

DIOTIMA, REVISTA
CIENTÍFICA DE
ESTUDIOS
TRANSDISCIPLINARIA

ISSN 2448-5497

VOLUMEN 7 NÚMERO 20

MAYO - AGOSTO 2022

DIRECTORIO

Directora General de la Revista Diotima

Dra. Ma. Luisa Quintero Soto

Comité Editorial

Dr. Oscar Osorio Pérez

Mtro. Diego Fernando Velasco Cañas

Diseñador Gráfico

M. en I. Yaroslaf Aarón Albarrán Fernández

Diotima, Revista Científica de Estudios Transdisciplinaria, Año 7, no.20, mayo- agosto 2022, es una publicación cuatrimestral, editada por la Asociación Mexicana de Investigación y Docencia Transdisciplinaria A.C. Calle 4. No. 99. Colonia Agrícola Pantitlán, CP 08100, México D.F. Teléfono (52) 5513312896. Correo electrónico/Mail: crevistadiotima@gmail.com; página web: <http://www.revista-diotima.org>. Editor Responsable: Dra. Ma. Luisa Quintero Soto. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-102113144400-203, ISSN (en trámite), ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsables de la última actualización de este número, Unidad de Edición, Dr. Jesús Sales Colín, Calle 4. No. 99. Colonia Agrícola Pantitlán, CP 08100, México D.F, 1 de mayo 2022.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Asociación Mexicana de Investigación y Docencia Transdisciplinaria A.C.

EDITORIAL

El no.20 de la Revista Diotima, presenta artículos que se derivan del evento CII&CTTACA 2021: Coloquio de Investigación en Ingeniería y 13° Curso-Taller Temas Actuales en Ciencias del Agua, evento llevado a cabo en la Facultad de Ingeniería-UAEM en noviembre de 2021, para lo cual se puede consultar el siguiente link: <https://easychair.org/conferences/?conf=ciicttaca2021>.

Este número de revista contiene cinco artículos en el primero de estos “Humedales construidos, una alternativa para el saneamiento y reúso de aguas residuales domésticas en zonas rurales”, veremos cómo se cuantifica la eficiencia en la remoción de contaminantes como la Demanda Química de Oxígeno, la Conductividad Específica, el Nitrógeno total, el Fosforo total y las Grasas y Aceites (HC) en sistemas para el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante Humedales Construidos (HC) en dos poblaciones rurales en el occidente del país.

En el artículo “Efecto del tipo de plasma en la morfología y estructura química en partículas de Pal”, se presenta un estudio comparativo de la obtención de partículas de polialilamina (PAL) usando una configuración resistiva (R) contra una resistiva-inductiva (RI) de plasma a 20 W.

En el documento “Implementación y aplicación de un modelo físico para la simulación de escenarios de flujo subsuperficial influyentes en la presencia de un deslizamiento superficial”, muestra cómo aplicar un modelo físico (Unidad de Estudio de Permeabilidad) para simular en un medio poroso granular (Fase 1) un canal de flujo subsuperficial producto de diversos contenidos de humedad representados como gradientes hidráulicos longitudinales y conocer su influencia en la presencia de deslizamientos superficiales, mismos que son de interés para conocer su comportamiento, debido a las consecuencias catastróficas que provocan y desde el ámbito de la modelación física, obtener una herramienta de simulación para valorar de manera preliminar los posibles factores que influyen en el proceso de deslizamiento.

En el artículo “Aplicación de un modelo físico para estimar la influencia del flujo subsuperficial en la presencia de un deslizamiento superficial. Caso Santa Ana Jilotzingo. Estado de México”, explica un modelo físico (Unidad de Estudio de Permeabilidad) para estimar la influencia de la circulación de un flujo subsuperficial con gradiente de humedecimiento alto y perfil de suelo franco-arenoso (Fase 2), asimismo identificar si la condición de sobresaturación en el lugar influyó o intervino otro factor como es la presencia de un sismo.

En el último de los trabajos presentados “Diseño de una política de inventarios multi-escalón multi-productos para una empresa del sector comercio ubicada en el Estado de México”, presenta las etapas de análisis y diseño de las políticas de inventario propuestas para una empresa del sector comercio ubicada en el Estado de México. Para hacer posible la comercialización de los múltiples productos en su catálogo, la empresa caso de estudio tiene diversas instalaciones, entre ellas, un Centro de Distribución, el cual es surtido por un conjunto de proveedores, y este a su vez, surte a más de cuarenta puntos de venta donde son vendidos todos los productos al cliente final.

En este número agradecemos especialmente a la Dra. Lourdes Loza Hernández y al Mtro. Javier Romero Torres, por haber coordinado este número de la revista.

CONTENIDO

EDITORIAL

DIRECTORIO

HUMEDALES CONSTRUIDOS, UNA ALTERNATIVA PARA EL SANEAMIENTO Y REÚSO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN ZONAS RURALES1

CONSTRUCTED WETLANDS, AN ALTERNATIVE FOR SANITATION AND REUSE OF DOMESTIC WASTEWATER IN RURAL AREAS

Aldo Antonio Castañeda Villanueva

Roberta Huerta Orozco

EFFECTO DEL TIPO DE PLASMA EN LA MORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA QUÍMICA EN PARTÍCULAS DE PAL13

EFFECT OF PLASMA TYPE ON MORPHOLOGY AND CHEMICAL STRUCTURE IN PAL PARTICLES

Fernando Gabriel Flores Nava

Elena Colín Orozco

José Cuauhtémoc Palacios González

Guillermo Jesús Cruz Cruz

María Guadalupe Olayo González

Rosario Ramírez Segundo

Maribel González Torres

Lidia María Gómez Jiménez

IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN DE UN MODELO FÍSICO PARA LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL INFLUYENTES EN LA PRESENCIA DE UN DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL 19

IMPLEMENTATION AND APPLICATION OF A PHYSICAL MODEL FOR THE SIMULATION OF SUBSURFACE FLOW SCENARIOS INFLUENTIAL IN THE PRESENCE OF A SUPERFICIAL SLIDE

Guillermo Pedro Morales Reyes

Luís Zaldivar

María Vicenta Esteller Alberich

DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE INVENTARIOS MULTI-ESCALÓN MULTI-PRODUCTOS PARA UNA EMPRESA DEL SECTOR COMERCIO UBICADA EN EL ESTADO DE MÉXICO 33

DESIGN OF A MULTI-STAGE MULTI-PRODUCT INVENTORY POLICY FOR A COMPANY IN THE COMMERCE SECTOR LOCATED IN THE STATE OF MEXICO

Gael Almazán Munguía

Lourdes Loza Hernández

Manuel González de la Rosa

Sergio Vázquez Aranda

**APLICACIÓN DE UN MODELO FÍSICO PARA ESTIMAR LA INFLUENCIA DEL FLUJO
SUBSUPERFICIAL EN LA PRESENCIA DE UN DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL. CASO SANTA
ANA JILOTZINGO. ESTADO DE MÉXICO46**

APPLICATION OF A PHYSICAL MODEL TO ESTIMATE THE INFLUENCE OF THE SUBSURFACE
FLOW IN THE PRESENCE OF A SUPERFICIAL SLIDE. CASE OF SANTA ANA JILOTZINGO.
MEXICO STATE

Guillermo Pedro Morales Reyes

Luís Zaldivar

Maria Vicenta Esteller Alberich



HUMEDALES CONSTRUIDOS, UNA ALTERNATIVA PARA EL SANEAMIENTO Y REÚSO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN ZONAS RURALES

CONSTRUCTED WETLANDS, AN ALTERNATIVE FOR SANITATION AND REUSE OF
DOMESTIC WASTEWATER IN RURAL AREAS

Aldo Antonio Castañeda Villanueva

ORCID: 0000-0002-3818-9342

Departamento de Ingenierías, Centro Universitario de Los Altos, Universidad
de Guadalajara, acastaneda@cualtos.udg.mx.

Roberta Huerta Orozco

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de
Guadalajara, robertohuerta7@hotmail.com

RESUMEN

Cuantificar la eficiencia en la remoción de contaminantes como la Demanda Química de Oxígeno, la Conductividad Específica, el Nitrógeno total, el Fosforo total y las Grasas y Aceites en sistemas para el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante Humedales Construidos (HC) en dos poblaciones rurales en el occidente del país, fue el objetivo principal del presente estudio. La metodología utilizada consistió en el muestreo en varias ocasiones, tanto de las aguas crudas a la entrada como de las aguas tratadas a la salida de dos HC; uno en la población de Martínez Valadez, Jalisco (MV) y el otro en Erongarícuaro, Michoacán (E), las determinaciones de los parámetros evaluados se realizaron en laboratorios del Centro Universitario de Los Altos de la Universidad de Guadalajara, los cuales se contrastaron con la normatividad oficial vigente, así como se determinaron los porcentajes de reducción de cada contaminante estudiado. Los resultados muestran reducciones importantes que van desde el 51% hasta el 97%, a pesar de la falta de mantenimiento en los pre-tratamientos y el exceso de biomasa en las celdas de tratamiento. Comparando los resultados obtenidos con la normatividad oficial vigente en nuestro país, se observa que para MV los parámetros fuera de norma fueron 3, mientras que para E solo un parámetro resulto por encima de lo estipulado



en la normatividad. En síntesis, estos tratamientos son una alternativa viable y sustentable en el saneamiento de aguas residuales de origen domestico para poblaciones rurales pequeñas y medianas en el centro-occidente del país.

Palabras clave: Humedales construidos; Tratamiento de aguas; Poblaciones rurales; Occidente de México.

ABSTRACT

Quantify the efficiency in the removal of pollutants such as Chemical Oxygen Demand, Specific Conductivity, Total Nitrogen, Total Phosphorus and Fats and Oils in systems for the treatment of domestic wastewater through Wetlands Built in two rural towns in the west of the country, was the main objective of the present study. The methodology used consisted of sampling on several occasions, both the raw water at the entrance and the treated water at the exit of two Constructed Wetlands; one in the population of Martinez Valadez, Jalisco and the other in Erongaricuaro, Michoacan, the determinations of the evaluated faces were carried out in laboratories of the Los Altos University Center of the University of Guadalajara, which were contrasted with the current official regulations, as well as the reduction percentages of each pollutant studied. The results show significant reductions ranging from 51% to 97%, despite the lack of maintenance in the pre-treatments and the excess biomass in the treatment cells. Comparing the results obtained with the official regulations in force in our country, it is observed that for MV the parameters outside the norm were 3, while for E only one parameter was above that stipulated in the regulations. In summary, these treatments are a viable and sustainable alternative in the sanitation of wastewater of domestic origin for small and medium rural populations in the center-western of the country.

Keywords: *Built wetlands; Rural populations; Water treatment; Western Mexico.*

Fecha de recepción: 22 junio 2021

Fecha de aceptación: 21 agosto 2021



Fecha de publicación: 1 de mayo 2022

INTRODUCCIÓN

Los Humedales Construidos (HC) son sistemas naturales utilizados para el tratamiento de aguas residuales de origen principalmente doméstico, están formados por lagunas o canales poco profundos, normalmente de menos de un metro de profundidad, con especies de plantas propias de zonas húmedas (plantas acuáticas y/o macrófitas), donde los procesos de tratamiento de las aguas se realizan mediante acciones físicas, químicas y biológicas (figura 1), estos sistemas también se utilizan para el rescate de suelos contaminados.

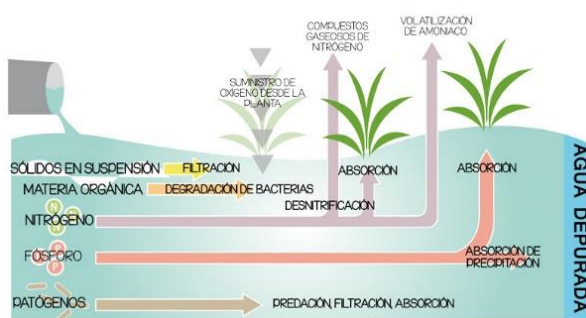


Figura 1. Proceso de tratamiento de aguas mediante Humedales Construidos. Fuente: Fitofilter, 2020.

Tradicionalmente los HC se clasifican según la forma en que el agua fluye por el sistema, así se tienen:

1) Los de flujo libre o superficial, donde el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos de las plantas. Este tipo de HC una adaptación de las lagunas de oxidación convencionales, las cuales tienen poca profundidad, máximo 50 cm y con plantas acuáticas y de raíz.

2) Los de flujo sub-superficial, en los cuales la circulación del agua es subterránea a través de un medio granular, con aproximadamente 60 cm de profundidad del agua. El agua tiene contacto y fluye través del sustrato y las raíces de las plantas macrófitas (Figura 2). Este tipo de humedales es básicamente una variación de los sistemas tradicionales de infiltración en los suelos, conocidos comúnmente como filtros verdes y/o sistemas de percolación (Castañeda y col., 2018).

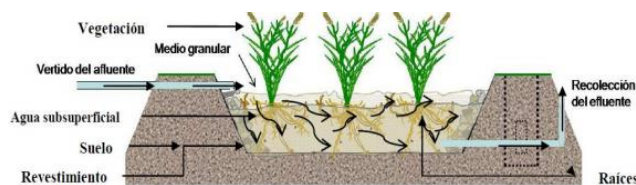


Figura 2. Humedal Construido de flujo sub-superficial. Fuente: García y Corzo, 2008.

Así mismo, los HC sub-superficiales,



pueden operar según el sentido de circulación del agua; es decir en forma horizontal, vertical o mixto (García, 2003). Algunas ventajas de los HC de flujo sub-superficial en referencia a los de flujo libre pueden ser:

a) Menor intensidad de malos olores debido a la naturaleza subterránea del flujo.

b) Bajo riesgo de exposición directa de las personas y animales.

c) Bajo nivel en el desarrollo de insectos y plagas.

d) Alta protección térmica ocasionada la bio-acumulación de restos vegetales, lo cual es de gran valor en lugares fríos; un HC sin plantas ni restos vegetales tiene en promedio un gradiente térmico en verano de hasta 12 °C/m, mientras que en un HC con plantas (1800 g/m² de biomasa aérea expresada en peso seco) y restos vegetales (310 g/m²), en promedio es de 3.4 °C/m (García y col., 2003).

e) Menor área para el tratamiento, así como de tiempos de retención del agua.

Sin embargo, algunas desventajas son:

1) Mayor costo de instalación, hasta un 50 % mayor debido principalmente a: sustrato, tuberías y trasplante de especímenes.

2) Menor valor como ecosistemas para la vida salvaje debido a que el agua es difícilmente accesible a la fauna.

Como otros sistemas naturales de

saneamiento, los HC presentan ventajas frente a los sistemas convencionales de tratamiento algunas son:

-Simplicidad en la operación: Requieren poca mano de obra no especializada y pocos equipos electromecánicos.

-Consumo energético mínimo o nulo: En general limitado al pretratamiento o al mantenimiento del sistema.

-Baja producción de residuos durante la operación del sistema: los residuos y lodos se suelen limitar a los generados por el pretratamiento y el tratamiento primario.

-Versatilidad en la operación del sistema de tratamiento: Son sistemas con tiempos de permanencia hidráulicos muy altos con lo que variaciones puntuales de caudal o carga contaminante afectan poco al nivel de depuración.

-Bajo impacto ambiental sonoro y buena integración en el medio ambiente natural (García y col., 2004).

Así mismo, los principales inconvenientes frente a los sistemas convencionales son:

-Requieren superficies mucho mayores.

-Costo de instalación puede ser similar o mayor si se debe adquirir el terreno donde se realiza la obra.

-Periodo de estabilización prolongado: desde algunos meses o un año en sistemas con flujo sub-superficial hasta varios años en sistemas con flujo superficial (Kadlec y col., 2000).



-Los de flujo sub-superficial son muy susceptibles a la colmatación del medio granular si el agua tiene un contenido elevado en determinados contaminantes, como por ejemplo las grasas y los aceites. En esta oportunidad se evaluaron dos estudios de caso, los HC de las poblaciones de Martínez Valadez (MV), la cual se localiza en el municipio Arandas del estado de Jalisco, según las coordenadas: 20° 50' 2.33" latitud Norte (N) y longitud 102° 18' 4.95" Oeste (O), a 1,875 metros sobre el nivel del mar (msnm), cuenta con 536 habitantes, la temperatura media anual es 17.3 °C, con una máxima de 21.2 °C y mínima de 14.0 °C, la precipitación pluvial anual es de 1,096 milímetros (mm), y el de Erongarícuaro, que es un poblado de la región del Lago de Pátzcuaro en Michoacán, cabecera del municipio homónimo, se localiza en las coordenadas 19° 35' 17.71" de latitud N y 101°43' 12.3" de longitud O, a una altura de 2,071 msnm. Su población en el 2020 fue de 2,721 habitantes (INEGI, 2021), su clima es templado con una precipitación pluvial anual de 1,040.8 mm y temperaturas que oscilan de 6.1 a 24.1 °C.

El objetivo del presente trabajo consistió en cuantificar la eficiencia en la remoción de la carga contaminante del agua residual generada en estas dos

comunidades rurales MV y E, mediante sus correspondientes sistemas de tratamiento a base de HC, verificando las condiciones operativas de estos, como posible alternativa de solución para la problemática de contaminación local de cuerpos de agua en el área rural en el occidente del país.

METODOLOGÍA

En México, para medir el grado de contaminación de las aguas residuales se utilizan varios parámetros expresados en la normatividad oficial vigente contenidas principalmente en las normas oficiales mexicanas; NOM-001-SEMARNAT-1996 (que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales), NOM-002-SEMARNAT-1996 (Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal), NOM-003-SEMARNAT-1997 (que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público) y NOM-069-ECOL-1994 (que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de



componentes eléctricos y electrónicos), entre otras.

Las aguas residuales domésticas son aquellas que resultan del uso doméstico o comercial del agua potable, otras denominaciones son: aguas servidas, efluentes contaminados, aguas negras o aguas cloacales, en general por haber sido utilizadas en procesos de limpieza, procesamiento de alimentos y demás usos domésticos, estas constituyen en la mayoría de las veces un desecho o residuo, en general contienen gran variedad de componentes que pueden ser perjudiciales tanto para los seres vivos como para el ambiente (Rodríguez y col., 2006).

Los parámetros que se evaluaron en este estudio fueron los siguientes:

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Se define como cualquier sustancia tanto orgánica como inorgánica susceptible de ser oxidada, mediante un oxidante fuerte. La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno. DQO se expresa en mg/L O₂ y en su valor numérico incluye a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), cuyo valor regularmente es menor.

Nitrógeno total (Nt): Es un indicador utilizado en ingeniería ambiental, refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y

ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, entre otras) y el ion amonio NH₄⁺. En plantas tratadoras de aguas residuales, se mide el nitrógeno total capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos y que posteriormente puede ser desnitrificado a nitrógeno gaseoso. Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales, su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización (enriquecimiento excesivo de nutrientes en un ecosistema acuático). El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas.

Fosforo total (Pt): Se encuentra en las aguas naturales y aguas servidas casi exclusivamente en forma de fosfatos, estos se clasifican a su vez en: orto fosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, y poli fosfatos) y fosfatos orgánicamente ligados, la determinación del fosfato total incluye dos pasos: el primero consiste en la conversión a ortofosfato disuelto, todas las diferentes formas del fosforo presente incluyendo el fosforo reactivo, el hidrolizable y el orgánico, el segundo paso consiste en la detección del ortofosfato en solución por algún método cuantitativo (por ejemplo colorimetría con longitudes de onda entre 400 y 470 nanómetros). El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida, su exceso en el agua provoca



también eutrofización.

Conductividad Específica (CE): es la medida de las cargas iónicas, que circulan dentro del agua, esta medida nos ofrece información general de la concentración de sales e iones presentes en el agua. Los iones más habituales hallados en las aguas naturales son: sodio, calcio, magnesio, bicarbonato, sulfato y cloruro. Sus concentraciones presentan fuertes oscilaciones, desde bajas concentraciones en los ríos de alta montaña, hasta casos de mayor concentración (agua de mar), también es un factor importante para detección de fuentes de contaminación, a la evaluación del comportamiento del agua para riego y a la evaluación de la naturaleza geoquímica del terreno. Las descargas de aguas residuales sin tratamiento a cuerpos de aguas suelen aumentar su conductividad, la unidad básica para medir la CE son los miliSiemens por centímetro (mS/cm) o microSiemens por centímetro (μ S/cm).

Grasas y aceites (G/A): son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo, algunas de sus características más representativas; son baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad, por ello, si no son controladas se acumulan en el agua

formando natas en la superficie del líquido, su efecto en los sistemas de tratamiento de aguas residuales o en las aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, no permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO₂ del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles de oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar. Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son los usos domésticos, talleres automotrices y de motores de lanchas y barcos, industria del petróleo, rastros, procesadoras de carnes y embutidos e industria cosmética.

La normatividad oficial vigente en México establece, entre otros los siguientes límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Límites máximos permisibles de algunos contaminantes en aguas residuales y tratadas.

Parámetro (unidad)	NOM-001-SEMARNAT-1996	NOM-003-SEMARNAT-1997	NOM-069-ECOL-1994
G/A (mg/L)	15-25	15	30
Nt (mg/L)	15	----	-----
Pt (mg/L)	5	----	----
DQO	----	----	120



(mg/L)			
CE (mS/cm)	----	----	250

Fuente: Elaboración propia.

En esta oportunidad se evaluaron los HC de: Martínez Valadez en el municipio de Arandas, Jalisco (MV) y el de Erongarícuaro Michoacán (E), ambos sistemas de tratamiento fueron muestreados en dos ocasiones; de enero a abril del 2021, registrando temperatura de operación comprendidas entre una mínima promedio de 10.7 °C y máximas promedio de 22.8 °C. Se tomaron muestras tanto de las aguas a la entrada de cada HC como a la salida, evaluando en el laboratorio los parámetros establecidos anteriormente.

Para cuantificar la eficiencia en la de remoción de contaminantes de cada HC, se estableció un Porcentaje de Reducción de cada parámetro (%R_{__}), mediante la interrelación en porcentaje de variación (disminución) entre de los valores del mismo parámetro a la entrada y salida, de cada HC, según la Ecuación (1):

$$\%R_{_} = \frac{(\text{Cont}(i) - \text{Cont}(f))(100)}{\text{Cont}(i)} \quad (1)$$

Dónde: %R_{__} = Porcentaje de reducción del parámetro específico del agua

Cont(i) = Contenido inicial (agua cruda)

Cont(f) = Contenido final (agua tratada)

Tanto para la recolección de las muestras de agua, como para las determinaciones analíticas en el laboratorio, se observaron los procedimientos y técnicas contenidas en la normatividad ambiental oficial vigente en México, que contempla las técnicas establecidas por el manual de métodos estándar para análisis de aguas y aguas residuales (APHA, 2017), utilizando los siguientes equipos y técnicas:

1) Fotómetro marca HACH modelo DR 2800: es un espectrofotómetro de espectro visible, con un rango de longitud de onda de 340 nm a 900 nm, programado y calibrado según especificaciones del fabricante para: DQO (método 8000, programa 437), Nt (método 10072, programa 394) y Pt (método 8190, programa 536).

2) Reactor digital marca HACH modelo DRB200 para digestión de muestras de agua residual (DQO, Pt y Nt).

3) Medidor portátil marca HACH modelo SensION+ EC5 para CE (calibración con solución de KCL estándar para 12.88 mS/cm y para 1413 µS/cm).

4) Método de extracción Soxhlet, mediante la técnica contenida en la norma mexicana: NMX-AA-005-SCFI-2001, para G/A.



RESULTADOS

El HC de MV, consta de: Pre-tratamiento (desarenador) en el cual se separan tanto materiales ligeros (grasas, aceites, plásticos, y demás) por flotación, como pesados (metales, arenas, entre otros) por sedimentación, tratamiento conformado por una celda que utiliza tezontle (0.5 a 1 pulgada, con porosidad del 60%) como sustrato y especímenes de carrizo común (*Phragmites Australis*) y jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*), y un pos-tratamiento consistente en una laguna para la estabilización microbiológica.

Figura 3. HC en Martínez Valadez Jal.



Fuente: Google Earth, 2021.

Por su parte el MC de E dispone de: Pre-tratamiento formado por un desarenador gravitacional, una la primera sección del tratamiento que consta de tres celdas con

carrizo común (*Phragmites Australis*), la segunda sección de tratamiento dispone de dos celdas con especímenes de gladiolos (*Gladiolus Communis*) y alcatraz (*Zantedeschia Aethiopica*), y la última sección de tratamiento que consta de dos lagunas de oxidación, todo conectado en serie.

Figura 4. HC en Erongarícuaro Michoacán.



Fuente: Google Earth, 2021.

Ambos HC son de flujo sub-superficial, con geo-membrana en sus celdas de tratamiento.

En la tabla 2 se muestran sus principales características físicas, así como los parámetros de control para el agua cruda y tratada de cada HC.

Tabla 2: Infraestructura y características operativas de los HC de E y MV.

Características	MV	E
Superficie general (m ²)	2,500	17,500
Profundidad hidráulica efectiva (cm)	65	55



Área efectiva (m ²)	2,400	13,800
Tipo Humedal/flujo	Sub-superficial/horizontal	Sub-superficial/horizontal
Capacidad (m ³ /día)	100	700
Sustrato	Tezontle	Grava
Densidad del Humedal (m ² /hab)	4.48	5.07
Tiempo de retención hidráulica promedio (días)	3-5	2-4

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados promedio de los análisis paramétricos de las aguas tanto a la entrada como a la salida de cada HC, aparecen en la tabla 3.

Tabla 3: Evaluación paramétrica de la operación de HC en Jalisco y Michoacán (2021).

Parámetro	MV		E	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Pt (mg/L)	40.5	10.74	18.07	5.41
Nt (mg/L)	71.3	16.29	67.1	9.15
DQO (mg/L)	942.8	118.7	1,344.1	102.7
CE (μS/cm)	3,212.2	247.05	3,213.2	214.0
G/A (mg/L)	431.0	210.54	523.0	12.2

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se muestran las reducciones en porcentaje, de cada parámetro en los humedales estudiados.

Tabla 4: Porcentaje de reducción (%R_u) de contaminantes en cada HC.

Parámetro (%)	MV	E
%R Pt	73.48	70.06
%R Nt	77.15	86.36
%R DQO	87.41	92.36
%R CE	92.31	93.34
%R G/A	51.15	97.67

Fuente: Elaboración propia.

Como es posible observar los humedales estudiados presentan disminuciones importantes en los parámetros evaluados (51.15% a 97.67%), lo que concuerda con eficiencias de remoción de contaminantes en otros HC en igualdad de infraestructura y condiciones de operación (Castañeda, 2020).

DISCUSIÓN

En referencia a los porcentajes de reducción (tabla 4), los cuales están referidos al contenido original del contaminante a la entrada del sistema de tratamiento (HC); por ejemplo, la concentración de Nt en el agua cruda que entra al HC de E fue en promedio de 67.1 mg/L, mientras que a la salida de 9.15 mg/L, por tanto, el porcentaje en que este contaminante se redujo (%R Nt) fue de: $(67.1-9.15)100/67.1 = 86.36\%$. En general, para el HC de MV la disminución de contaminantes evaluados fue de entre el 51% al 92%, no obstante, en comparación con las normas oficiales (tabla 1), se observa que los parámetros



de Pt, Nt, y G/A se encuentran por encima de los límites máximos permisibles, en el caso del HC de E, la eficiencia fue mayor, desde un 70% hasta el 97%, y únicamente el Pt supero el límite máximo permisible.

CONCLUSIONES

En los dos HC estudiados se evidencio tanto exceso de biomasa en las celdas de tratamiento, falta de control biológico, así como ausencia de un adecuado seguimiento de las aguas tratadas, adicionalmente el de MV, presento falta de mantenimiento en el pre-tratamiento el cual durante el periodo de evaluación se encontraba saturado, tanto de sedimentos en el fondo como de material flotante, lo que evidentemente perjudica al flujo como el funcionamiento integral del sistema de tratamiento (%R G/A= 51.15), no obstante, estos sistemas contribuyen en buena medida a la disminución del impacto de las aguas residuales domesticas generadas en sus respectivas poblaciones, sobre los cuerpos de agua y el ambiente.

Sintetizando, sistemas de este tipo son una alternativa viable y sustentable para el control de la contaminación provocada por la descarga de aguas residuales de poblaciones rurales pequeñas y medianas en el centro-occidente del país.

American Public Health Association- APHA- (2017). Standard Methods for examinations of water and wastewater. Washington, USA.

Castañeda, A. (2020). Evaluación de Humedales Construidos en Los Altos de Jalisco: Los casos de Jesús María (Ojo Zarco) y Arandas (Martínez Valadez). *Revista Latinoamericana de Ambiente y las Ciencias.*, 11, 45-67, BUAP, México.

Castañeda, A., Flores, H. y Sahagún, R. (2018). *Comparación de tres modelos para el diseño de un humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales de poblaciones rurales en Los Altos de Jalisco*, en Las ciencias en los estudios del agua: Viejos desafíos sociales y nuevos retos, 1 edición, Rojas, J., Torres, A. y González, O. (Coords), CUTon, Universidad de Guadalajara, ISBN 97860754732222 .

Fitofilter (2020). en: <https://www.lafitodepuracion.com/nuestra-fitodepuracion/> 2020. España, 2021. [Fecha de consulta: 16-ago-2021].

García, J. y Corzo, A. (2008). Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Barcelona: Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya. España.

García, J., Aguirre, P., Barragán, J.,

BIBLIOGRAFÍA



- Mujeriego, R., Matamoros, V. & Bayona, J. M. (2004). Effect of key design parameters on the efficiency of horizontal subsurface flow constructed wetlands: long term performance. *Wat. Res.* submitted.
- García, J., Ojeda, E., Sales, E., Chico, F., Píriz, T., Aguirre, P. & Mujeriego, R. (2003). Spatial variations of temperature, redox potential, and contaminants in horizontal flow reed beds. *Ecol. Eng.*, 21, 129-142.
- García, J. (2003). Design factors of horizontal flow constructed wetlands. In: *The Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in constructed Wetlands, 1st International Seminar. Dias V. y Vymazal J. (eds.)*. Instituto Nacional da Água, Lisbon, Portugal, pp. 497-520.
- Google Earth. (2021). En: <https://earth.google.com/web/search>. 2021. [Consultado: 16-ago-2021].
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía -INEGI- (2021). Datos abiertos. En: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Datos_abiertos [Fecha de consulta: 10-jun-2021].
- Kadlec R.H., Knight R.L., Vymazal J., Brix H., Cooper P. & Haberl, R. (2000). *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation*. IWA Specialist Group on use of Macrophytes in Water Pollution Control, IWA Publishing. 156 pp.
- Kadlec R.H. & Knight R.L. (1996). *Treatment Wetlands*. CRC Press, Florida, 893 pp.
- Llagas, W. y Gómez, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 85-96.
- Osnaya, M. (2021). Tesis digital UNSIJ. *Universidad de la Sierra Juárez*, en: <http://www.unsij.edu.mx/tesis/digitales/6.%20MARICARMEN%20OSNAYA%20RUIZ.pdf>. [Fecha de consulta: 20-jun-2021].
- Ramírez, M. y Martínez, G. (2006). *La regionalización en Jalisco. Hacia un modelo de integración territorial en busca de la competitividad*, publicado en el Periódico Oficial del estado de Jalisco, el 15 de octubre de 1998. Guadalajara, Jalisco, México.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, 4 edition. Hoboken, N.J. Wiley, U



EFFECTO DEL TIPO DE PLASMA EN LA MORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA QUÍMICA EN PARTÍCULAS DE PAL

EFFECT OF PLASMA TYPE ON MORPHOLOGY AND CHEMICAL STRUCTURE IN PAL PARTICLES

Fernando Gabriel Flores Nava^{1,2}, Elena Colín Orozco^{1*}, José Cuauhtémoc Palacios
González¹, Guillermo Jesús Cruz Cruz², María Guadalupe Olayo González², Rosario
Ramírez Segundo^{1,2}, Maribel González Torres³, Lidia María Gómez Jiménez⁴

ORCID: 0000-0002-4269-9601

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec s/n,
Ciudad Universitaria, Toluca, EdMx, CP 50130.

²Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Carr. México-Toluca, km 36.5, Ocoyoacac, EdMx,
CP 52750, México.

³Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Carretera Tenango-La Marquesa km 22,
Tianguistenco, EdMx, CP 52650.

⁴Universidad Politécnica de Otzolotepec, Col. Dos Caminos, Villa Cuauhtemoc, Otzolotepec, EdMx,
CP 52080.

*ecolino@uaemex.mx

RESUMEN

Se presenta un estudio comparativo de la obtención de partículas de polialilamina (PAL) usando una configuración resistiva (R) contra una resistiva-inductiva (RI) de plasma a 20 W. Las partículas obtenidas mediante el arreglo RI presentaron tendencia esférica con diámetro promedio de 0.75 μm y 40 mg masa obtenida con mayor formación de dobles enlaces por efecto de la posible deshidrogenación de la alilamina. En el arreglo R, las partículas presentaron morfología cuasi-esférica con diámetro promedio de 1.45 μm y 10 mg de masa. Los resultados indican que con el acoplamiento RI se obtiene mayor cantidad de partículas con menor diámetro.

Palabras clave: Partículas PAI, Plasma, Inductivo-Resistivo.

ABSTRACT

A comparative study of a resistive (R) versus a resistive-inductive (RI) configuration of the plasma to obtain polyallylamine (PAL) particles at 20 W is presented. The particles obtained using the RI arrangement presented spherical tendency with average diameter of 0.75 μm and 40 mg mass with a greater formation of double bonds due to the effect of allylamine dehydrogenation. In the R arrangement, the particles presented quasi-spherical



morphologies with average diameter of 1.45 μm and 10 mg mass. The results indicate that with the RI coupling more particles with smaller diameter can be obtained.

Keys words: PAL particles, Plasma, Inductive-Resistive.

Fecha de recepción: 30 junio 2021

Fecha de aceptación: 09 septiembre 2021

Fecha de publicación: 1 de mayo de 2022

INTRODUCCIÓN

Para sintetizar y/o modificar superficies se han implementado diferentes configuraciones con acoplamientos capacitivos con voltaje a RF, inductivos alimentados a radiofrecuencia, resistivos e inductivos o imanes acoplados al cátodo en reactores de plasma con el objetivo de concentrar y distribuir homogéneamente la energía, concentrando la densidad de los electrones alrededor de los electrodos para que impacten al monómero u otras superficies. En este sentido, los arreglos capacitivos e inductivos se acoplan por fuera de la cámara del reactor de síntesis donde la energía es transmitida desde una fuente de alimentación al gas de síntesis. En un arreglo capacitivo se colocan placas paralelas que funcionan como capacitores [5]. Por su parte, el arreglo inductivo básicamente consiste en acoplar una bobina alrededor del reactor, que permite concentrar la energía electromagnética en el centro para ionizar al gas [2]. Mientras que, en un arreglo resistivo, los electrodos están dentro del

reactor y están en contacto directo con el material que se sintetiza [5].

Considerando lo anterior, se han sintetizado películas de PAI mediante arreglos resistivos que de acuerdo a las propiedades estructurales y morfológicas que se obtienen en estos materiales, se han aplicado como biomateriales para tratar lesiones en médula espinal [6]. En el área energética, películas de PAI sintetizadas por plasma se recubrieron con partículas metálicas de rutenio y dióxido de titanio, para uso en celdas solares debido a que se incrementa la absorción electromagnética [8] al compararse con la PAI sin el recubrimiento.

Por otro lado, con acoplamientos inductivos se han sintetizado películas de polialilamina como recubrimiento superficial sobre partículas de cuarzo. Esto permitió que se dirigieran hacia la remoción de ácido húmico en aguas residuales o en membranas de filtración comercial, mejorando así el porcentaje de



eficiencia de filtración [9,10].

En este sentido, la polimerización de la alilamina por plasma, se lleva a cabo vía radicales libres [11], los cuales, se generan por efecto de la deshidrogenación del monómero debido a las constantes colisiones con las partículas aceleradas que conforman el plasma [6]. Estos radicales se recombinan y neutralizan formado así al polímero. Respecto a lo reportado, mediante la estructura lineal que presenta la alilamina (ver Figura 1), no favorece la formación de partículas solo de películas. Bajo este contexto, se sugiere que una mayor concentración de energía podría favorecer la formación de estructuras tridimensionales con curvaturas, no planas y así formar partículas. Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo consiste en obtener partículas de polialilamina mediante arreglos resistivos y resistivo-inductivos para analizar cuál configuración favorece la obtención de partículas, estructura química, y la cantidad de masa para su posible uso como biomateriales.

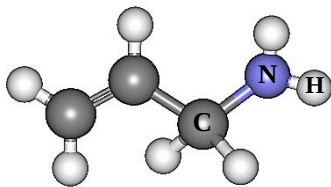


Fig. 1. Estructura química de la alilamina.

METODOLOGÍA

Se sintetizaron por plasma partículas de PAL empleando descargas de resplandor a radiofrecuencia (RF) de 13.56 MHz a 20 W durante 240 min en un reactor cilíndrico vertical de 9 cm de diámetro. En la Figura 2 se observan los reactores con arreglos resistivo (R) y resistivo-inductivo (RI). La configuración R corresponde a la Figura 2(a), que consiste en un tubo de vidrio pyrex con longitud de 30 cm acoplado un recipiente que contiene la alilamina (Sigma-Aldrich, 99.9%) que por diferencia de presiones entra al reactor en fase gaseosa por la varilla hueca que sostiene al electrodo superior. La distancia entre electrodos fue de 6 cm.

La configuración RI, Fig. 2(b), es similar al arreglo anterior con tubo de 25 cm, en él se acopló una bobina de cobre de cinco vueltas, una de las puntas se conecta al cátodo y la otra esta flotada para concentrar la energía en la parte superior del arreglo resistivo. La distancia entre electrodos fue de 1 cm. La morfología de las partículas se analizó con un microscopio electrónico de barrido modelo Jeol IT100 y la estructura química mediante un espectrofotómetro Thermo Scientific FT-IR iS5.



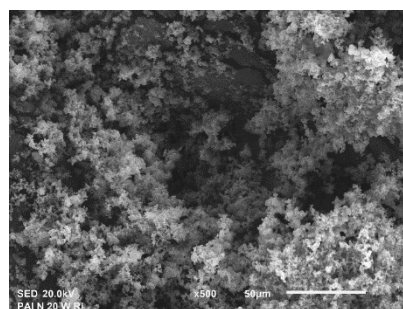
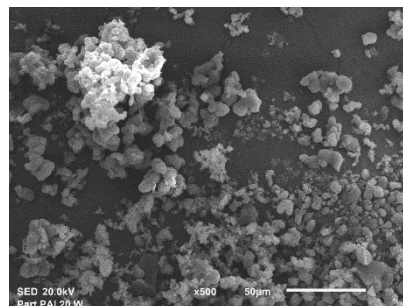
(a) arreglo R
(b) arreglo RI

Fig. 2. Obtención de partículas de PAI por plasma.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 3 muestra dos micrografías a 500x de las partículas de PAL sintetizadas por plasma a 20 W para los arreglos R y RI. Se observan partículas esféricas y cuasi-esféricas aglomeradas entre sí. La cantidad de masa fue de 10 y 40 mg para los acoplamientos R y RI, respectivamente. Por lo tanto, el arreglo

RI favorece una mayor cantidad de masa, probablemente porque evita que las partículas salgan del reactor hacia la cámara de gases, depositándose en la parte superior del reactor, donde está la bobina, como se observa en la Fig. 2(b).



a) 20 W R
b) 20 W RI

Fig. 3. Morfología de las partículas de PAI mediante los diferentes arreglos del reactor.

La Figura 4 muestra la gráfica de distribución normal de los diámetros de las partículas sintetizadas. El valor máximo para cada distribución representa la media armónica. En el arreglo R, los diámetros están entre 0.5 y 7.54 μm con media en 1.45 μm , mientras que para el arreglo RI se encuentran entre 0.45 y 1.19 μm con media de 0.75 μm . Esta última



configuración presenta una reducción en el diámetro de las partículas. Posiblemente por la reducción de la distancia entre los electrodos, concentrando así la energía e incrementando la densidad de electrones para polimerizar la alilamina. Por otro lado, la dispersión de los diámetros de las dos configuraciones del plasma se analizó mediante la anchura a la altura media de la distribución de datos (FWHM). La dispersión del arreglo R fue de $1.72\ \mu\text{m}$, y la del RI fue menor, de $0.16\ \mu\text{m}$.

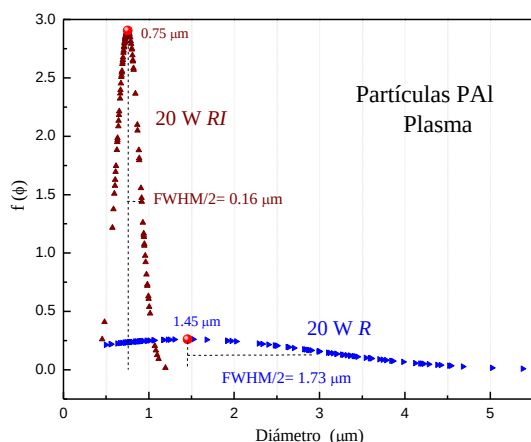


Fig. 4. Diámetro de las partículas de PAL obtenidas por los acoplamientos R y RI del reactor.

La Figura 5 muestra los espectros de IR-ATR de las partículas de PAL, que se comparan con el de alilamina para identificar posibles cambios estructurales derivados de la síntesis. Los grupos químicos asociados a cada absorción infrarroja están etiquetados en la Figura 5. En términos generales, las partículas de

polialilamina conservan los principales grupos químicos del monómero. Sin embargo, los picos localizados en $933\ \text{cm}^{-1}$ y $915\ \text{cm}^{-1}$ en la alilamina, no se detectan en las partículas. Esto sugiere deshidrogenación de la alilamina durante la síntesis, lo que formaría dobles y triples enlaces en las partículas de PAL. Las partículas con arreglo RI, muestran una intensidad mayor de absorción de dobles enlaces $\approx\text{C}\approx$ en $2360\ \text{cm}^{-1}$ comparado con el arreglo resistivo. Esto sugiere que con el arreglo RI hay mayor deshidrogenación y entrecruzamiento. Sin embargo, ambos espectros presentan similar absorción del pico localizado en $2180\ \text{cm}^{-1}$ asignados a los triples enlaces $\text{C}\equiv\text{C}$ o $\text{C}\equiv\text{N}$.

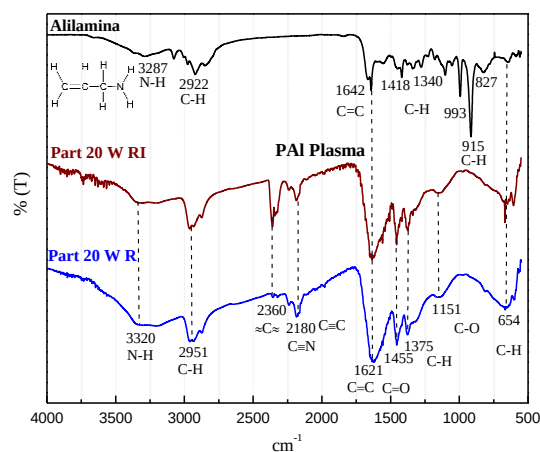


Fig. 5. Espectros IR-ATR de las partículas de PAL mediante arreglos resistivos e inductivos.

CONCLUSIONES

Se sintetizaron partículas de tamaños micrométricos de PAL mediante dos



configuraciones resistiva y resistiva-inductiva del plasma. El arreglo RI favoreció el crecimiento de partículas esféricas mientras que con el arreglo R fueron cuasi-esféricas. Los diámetros promedio de las partículas fueron de 1.45 y 0.75 μm para el arreglo R y RI, respectivamente. La masa para el arreglo RI aumento 4 veces comparada con el arreglo R que fue solo de 10 mg. Los análisis IR-ATR sugieren mayor deshidrogenación y formación de dobles enlaces mediante el arreglo RI.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CONACyT por la beca de doctorado otorgada a F.G. Flores-Nava y R. Ramírez.

REFERENCIAS

A. Hiratsuka, I. Karube, (2000). "Plasma polymerized films for sensor devices", *Electroanalysis: An International Journal Devoted to Fundamental and Practical Aspects of Electroanalysis*, vol. 12, núm. 9, pp. 695-702.

G. J. Cruz, L. M. Gómez, M. Gonzalez-Torres, F. Gonzalez-Salgado, R. Basurto, E. Colín, J. C. Palacios, M. G. Olayo, (2017). "Polymerization mechanisms in plasma polyallylamine", *Journal of Materials Science*, vol. 52, núm. 2, pp. 1005-1013.

A. Kruth, A. Quade, V. Brüser, K. D.

Weltmann, (2013). "Plasma-enhanced synthesis of poly (allylamine)-encapsulated ruthenium dye-sensitized titania photocatalysts", *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 117, núm. 8, pp. 3804-3811.

K. L. Jarvis, P. Majewski, (2012). "Plasma polymerized allylamine coated quartz particles for humic acid removal", *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 380, núm. 1, pp.150-158.

S. Déon, Z. Koubaa, E. Korzhova, A. Airoudj, P. Fievet, V. Roucoules, (2019). "Understanding the impact of poly (allylamine) plasma grafting on the filtration performances of a commercial polymeric membrane" *Separation and Purification Technology*, vol. 212, pp. 30-39.

J. Friedrich, (2011). "Mechanisms of plasma polymerization—reviewed from a chemical point of view", *Plasma Process and Polymers*, vol. 8, núm. 9, pp. 783-802.



IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN DE UN MODELO FÍSICO PARA LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL INFLUYENTES EN LA PRESENCIA DE UN DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL

IMPLEMENTATION AND APPLICATION OF A PHYSICAL MODEL FOR THE SIMULATION OF
SUBSURFACE FLOW SCENARIOS INFLUENTIAL IN THE PRESENCE OF A SUPERFICIAL
SLIDE

Guillermo Pedro Morales Reyes¹; Luís Zaldivar²; María Vicenta
Esteller Alberich³

ORCID: 0000-0001-6022-6747

¹⁻³Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (UAEMex),

²Facultad de Ingeniería (UAEMex),

Av. Instituto Literario, No 100, C.P. 50000, Toluca Estado de México, México.

¹gpmoralesr@uaemex.mx, ²lluuiisszz94@gmail.com, ³mvestellera@uaemex.mx

RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo adecuar y aplicar un modelo físico (Unidad de Estudio de Permeabilidad) para simular en un medio poroso granular (Fase 1) un canal de flujo subsuperficial producto de diversos contenidos de humedad representados como gradientes hidráulicos longitudinales y conocer su influencia en la presencia de deslizamientos superficiales, mismos que son de interés para conocer su comportamiento, debido a las consecuencias catastróficas que provocan y desde el ámbito de la modelación física, obtener una herramienta de simulación para valorar de manera preliminar los posibles factores que influyen en el proceso de deslizamiento[1]. La metodología consistió en: realizar una adecuación funcional del equipo, cambios estructurales mínimos de operación, manejo de las condiciones iniciales aplicables en el modelo, considerando cinco gradientes hidráulicos,(contenido de humedad bajo, sobresaturación y tres condiciones intermedias), se generaron las simulaciones para cada gradiente hidráulico y se midieron en el perfil granular los caudales de entrada y salida, asimismo, la fluctuación de la presión en puntos intermedios del perfil granular; se identificaron los sitios donde se presentaron a escala de laboratorio los deslizamientos. Los



resultados indicaron que en los gradientes hidráulicos que representan saturación y sobresaturación, se producen deslizamientos en algunos puntos del perfil granular. Se concluyó que el modelo puede ser utilizado para simular deslizamiento a escala y con las condiciones de saturación manejadas. Por lo anterior, el aporte del trabajo es la implementación inicial de un modelo físico que puede aprovecharse para posteriores trabajos de simulación de deslizamientos a escala de laboratorio.

Palabras clave: Modelo ; Deslizamiento; Saturación

SUMMARY

The work aimed to adapt and apply a physical model (Permeability Study Unit) to simulate in a granular porous medium (Phase 1) a subsurface flow channel product of various moisture contents represented as longitudinal hydraulic gradients and know their influence on the presence of surface landslides, which are of interest to know their behavior, due to the catastrophic consequences they cause and from the field of physical modeling, obtain a simulation tool to assess in a preliminary way the possible factors that influence the sliding process [1]. The methodology consisted of: performing a functional adaptation of the equipment, minimum structural changes of operation, management of the initial conditions applicable in the model, considering five hydraulic gradients ,(low humidity content, supersaturation and three intermediate conditions), simulations were generated for each hydraulic gradient and the inlet and outlet flows were measured in the granular profile, as well as the fluctuation of the pressure at intermediate points of the granular profile; the sites where the landslides occurred on a laboratory scale were identified. The results indicated that in hydraulic gradients representing saturation and oversaturation, slippage occurs at some points of the granular profile. It was concluded that the model can be used to simulate slippage at scale and with the saturation conditions handled. Therefore, the contribution of the work is the initial implementation of a physical model that can be used for subsequent work of simulation of landslides at laboratory scale.

Keywords: Model: Slippage; Saturation

Fecha de recepción: 13 julio 2021



Fecha de aceptación: 27 septiembre 2021

Fecha de publicación: 1 de mayo de 2022

INTRODUCCIÓN

Los modelos físicos a pesar del surgimiento de tecnología que los llega a suplir en diversas aplicaciones como lo es la simulación de diversos procesos, siguen siendo una herramienta alternativa para identificar, evaluar, simular y hasta cierto punto predecir el comportamiento de algún proceso de interés, algunos trabajos[1] muestran la fortaleza que tienen los modelos físicos aplicables en campo y la utilidad que muestran para detallar el comportamiento de un proceso como es un deslizamiento superficial, realizar modelación física en laboratorio depende de muchos factores, desde económicos hasta humanos, por lo tanto, hoy en día se busca que los modelos físicos existentes en laboratorio tengan un aprovechamiento al máximo en las diversas tareas de investigación aplicada y de tipo didáctico. Por lo anterior, mediante el presente trabajo se busca adecuar y aplicar un modelo físico existente conocido como Unidad de Estudio de Permeabilidad, que por sus características pudiera ser aplicado en la simulación de un escenario básico que se considera el precursor de las condiciones favorables para reproducir un

deslizamiento superficial, por tal motivo y considerando que no se dispone de modelos físicos para laboratorio que puedan representar una herramienta de apoyo en la simulación de este tipo de procesos, se buscó en este trabajo como objetivo principal, adaptar la funcionalidad y parcialmente la estructura de la Unidad de Estudio de Permeabilidad (UEP) para reproducir un canal de flujo subsuperficial, acompañado de las condiciones iniciales que gobiernan en contenido de humedad, que en este caso, se consideró el perfil de humedad bajo, medio y alto (sobresaturación) que respecto del tiempo pueden detonar consecuencias adversas en el ambiente, desde inestabilidad de suelos y edificios, hasta deslizamientos de tipo superficial. Tener una idea preliminar de cómo influyen los factores que se asocian en el modelo y lograr definir los que determinan un deslizamiento a escala de laboratorio, resulta gratificante para el modelador, ya permite obtener información preliminar, sin hacer estudios de campo y aplicaciones de softwares costosos, lo que muestra la justificante del presente trabajo. Anteriormente se han realizado trabajos como los citados en [1], [2] y [3],



que indican la aplicación de modelos a escala aplicados en campo o en sitios específicos de interés, pero su naturaleza no permite el acceso a una dinámica que permita obtener resultados más rápidos y sin contratiempos de desplazamientos al sitio de interés. La unidad de estudio de Permeabilidad (UEP) es un equipo que se ha utilizado por años para propósitos didácticos, principalmente en prácticas de

laboratorio de Hidrología, su estructura general se muestra en la figura 1 y por los elementos estructurales y accesorios que lo integra, se consideró una opción para la realización del trabajo de laboratorio, se hace notar que se tienen nulos antecedentes en la aplicación que se persiguió en este trabajo, por lo que sus adecuaciones son inéditas.



Figura 1. Estructura general de la Unidad de Estudio de Permeabilidad.

METODOLOGÍA

Los pasos metodológicos que permitieron cumplir con el objetivo de este trabajo se enuncian a continuación: **1. Adecuación**

funcional y estructural de la UEP. En esta etapa se identificó el funcionamiento original del equipo, los componentes que lo integran así como las ventajas y limitaciones que presentó al momento de



su disposición, de lo cual se generaron algunos cambios en la estructura de alimentación de flujo, eliminando la proporcionada por una bomba eléctrica e incorporando un sistema de alimentación por gravedad, regulado por un sistema de válvulas de compuerta, mediante las cuales se calibró diferentes aberturas de válvula para obtener las cargas hidráulicas en la entrada del medio poroso (perfil granular), con el mínimo de flujo en demasías, el cual se regula con una tubería provista en el equipo, la cual conduce el agua por su interior hacia una salida provista en el mismo equipo, a la vez que fija la carga hidráulica, la cual permite posicionar un gradiente hidráulico específico. En la figura 1 se puede observar referidos tubos reguladores de la carga hidráulica.

También como parte de la modificación del sistema de alimentación de flujo, se incorporó un tanque de 200 L de capacidad a una altura de 2.10 m para que funcionara como fuente de alimentación constante, mediante una tubería de 0.5 pulgadas de diámetro bifurcada con una conexión tipo yee para unirse a dos válvulas reguladoras de caudal mencionadas en párrafos anteriores. Cuando se presentó el vaciado del tanque fuente, se consideró la precaución de llenarlo cuando tuviera una

cuarta parte de su capacidad, alimentándolo con el sistema de distribución de agua por gravedad del Laboratorio de Modelos Hidráulicos del Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua.

Con las adecuaciones mencionadas se definió la forma de operar el equipo, consistente en a) colocar las mallas confinantes metálicas estabilizadoras del medio poroso o perfil granular, al inicio del perfil y en la salida del flujo, su posición se ilustra en la figura 1, b) Se fijó una escala de trabajo 1:100 para la colocación del perfil granular, considerando un ancho de canal de medio poroso de 21.0 m y la altura se definió según la topografía del escenario que se propuso reproducir, la cual corresponde a la existente en un sitio de presencia de un deslizamiento en la zona de Santa Ana Jilotzingo. Referido lugar fue objeto de estudio años antes y se dispuso de la topografía, c) se colocaron los tubos reguladores de carga piezométrica a las alturas que definieran el gradiente hidráulico con el cual se procedería a reproducir la circulación del flujo subsuperficial a través del canal de medio poroso, d) con una abertura de válvula previamente calibrada (con un mínimo de demasías en el tubo regulador de carga hidráulica) se alimentó al equipo para generar la carga hidráulica inicial, la



cual representa en un inicio el frente de humedecimiento en el medio poroso y con esta condición inicial esperar el tiempo necesario para que el frente de humedecimiento llegue hasta la salida del medio poroso y de esta forma obtener el perfil del gradiente hidráulico influyente en el medio granular, e) se procedió a realizar las mediciones de la presión en todo el perfil longitudinal utilizando los piezómetros mostrados en la figura 1, los cuales están posicionados de manera distribuida en dirección longitudinal y vertical respecto del perfil de medio poroso, f) se hizo una revisión cuidadosa del comportamiento del flujo, carga piezométrica y los cambios en la estructura del medio poroso, anotando y fotografiando los cambios sucedidos en todo el escenario.

2. Selección de la serie de perfiles y gradientes hidráulicos para las simulaciones. En esta etapa con la operatividad ya bien definida, se seleccionaron los perfiles de humedecimiento que se consideraron representativos y factibles de provocar una alteración a la estructura del perfil granular, considerando la existencia de estructuras como viviendas, sistemas de drenaje y el paso de una carretera, lo cual se consideró del escenario real de Santa Ana Jilotzingo, Estado de México. Los

perfiles fueron seis, el primero suave con la primera carga $H1 = 5$ cm y la segunda $H2 = 0$ cm. El segundo $H1 = 10$ cm y $H2 = 0$ cm. El tercero, $H1 = 15$ cm y $H2 = 0$ cm. El cuarto, $H1 = 20$ cm y $H2 = 0$ cm, El quinto $H1 = 25$ cm y $H2 = 0$ cm y finalmente el más desfavorable, el que representa una condición de sobresaturación es el que incluyó $H1 = 28$ cm y $H2 = 0$ cm. **3. Realización de las simulaciones.** Considerando la configuración de perfiles de medio poroso asociados a los diferentes gradientes hidráulicos preestablecidos en el párrafo anterior, se procedió a realizar cada simulación, operando en equipo como se mencionó en el paso metodológico 1 en los incisos a) hasta el f).

4. Evaluación del comportamiento del perfil de medio poroso para cada simulación. Al concluir cada simulación se realizó una evaluación que consistió de dos acciones, la primera fue una revisión visual de los cambios físicos de todo el perfil de medio poroso para lograr identificar si hubo presencia de deformaciones, socavaciones o deslizamientos superficiales. La segunda consistió en revisar los valores de carga piezométrica a lo largo del perfil de medio poroso para identificar anomalías en el equipo o presencia de alteraciones intersticiales por reacomodo del medio



poroso, lo cual lo detecta el piezómetro por un cambio de presión anómalo o diferente.

RESULTADOS

En cuanto a los resultados obtenidos para este trabajo, se pueden subdividir en dos grupos: resultados de los cambios funcionales y operacionales de la Unidad de Estudio de Permeabilidad y los propiamente correspondientes las realizaciones de las simulaciones de flujo subsuperficial de acuerdo con los

escenarios especificados. Inicialmente, las modificaciones estructurales consistentes en el sistema de alimentación, control y distribución del caudal, se muestran en la figura 2, considerando que la única limitante que presentaría esta modificación es el tiempo de operación que implicaría el reabastecimiento al tanque fuente en un tiempo no conocido, lo que implica proponer reabastecimientos parciales en horarios estratégicos.



Figura 2. Modificación en el sistema de alimentación de caudales.

Referente a la reproducción de los escenarios planteados considerando

los diversos gradientes hidráulicos, se realizaron las seis simulaciones y a



manera de ejemplo se ilustra una fotografía ubicada en la figura 3, donde se ilustra el manejo de la altura $H1 = 15\text{ cm}$ y altura final $H2 = 0\text{ cm}$, se observa como es el avance del flujo en el perfil longitudinal y en la figura 4 se

presenta el detalle de la carga hidráulica reproducida y como es el perfil inicial de humedecimiento para este gradiente hidráulico.



Figura 3. Detalle de la reproducción de la simulación con gradiente: $H1 = 15\text{ cm}$ y $H2 = 0.0\text{ cm}$.

El dimensionamiento final del canal de circulación de flujo en el medio poroso granular fue de 21 m de ancho y 160 m de largo en escala de $1:100$, es decir, 21 cm de ancho y 160 cm de largo. En la figura 4 se muestra una ampliación de la primera sección de avance del frente de humedecimiento, donde se ilustra la

simulación de forma adecuada de la circulación de un flujo subsuperficial bajo diferentes condiciones de humedecimiento, representadas por los gradientes hidráulicos comentados en párrafos anteriores.

Respecto a las simulaciones que



mostraron influencia del gradiente en la existencia de alguna socavación del perfil granular y en su caso, un deslizamiento de tipo superficial, es básicamente la más desfavorable, es decir, la que maneja un gradiente hidráulico con $H1 = 28$ cm de carga hidráulica en la entrada del perfil granular y 0.0 cm en la salida (alcantarilla en la carretera). En las figuras 5 y 6 se muestran los impactos sobre el perfil granular, observándose en la figura 5 el inicio de la socavación del material ubicado en la base del muro de contención y junto al dren o alcantarilla de la carretera y en la figura 6, se aprecia un deslizamiento superficial en la parte superior del terraplén, generado posterior a la socavación en el pie de la base del muro de contención, lo cual indica que bajo condiciones de sobresaturación para lapsos de tiempo prolongados, si es posible que se produzcan socavaciones y deslizamientos de tipo superficial; es preciso comentar que la variable tiempo no se controló, ya que no se tiene certeza del tiempo en el que se presentan los deslizamientos y las socavaciones, lo cual implicó controlar de manera permanente las condiciones de circulación del flujo subsuperficial para diferentes gradientes hidráulicos. En cuanto al grado de compactación, se consideró la colocación del material granular compactado y

revisado en su compactación con un penetrómetro de aguja, manteniendo al 95 % el grado de compactación de los 5 m (5 cm) de profundidad hasta la línea base del modelo coincidente con el nivel de la salida en el dren de la carretera (alcantarilla), de 3 a 5 m superficiales se manejó el grado de compactación natural en un terreno donde se presentan labores de cultivo y tránsito rural, definido en tres zonas. Zona alta con un 75 %, media de 60 % y la baja con un 75% de grado de compactación.

Respecto a los valores de las cargas hidráulicas intermedias en dirección longitudinal del perfil granular, todas fueron coincidentes con el valor de la columna de agua presente en el punto de medición, algo que debe ser lógico de encontrar, ya que se trata de un medio donde la porosidad permite una circulación uniforme de agua y en condiciones de saturación cada lectura del piezómetro, normalmente coincide con el valor de la carga hidráulica o columna de agua presente en el punto de medición. El grado de compactación no tuvo influencia significativa en los valores de las cargas hidráulicas. Finalmente, estos resultados muestran que, si es factible trabajar con la Unidad de Estudio de Permeabilidad para simular una franja de flujo subsuperficial como un medio de



generación de un deslizamiento humedecimiento particulares.
superficial, sujeto a condiciones de

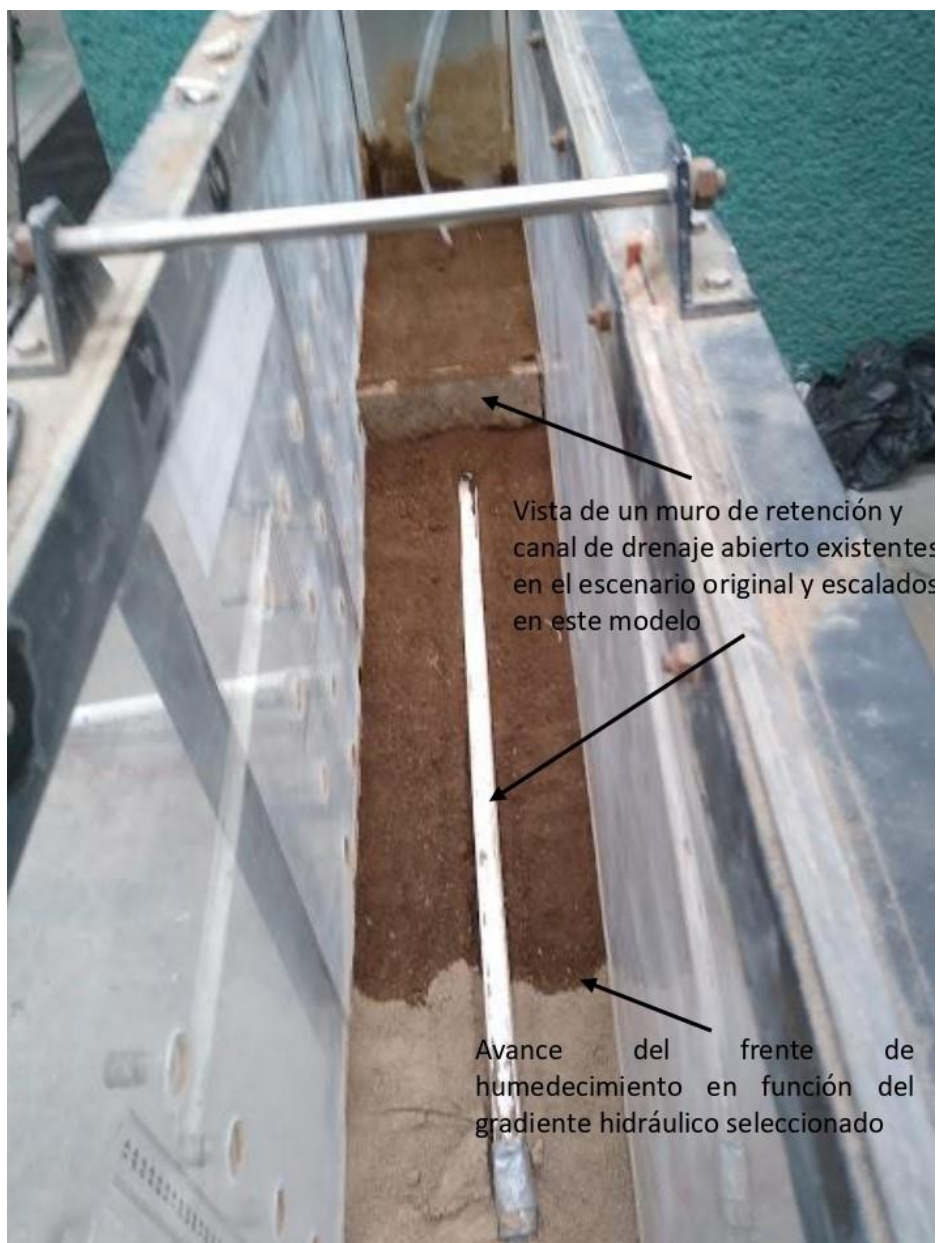


Figura 4. Vista en planta del avance del frente de humedecimiento en un 75 % de la saturación total del perfil granular.

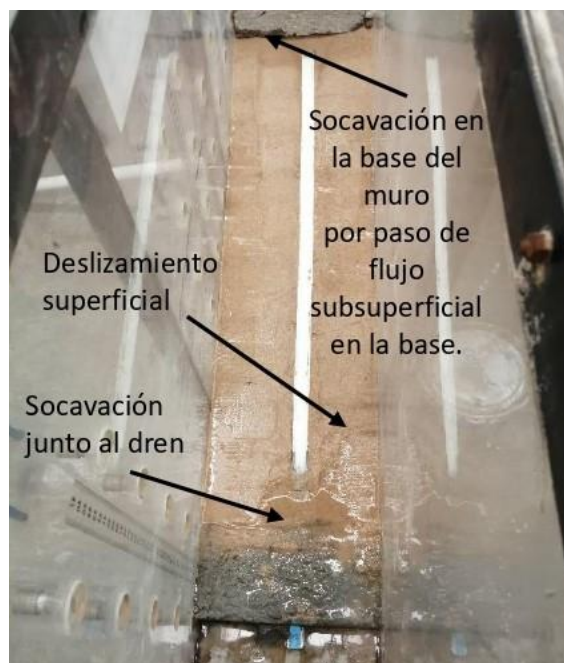


Figura 5. Ilustración de la presencia de la socavación en la base del muro, junto al dren y el deslizamiento superficial en la parte baja.



Figura 6. Presentación de la socavación del muro de contención y deslizamiento superficial en la parte alta del perfil granular, generados por el gradiente más desfavorable.



Finalmente, en la tabla 1 se muestra un resumen de los escenarios y el

correspondiente resultado obtenido en cada simulación.

Tabla 1. Resultados de simulación en cada escenario.

Lista de elementos	
Gradiente H1/H2	Observaciones
05 cm / 0.0 cm	Humedecimiento sin cambios en el perfil
10 cm / 0.0 cm	Humedecimiento sin cambios en el perfil
15 cm / 0.0 cm	Humedecimiento sin cambios en el perfil
20 cm / 0.0 cm	Saturación sin cambios en el perfil
25 cm / 0.0 cm	Saturación con ligero arrastre de suelo
28 cm / 0.0 cm	Sobresaturación, deslizamiento y socavación

En la figura 7 se ilustra la posición donde se midió la carga hidráulica con el piezómetro (puntos en color rojo), que en conjunto permiten configurar el perfil del gradiente hidráulico que en dirección longitudinal coincide con las líneas equipotenciales, por lo tanto, se observa que, para el perfil granular,

todos los puntos de medición que están circunscritos indican para una condición saturada del medio poroso la carga piezométrica existente y respecto del tiempo dependió la aparición de socavaciones y deslizamientos superficiales como los indicados en las figuras anteriores.

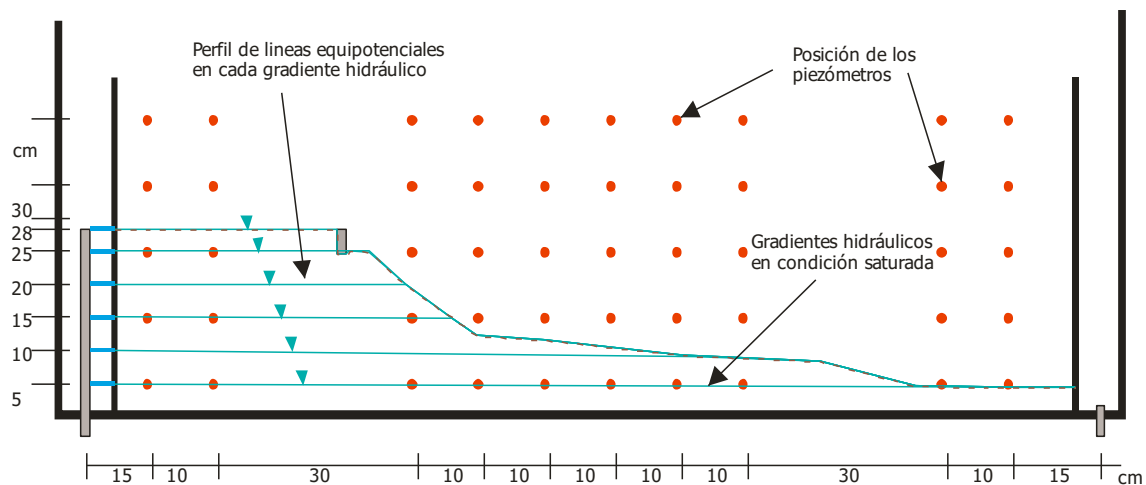


Figura 7. Representación global de la distribución de líneas equipotenciales generadas en cada simulación en condición de saturación del gradiente hidráulico en la unidad de estudio de permeabilidad.

DISCUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos,



se considera fundamental la estructura original de la Unidad de Estudio de Permeabilidad, ya que sus funciones originales e implementos permitieron realizar una modificación funcional adecuada, con la particularidad de que este tipo de equipos son muy específicos y solo se tienen reportes de trabajos didácticos como aplicación básica. Particularmente, en cuanto a los resultados de las simulaciones, por tratarse de un medio poroso granular el escenario básico a pesar de que los resultados son adecuados, se vislumbra la posibilidad real de generar una aplicación en un escenario con un tipo de material representativo de un sitio de estudio, por lo que se puede decir que al aporte del presente trabajo consistió en demostrar la posibilidad real de utilizar la Unidad de Estudio de Permeabilidad para simular el tránsito de un flujo subsuperficial acotado a un canal central de circulación, que normalmente se asemeja a la zona de confluencia de un flujo y que resulta ser la zona de mayor posibilidad de presentar desde una socavación de suelo hasta deslizamientos superficiales. También se puede comentar que los resultados son inéditos y se consideran la base para continuar trabajando, pero ahora con escenarios de perfil de suelo de la misma consistencia

que un sitio de interés real, donde se haya presentado algún evento de deslizamiento que se quisiera simular para evaluar factores influyentes. Se coincide con los trabajos presentados en [1] y [2], en cuanto a que, los modelos son factibles de perfeccionarse en cuanto más aplicaciones se tengan de los mismos y esto genere un equipo más completo y versátil para aplicaciones subsecuentes.

CONCLUSIONES

En función de las ventajas, características y limitaciones de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente.

La unidad de estudio de permeabilidad si permite mediante su aplicación, reproducir exitosamente la circulación de un flujo subsuperficial en un perfil granular con topografía a escala 1:100.

Las simulaciones permitieron identificar cuales escenarios son los más factibles de generar un deslizamiento superficial, considerando solamente la consistencia del perfil granular y el gradiente hidráulico. Existen otros factores que pueden influir como es la frecuencia sísmica y el cambio radical del uso de suelo de bosque a semiurbano o urbano, los cuales en esta primera fase no se consideraron.

Es recomendable realizar simulaciones para este mismo perfil, pero considerando el tipo de suelo original del sitio que inspiró la realización del presente trabajo,



esto mostrará con mayor aproximación como se llevó a cabo el deslizamiento registrado en Septiembre del año 2017.

Finalmente se agradece al Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua por el apoyo reflejado en la disposición del equipo, espacio en el Laboratorio de Modelos Hidráulicos y el apoyo del personal técnico para realizar algunos ajustes mecánicos al equipo.

REFERENCIAS

Ferrer, M. (2002). "Taludes", Ingeniería Geológica, pp. 430 - 486, Madrid, España.

Moreno, H. (2006). "La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquía: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria", Revista EIA, núm. 5, pp. 59 - 69, ISSN 1794 - 1237.

Salvador Eduardo Teófilo, (2019). "Modelo hidromeccánico para evaluar el deslizamiento del suelo por efecto del flujo subsuperficial de agua", (Tesis de Doctorado), Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca Estado de México.



DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE INVENTARIOS MULTI-ESCALÓN MULTI-PRODUCTOS PARA UNA EMPRESA DEL SECTOR COMERCIO UBICADA EN EL ESTADO DE MÉXICO

DESIGN OF A MULTI-STAGE MULTI-PRODUCT INVENTORY POLICY FOR A COMPANY IN THE COMMERCE SECTOR LOCATED IN THE STATE OF MEXICO

Gael Almazán Munguía ^{*1}, Lourdes Loza-Hernández², Manuel González de la Rosa³ y
Sergio Vázquez Aranda ⁴

ORCID: 0000-0001-5107-7110

¹⁻⁴Departamento de Posgrado, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec S/N,
Ciudad Universitaria, C.P. 50100.
Toluca, Estado de México.

¹ galmazanm468@alumno.uaemex.mx, ² llozahe@gmail.com, ³ mgonzalezr@uaemex.mx,
⁴svazqueza821@profesor.uaemex.mx

RESUMEN

Este documento presenta las etapas de análisis y diseño de las políticas de inventario propuestas para una empresa del sector comercio ubicada en el Estado de México. Para hacer posible la comercialización de los múltiples productos en su catálogo, la empresa caso de estudio tiene diversas instalaciones, entre ellas, un Centro de Distribución, el cual es surtido por un conjunto de proveedores, y este a su vez, surte a más de cuarenta puntos de venta donde son vendidos todos los productos al cliente final. Actualmente la empresa tiene problemas de manejo de productos de alto movimiento, por lo que se originan bajos niveles de disponibilidad de producto que satisfarían la demanda y altos costos administrativos. Para dar solución a estos problemas se establece como objetivo el diseño de políticas de inventario y como etapa previa a este proceso, se realizó una revisión de literatura relacionada al diseño y manejo de políticas multi-escalón y multi-producto. En esta revisión de literatura se prioriza la búsqueda de artículos científicos con características propias de la empresa caso de estudio y de sus productos. Posteriormente se establecen los productos del catálogo de la empresa a los cuales se aplicará la nueva política de inventarios mediante una clasificación ABC según los criterios más importantes para los



tomadores de decisiones de la empresa. El trabajo actual en desarrollo consiste en el análisis de la demanda desde 2019 hasta mediados de febrero de 2021 del conjunto de productos seleccionados, así como revisión de políticas de inventario ya establecidas aptas para las características propias del caso de estudio.

Palabras clave: *Políticas de inventarios; multi-escalón; multi-productos; clasificación ABC; análisis de la demanda.*

ABSTRACT

This document presents analysis and design stages of an inventory policy proposal for a company in the commerce sector located in State of Mexico. To make possible the commercialization of the multiple products in its catalog, the case study company has several facilities, among them, a Distribution Center, which is supplied by a set of suppliers, and this, in turn, supplies more than Forty points of sale where all products are sold to the end customer. Currently, the company has problems in handling high-movement products, so low levels of product availability arise that would satisfy the demand and high administrative costs. To solve these problems, the design of inventory policies is established as an objective and as a stage prior to this process, a literature review related to the design and management of multi-echelon and multi-product policies was carried out. In this literature review, the search for scientific articles with characteristics of the case study company and its products is prioritized. Subsequently, the products of the company's catalog are established to which the new inventory policy will be applied through an ABC classification according to the most important criteria for the company's decision makers. The current work in development consists of the analysis of the demand from 2019 to mid-February 2021 of the set of selected products, as well as a review of established suitable inventory policies for the characteristics of the case of study.

Key words: Inventory policies; multi-echelon; multi-product; ABC classification; demand analysis.

Fecha de recepción: 13 julio 2021

Fecha de aceptación: 09 septiembre 2021

Fecha de publicación: 1 de mayo de 2022



INTRODUCCIÓN

Este documento presenta las etapas iniciales de un proceso de diseño de políticas de inventario para una empresa del sector comercio ubicada en el Estado de México. Para hacer posible la comercialización de los múltiples productos en su catálogo, la empresa tiene diversas instalaciones, entre ellas, un Centro de Distribución, el cual es surtido por un conjunto de proveedores, y este a su vez, surte a más de cuarenta puntos de venta donde son vendidos todos los productos al cliente final. Actualmente la empresa tiene problemas de manejo de productos de alto movimiento, por lo que se originan bajos niveles de fill rate (medida del porcentaje de la disponibilidad de producto que satisfará una demanda (Ramírez, 2019)) y altos costos administrativos.

El diseño de una cadena de suministro es un campo en crecimiento dentro del área gerencial y es examinada a fondo por medio de la investigación de operaciones, la cual tiene como propósito el diseñar estructuras organizacionales productivas bajo restricciones de tiempo, costo, producción y/o distribución con la premisa básica de minimizar costos o maximizar ganancias y beneficios (Petridis, 2015).

Uno de los eslabones que forman a la

cadena de suministro es el de inventarios, el cual da origen a este trabajo ya que además de tener una gran importancia dentro del funcionamiento de una empresa, también conlleva un gran dilema que debe saber manejarse y controlarse de acuerdo con las características mismas de la cadena de suministro, debido a que mantener un alto nivel de inventario incrementa los costos de la cadena pero se logra un nivel de servicio al cliente mayor (Ballou, 2004).

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La etapa previa al proceso de diseño de las políticas de inventario para el caso de estudio consistió en la revisión de literatura relacionada al diseño y manejo de políticas multi-escalón y multi-producto. La búsqueda de artículos científicos se realizó considerando las características propias de la empresa caso de estudio y de sus productos. Se estableció como prioridad el análisis de artículos relacionados a políticas de inventario de tres escalones y multi-producto, así como el manejo de artículos perecederos y no perecederos en el periodo de 1999 a 2020. El resultado del análisis anterior arrojó que, a pesar de compartir problemáticas similares, tienen objetivos distintos. Una parte de la literatura comparte el propósito de



optimizar el tamaño de lotes en pedidos de reabastecimiento por ejemplo (Nagaraj and Selladurai, 2002), (Jaruphongs, Çetinkaya and Lee, 2004), (Lu and Qi, 2011), (Varyani, Jalilvand-Nejad and Fattahi, 2014) y (Gharaei, Karimi and Hoseini Shekarabi, 2019). Algunos otros, tratan el cálculo del punto de reorden bajo políticas de inventario diferentes, algunos de ellos son (Van Der Heijden, Diks and De Kok, 1999), (Thangam and Uthayakumar, 2009) y (Sadeghi, 2015). Asimismo, ciertos artículos revisados, buscan el modelado de cadenas de suministro integradas o la reducción de costos finales para los casos de estudio abordados. Algunos de estos artículos son (Hajiaghaei-Keshteli and Sajadifar, 2010), (Alimardani, Jolai and Rafiei, 2013) y (Parjane, Dabade and Gulve, 2017). También se encontraron artículos relacionados al sector comercio con objetivos diferentes a los anteriores, por ejemplo (Liu *et al.*, 2020) busca seleccionar un conjunto de depósitos o almacenes para satisfacer la demanda de los minoristas de la cadena de suministro de tres niveles. Por otro lado, en (Zijm and Timmer, 2008) se busca eliminar ineficiencia de costos entre sistemas centralizados y descentralizados de inventarios.

De manera particular, fue posible encontrar artículos enfocados a temas

más estrechamente relacionados a empresas del sector comercio. Por ejemplo, (Hoseini Shekarabi, Gharaei and Karimi, 2019) analizan una cadena de suministro de tres niveles o escalones; el primer escalón es considerado como el proveedor, el segundo es un productor y, finalmente el tercero es un conjunto de mayoristas. En este caso de estudio se calcula el número óptimo de lotes de pedido y su correspondiente tamaño, de tal manera que se minimice el costo total de inventario. El problema contempla un conjunto de restricciones como lo es el espacio limitado en el almacén, la cantidad de órdenes que se pueden colocar y la cantidad de productos que cada nivel de la cadena puede ordenar, costos de adquisición, costos de manejo de inventario y el costo de almacenar para el escalón de productor.

Otro ejemplo, relacionado directamente con empresas del sector comercio fue (Petridis, 2015), el cual consiste en el diseño de una cadena de suministro multi-escalón con una demanda normalmente distribuida. En este artículo se propone un diseño de un modelo flexible de cadena de suministro para facilitar el manejo de la demanda estocástica a la que se está sujeta. Como resultado ante la restricción de un tiempo de entrega que incluye la cantidad de inventario que se mantiene en los centros de distribución, con las



decisiones sobre el exceso y la falta de inventario, así como el tiempo correspondiente para cada uno, se tiene el modelo de programación no lineal de enteros mixtos multiobjetivo y mediciones estadísticas como la probabilidad de desabastecimiento y exceso de existencias.

Un tercer artículo científico de relevancia para el caso de estudio que se analiza en este documento fue (Axsäter, Kleijn and De Kok, 2004), el cual tiene como objetivo la racionalización de stock, implementada en un modelo de inventarios de revisión continua de dos escalones, en donde se busca un equilibrio entre dos costos importantes: 1 – Costo de no satisfacer la demanda de clientes directos y 2 – Costo de no satisfacer los pedidos de reabastecimiento de un minorista, en donde el primero resulta ser más elevado. La revisión de literatura continuará a lo largo del desarrollo del proyecto y dependiendo de los requerimientos.

Después de realizar una revisión preliminar de literatura, se inició la búsqueda de información necesaria para el proceso de diseño de políticas de inventario según los problemas resueltos en los artículos revisados. Esto a través de un acercamiento a la empresa y familiarización con los procesos internos del Centro de Distribución.

METODOLOGÍA

La empresa caso de estudio distribuye a su red de minoristas más de 6 mil productos a través de su Centro de Distribución, con ayuda de un equipo logístico propio y de empresas de transporte externas. Estos productos se categorizan en 24 diferentes familias, las que internamente denominan líneas. Naturalmente cada línea tiene productos con mayor flujo que otros y únicamente la experiencia e intuición del personal a cargo de este Centro de Distribución definen cuáles son. Por lo anterior, resulta conveniente identificar y justificar cuantitativamente la clasificación del conjunto de productos que son de mayor interés para la gerencia de la empresa y que, en consecuencia, sean para los cuales se diseñen las políticas de inventario adecuadas. Para ello, se recurre a un método denominado clasificación ABC.

La clasificación ABC se utiliza para identificar los productos más importantes para las empresas y así, tomar decisiones para establecer prioridades de atención en cuanto a su manejo y administración a lo largo de diferentes procesos. En este tipo de clasificación usualmente se generan tres clases o categorías de productos: A, B y C. Los productos de la clase A son



aquellos que deben recibir una atención más detallada por la administración, los productos de la clase B son de importancia secundaria con relación a la clase A y los productos de clase C son los productos restantes que generalmente se identifican como de menor importancia o que generan un menor impacto (Edward A. Silver, David F. Pyke, 2016). Para hacer posible la clasificación ABC fue necesario saber a detalle cuales son los criterios que un producto debe cumplir para categorizarlo como muy importante (bajo los criterios del personal de la empresa) de clase A. Los tomadores de decisiones de la empresa consideran tres criterios para mejorar sus procesos internos de inventario: i. productos con mayor cantidad de cajas solicitadas por las tiendas minoristas; ii. productos con mayor cantidad de cajas enviadas a las tiendas minoristas; iii. productos que mayor monto monetario representan. Además, fue requerida la priorización de dos líneas específicas en donde actualmente se tiene un mayor conflicto en niveles de inventario, las cuales serán referidas como líneas 1 y 2.

Una vez que los tres criterios de categorización de productos fueron definidos, se inició la recopilación de datos históricos de la empresa considerando dichos criterios. Se

obtuvieron informes de los años 2019 y 2020 así como una fracción de 2021. Los informes esencialmente consisten en registros individuales de productos solicitados por cada una de las tiendas minoristas al Centro de Distribución. Estos informes, además de registrar las cajas solicitadas de cada uno de los productos, también detallan cuántas de ellas fueron surtidas exitosamente, el monto que representaban al momento de la transferencia, la fecha en que se enviaron, cuál fue su tienda destino, la línea a la que pertenecen, folios internos de pedido, el proveedor de origen, entre otros. En total fueron obtenidos más de seis millones de registros de 120 reportes aproximadamente.

Para tratar esta información, se empleó el software de hojas de cálculo Excel de la paquetería Microsoft Office 365 mediante tablas y gráficos dinámicos. Como primer paso, se cubrió el requerimiento de la gerencia analizar únicamente de los productos de las líneas 1 y 2 para el diseño de políticas de inventarios de los más importantes, por lo que, eliminando los registros de las líneas restantes el número de registros analizados fueron 1,062,640 de 1,486 productos. Se analizó el número de cajas solicitadas y cajas surtidas y su monto total al Centro de Distribución desde la primera semana



de enero de 2019 hasta la primera semana de marzo de 2021. Las figuras 1, 2 y 3 ilustran el comportamiento de cada uno de los criterios por producto. En el eje vertical identifica los productos individuales y el eje horizontal su cantidad de cajas solicitadas, cajas surtidas y monto total respectivamente, para cada producto, esto es por ejemplo, para el producto que se encuentra en la base de la gráfica de la figura 1, el Centro de Distribución surte un total de cajas 300,289 cajas.

Es típico encontrar en diferentes sistemas de inventarios multi-SKUs (stock-keeping units, artículos de stock que están completamente especificado en cuanto a su función, estilo, tamaño, color y, a menudo, ubicación. (Edward A. Silver, David F. Pyke, 2016)) que alrededor del orden del 20% del total de SKUs hacen alrededor del 80% del uso anual en dólares. Esta relación se aplica en este caso de estudio, ya que con ayuda de las figuras es posible notar que pequeñas cantidades de productos por figura, representan la mayor parte del movimiento de cajas surtidas solicitadas y que representan mayor monto monetario.

De la lista de los 1,486 productos de las líneas 1 y 2 se realizó un ranking

individual de mayor a menor por cajas surtidas con su porcentaje acumulado para determinar cuántos y cuáles productos representan aproximadamente 80% de las cajas surtidas a las tiendas minoristas de la empresa; se obtuvo que 14,389,178 cajas de 287 productos representaron el 80.05% del total surtido. El mismo proceso se realizó para la cantidad de cajas solicitadas por los minoristas y para el monto total de las cajas enviadas, el resultado para el primero consistió en que 296 productos, de los cuales 20,267,642 cajas fueron solicitadas, representan el 79.98% del total. En cuanto al ranking de monto, se supo que un total de 287 productos suman \$5,414,223,750.40 que representaron el 79.91% del total de las líneas 1 y 2. A continuación, se elaboró un listado más específico que incluyera los productos que estuvieran en los tres rankings anteriores fueron asignados a la clase A, conformado únicamente de 385 productos (25.91% del total de los pertenecientes a las líneas 1 y 2). De manera ilustrativa, la tabla 1 contiene la información por criterio de únicamente 10 de los 385 productos de la clase A, para los cuales se diseñarán las nuevas políticas de inventario.

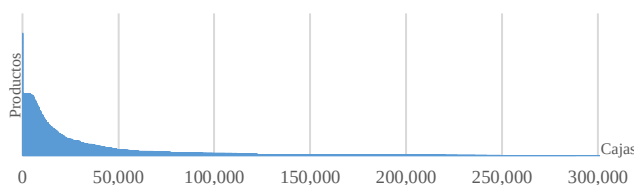


Figura 1. Cantidad de cajas surtidas por producto desde el Centro de Distribución.

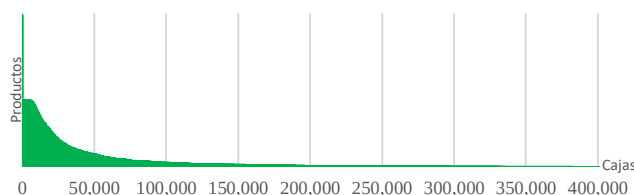


Figura 2. Cantidad de cajas solicitadas por producto al Centro de Distribución.

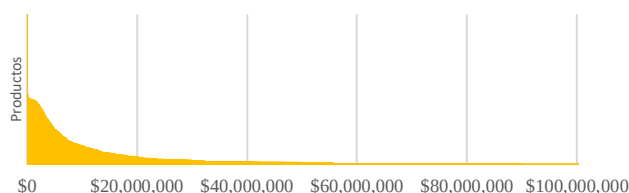


Figura 3. Monto total de las cajas enviadas por producto desde el Centro de Distribución a los minoristas.

Tabla 1. Cantidad de cajas solicitadas, surtidas y monto que representaron por producto de clase A de enero 2019 a marzo 2021.

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
Producto 1	798,848	1,120,534	\$89,972,726.33
Producto 2	441,045	493,778	\$40,612,331.44
Producto 3	216,115	382,683	\$7,549,807.25
Producto 4	326,095	335,587	\$36,131,640.92
Producto 5	288,382	331,613	\$251,370,887.86
Producto 6	249,324	297,324	\$58,097,813.20
Producto 7	241,923	288,351	\$83,554,659.89
Producto 8	157,070	283,903	\$58,165,062.59
Producto 9	220,569	271,930	\$103,414,072.69
Producto 10	236,165	260,114	\$68,326,776.72

Fuente: Elaboración propia. Productos ordenados por Cajas solicitadas.



TRABAJO EN DESARROLLO

Una vez definidos los productos más importantes para la empresa, es posible decir que se trata de productos de rápido movimiento desde el Centro de Distribución hacia la red de minoristas, por lo que se da pie a la búsqueda de políticas de inventario ya establecidas para artículos con estas características. Y para lo anterior, se debe tener con certeza conocimiento del comportamiento de las

demandas individuales del conjunto de productos proveniente de la clasificación ABC. Por lo tanto, se inicia la recopilación de datos para el análisis del comportamiento de la demanda desde los minoristas al Centro de Distribución por producto. En la figura 4 se ilustra lo propio del producto que encabeza la clase A.

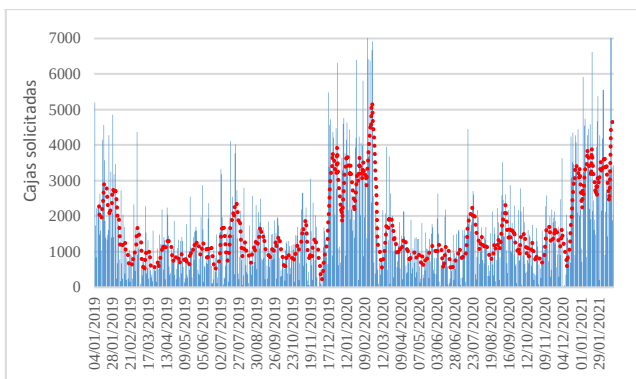


Figura 4. Cajas solicitadas del producto 1 al Centro de Distribución.

Como parte de un análisis preliminar de este producto, se puede notar que, a lo largo de los más de dos años graficados, se tienen periodos en los que la cantidad de cajas solicitadas varía en gran medida que incluso inmediatos posteriores y anteriores. También es posible notar que hay

partes específicas del año en que la demanda es notablemente superior al resto. El más notorio es el comprendido entre los meses de diciembre y febrero, lo cual, puede conducir a la existencia de estacionalidad.

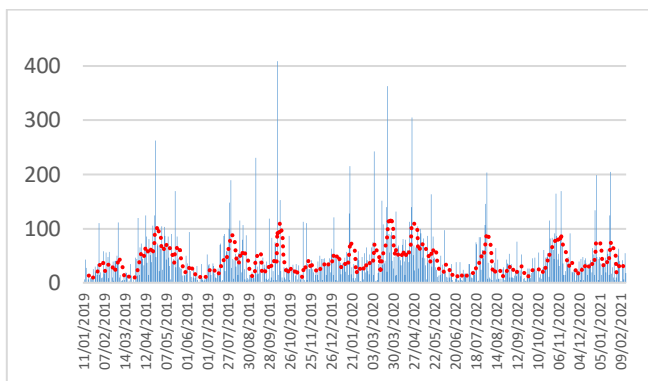


Figura 5. Cajas solicitadas del producto 385 al Centro de Distribución.

En la figura 5 se muestra la cantidad de cajas solicitadas por día del producto 385 a través del tiempo. Es posible notar que, aunque la cantidad de cajas solicitadas es notablemente menor en comparación con las del producto 1, también se presenta la peculiaridad de que en ciertos días se solicitan cantidades en gran magnitud diferentes a los días anteriores o posteriores. Esto puede representar un problema debido a que no se presentan tampoco estacionalidades o algún comportamiento establecido y que posteriormente puede complicar el cálculo de pronósticos de demanda para las políticas de inventario a diseñar.

CONCLUSIONES

Este documento refleja, de forma general, el trabajo en las primeras etapas del proceso de diseño de políticas de inventario para una empresa del sector comercio. La primera de ellas es considerada preliminar, ya que, durante el

proceso de familiarización con la empresa, se llevó a cabo una revisión de literatura que muestre problemas semejantes a los del caso de estudio y la forma de resolverlos.

Inicialmente se encontraron más de 20 artículos con estas características en diferentes plataformas y bases de datos. De esta primera selección, se distinguieron 3. El primero de ellos analiza una cadena de suministro de tres niveles o escalones sujeta a un conjunto de restricciones; el primer escalón es considerado como el proveedor, el segundo es un productor y, finalmente el tercero es un conjunto de mayoristas. El segundo artículo consiste en el diseño de una cadena de suministro multi-escalón con una demanda normalmente distribuida. El tercer artículo tiene como objetivo la racionalización de stock, implementada en un modelo de inventarios de revisión continua de dos escalones, en donde se busca un



equilibrio entre dos costos importantes: 1 – Costo de no satisfacer la demanda de clientes directos y 2 – Costo de no satisfacer los pedidos de reabastecimiento de un minorista.

Esta actividad, a pesar de ser la primera en realizarse, se complementará con búsqueda de artículos científicos de acuerdo con las necesidades y problemas que se presenten en el desarrollo del trabajo.

Después de la primera revisión de literatura se desarrolló una clasificación ABC para justificar cuantitativamente los productos más importantes del catálogo de la empresa, tomando en cuenta los criterios de sus tomadores de decisiones. Es importante resaltar que esta clasificación es fundamental para el desarrollo de este trabajo, y además fue implementada por el personal de la empresa dada la utilidad que mostró para el manejo de sus operaciones. La clasificación ABC desarrollada fue aplicada en los procesos operativos del Centro de Distribución, priorizando los procesos de compra, recepción, almacenaje y surtido de los artículos pertenecientes a la clase A.

Posterior a la clasificación ABC, se realizarán los pronósticos de demanda de

cada producto clase A que serán los datos de entrada de las políticas de inventario propuestas para el caso de estudio. Tomando como base las referencias (Petridis, 2015), (Hoseini Shekarabi, Gharaei and Karimi, 2019) y (Axsäter, Kleijn and De Kok, 2004), los datos relacionados a costos de almacenamiento, costo de colocar pedidos y costos fijos de inventario necesarios para la aplicación de la política de inventario adecuada ya fueron calculados. Los resultados de las políticas de inventario serán comparados con el desempeño actual del inventario de la empresa mediante el único indicador que la empresa emplea: fill rate, mostrando los beneficios del uso de métodos cuantitativos a problemas reales, siendo esta la etapa final del trabajo terminal de grado.

REFERENCIAS

- Alimardani, M., Jolai, F. and Rafiei, H. (2013). 'Bi-product inventory planning in a three-echelon supply chain with backordering, Poisson demand, and limited warehouse space', *Journal of Industrial Engineering International*, 9(1). doi: 10.1186/2251-712X-9-22.
- Axsäter, S., Kleijn, M. and De Kok, T. G. (2004) 'Stock rationing in a continuous review two-echelon inventory model', *Annals of Operations Research*, 126(1–4),



- pp. 177–194. doi: 10.1023/B:ANOR.0000012280.68155.a3.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística Administracion de la Cadena de Suministro*. Quinta Edi. Edited by E. Quintanar Duarte. Pearson Educación.
- Edward A. Silver, David F. Pyke, D. J. T. (2016). *Inventory and Production Management in Supply Chains*. 4th ed. CRC Press. doi: 10.1201/9781315374406.
- Gharaei, A., Karimi, M. and Hoseini Shekarabi, S. A. (2019). 'An integrated multi-product, multi-buyer supply chain under penalty, green, and quality control polices and a vendor managed inventory with consignment stock agreement: The outer approximation with equality relaxation and augmented penalty algorithm', *Applied Mathematical Modelling*, 69, pp. 223–254. doi: 10.1016/j.apm.2018.11.035.
- Hajiaghaei-Keshteli, M. and Sajadifar, S. M. (2010). 'Deriving the cost function for a class of three-echelon inventory system with N-retailers and one-for-one ordering policy', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(1–4), pp. 343–351. doi: 10.1007/s00170-009-2486-9.
- Van Der Heijden, M., Diks, E. and De Kok, T. (1999). 'Inventory control in multi-echelon divergent systems with random lead times', *OR Spektrum*, 21(3), pp. 331–359. doi: 10.1007/s002910050093.
- Hoseini Shekarabi, S. A., Gharaei, A. and Karimi, M. (2019). 'Modelling and optimal lot-sizing of integrated multi-level multi-wholesaler supply chains under the shortage and limited warehouse space: generalised outer approximation', *International Journal of Systems Science: Operations and Logistics*, 6(3), pp. 237–257. doi: 10.1080/23302674.2018.1435835.
- Jaruphongs, W., Çetinkaya, S. and Lee, C. Y. (2004). 'A two-echelon inventory optimization model with demand time window considerations', *Journal of Global Optimization*, 30(4), pp. 347–366. doi: 10.1007/s10898-004-6092-y.
- Liu, Y. et al. (2020). 'A coordinated location-inventory problem with supply disruptions: A two-phase queuing theory–optimization model approach', *Computers and Industrial Engineering*, 142(January), p. 106326. doi: 10.1016/j.cie.2020.106326.
- Lu, L. and Qi, X. (2011). 'Dynamic lot sizing for multiple products with a new joint replenishment model', *European Journal of Operational Research*, 212(1), pp. 74–80. doi: 10.1016/j.ejor.2011.01.031.
- Nagaraj, P. and Selladurai, V. (2002). 'Analysis of optimum batch size in multistage, multifacility and multiproduct manufacturing systems', *International Journal of Advanced Manufacturing*



- Technology, 19(2), pp. 117–124. doi: 10.1007/s001700200004.
- Parjane, M. B., Dabade, B. M. and Gulve, M. B. (2017). 'Two Echelon Supply Chain Integrated Inventory Model for Similar Products: A Case Study', *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 98(3), pp. 353–358. doi: 10.1007/s40032-016-0221-5.
- Petridis, K. (2015). 'Optimal design of multi-echelon supply chain networks under normally distributed demand', *Annals of Operations Research*, 227(1), pp. 63–91. doi: 10.1007/s10479-013-1420-6.
- Ramírez, A. C. (2019). 'Indicadores de gestión logística', *Logística comercial internacional*, pp. 316–330. doi: 10.2307/j.ctvdf0jt2.9.
- Sadeghi, J. (2015). 'A multi-item integrated inventory model with different replenishment frequencies of retailers in a two-echelon supply chain management: a tuned-parameters hybrid meta-heuristic', *Opsearch*, 52(4), pp. 631–649. doi: 10.1007/s12597-015-0198-5.
- Thangam, A. and Uthayakumar, R. (2009). 'A two-level distribution inventory system with stochastic lead time at the lower echelon', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41(11–12), pp. 1208–1220. doi: 10.1007/s00170-008-1567-5.
- Varyani, A., Jalilvand-Nejad, A. and Fattahi, P. (2014). 'Determining the optimum production quantity in three-echelon production system with stochastic demand', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(1–4), pp. 119–133. doi: 10.1007/s00170-014-5621-1.
- Zijm, H. and Timmer, J. (2008). 'Coordination mechanisms for inventory control in three-echelon serial and distribution systems', *Annals of Operations Research*, 158(1), pp. 161–182. doi: 10.1007/s10479-007-0239-4.



**APLICACIÓN DE UN MODELO FÍSICO PARA ESTIMAR LA
INFLUENCIA DEL FLUJO SUBSUPERFICIAL EN LA PRESENCIA DE
UN DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL. CASO SANTA ANA JILOTZINGO.
ESTADO DE MÉXICO**

APPLICATION OF A PHYSICAL MODEL TO ESTIMATE THE INFLUENCE OF THE
SUBSURFACE FLOW IN THE PRESENCE OF A SUPERFICIAL SLIDE. CASE OF SANTA ANA
JILOTZINGO. MEXICO STATE

Guillermo Pedro Morales Reyes¹; Luís Zaldivar²; María Vicenta Esteller Alberich³

ORCID: 0000-0001-6022-6747

¹⁻³Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (UAEMex),

²Facultad de Ingeniería (UAEMex),

Av. Instituto Literario, No 100, C.P. 50000, Toluca Estado de México, México.

¹gpmoralesr@uaemex.mx, ²lluuiisszz94@gmail.com, ³mvestellera@uaemex.mx

RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo aplicar un modelo físico (Unidad de Estudio de Permeabilidad) para estimar la influencia de la circulación de un flujo subsuperficial con gradiente de humedecimiento alto y perfil de suelo franco-arenoso (Fase 2), asimismo identificar si la condición de sobresaturación en el lugar influyó o intervino otro factor como es la presencia de un sismo. El presente trabajo se realizó considerando un trabajo antecedente utilizando escenarios de perfil granular, lo cual generó la iniciativa de extender el trabajo a una aplicación en un escenario de medio poroso idéntico al de un sitio conocido por la presencia de eventualidades de deslizamientos superficiales, mismos que son de interés por los efectos indeseables en suelo e infraestructura. La metodología que se aplicó consistió en: revisar el funcionamiento del equipo, seleccionar la escala espacial y reproducir el perfil del terreno, obtener la información de estudios, proyectos del sitio de estudio para fortalecer la decisión del escalamiento del perfil de medio poroso y generar las simulaciones con los gradientes hidráulicos que proporcionan las condiciones de humedecimiento factibles de influir en la formación de un deslizamiento superficial. Los resultados indicaron que los perfiles de humedecimiento fueron prolongados en su aparición en el perfil franco arenoso y para gradiente máximo, se obtuvo la presencia de ligeros deslizamientos, los cuales no representan lo sucedido en la zona de estudio concluyendo que, sí se asocia la influencia



del sismo ocurrido en la presencia del deslizamiento registrado, considerando estos resultados, el aporte de este trabajo.

Palabras clave: Simulación; Sobresaturación; Deslizamiento.

SUMMARY

The work aimed to apply a physical model (Permeability Study Unit) to estimate the influence of the circulation of a subsurface flow with high wetting gradient and loamy-sandy soil profile (Phase 2), also identify if the condition of oversaturation in the place influenced or intervened another factor such as the presence of an earthquake. The present work was carried out considering a previous work using granular profile scenarios, which generated the initiative to extend the work to an application in a porous environment scenario identical to that of a site known for the presence of eventualities of surface landslides, which are of interest for the undesirable effects on soil and infrastructure. The methodology that was applied consisted of: reviewing the operation of the equipment, selecting the spatial scale and reproducing the terrain profile, obtaining the information from studies, projects from the study site to strengthen the decision of scaling the porous medium profile and generating simulations with hydraulic gradients that provide the wetting conditions feasible to influence the formation of a surface slide. The results indicated that the wetting profiles were prolonged in their appearance in the sandy loam profile and for maximum gradient, the presence of slight slippage was obtained, which do not represent what happened in the study area concluding that, the influence of the earthquake occurred in the presence of the recorded slippage is associated, considering these results, the contribution of this work.

Keywords: Simulation; Oversaturation; Slippage.

Fecha de recepción: 13 julio 2021

Fecha de aceptación: 09 septiembre 2021

Fecha de publicación: 1 de mayo de 2022

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la modelación física, siempre se ha tenido la necesidad de



aplicar los modelos físicos tanto de laboratorio como de campo, ya sea para fines didácticos o para llevar a cabo una investigación de tipo experimental, donde se pretende entre muchos otros objetivos, reproducir a escala el fenómeno o proceso bajo estudio, calibrar algunos parámetros experimentales de control, etc. Si bien la tecnología y con esta el surgimiento de los métodos numéricos, los cuales han generado la aparición de modelos numéricos especializados en diferentes áreas del conocimiento, muchas veces su aplicación de encuentra limitada por las implicaciones económicas y de recursos humanos especializados que fructifique en la utilización de referidos modelos.

Los modelos físicos también requieren inversión económica y de recursos humanos especializados y cuanto más precisos se requieran, mayor detalle en su estructura y operatividad es necesario, sin embargo, cuando se tienen las posibilidades de disposición de un modelo y se cuenta con trabajos antecedentes de su operatividad, resulta atractiva la posibilidad de utilizarlo para realizar trabajos de simulación de algún proceso o fenómeno de interés. Específicamente, en el grupo de los modelos físicos de laboratorio se dispone en el Laboratorio de Modelos Hidráulicos del Instituto

Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua de la UAEMex, de uno conocido como Unidad de Estudio de Permeabilidad el cual tiene una aplicación inicial para perfiles granulares y diversos gradientes hidráulicos, por las actividades de adaptación y modificación funcional y considerando la experiencia antecedente con este modelo, se propuso utilizarlo y a pesar de que su aplicación aún es limitada, se tuvo la certeza que puede ser de utilidad en la reproducción de un perfil de suelo franco – arenoso con circulación de un flujo subsuperficial acotado a un canal de circulación, lo cual pueda ofrecer un escenario adecuado para simular perfiles de humedecimiento hasta la sobresaturación, con la finalidad de obtener la presencia de deslizamientos superficiales o no, precisamente esta condición ayudaría a definir la existencia de influencia de los factores actuantes en la simulación.

La aplicación de la Unidad de Estudio de Permeabilidad para simular a escala controlada la aparición de un deslizamiento superficial en un perfil de suelo franco – arenoso se consideró una actividad inédita y por lo tanto, solo se puede referir a trabajos que se han realizado con modelos físicos de campo [2] y [3], en los cuales se ilustra que en la actualidad los modelos físicos son gran



ayuda en la revisión específica del comportamiento local de algún proceso o fenómeno de interés. En este caso particular, el interés de identificar si una condición de humedecimiento hasta la sobresaturación, configurada mediante un gradiente hidráulico, el cual define el perfil de humedecimiento generado en una zona de estudio a escala, está dentro de las acciones que se pueden realizar con éxito mediante la aplicación de un modelo

METODOLOGÍA

Respecto a la metodología que permitió cumplir con el objetivo de este trabajo se enuncia a continuación: **1. Revisión funcional de la UEP.** En este paso se procedió a realizar un trabajo operativo del modelo solamente para conocer si todas las partes estructurales del equipo funcionaban adecuadamente. **2. Traslado y colocación del material para construir el perfil de medio poroso.** Se obtuvo una cantidad suficiente de suelo prevaleciente en el Municipio de Santa Ana Jilotzingo, específicamente de la zona de estudio, se revisó y se separaron

físico como el descrito en líneas anteriores y el cual, se presenta en la Figura 1, ilustrándose la estructura, sistema de alimentación de caudales, el cuerpo de medición de cargas hidráulicas mediante piezómetros, las mallas contenedoras del medio poroso y el sistema de tuberías de control de carga hidráulica inicial y final, así como los caudales de excedencias iniciales.

los tamaños de grano mayores a 2 mm, ya que para la escala de trabajo (1:100) referido tamaño de material no se presenta en el escenario real, posteriormente se colocó en capas de 5 cm y se compactó con un pisón metálico hasta obtener un grado de compactación similar al 95 %, verificado con un penetrómetro de aguja. Las capas superiores se colocaron siguiendo y la altitud subiendo de 0 m en la salida del dren colector ubicado en la parte más baja, hasta 28 m en el terraplén donde se ubican algunas viviendas y una escuela.



Figura 1. Estructura general de la Unidad de Estudio de Permeabilidad.

3. Realización de un trabajo de granulometría para determinar la clasificación textural del suelo. Para esto se dispuso de una tamizadora mecánica y un juego de tamices que van de la malla número 200 hasta la 4. **4. Llenado del tanque fuente y**

preparación de caudales. Se llenó con agua limpia el tanque fuente para el suministro hacia la zona de válvulas reguladoras de caudal y se posicionó la tubería de demasías y control de carga hidráulica al inicio del perfil de suelo, con $H_1 = 5$ cm a la entrada y $H_2 = 0$ cm a la



salida del mismo. **5. Realización de las simulaciones del perfil de humedecimiento.** Se procedió a generar el gradiente hidráulico para las cargas hidráulicas especificadas y una vez obtenido el perfil de humedecimiento completo, es decir en la totalidad del medio poroso, se continuó con las mediciones de las cargas hidráulicas intermedias, utilizando el piezómetro en sus diferentes posiciones, además se realizó una toma de fotografías para

identificar de manera visual si aparecía alguna socavación o deslizamiento en cualquier punto del perfil de medio poroso. La anterior actividad se repitió para los gradientes: $H_1 = 10 \text{ cm}$ y $H_2 = 0 \text{ cm}$; $H_1 = 15 \text{ cm}$ y $H_2 = 0 \text{ cm}$; $H_1 = 20 \text{ cm}$ y $H_2 = 0 \text{ cm}$; $H_1 = 25 \text{ cm}$ $H_2 = 0 \text{ cm}$ y finalmente $H_1 = 28 \text{ cm}$ y $H_2 = 0 \text{ cm}$.

En la figura 2 se muestra el momento en que se realizaban los trabajos de montaje del suelo y preparación del equipo para realizar las simulaciones.



Figura 2. Preparación del perfil de medio poroso y accesorios del equipo.

Es preciso mencionar que en este tipo se

simulaciones, la permeabilidad del suelo



es mucho más baja que la de un perfil granular arenoso, por lo que se presentaron tiempos más prolongados de realización de las simulaciones y se tuvo que recurrir a llenados parciales del tanque fuente, para que no sucediera que en horarios nocturnos, sin la presencia del personal operativo del modelo, se presentará un vaciado total y se

interrumpiera el proceso de humedecimiento con el gradiente hidráulico especificado. La figura 3 muestra una etapa inicial de simulación para el gradiente máximo de 28 cm al inicio y 0 cm a la salida del perfil de medio poroso.

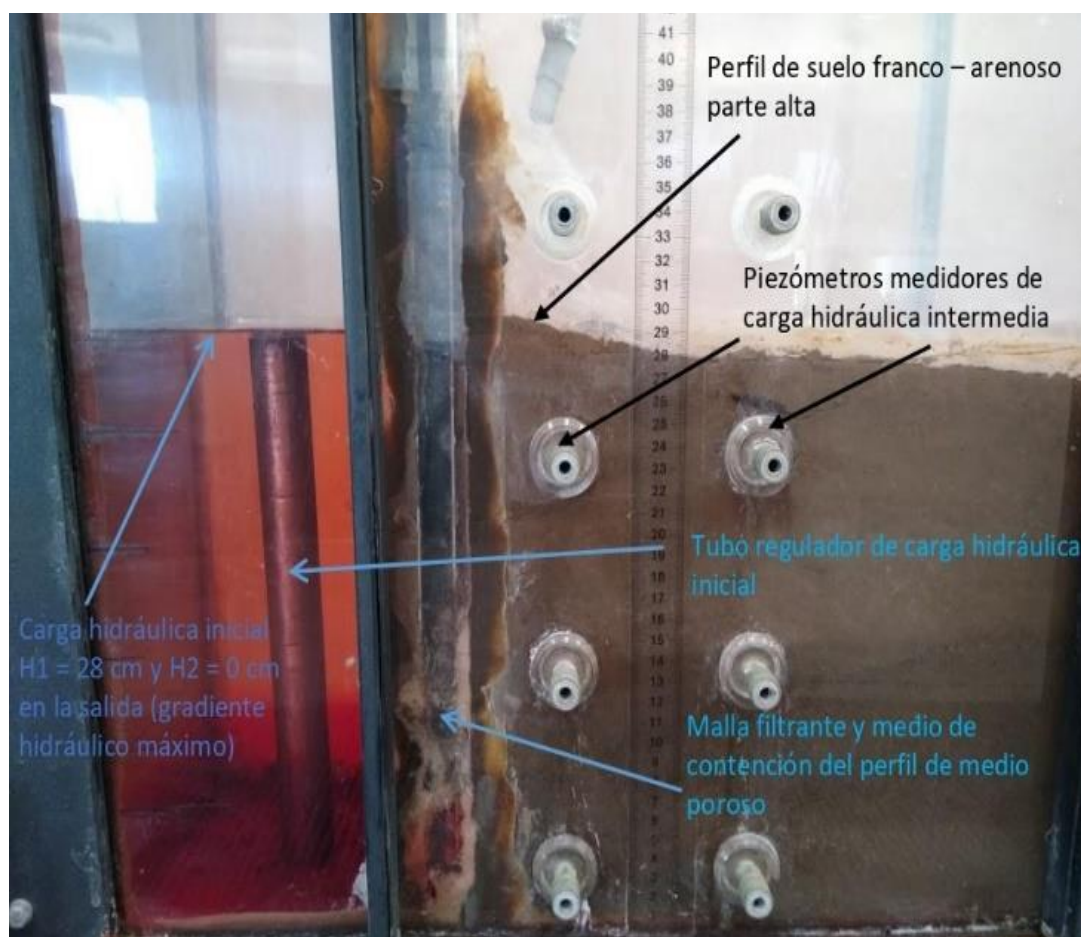


Figura 3. Esquema de simulación para el gradiente máximo, utilizando colorante natural como trazador de flujo.

Es preciso comentar que en las simulaciones de flujo subsuperficial se agregó un colorante natural “anilina B” no

tóxico con la finalidad de incorporar un trazador que permitiera observar las trayectorias de flujo, principalmente para



observar lo sucedido en las proximidades del muro de contención, el dren colector y

la barrera formada por el cuerpo de la carretera.

RESULTADOS

Una vez realizada la verificación funcional de la Unidad de Estudio de Permeabilidad, se tamizó el material a utilizar en el perfil de medio poroso y se colocó el material compactado en capas, hasta obtener el perfil que se muestra en

la figura 4, donde se aprecia los trabajos iniciales con el gradiente $H1 = 10$ cm y $H2 = 0$ cm.

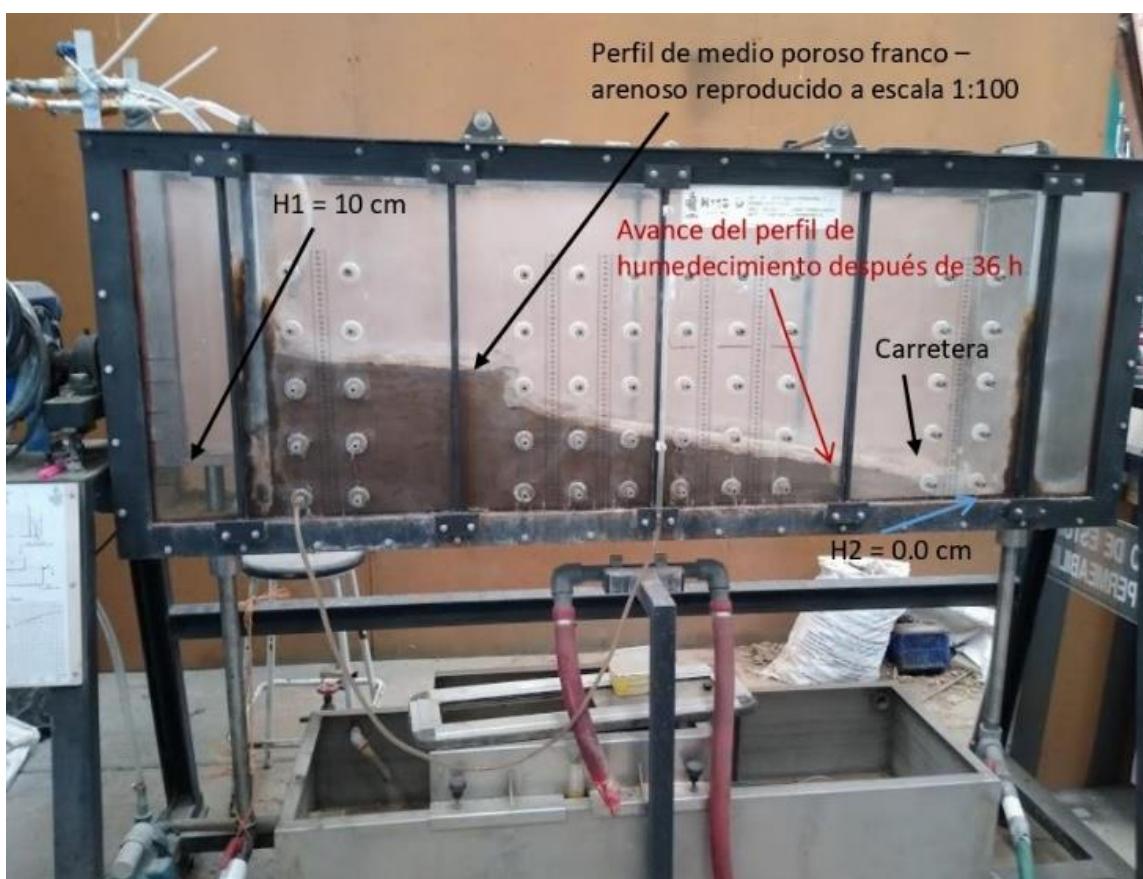


Figura 4. Escenario definitivo de medio poroso franco – arenoso, se ilustra la simulación para el primer gradiente hidráulico $H1 = 10$ cm y $H2 = 0$ cm. El tiempo de saturación en todo el perfil fue de 48 h.

De acuerdo con las observaciones de las simulaciones del flujo subsuperficial para todos los gradientes hidráulicos utilizados,

el tiempo necesario para alcanzar la condición de saturación fue mayor a 48 h, por lo que a partir de este tiempo se



consideró el tiempo a partir del cual se pudiera presentar algún proceso, ya sea de socavación o deslizamiento superficial, para lo cual se observó que para los gradientes $H1 = 5 \text{ cm}$, 10 cm , 15 cm , 20 cm , y $H2 = 0 \text{ cm}$ para todos los valores de $H1$ no se presentó alteración alguna en el medio poroso, según se observa en la figura 5. Por otro lado, para el gradiente de $H1 = 25 \text{ cm}$ y $H2 = 0 \text{ cm}$ sí se identificó pequeñas socavaciones en el muro de contención, dren colector y en la frontera con el cuerpo de la carretera, sin presencia de deslizamientos superficiales, a pesar de que ya el perfil de medio poroso ya presenta una condición de humedecimiento sobresaturada, tal como se muestra en la figura 6.

En lo que corresponde a la simulación realizada con el gradiente $H1 = 28 \text{ cm}$ y $H2 = 0 \text{ cm}$, correspondiendo a las cargas hidráulicas al inicio y al final del perfil de medio poroso, se considera esta condición la más crítica, pues se presenta sobresaturación total del medio poroso y escurrimiento visible y constante en la superficie del terreno, lo que propició finalmente la aparición de socavaciones más grandes en la base del muro de contención, también en la parte alta del

perfil del medio poroso se identificó un deslizamiento superficial, de igual manera en la parte baja del perfil cercano al dren y la frontera con el cuerpo de la carretera, pero sin afectar a esta estructura, lo que confirma que, para presentarse un deslizamiento superficial en el cuerpo de la carretera, necesariamente se requiere de mayor energía y en este caso, si se puede atribuir a la combinación de la sobresaturación del suelo provocada por las lluvias intensas que incrementaron los gradientes hidráulicos de manera local y a la presencia de un sismo que coadyuva a la generación de un deslizamiento. En la figura 7 se muestra el resultado de la simulación con el gradiente más desfavorable ($H1 = 28 \text{ cm}$ y $H2 = 0 \text{ cm}$) mostrando los sitios de socavación y deslizamiento superficial ligero.

Referente al deslizamiento ligero, su aparición se atribuye a la condición de sobresaturación en el medio poroso combinado con el movimiento del flujo para el gradiente hidráulico más desfavorable y se puede considerar como un escenario de baja frecuencia en su aparición, pero con posibilidades reales de que se pueda presentar en el escenario real.



Figura 5. Detalle de la reproducción de la simulación con gradiente: $H1 = 20$ cm y $H2 = 0.0$ cm.

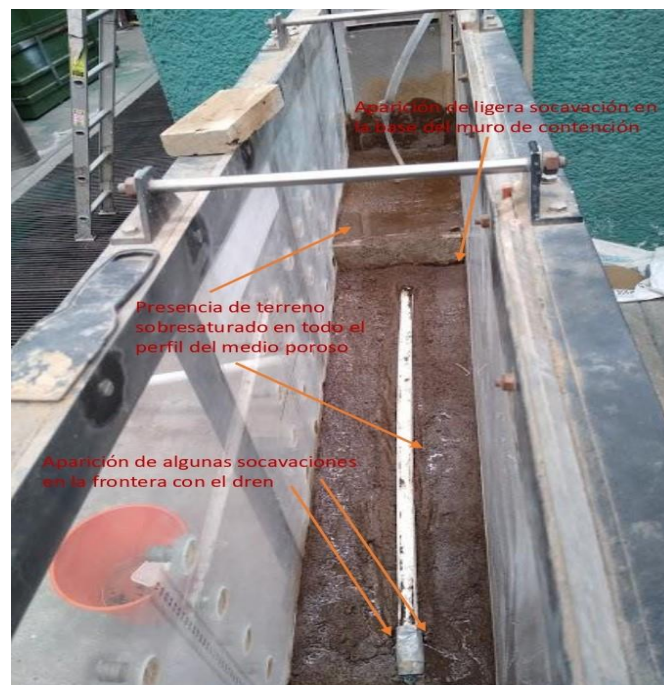




Figura 6. Vista en planta de la reproducción de la simulación con gradiente: $H1 = 25$ cm y $H2 = 0.0$ cm. Se observa que en esta simulación ya aparecen socavaciones en sitios factibles de presencia de deslizamientos superficiales.



Figura 7. a) perfil de medio poroso sobresaturado. b) vista en planta de la aparición de una socavación. c) vista en planta de la presencia de un deslizamiento superficial ligero.

Finalmente de los resultados obtenidos se identifica que, de los escenarios simulados con los gradientes hidráulicos propuestos, solamente los gradientes más pronunciados y en condición de sobresaturación influyen en la aparición de socavaciones en las fronteras de estructuras como el muro de contención,

y junto a la pared de un dren, asimismo, en la presencia de deslizamientos suaves de tipo superficial, por lo que, para generar un deslizamiento como el registrado en septiembre del 2017, si influyó la presencia del sismo ocurrido combinado con las condiciones de saturación y perfil de humedecimiento del



medio poroso. En la tabla 1 se muestra un resumen de los escenarios y el correspondiente resultado general obtenido en cada simulación. Asimismo, en la Figura 8 se presentan los perfiles longitudinales que ilustran la configuración de las líneas equipotenciales coincidentes con los gradientes hidráulicos, los cuales al emerger en la superficie libre del perfil del suelo franco-arenoso, se presentan el

escurrimiento superficial, mismo que se comportó con tendencia creciente conforme se incrementaba el gradiente hidráulico, en este caso la línea equipotencial en color amarillo indica el escenario más desfavorable que se pudiera presentar en un escenario hidrogeológico con las características representadas en la unidad de estudio de permeabilidad.

Tabla 1. Resultados de simulación en cada escenario.

Perfil de medio poroso franco - arenoso	
Gradiente H1/H2	Observaciones
05 cm / 0.0 cm	Humedecimiento sin cambios en el perfil
10 cm / 0.0 cm	Humedecimiento sin cambios en el perfil
15 cm / 0.0 cm	Humedecimiento sin cambios en el perfil
20 cm / 0.0 cm	Sobresaturación sin cambios en el perfil
25 cm / 0.0 cm	Sobresaturación con pequeñas socavaciones
28 cm / 0.0 cm	Sobresaturación con deslizamiento superficial suave y pequeñas socavaciones.

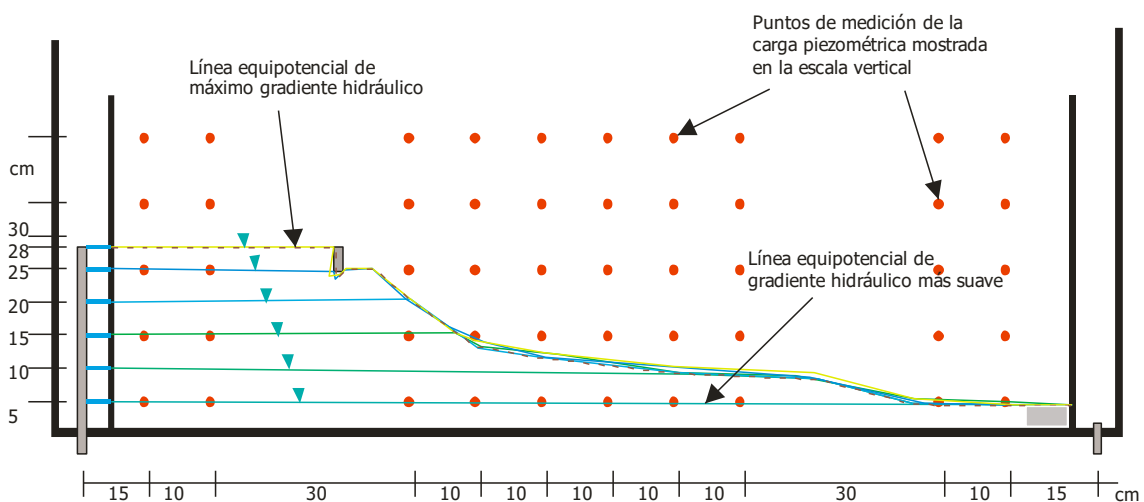


Figura 8. Ilustración de los escenarios finales donde se generaron las condiciones de saturación y medición de las cargas hidráulicas que permitieron configurar las líneas equipotenciales y las



condiciones de escurrimiento sobre la superficie del perfil franco-arenoso, así como la aparición de las pequeñas socavaciones y deslizamientos superficiales suaves para el escenario de gradiente hidráulico máximo.

DISCUSIONES

Considerando los resultados obtenidos producto de las simulaciones del tránsito de un flujo subsuperficial en un medio poroso franco – arenoso, se logra por un lado constatar que la Unidad de Estudio de Permeabilidad permite reproducir adecuadamente los escenarios de flujo acotados espacialmente por los gradientes hidráulicos propuestos y por el otro, se logra identificar la influencia del flujo subsuperficial en la aparición de deslizamientos superficiales muy suaves, situación que en este caso muestra que solamente se pueden generar para el gradiente máximo, es decir, la carga hidráulica en la entrada del medio poroso de 28 cm y de 0.0 cm en la salida del mismo, condición que ilustra también, que no se espera en el escenario real (San Ana Jilotzingo) un evento con estas características de manera frecuente, ya que no es muy común la formación de gradientes hidráulicos como el referido, sin embargo, aunque con muy poca frecuencia si se llegan a presentar y pueden generar desde un deslizamiento superficial suave hasta uno de grandes

proporciones[1] y [4].

Se pone en evidencia con los trabajos de modelación física ilustrados en este trabajo, que la reproducción a escala controlada de procesos como los de sobresaturación del suelo ayudan a conocer la evolución de la aparición de socavaciones y deslizamientos, en sitios donde la presencia de infraestructura como es un muro de contención, dren colector de agua superficial o la estructura de una carretera pueden sufrir daños desde pequeños hasta de gran magnitud, además, permite conocer que factores son influyentes directos en la presencia de referidos procesos.

Por lo anterior se puede decir que el aporte de este trabajo radica principalmente en mostrar la utilidad del modelo físico como un equipo adaptado acertadamente para realizar trabajos futuros con características similares a las presentadas en este trabajo y su aplicación puede generar amplios productos de investigación aplicada.

CONCLUSIONES

Acorde con las características, alcances y limitaciones de los resultados obtenidos,



se formularon las siguientes conclusiones.

Las simulaciones del tránsito de un flujo subsuperficial en un perfil de medio poroso franco–arenoso, similar al del sitio conocido como Santa Ana Jilotzingo, se reprodujeron satisfactoriamente en una escala controlada de 1:100.

La presencia de socavones se produjo solamente para los escenarios donde se utilizó los gradientes $H_1 = 25$ cm de carga hidráulica a la entrada del perfil y $H_2 = 0.0$ cm en la salida (de manera ligera) y $H_1 = 28$ cm en la entrada y $H_2 = 0.0$ cm en la salida (mayormente visible).

Solamente para el gradiente máximo con $H_1 = 28$ cm y $H_2 = 0.0$ cm de carga hidráulica se logró reproducir un deslizamiento suave, por lo que la influencia del flujo subsuperficial en un deslizamiento de mayor proporción, estaría influido por otros factores como la presencia de un sismo y se descartó la posibilidad de que solamente influyó la circulación del flujo subsuperficial.

Se confirmó la hipótesis de que la Unidad de Estudio de Permeabilidad puede tener más aplicaciones similares a la realizada en este trabajo, por lo que se queda expuesta su utilidad en trabajos futuros.

Finalmente se expresa un especial agradecimiento al Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua por el

apoyo con la disposición del equipo, espacio en el Laboratorio de Modelos Hidráulicos y del personal técnico.

REFERENCIAS

- Collins, B y Znidarcic, D. (2004). "Stability analyses of rainfall induced landslides", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 4, núm. 130, pp. 362–372.
- Jibson, R. (2005). "Landslide hazards at La Conchita. California", (Report 2005 - 1067), USA: USGS, p. 12.
- Salvador Eduardo Teófilo, (2015). "Propuesta metodológica para la estimación de la infiltración eficaz con uso del infiltrómetro de cilindros concéntricos rediseñado", (Tesis de Maestría), Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca Estado de México.
- Salvador Eduardo Teófilo, (2019). "Modelo hidrogeomecánico para evaluar el deslizamiento del suelo por efecto del flujo subsuperficial de agua", (Tesis de Doctorado), Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca Estado de México