capacidad de absorción del crudo utilizando olote de maíz. Específicamente la absorción del aceite crudo cuando la concentración de salinidad del agua es de 0 ppm, mientras que la gravedad API representa el factor con menor efecto sobre la absorción.

El análisis estadístico se realizó considerando un valor $\alpha = 0.15$, diferente al valor convencional de $\alpha = 0.05$. Esto se debe a que el diseño factorial propuesto es uno de los primeros reportados específicamente utilizando olote de maíz como material absorbente. Se utilizaron mezclas de hidrocarburos de aceites de campo de producción, así como condiciones ambientales reales, emulando de manera más realista el fenómeno de un derrame de petróleo y por lo tanto el mecanismo de remediación utilizando mazorcas de maíz. Debido a estas condiciones, esta primera aproximación experimental requirió mayor apertura estadística para la aceptación de la hipótesis propuesta. 

Referencias

1. OPEC. "OPEC launches 2019 Annual Statistical Bulletin" . Viena, Austria, 54th Edition, 2019. ISSN 0475-0608.
2. GENARO, A. R. "Derrame Petrolero en Golfo de México y sus Consecuencias en Tamaulipas". Ciencia UAT;2010, 5(1). ISSN 2007-7521.
3. ANISUDDIN, S.; HASAR, N. AL; TAHSEEN, S. "Prevention of oil spill pollution in seawater using locally available materials". Arabian J. Sci and Eng; 2005, 3(28). ISSN 2191-4281.
4. AL-MAJED, A. A.; ET. AL. "A Sustainable Approach to Controlling Oil Spills," J. Env. Man.,2013, 113. ISSN 0301-4797.
5. PAGNUCCO, R; PHILLIPS, M.L. "Comparative effectiveness of natural by-products and synthetic sorbents in oil spill boom". J. Environ. Manage, 2018 (225). ISSN 0301-4797.
6. NEJI, H.; SINGH, R.K. "A review on lignin utilization in petroleum exploration, petroleum products formulation, bio-fuel production, and oil spill clean-up". Biomass Convers. Biorefin; 2020, (Nov.). ISSN:2190-6823.
7. MARINHO, V.; LIMA, N; NEVES, M.A.; SOUSA JR, F. "Petroleum sorbers based on renewable alkyd resin and lignin". Macromol. Symp. 2018; (218). ISSN 1022-1360.
8. PANDEY, S; ALAM, A. "Peat moss: A hyper-sorbent for oil spill cleanup – a review". Plant Sci. Today. 2019; 4(9). ISSN 2348-1900.
9. ALMERI, K. AL; GIWA, A.; YOUSEF, L.; ALRAEESI, A; TAHER, A. "Sorption and removal of crude oil spills from seawater using peat-derived biochar:

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ABSORBENTE DEL OLOTE DE MAÍZ EN DERRAMES PETROLEROS

- An optimization study". J. Environ. Manage; 2019, 250(Nov.). ISSN 0301-4797.
10. GHALY, A. E.; PYKE, B. "In-Vessel Bioremediation of Oil-Contaminated Peat". Energy Sources.2010; 23(4). ISSN 0090-831
 11. SHIN, Y; HAN, K.S; AREY, B.; BONHEYO, G.T. "Cotton fiber-based sorbents for treating crude oil spills". ACS Omega. 2020; 5(Jun). ISSN 2470-1343.
 12. MADHUBASHANI, A.M.P.; ET. AL. "Propensity and appraisal of biochar performance in removal of oil spills: A comprehensive review". Environmental Pollution. 2019; 288(Nov.). ISSN 0269-7491.
 13. ALLEN, S. J.; KOUMANOVA, B; KIRCHEVA, Z; NENKOVA, S. "Adsorption of 2-nitrophenol by Technical Hydrolysis Lignin: Kinetics, Mass Transfer, and Equilibrium Studies." Ind. & Eng. Chem. Res. 2005, 44(7). ISSN 0888-5885.
 14. KHARLYAMOV, D.A; GAFIYATOVA, S.R.; DENISOVA, T.R.; MAVRIN, G.V; SHARIPOV, N.S. "Sorption materials based on waste of wood fiber for collecting of oil from the water surface". J. Comput. Theor. Nanosci.2019; 16(Jan). ISSN 1546-1955.
 15. DE OLIVEIRA, P.B.; GODINHO, M.; ZATTERA, A.J. "Oils sorption on hydrophobic nanocellulose aerogel obtained from the wood furniture industry waste. Cellulose". 2018; (april), ISSN 1572-882X.

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

Contribución de cada autor:

Cesar L. Redonda-Deceano: el autor desarrolló la propuesta del diseño experimental, a partir de un modelo de diseño factorial generalizado y realizó las corridas experimentales.

David Arroyo-Acosta: el autor analizó los factores que intervienen en el proceso de absorción de hidrocarburos, y a partir de ellos propuso el desarrollo metodológico derivado del diseño experimental propuesto.

Arturo Bueno-Tokunaga: el autor participó en la propuesta metodológica y análisis estadístico de resultados del diseño experimental, para establecer la validación del procedimiento.

David Reyes-Gonzalez: el autor participó en la conceptualización del fenómeno a describir, en el análisis y selección de los factores a estudiar en el diseño experimental, así como en el análisis estadístico de resultados para establecer la validación de los resultados obtenidos.