

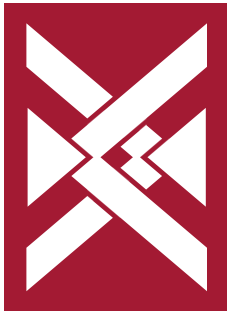


PERSPECTIVAS DE LA CIENCIA Y LA INGENIERÍA

2

AÑO 1 NÚMERO 2

OCTUBRE 2018



PERSPECTIVAS DE LA CIENCIA Y LA INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE QUERÉTARO



FACULTAD
DE INGENIERÍA



DIPFI
POSGRADO
INGENIERÍA

DIRECTORIO

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca
Rectora

Dr. Aurelio Domínguez González
Secretario Académico

M. A. P. José Alejandro Ramírez Reséndiz
Secretario de la Contraloría

M. S. P. Sergio Pacheco Hernández
Secretario Administrativo

M. en I. Alejandro Jáuregui Sánchez
Secretario de Finanzas

Dra. María Teresa García Besné
Secretaria de Extensión Universitaria

M. en S. Luis Alberto Fernández García
Secretario Particular de Rectoría

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad de Ingeniería

Dr. Juan Carlos Jáuregui Correa
Director de la División de Investigación
y Posgrado de la Facultad de Ingeniería

Perspectivas de la Ciencia y la Ingeniería

Año 2. Núm. 002, octubre de 2018, *Perspectivas de la Ciencia y la Ingeniería* es una publicación semestral editada y publicada por la **Universidad Autónoma de Querétaro, División de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería.**

Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n, Col. las Campanas, C.P. 76010, Tel. (442) 192-12-00, ext. 7035.

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo

No. 04-2017-032412430300-203

ISSN: En trámite

Ambos registros están en trámite por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

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

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial del contenido e imágenes de la publicación sin plena autorización de la Universidad.

COMITÉ EDITORIAL

DIRECCIÓN

Dr. Manuel Toledano Ayala

EDITORES RESPONSABLES

Dr. Juan Carlos Jáuregui Correa
M.C. Stephanie Virginia Camacho Gutiérrez

EDITORES ASOCIADOS

M.C. Adán Mercado Luna
Dr. Alejandro Espinosa Calderón
M.C. Alejandro Moreno Gómez
Dr. Andrés Torres Acosta
M.C. Armando Juárez Trujillo
Dr. Arturo González Gutiérrez
M.C. Christopher Alexis Cedillo Jiménez
Dra. Claudia Gutiérrez Antonio
M.C. Cuauhtémoc Hernández Galeno
Dr. Eduardo Elizalde Peña
Dr. Enrique Rico García
Dra. Genoveva Hernández Padrón
Dra. Janet Ledesma García
M.I. Javier García Pérez
M.I. José Alfonso Balbuena Cruz
Dr. José Antonio Quevedo Tiznado
Dr. José de Jesús Pérez Bueno
Dr. José Luis Reyes Araiza
Dr. José Roberto Galaviz González
Dr. Luis Miguel Contreras Medina
Dr. Marco Antonio Aceves Fernández
Dr. Miguel A. Pérez Lara y Hernández
M.C. Tadeo Rodríguez

DISEÑO EDITORIAL

Rodrigo Alonso Hernández Gallegos
Isaac Cabrera Ruiz
Jorge Javier Cruz Florin
COORDINACIÓN DE DISEÑO E IMAGEN
FACULTAD DE INGENIERÍA

CUIDADO DE LA EDICIÓN

Daniela Zeple
Gisela Cordero
FONDO EDITORIAL UNIVERSITARIO

VÍAS TERRESTRES Y MOVILIDAD

10. EFECTIVIDAD DE LAS CAMPAÑAS DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES EN MÉXICO

Effectiveness of accident prevention campaigns on roads in México

ARIANA BERENICE VARGAS LÓPEZ, OVIDIO GONZÁLEZ GÓMEZ

VÍAS TERRESTRES Y MOVILIDAD

18. CONCRETO PERMEABLE REFORZADO CON UN ADITIVO A BASE DE RECICLADOS DE POLIESTIRENO

Pervious concrete reinforced with an additive based on recycled polystyrene

NOÉ MESTAS, JUAN BOSCO HERNÁNDEZ

VÍAS TERRESTRES Y MOVILIDAD

30. DESARROLLO DE UNA INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN DE APLICACIONES PARA EL COMPORTAMIENTO REAL VEHICULAR EN INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA, EN EL SIMULADOR AIMSUN

Development of an application programming interface for real vehicular behavior at signalized intersections in AIMSUN simulator

PEDRO APOLINAR MOLINA GONZÁLEZ, SAÚL ANTONIO OBREGÓN BIOSCA

GEOTECNIA

42. EVOLUCIÓN DE LA COMPRESIBILIDAD EN EL TIEMPO DE UN SUELO ARCILLOSO CONTAMINADO CON DIÉSEL

Evolution of the compressibility over time of a clay soil contaminated with diesel

LAURA YESSSENIA CABELLO SUÁREZ, MARÍA DE LA LUZ PÉREZ REA, CHRISTIAN EDUARDO HERNÁNDEZ MENDOZA, EDUARDO ROJAS, ROBERTO GALAVIZ GONZÁLEZ

BIOSISTEMAS

54. APLICACIÓN DE CONSORCIOS MICROBIANOS EN LA AGRICULTURA

Application of microbial consortia in agriculture

BETSIE MARTÍNEZ CANO, GENARO MARTÍN SOTO ZARAZÚA

EFFECTIVIDAD DE LAS CAMPAÑAS DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES EN MÉXICO

Effectiveness of accident prevention campaigns
on roads in México

Ariana Berenice Vargas López¹, Ovidio González Gómez¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia
arianab.va@hotmail.com

RESUMEN

La accidentalidad y movilidad han ido aumentando en los últimos años (INEGI, 2016). Por esta situación, en las tres décadas pasadas, ha sido habitual el diseño e implementación de campañas publicitarias que pretenden influir en el comportamiento de los conductores con la finalidad de reducir los niveles de accidentalidad. Sin embargo, no se conoce de forma precisa el efecto que ha causado la puesta en marcha de campañas de prevención de accidentes en los índices de accidentalidad. Ya es una prioridad en el país la evaluación de ellas por medio del uso de parámetros de seguridad que consideren el riesgo de los peatones y otros usuarios de las carreteras. A pesar de la importancia de ello, México carece de una metodología práctica adecuada para establecer un índice de seguridad vial y para evaluar la eficacia de las campañas de prevención vial.

Palabras clave

Accidentes, campañas, prevención

ABSTRACT

Accidents and mobility have been increasing in recent years (INEGI, 2016). Nevertheless, the effect that the implementation of campaigns of prevention of accidents has caused in the accidentalness is unknown. It is already a priority in the country to evaluate them with the use of security rates road, which consider the risk that pedestrians and other road users have. However, México does not have an appropriate assessment tool to establish a safety index for evaluating effectiveness of road prevention campaigns on roads.

Keywords

Accidents, campaigns, prevention

INTRODUCCIÓN

En las carreteras mexicanas, la seguridad es un aspecto importante para evaluar. Hoy en día, mantener una acción permanente para darle al

problema ciertos márgenes de control, de cierta manera es una responsabilidad gubernamental (Cuevas *et al.*, 2011). Al respecto, se deduce que también se relaciona con un problema complejo de los países de Latinoamérica: el de la cultura y educación, debido a que el factor humano, por errores o por desobediencia a las normas, suele involucrarse en más del 90% de los accidentes, muertes y lesiones (Mendoza *et al.*, 2015). Los descuidos de conducción del usuario en carretera se configuran como un elemento importante en los accidentes de tránsito, sostienen gran relevancia y, por ello, las estrategias de seguridad vial se han enfocado en los esfuerzos para reducir las anomalías a través de campañas de prevención de accidentes (Detr, 2000).

La influencia de las campañas en la prevención de accidentes ha sido reconocida por varios autores, incluyendo a Delhomme *et al.* (1999), quienes consideran que el cumplimiento de la ley es importante en la consolidación de los efectos de las campañas de prevención de accidentes a gran escala y han sugerido que estas mismas sean utilizadas como un medio para influir en el comportamiento de los usuarios, de tal manera, los conductores tengan mayor seguridad en las carreteras.

De acuerdo con la experiencia que comparten los investigadores de CAST (2007), Delhomme *et al.* (2009), Elder *et al.* (2004) y Phillips *et al.* (2011), se ha observado que, al aumentar la protección de los usuarios en las carreteras a través de las campañas, se genera un impacto significativo en la reducción de accidentes.

Entonces el reto es encontrar la relación entre campañas y accidentalidad que se puede lograr mediante un análisis estadístico de los índices previamente discutidos y analizados con algunas variables que miden la seguridad y operación de la carretera. A la fecha no existen muchos estudios que busquen encontrar esa relación.

Objetivo

La presente investigación tiene como objetivo determinar si las campañas tienen efectividad en



el comportamiento de los conductores y así en la reducción de accidentes.

MÉTODOS

Análisis de accidentalidad

Este estudio utilizó información proporcionada por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), basada en la información de la Policía Federal (PF), y por la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) de la Secretaría de Comunicación y Transportes (SCT), dicha información es el resultado de los accidentes ocurridos del 2011 a 2015. A partir de estos se hizo un análisis para obtener los porcentajes de accidentalidad de cada uno de los estados del territorio mexicano, conocer en qué año se presenta una mayor accidentalidad y determinar la relación campañas-accidentes. A continuación, se describen los análisis para obtener los porcentajes de accidentalidad en cada uno de los estados. Se elaboraron las siguientes tres bases de datos:

- Tránsito Promedio Diario Mensual (porcentajes).
- Valores absolutos mensuales.
- Valores absolutos diarios por mes.

Posteriormente, el índice de accidentalidad se calcula tal como lo muestran las Ecuaciones 1-3.

$$\text{Valores absolutos mensuales} = \frac{\text{Volumen total anual} * X \text{ obtenida por mes}}{100} \quad (1)$$

$$\text{Valores absolutos diarios por mes} = \frac{\text{Valores absolutos mensuales}}{\text{Número de días del mes}} \quad (2)$$

$$\text{Porcentajes del índice de accidentalidad} = \frac{\text{No. de accidentes por mes} * 100}{TROM (6)} \quad (3)$$

De forma consecuente se exponen los datos obtenidos del 2014, con el análisis de accidentalidad, para revisar los porcentajes de cada uno de los estados de México (véase tabla 1).

Análisis de campañas

Los registros de las campañas fueron obtenidos mediante el Consejo Nacional de Prevención de Accidentes (CONAPRA), y contienen todas las cédulas sobre la planeación y aplicación de las campañas en el territorio mexicano, a su vez comprenden tres periodos vacacionales: semana santa, verano e invierno. Por el gran volumen de registros y para facilitar la vinculación de datos se presenta una distribución, a través de variables numéricas, donde se categorizan las campañas en punitivas y disuasorias para una mayor confiabilidad de los datos (véase tabla 2).

Tabla 2. Categorización de campañas

| Tipos de campañas | Variables |
|-------------------|-----------|
| No existe | 0 |
| Punitivas | 1 |
| Disuasorias | 2 |
| Ambas | 3 |

Tabla 1. Porcentajes de accidentalidad del 2014

| Porcentajes de accidentalidad del 2014 | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estado/Mes | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Agos | Sep | Oct | Nov | Dic |
| Aguascalientes | 0.37 | 0.33 | 0.25 | 0.13 | 0.24 | 0.24 | 0.40 | 0.50 | 0.24 | 0.25 | 0.17 | 0.24 |
| Baja California | 0.77 | 0.77 | 0.92 | 0.54 | 0.72 | 0.43 | 0.39 | 0.74 | 0.57 | 0.84 | 0.56 | 0.81 |
| Baja California Sur | 1.26 | 0.80 | 1.19 | 0.68 | 0.89 | 0.60 | 1.05 | 1.24 | 0.96 | 0.83 | 0.77 | 0.66 |
| Campeche | 0.57 | 0.40 | 0.48 | 0.31 | 0.40 | 0.30 | 0.41 | 0.35 | 0.19 | 0.25 | 0.37 | 0.24 |
| Coahuila | 0.54 | 0.48 | 0.56 | 0.67 | 0.53 | 0.66 | 0.57 | 0.58 | 0.40 | 0.58 | 0.55 | 0.70 |
| Colima | 0.40 | 0.23 | 0.42 | 0.24 | 0.30 | 0.26 | 0.35 | 0.23 | 0.30 | 0.29 | 0.26 | 0.19 |
| Chiapas | 1.42 | 1.30 | 1.82 | 1.32 | 1.62 | 1.32 | 1.04 | 1.33 | 1.66 | 1.39 | 1.47 | 1.33 |
| Chihuahua | 0.81 | 0.80 | 0.97 | 0.64 | 0.57 | 0.73 | 0.65 | 0.74 | 0.75 | 0.59 | 0.67 | 0.72 |
| CDMX | 0.21 | 0.29 | 0.30 | 0.36 | 0.40 | 0.36 | 0.38 | 0.37 | 0.30 | 0.31 | 0.36 | 0.31 |
| Durango | 1.20 | 0.90 | 1.40 | 1.17 | 1.26 | 1.44 | 0.85 | 0.62 | 0.83 | 1.06 | 1.00 | 0.74 |
| Guanajuato | 1.98 | 1.59 | 2.28 | 1.56 | 2.14 | 1.75 | 1.81 | 2.11 | 2.48 | 2.00 | 2.01 | 1.92 |
| Guerrero | 0.67 | 0.65 | 1.03 | 0.70 | 1.19 | 0.70 | 0.84 | 1.05 | 0.91 | 0.67 | 0.58 | 0.62 |
| Hidalgo | 0.29 | 0.35 | 0.34 | 0.24 | 0.30 | 0.33 | 0.29 | 0.49 | 0.23 | 0.31 | 0.39 | 0.33 |
| Jalisco | 1.60 | 1.33 | 1.59 | 1.39 | 1.22 | 1.17 | 1.17 | 1.26 | 1.32 | 1.52 | 1.03 | 1.22 |
| Estado de México | 0.28 | 0.28 | 0.50 | 0.44 | 0.27 | 0.34 | 0.29 | 0.38 | 0.47 | 0.31 | 0.36 | 0.39 |
| Michoacán | 0.97 | 1.01 | 1.19 | 0.74 | 1.08 | 1.05 | 1.11 | 1.01 | 0.92 | 1.05 | 0.97 | 0.98 |
| Nayarit | 0.63 | 0.79 | 0.91 | 0.52 | 0.92 | 0.87 | 0.39 | 0.69 | 0.43 | 0.62 | 0.84 | 0.74 |
| Nuevo León | 1.15 | 1.35 | 1.51 | 1.49 | 1.73 | 1.41 | 1.37 | 1.50 | 1.57 | 1.42 | 1.15 | 1.45 |
| Oaxaca | 1.22 | 1.34 | 1.72 | 1.36 | 1.24 | 1.28 | 1.32 | 1.18 | 1.43 | 1.57 | 1.24 | 0.86 |
| Puebla | 0.32 | 0.21 | 0.41 | 0.31 | 0.32 | 0.36 | 0.37 | 0.40 | 0.38 | 0.37 | 0.41 | 0.31 |
| Querétaro | 0.24 | 0.23 | 0.21 | 0.16 | 0.23 | 0.29 | 0.15 | 0.29 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.25 |
| Quintana Roo | 1.26 | 1.13 | 1.14 | 0.81 | 1.07 | 1.25 | 0.91 | 0.88 | 0.93 | 1.49 | 1.63 | 1.32 |
| San Luis Potosí | 0.80 | 0.78 | 0.86 | 1.01 | 1.05 | 1.01 | 0.84 | 1.01 | 1.15 | 0.95 | 0.92 | 0.87 |
| Sinaloa | 1.14 | 1.22 | 1.17 | 0.99 | 0.88 | 0.90 | 0.70 | 0.58 | 1.05 | 0.52 | 0.86 | 0.88 |
| Sonora | 1.05 | 0.95 | 0.99 | 0.78 | 0.98 | 0.72 | 0.66 | 0.67 | 0.88 | 0.91 | 0.58 | 0.62 |
| Tabasco | 0.42 | 0.50 | 0.49 | 0.63 | 0.65 | 0.61 | 0.54 | 0.51 | 0.64 | 0.53 | 0.48 | 0.53 |
| Tamaulipas | 1.22 | 0.77 | 1.03 | 1.08 | 1.14 | 1.00 | 1.01 | 1.07 | 0.75 | 1.15 | 1.64 | 1.49 |
| Tlaxcala | 0.40 | 0.49 | 0.48 | 0.28 | 0.41 | 0.45 | 0.32 | 0.48 | 0.53 | 0.33 | 0.39 | 0.38 |
| Veracruz | 1.45 | 1.40 | 1.49 | 1.48 | 1.64 | 1.35 | 1.14 | 1.24 | 1.37 | 1.22 | 1.38 | 1.38 |
| Yucatán | 1.02 | 1.31 | 1.05 | 0.53 | 1.36 | 0.98 | 0.94 | 0.92 | 0.93 | 1.25 | 0.98 | 0.95 |
| Zacatecas | 0.40 | 0.65 | 0.54 | 0.49 | 0.56 | 0.55 | 0.51 | 0.40 | 0.44 | 0.40 | 0.34 | 0.57 |



En consecuencia, se recolectaron los datos de las campañas de prevención de accidentes de dos años, 2014 y 2015, y se les asignó a los estados y meses la categorización como se observa en la Tabla 3.

RESULTADOS

Este trabajo se enfocó especialmente en los resultados obtenidos a través de los valores absolutos que permiten establecer con exactitud los porcentajes del índice de accidentalidad para todos los estados que conforman el territorio mexicano en cada año estudiado.

Se graficó los totales anuales de los índices de accidentalidad (véase Figura 1) en valores absolutos, aunque los primeros tres años no se contó con información disponible de campañas. En el 2012 se demuestra que realmente no hubo campañas debido a la veda electoral nacional, sin embargo, en los dos años posteriores, 2014

y 2015, sí se contó con la aplicación de campañas donde se considera una disminución de accidentalidad notoria. Como primer acercamiento se puede derivar que las campañas tienen una mayor efectividad en la reducción de accidentes, a comparación con el año de estudio donde no se hicieron campañas.

El análisis estadístico de los datos encontrados en este estudio ha demostrado que existe una correlación lineal significativa entre la distribución anual de campañas y los accidentes (coeficiente de correlación lineal de Pearson = 0.8724).

En sentido estricto, cabe destacar que la correlación entre las dos variables sólo significa que ambas comparten información y variabilidad, una vez calculado el valor del coeficiente de correlación interesa determinar si tal valor obtenido muestra que X e Y están relacionadas en realidad. Ahora bien, el coeficiente de correlación es significativo si se puede afirmar, con cierta probabilidad, que es diferente de cero.

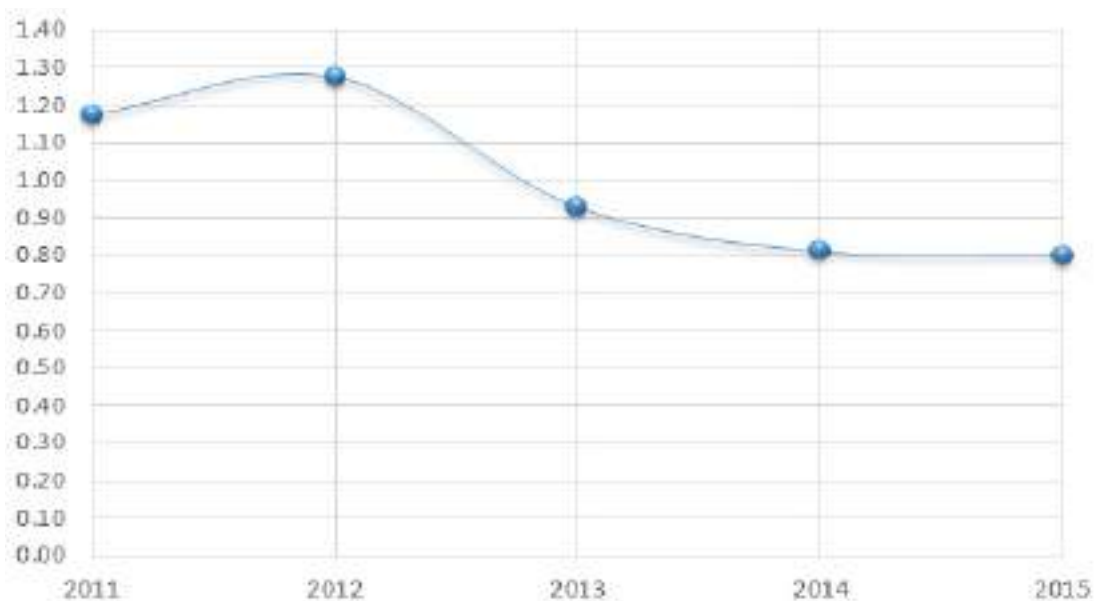


Figura 1. Índice de accidentalidad a partir de cinco años (2011-2015)

Tabla 3. Asignación del tipo de campaña en el 2014

| Porcentajes de accidentalidad del 2014 | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| Estado/Mes | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Agos | Sep | Oct | Nov | Dic |
| Aguascalientes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Baja California | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Baja California Sur | 1 | 0 | 1 | 3 | 0 | 3 | 2 | 3 | 3 | 0 | 2 | 3 |
| Campeche | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coahuila | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Colima | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Chiapas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Chihuahua | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| CDMX | 3 | 0 | 3 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0 | 2 | 3 |
| Durango | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Guanajuato | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| Guerrero | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Hidalgo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jalisco | 3 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 3 | 1 | 1 | 0 | 3 | 3 |
| Estado de México | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| Michoacán | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 |
| Nayarit | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nuevo León | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oaxaca | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| Puebla | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Querétaro | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quintana Roo | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| San Luis Potosí | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sinaloa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sonora | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0 | 1 | 3 |
| Tabasco | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tamaulipas | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Tlaxcala | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Veracruz | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 |
| Yucatán | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| Zacatecas | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

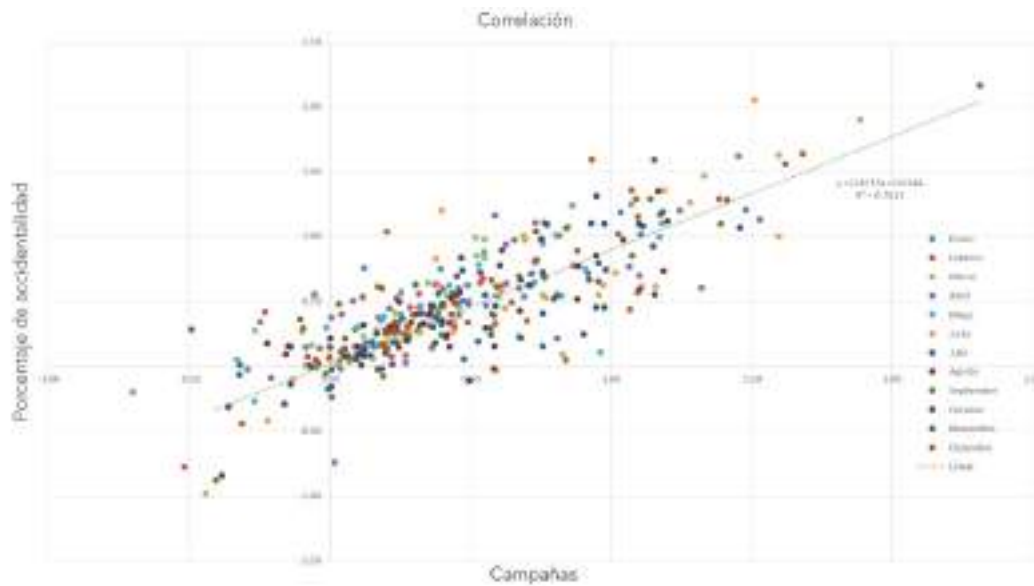


Figura 2. La correlación de Pearson, campañas y porcentajes de accidentalidad

Luego de una revisión más detallada de los datos de 2014 a 2015 versus 2012 se distingue que la efectividad destaca únicamente donde sí hubo campañas (Figura 2).

CONCLUSIONES

El modelo de regresión lineal es el tipo más común que se utiliza en la estadística de los accidentes. Dependiendo de las características de los datos, el coeficiente de correlación de Pearson se ha configurado, un método adecuado para encontrar la variabilidad de dichos datos. Este modelo ayudó a establecer la relación entre campañas de prevención vial y los accidentes con una alta validez de los resultados.

Esta investigación proporciona la oportunidad para examinar los efectos que tienen las campañas de prevención vial en las carreteras, sobre el comportamiento de los conductores, y se demuestra que las acciones gubernamentales en la aplicación de campañas de prevención de accidentes son eficaces, considerando la puesta en marcha de las campañas en los periodos vacacionales. En general, el análisis estadístico ha confirmado el objetivo general de este documento.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo durante toda esta investigación.

REFERENCIAS

- CAST, Belgian Road Safety Institute. (2007). Typology of evaluation methods: current practices and campaign evaluation. *Campaigns and Awareness raising Strategies in Traffic Safety*.
- CAL, R. y Cárdenas, J. (1994). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones*. 7a ed. México, D.F.: Ediciones Alfaomega, S.A de C.V.
- CONSEJO Nacional para la Prevención de Accidentes. (2016). Mapa Legislación sobre factores de riesgo de la Seguridad Vial. *Legislación y Seguridad Vial*. Recuperado de: http://www.conapra.salud.gob.mx/Interior/Seguridad_vial_legislacion.html (Visitada en septiembre del 2017).
- CUEVAS, A., Gómez, N., Villegas, N., Mayoral, E. y Mendoza, A. (2011). *Anuario estadístico de accidentes en carreteras federales (2011)*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado

- de: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt56.pdf>
- CUEVAS, A., Villegas, N., Mayoral, E. y Mendoza, A. (2012). *Anuario estadístico de accidentes en carreteras federales (2012)*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado de: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt57.pdf>
- CUEVAS, A., Pérez J., Mayoral, E. y Mendoza, A. (2013). *Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2013)*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado de: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt61.pdf>
- CUEVAS, A., Pérez, J., Mayoral, E. y Mendoza, A. (2014). *Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2014)*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado de: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt63.pdf>
- DELHOMME, P., De Dobbeleer, V., Forward, S. y Simoes, A. (2009). *Manual for Designing, Implementing, and Evaluating Road Safety Communication Campaigns*. Brussels, Belgium: Belgian Road Safety Institute (IBSR-BIVV).
- ELDER, R., Shults, D., Sleet, J., Nichols, R. y Thompson, R. (2004). Effectiveness of mass media campaigns for reducing drinking and driving and alcohol-involved crashes: A systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*. Vol. 27(1), pp. 57-65.
- INSTITUTO Nacional de Estadística y Geografía. (2016). *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas*. Recuperado de: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/economicas/accidentes/default_t.aspx (Visitada en septiembre del 2017).
- INSTITUTO Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales. (2016). *Acceso a la Información Pública*. Recuperado de: <http://inicio.ifai.org.mx/SitePages/Transparencia/GobiernoAbierto.aspx> (Visitada en septiembre del 2017).
- MENDOZA, A., Mendoza, M. y Abarca, E. (2015). *Campañas de seguridad vial para el mejoramiento del comportamiento del factor humano*. Recuperado de: <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt449.pdf> (Visitada en septiembre del 2017).
- PHILLIPS, R. O., Ulleberg, P. y Vaa, T. (2011). Meta-analysis of the effect of road safety campaigns on accidents. *Accident Analysis & Prevention*. Vol. 43(3), pp. 1204-1219.

CONCRETO PERMEABLE REFORZADO CON UN ADITIVO A BASE DE RECICLADOS DE POLIESTIRENO

Pervious concrete reinforced
with an additive based on recycled polystyrene

Noé Mestas¹, Juan Bosco Hernández¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia
noe.mestas@gmail.com

RESUMEN

En las vías terrestres, uno de los principales problemas es la infiltración del agua a las capas inferiores del pavimento, lo cual es un grave conflicto desde el punto de vista geotécnico al provocar asentamientos diferenciales, y a su vez deformaciones permanentes. Ante tal situación, el principal objetivo de esta investigación es presentar una alternativa con el uso de polímeros y, de esta manera, ayudar al medioambiente reduciendo gases de efecto invernadero. El uso de poliestireno reciclado, incorporado en mezclas de concreto, es una de las alternativas que beneficia tanto al medioambiente como a la sociedad, debido a que el concreto permeable permite la infiltración del agua al subsuelo o a las capas inferiores del pavimento sin que éste sufra daño alguno. Para la realización de esta investigación se desarrollaron especímenes de concreto permeable a diferentes edades de curado, lo cual contribuyó a monitorear el comportamiento del mismo a través del tiempo, al medir su resistencia a compresión y el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable, y al obtener una resistencia a compresión promedio de 89.07 kg/cm² a 28 días de curado con el uso de aditivo polimérico. Con base en las medidas tomadas en el laboratorio, se obtuvo un coeficiente de correlación del 95.28%, y se determinó que el coeficiente de permeabilidad se ve afectado por el uso del aditivo polimérico.

Palabras clave

Concreto permeable, polímeros, poliestireno, especímenes

ABSTRACT

One of the main problems in terrestrial routes is the infiltration of water into the lower layers of pavement, which is a serious conflict, from the geotechnical point of view, that causes differential settlements and thus, permanent deformations. The main objective of this research is to present an alternative solution for the use of

polymers and in this way help the environment by reducing greenhouse gases. The use of recycled polystyrene incorporated in concrete mixtures is one of the alternatives which benefits both the environment and society because pervious concrete allows the infiltration of water to the subsoil or to the lower layers of pavement without this suffering any damage. For this research there were made pervious concrete specimens at different ages of curing, which helps to monitor its behavior over time by measuring its compressive strength and coefficient of permeability. An average compressive strength of 89.07 kg/cm² at 28 days of curing with the use of polymeric additive was obtained and it was determined that the permeability coefficient is affected by the use of the polymeric additive based on the measurements taken in the laboratory, a correlation coefficient of 95.28% was obtained.

Keywords

Permeable concrete, polymers, polystyrene, specimens

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es una de las principales amenazas para los seres vivos que habitan el planeta, al provocar inestabilidad en el medioambiente. De manera significativa el cambio climático se manifiesta en la temperatura, la precipitación (Tarroja, Aghakouchak y Samuelson, 2016), la magnitud del cauce de los ríos y en el aumento de la evaporación (Boehlert et al., 2016). Entre los principales responsables del calentamiento global están los gases de efecto invernadero (Gutiérrez et al., 2016) donde destacan el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), ya que conforman aproximadamente el 20% de las emisiones globales (Tu y Li, 2016).

Al respecto, el 5% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono proviene de la producción de cemento, la cual está directamente vinculada con la combustión de fósiles y la calcinación de la piedra caliza en la mezcla cruda



(Hendriks *et al.*, 2013). En el proceso de producción de cemento Portland (Clinker) se estima que la proporción de gases, respecto al producto, es de 1:1 (Cabrera *et al.*, 2016) y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera alcanzan un valor de 1.0 T por tonelada de Clinker. Por lo tanto, la industria del cemento se posiciona dentro de las principales fuentes generadoras de CO₂ (Cabrera *et al.*, 2016).

Conforme a esto, existe una preocupación por disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se ha buscado el reciclado de diversos materiales y se han desarrollado concretos a base de residuos de otras industrias, por ejemplo, de las escorias de la fabricación de hierro fundido (Cabrera *et al.*, 2016). No obstante, un componente que ha sido fuertemente utilizado en la mezcla de materiales es el polimérico (Ohama, 1998). En el caso de los polímeros se ha comprobado que su incorporación en la mezcla de concreto convencional mejora el comportamiento mecánico, tales como la resistencia a la compresión y resistencia a flexión, una excelente adhesión, resistencia al agua, resistencia a la abrasión y resistencia química (Kishore, 2012).

En los últimos 25 años, la incorporación de los polímeros a la construcción ha ocasionado un significativo auge. Los polímeros añadidos al

concreto tienen poco de ser estudiados, se hicieron famosos en la década de los 70's, por lo general para la reparación de pisos y puentes y también para elementos prefabricados (Fowler, 1999). El poliestireno expandido (EPS) tiene diversas aplicaciones en la construcción, se ha utilizado en materiales de base, subbase para pavimentos, y como balasto en las vías férreas, etc. Sin embargo, el EPS se puede incorporar a la mezcla de concreto para producir un concreto ligero con diferentes densidades, el cual no es utilizado como concreto estructural debido a su baja resistencia (Chen, 2007).

Es así que el uso de concreto permeable, en estructuras de pavimentos de vías terrestres, proporciona los siguientes beneficios: disminuye el riesgo de circulación en presencia de lluvia, y los gradientes térmicos y de humedad. El material presta dos funciones adicionales: drenaje y autoventilación, al aumentar la estructura de los macroporos, consecuencias de la infiltración del agua en la superficie del pavimentos (Vélez, 2010). En este artículo se presenta una revisión crítica de la literatura sobre los materiales poliméricos que han sido incorporados a los concretos hidráulicos, con la finalidad de identificar las limitaciones de estos materiales y de potenciar desarrollos.

Tabla 1. Total de emisión de gases de efecto invernadero, al producir materiales de construcción de pavimentos (Chehovits y Galehouse, 2010)

| Emisión de gases de efecto invernadero (kg/t) por cada tipo de producto | | | | | |
|---|-----------|------------|------------|------------|-------|
| Producto | Agregados | Producción | Transporte | Colocación | Total |
| Material granular no tratado | 9.6 | - | 4.5 | 0.4 | 14.5 |
| Concreto con refuerzo continuo | 5.1 | 1 | 5.4 | 0.2 | 11.7 |
| Losas de concreto sin refuerzo | 9.6 | 1 | 5.6 | 0.2 | 16.4 |

METODOLOGÍA

Poliestireno expandido reciclado en mezclas de concreto

El poliestireno expandido es utilizado actualmente como material de embalaje o aislante en diversas partes del mundo, lo cual ocasiona que se consuma una gran cantidad de este elemento y posteriormente se disponga de múltiples residuos. Los desechos de poliestireno causan muchos problemas medioambientales, principalmente, contaminación del agua y la tierra debido a que son parte de un material difícil de descomponerse en la naturaleza (Kan y Demirboga, 2009). De la misma forma, otro de los problemas serios es el consumo de componentes vírgenes para la construcción; la explotación de bancos de materiales representa un grave problema medio ambiental, ya que se deterioran las zonas rurales y se altera la topografía del sitio de explotación causando erosión (Kan y Demirboga, 2009), por ello se busca una alternativa para el reciclado de este tipo de elementos. La industria de la construcción llega a posicionarse como una vía potencial para el reciclado del poliestireno (Perry et al., 1991).

Los residuos de poliestireno expandido pueden reciclarse de muchas maneras una vez que termine su vida útil. El método de reciclado genera ciertas consideraciones económicas y medioambientales, contribuye a la reducción de residuos y al desarrollo de productos sostenibles (Kan y Demirboga, 2009). El poliestireno, por ejemplo, se puede incorporar fácilmente a la mezcla del concreto para producir concreto ligero con baja resistencia, puesto que la calidad del concreto depende de la calidad de los agregados (Kan y Demirboga, 2009). La incorporación del poliestireno a la mezcla es importante en el proceso de fabricación, ya que se observó que al contacto con los agregados, el cemento Portland y el agua, se genera una pequeña capa porosa (Laukaitis et al., 2005).

El concreto con poliestireno tiene propiedades de aislamiento térmico y acústico, se usa generalmente en elementos no estructurales como son paneles de pared y bloques ligeros, también se ha considerado utilizarlo como material de subbase en pavimentos (Perry et al., 1991). El concreto ligero es otra de las tendencias actuales debido a que presenta muchos beneficios, al compararlo con el concreto convencional, den-



Figura 1. Metodología para obtención de resultados (Fuente propia)



tro de los cuales están que tiene baja conductividad, reduce la inercia, mejora el aislamiento térmico y, a su vez, ayuda a un manejo sustentable del poliestireno (Chikhi *et al.*, 2016). Cabe destacar que se debe tener cuidado con el aumento del volumen de poliestireno expandido usado, puesto que afecta directamente la resistencia a compresión y provoca microfisuras en la zona de transición de partícula de agregados y el cemento (Sayadi *et al.*, 2016).

Caracterización de agregados

Por la necesidad de vacíos en el concreto permeable, éste carecerá de arena (agregado fino). La granulometría se realiza con base en la norma ASTM C 136, por lo que, el agregado grueso que se utiliza en un concreto hidráulico debe ser grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada con aire, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de ellos.

El peso volumétrico es uno de los principales datos para diseñar la mezcla, por lo cual, se realiza como se describe en la norma ASTM C 29/C 29M-97 Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate que permite determinar la densidad aparente (peso unitario) de los agregados en condición compactada o suelta. La prueba se lleva a cabo en materiales que tienen 5 pulgadas (125 mm) de tamaño máximo nominal, así que el material trabajado no tendrá problema al aplicar este método puesto que el tamaño máximo nominal es de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ".

Preparación del aditivo

Los aditivos son materiales distintos a los agregados de la mezcla de concreto, los cuales ayudan a que esta tenga un mejor comportamiento, mediante una interacción fisicoquímica que modifica las propiedades del concreto, y se añaden durante la mezcla del concreto hidráulico. Existen siete tipos de aditivos: Tipo A-reductor de agua, Tipo B-retardador, Tipo C-acelerador, Tipo D-reductor de agua y retardante, Tipo E-reductor de agua y acelerador, Tipo F-reductor de agua, de alto rango, y Tipo G reductor de agua, de alto rango, y retardador (ASTM C 494/C494M).

Elaboración de especímenes

Una vez realizado el diseño de la mezcla de concreto se procede a la fabricación de los especímenes tanto cilíndricos como vigas de concreto, lo cual se lleva a cabo de acuerdo con la norma ASTM C192 / C192M-16^a Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. Éste es el procedimiento para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio bajo un control apropiado.

Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto

La norma ASTM C 39/C39 consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos, a una velocidad dentro de un rango establecido hasta que ocurra alguna falla. La

Tabla 2. Ensayo a compresión de cilindros con la mezcla de mejor desempeño

| Días de curado | Agregado natural | Reciclados poliméricos |
|----------------|------------------|------------------------|
| | Replicas | Replicas |
| 7 | 4 | 4 |
| 14 | 4 | 4 |
| 28 | 4 | 4 |

resistencia a compresión del espécimen es calculada dividiendo la carga máxima aplicada en el ensaye entre su área de la sección transversal.

$$k = \frac{L}{(t_2 - t_1)} \times \frac{a}{A} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Permeabilidad

Una de las principales características del concreto poroso es la permeabilidad que determina su capacidad para filtrar el agua a través del espécimen. Para realizar la prueba de permeabilidad se elaboró un permeámetro de carga variable, tomando como referencia lo descrito en el ACI 522.

De forma específica, para determinar el coeficiente de permeabilidad se utiliza la siguiente fórmula:

En donde:

k = coeficiente de permeabilidad, en cm/s

L = altura del espécimen, en cm

a = área del tubo cilíndrico graduado, en cm²

A = área de la muestra, en cm²

t₁ = tiempo inicial, en s

t₂ = tiempo final, en s

h₁ = altura de la columna de agua en el tubo graduado al inicio de la prueba, en cm

h₂ = altura de la columna de agua en el tubo graduado al final de la prueba, en cm.

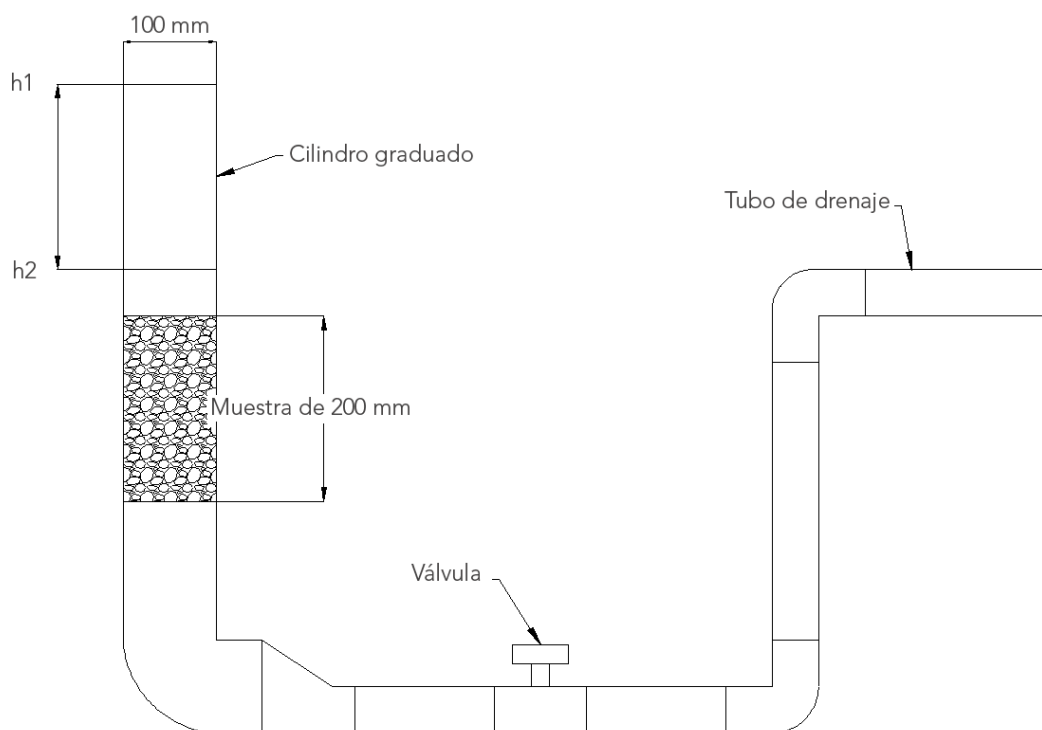


Figura 2. Permeámetro de carga variable



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para un concreto permeable se necesita material uniforme, por lo tanto, la selección de agregados para este caso será de $3/8''$ y $1/2''$. De esta manera se garantizará la porosidad de la mezcla.

Para el peso volumétrico de la grava utilizada ($1/2''$ y $3/8''$) se obtuvieron los siguientes resultados:

Peso volumétrico varillado para la grava de $1/2''$

$$PVV = 1639.642 \text{ kg/m}^3$$

Peso volumétrico varillado para la grava de $3/8''$

$$PVV = 1628.928 \text{ kg/m}^3$$

En las Tablas 4 y 5 se muestran los resultados obtenidos de resistencia a compresión para cada uno de los especímenes realizados y ensayados

en el laboratorio a diferentes edades de curado (7, 14 y 28 días), y se exhibe la evolución de la resistencia a compresión de los especímenes ensayados.

De las tablas anteriores se puede observar el comportamiento de la mezcla de concreto permeable con o sin aditivo polimérico y, respecto al tiempo, se aprecia una mejora en la resistencia a compresión de los especímenes: un 32.59% para 28 días de curado, 13.57% en el caso de 14 días y 7.89% corresponde a 7 días de curado. Con base en las 4 réplicas elaboradas a edades de curado diferentes se obtuvo el promedio de la resistencia a compresión de los especímenes en el laboratorio. A continuación, en la Figura 3, se muestran las gráficas de resistencia a compresión (promedio) f_c (kg/cm^2).

Tabla 3. Granulometría, banco La Loma

| Malla | Abertura | Peso suelo retenido | Porcentaje retenido parcial | Porcentaje que pasa |
|------------|----------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| No. | mm | g | % | % |
| 2 in | 50.8 | 0 | 0 | 100 |
| 1 1/2 in | 36.1 | 0 | 0 | 100 |
| 1 in | 25.4 | 5330 | 30.46 | 69.54 |
| 3/4 in | 19.05 | 5680 | 32.46 | 37.09 |
| 1/2 in | 12.7 | 5080 | 29.03 | 8.06 |
| 3/8 in | 9.52 | 790 | 4.51 | 3.54 |
| No. 4 | 4.75 | 340 | 1.94 | 1.60 |
| Pasa No. 4 | | 50 | 0.29 | 1.31 |
| Suma | | 17270 | 98.69 | |

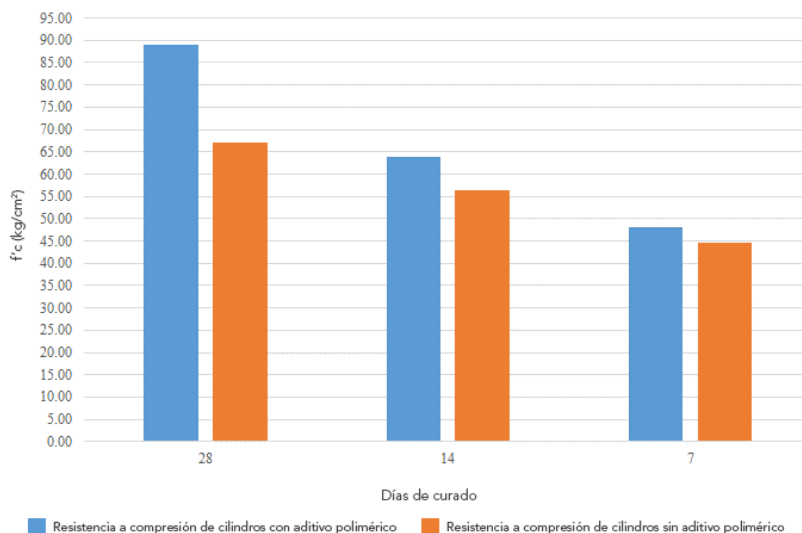


Figura 3. Gráfica de resistencia a compresión (promedio) de cilindros con y sin aditivo polimérico (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 4. Resistencia a compresión de cilindros sin aditivo polimérico

| Resistencia a compresión de cilindros sin aditivo polimérico | | | | | | | |
|--|-------------------------|--------|--------|------------|------------|---------------------------|------------------------------------|
| Cilindro | Tiempo de curado (días) | D (cm) | H (cm) | Carga (kN) | Carga (kg) | F'c (kg/cm ²) | F'c (kg/cm ²) Promedio |
| 1 | 28 | 9.70 | 19.80 | 50.07 | 5105.64 | 69.09 | 67.18 |
| 2 | | 9.85 | 19.80 | 52.46 | 5349.35 | 70.20 | |
| 3 | | 9.87 | 19.82 | 48.60 | 4955.74 | 64.77 | |
| 4 | | 9.84 | 19.81 | 48.21 | 4915.97 | 64.77 | |
| 1 | 14 | 9.84 | 19.76 | 39.46 | 4023.74 | 52.91 | 56.27 |
| 2 | | 9.71 | 19.74 | 42.86 | 4370.43 | 59.02 | |
| 3 | | 9.79 | 19.78 | 41.86 | 4278.66 | 56.84 | |
| 4 | | 9.80 | 19.73 | 41.66 | 4248.07 | 56.32 | |
| 1 | 7 | 9.79 | 19.63 | 32.14 | 3277.32 | 43.54 | 44.50 |
| 2 | | 9.85 | 19.80 | 32.17 | 3280.37 | 43.05 | |
| 3 | | 9.87 | 19.82 | 33.04 | 3369.09 | 44.03 | |
| 4 | | 9.84 | 19.81 | 35.32 | 3601.58 | 47.36 | |

Tabla 5. Resistencia a compresión de cilindros con aditivo polimérico

| Resistencia a compresión de cilindros con aditivo polimérico | | | | | | | |
|--|-------------------------|--------|--------|------------|------------|---------------------------|------------------------------------|
| Cilindro | Tiempo de curado (días) | D (cm) | H (cm) | Carga (kN) | Carga (kg) | F'c (kg/cm ²) | F'c (kg/cm ²) Promedio |
| 1 | 28 | 9.80 | 19.75 | 67.54 | 6887.05 | 91.30 | 89.07 |
| 2 | | 9.85 | 19.80 | 68.21 | 6955.37 | 91.28 | |
| 3 | | 9.87 | 19.82 | 64.46 | 6572.99 | 85.91 | |
| 4 | | 9.84 | 19.81 | 65.46 | 6674.96 | 89.77 | |
| 1 | 14 | 9.50 | 19.74 | 42.35 | 4318.43 | 60.92 | 63.91 |
| 2 | | 9.60 | 19.80 | 46.86 | 4778.31 | 66.01 | |
| 3 | | 9.20 | 19.82 | 42.86 | 4370.43 | 65.74 | |
| 4 | | 9.71 | 19.81 | 45.71 | 4661.05 | 62.94 | |
| 1 | 7 | 9.80 | 19.79 | 35.71 | 3641.35 | 48.27 | 48.00 |
| 2 | | 9.85 | 19.75 | 38.39 | 3914.63 | 51.91 | |
| 3 | | 9.87 | 19.78 | 16.61 | 3733.12 | 48.79 | |
| 4 | | 9.84 | 19.80 | 32.50 | 3314.03 | 43.58 | |



La prueba de permeabilidad se llevó a cabo con base en lo descrito en el ACI 522, como ya se mencionó, variando las edades de curado de los especímenes como se muestra en las Tablas 6 y 7. Éstas describen los resultados del coeficiente de permeabilidad para las especímenes con y sin aditivo.

En la Figura 4 se pueden observar los coeficientes de permeabilidad para las distintas mediciones de los especímenes ensayados en el laboratorio, variando los días de curado y la columna de agua del tubo graduado. De éste se deduce que la permeabilidad no se ve afectada por el aditivo polimérico, debido a que existe un coeficiente de correlación (R^2) de 0.9528, al analizar los promedios de todas las mediciones realizadas en el laboratorio.

CONCLUSIONES

Últimamente se han realizado gran cantidad de investigaciones sobre polímeros y su comportamiento, no obstante, en esta investigación podemos concluir que:

1. El reciclado es uno de los métodos principales para generar menos desechos no biodegradables y, de esta manera, ser amigables con el medioambiente reduciendo la contaminación.

2. El uso del poliestireno reciclado como aditivo ayuda a mejorar la resistencia a compresión de los especímenes de concreto permeable en un 32.59% a 28 días de curado.
3. El concreto permeable puede ser una alternativa para el reciclado de poliestireno (producto de embalaje y de otros medios) por su impacto benéfico con el medioambiente, debido al reciclaje y al coeficiente de permeabilidad en los especímenes ensayados en el laboratorio que no se ve afectado con el uso del aditivo polimérico al existir una fuerte correlación entre las medidas de coeficiente de permeabilidad: coeficiente de correlación (R^2) 0.9528.
4. El concreto permeable es una de las opciones para el manejo de aguas pluviales, ya que disminuye el escurrimiento superficial evitando inundaciones.
5. El aditivo polimérico es una manera de reciclar el poliestireno y de contribuir al cuidado del medioambiente reduciendo la contaminación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo durante toda esta investigación.

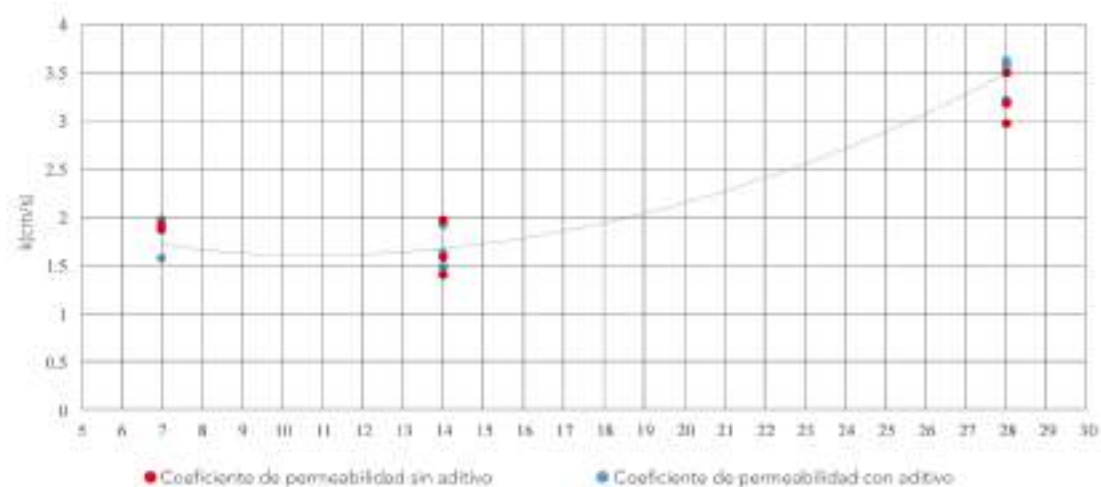


Figura 4. Gráfica de coeficiente de permeabilidad de especímenes con y sin aditivo polimérico (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 6. Coeficiente de permeabilidad sin aditivo

| Coeficiente de permeabilidad sin aditivo | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|--------|------------|------------|--------|-----------|-----------|----------|-------------------|
| Medición | Tiempo de curado (días) | d (cm) | h_1 (cm) | h_2 (cm) | L (cm) | t_1 (s) | t_2 (d) | k (cm/s) | k (cm/s) promedio |
| 1 | 28 | 9.8 | 20.00 | 15.00 | 19.75 | 0 | 1.7 | 3.210 | 3.475 |
| 2 | | 9.85 | 20.00 | 10.00 | 19.8 | 0 | 3.71 | 3.589 | |
| 3 | | 9.87 | 20.00 | 5.00 | 19.82 | 0 | 7.38 | 3.627 | |
| 1 | 14 | 9.81 | 20.00 | 15.00 | 19.72 | 0 | 3.65 | 1.496 | 1.689 |
| 2 | | 9.83 | 20.00 | 10.00 | 19.78 | 0 | 8.09 | 1.638 | |
| 3 | | 9.89 | 20.00 | 5.00 | 19.78 | 0 | 19.88 | 1.932 | |
| 1 | 7 | 9.78 | 20.00 | 15.00 | 19.72 | 0 | 3.42 | 1.587 | 1.721 |
| 2 | | 9.8 | 20.00 | 10.00 | 19.71 | 0 | 8.25 | 1.590 | |
| 3 | | 9.79 | 20.00 | 5.00 | 19.65 | 0 | 13.15 | 1.985 | |

Tabla 7. Coeficiente de permeabilidad con aditivo

| Coeficiente de permeabilidad con aditivo | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|--------|------------|------------|--------|-----------|-----------|----------|-------------------|
| Medición | Tiempo de curado (días) | d (cm) | h_1 (cm) | h_2 (cm) | L (cm) | t_1 (s) | t_2 (d) | k (cm/s) | k (cm/s) promedio |
| 1 | 28 | 9.7 | 20.00 | 15.00 | 19.80 | 0 | 1.68 | 3.190 | 3.220 |
| 2 | | 9.85 | 20.00 | 10.00 | 19.77 | 0 | 3.81 | 3.490 | |
| 3 | | 9.87 | 20.00 | 5.00 | 19.77 | 0 | 8.96 | 2.980 | |
| 1 | 14 | 9.81 | 20.00 | 15.00 | 19.72 | 0 | 3.85 | 1.418 | 1.662 |
| 2 | | 9.83 | 20.00 | 10.00 | 19.78 | 0 | 8.32 | 1.592 | |
| 3 | | 9.89 | 20.00 | 5.00 | 19.78 | 0 | 13.58 | 1.975 | |
| 1 | 7 | 9.78 | 20.00 | 15.00 | 19.72 | 0 | 3.36 | 1.615 | 1.816 |
| 2 | | 9.8 | 20.00 | 10.00 | 19.71 | 0 | 6.77 | 1.938 | |
| 3 | | 9.79 | 20.00 | 5.00 | 19.65 | 0 | 13.77 | 1.896 | |



REFERENCIAS

- ASTM C 136-06 "Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregate". American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C 39/C 39M-05 "Standard Test Method for Compressive Strength of cylindrical Concrete Specimens". American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C 494/C 494-15A "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete". American Society for Testing and Materials (ASTM).
- BOEHLERT, B., Strzepek, K. M., Gebretsadik, Y., Swanson, R., McCluskey, A., Neumann, J. E., McFarland, J. y Martinich, J. (2016). Climate change impacts and greenhouse gas mitigation effects on U.S. hydropower generation. *Applied Energy*. Vol. 183, pp. 1511-1519. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.054>
- CABRERA, J. A., Escalante, J. I. y Castro, P. (2016). Resistencia a la compresión de concretos con escoria de alto horno. *Revista ALCONPAT*. Vol. 6(1).
- CHEHOVITS, J. y Galehouse, L. (2010). Energy Usage and Greenhouse Gas Emissions of Pavement Preservation Processes for Asphalt Concrete Pavements. Transportation Research Board, pp. 27-42.
- CHEN, B. y Liu, J. (2007). Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads. *Construction and Building Materials*. Vol. 21(1), pp. 7-11. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.001>
- CHIKHI, A., Belhamri, A., Glouannec, P. y Magueresse, A. (2016). Experimental study and modeling of hygro-thermal behavior of polystyrene concrete and cement mortar. *Application to a multilayered wall*. *Journal of Building Engineering* Vol. 7, pp. 183-193. <http://doi.org/10.1016/j.job.2016.06.007>
- FOWLER, D. W. (1999). Polymers in concrete: a vision for the 21st century. *Cement and Concrete Composites*. Vol 21(5-6), pp. 449-452. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(99\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(99)00032-3)
- HENDRIKS, C. A., Worrell, E., de Jager, D. De, Blok, K. y Riemer, P. (2013). Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry. IEA Greenhouse Gas R&D Programme. pp. 1-11.
- KAN, A. y Demirboga, R. (2008). A new technique of processing for waste-expanded. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol, 209(6), pp. 2994-3000. <http://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.07.017>
- KAN, A. y Demirboga, R. (2009). A novel material for lightweight concrete production. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 31(7), pp. 489-495. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.05.002>
- KISHORE, K. (2012). Polymer-Modified Mortars And Concrete Mix Design. *Civil Engineering*, pp. 1-8.
- LAUKAITIS, A., Zurauskas, R. y Kerien, J. (2005). The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 27(1), pp. 41-47. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2003.09.004>
- OHAMA, Y. (1998). Polymer-based Admixtures. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 20(2-3), pp. 189-212.
- PERRY, S. H., Bischoff, P. H. y Yamura, K. (1991). Mix details and material behaviour of polystyrene aggregate concrete. *Magazine of Concrete Research*. Vol. 43(154), pp. 71-76. <https://doi.org/10.1680/mac.1991.43.154.71>
- SAYADI, A. A., Tapia, J. V, Neitzert, T. R. y Clifton, G. C. (2016). Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance , thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete. *Construction & building materials*. Vol. 112, pp. 716-724. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.218>

- TARROJA, B., Aghakouchak, A. y Samuelsen, S. (2016). Quantifying climate change impacts on hydropower generation and implications on electric grid greenhouse gas emissions and operation. *Energy*. Vol. 111, pp. 295-305. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.131>
- VÉLEZ, L. M. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto. *Tecnológicas*. (25), pp. 169-187.

DESARROLLO DE UNA INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN DE APLICACIONES PARA EL COMPORTAMIENTO REAL VEHICULAR EN INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA, EN EL SIMULADOR AIMSUN

Development of an application programming interface for real vehicular behavior at signalized intersections in AIMSUN simulator

Pedro Apolinar Molina González¹, Saúl Antonio Obregón Biosca¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia
pedro.a.molina.glz@gmail.com

RESUMEN

En ingeniería de tránsito, los simuladores computacionales del comportamiento vehicular son empleados para crear representaciones digitales útiles, analizar la situación actual de la red carretera y así evaluar propuestas de mejoras ante conflictos viales. En referencia a las representaciones gráficas de los comportamientos vehiculares, los programas de simulación usan modelos matemáticos que surgen de la observación del comportamiento vehicular en situaciones reales. En los análisis de intersecciones semaforizadas con los programas actuales se observa que las velocidades vehiculares no se modifican cuando los vehículos han tomado la decisión de pasar el semáforo, cuando la señal cambia de verde a amarillo, mientras que en situaciones reales algunos usuarios aumentan la velocidad al inicio de la fase de amarillo provocando que crucen la intersección en rojo. El objetivo de la presente investigación es la creación de una interfaz de programación de aplicaciones (API) para modificar el comportamiento de la simulación en una intersección semaforizada, en el simulador AIMSUN. Para trabajar con aplicaciones externas, se realizó el código de programación en Visual Studio mediante el los módulos del simulador, y se utilizó lenguaje C++ para crear una biblioteca de enlace dinámico (DLL). Los resultados obtenidos demuestran que el comportamiento vehicular en el simulador puede ser modificado para que los vehículos aceleren ante el cambio de fase verde-amarillo y cuando se encuentran a menos de 50 m hasta la línea de parada, apegándose así al comportamiento real.

Palabras clave

AIMSUN, API, comportamiento vehicular, intersección semaforizada, simulación

ABSTRACT

In traffic engineering, vehicular behavioral computer simulators are used to create useful digital representations for the analysis of the road network

current situation and the evaluation of proposals for solutions of road conflicts. In order to perform graphic representations of vehicular behaviors, simulation programs use mathematical models that arise from the observation of vehicle behavior in real situations. Analyzing traffic intersections with current programs, it is observed that vehicular speeds are not modified when vehicles have decided to pass the traffic light once the signal changes from green to yellow, while in real situations some users increase the speed at the beginning of the yellow phase causing them to cross the intersection in red. The objective of the present research is the creation of an application programming interface (API) to modify the behavior of the simulation at a signalized intersection in the simulator AIMSUN. By using the simulator modules to work with external applications, the programming code in Visual Studio was made using C++ language to create a dynamic-link library (DLL). The results obtained show that vehicle behavior in the simulator can be modified so that vehicles accelerate before the green-yellow phase change when they are less than 50 m far from the stop line to adhere to the actual behavior.

Keywords

AIMSUN, API, vehicle behavior, signalized intersections, simulation

INTRODUCCIÓN

Las lesiones por accidentes de tráfico han ido en aumento en las últimas décadas. Para el 2010 éstas representaban la octava causa de muerte en el mundo, provocando 1.3 millones de muertes de acuerdo con Yan *et al.* (2016). Según Anjana y Anjaneyulu (2015), en distintas ciudades el 24% de los accidentes de tráfico ocurre en intersecciones semaforizadas, donde un 40% de estos casos está relacionado con lesiones graves o muertes. Algunos de los factores que influyen en la seguridad de intersecciones semaforizadas, son las medidas de control, la geometría, el tráfico, los usuarios, los vehículos y los factores ambientales (Bauer y Harwood, 2000; Chin



y Quddus, 2003; Kumara y Chin, 2003; Tay y Ri-faat, 2007; Vogt, 1999; Yan *et al.*, 2005). Dichos elementos se vinculan con el comportamiento vehicular en las intersecciones semaforizadas, de manera específica, cuando no se respetan las señales semaforicas provocando que diferentes flujos vehiculares ocupen la intersección al mismo tiempo. Estas situaciones se conocen como “Pasarse la luz amarilla” o *Yellow Light Running* (YLR) y “Pasarse la luz roja” o *Red Light Running* (RLR). De acuerdo con Galatioto *et al.*, (2012), el estudio del comportamiento vehicular en intersecciones semaforizadas ha aumentado en las últimas décadas debido al costo humano y financiero, tanto para los usuarios como para las administraciones gubernamentales.

Para los ingenieros y especialistas en el transporte, los programas de microsimulación han ganado aceptación como herramientas para la evaluación y análisis de sistemas inteligentes de transporte y otros mecanismos de control de tráfico, así como para el manejo e implementación de medidas de seguridad (Shahzad y Ranjitkar, 2009). De manera similar, Fellendor y Vortisch (2010) mencionan que los simuladores de tráfico son instrumentos indispensables para la planeación. Según Barceló (2010), la habilidad de las simulaciones de tráfico, para emular la variación temporal de los fenómenos de tráfico, ocasiona que sean herramientas únicas para capturar la complejidad de sistemas de tráfico. Es así que el incremento de las tecnologías de procesamiento y la evolución de programas computacionales, enfocados a la ingeniería y al avance de sistemas de transportes inteligentes, han generado que los simuladores de tráfico se conviertan en uno de los medios más usados para el análisis del tráfico, y para el diseño y evaluación de sistemas. En los últimos años, la simulación de tráfico, también conocida como simulación microscópica de tráfico, ha pasado de ser un tema académico a una necesidad en el campo laboral. Una amplia variedad de simuladores computacionales de tráfico está disponible en el mercado y es empleada por investigadores, consultores, así como por agencias públicas.

En la actualidad, uno de los simuladores con mayor aceptación es resultado de un programa a largo plazo de la Universidad Politécnica de Cataluña, llamado *Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks* o, simplemente, AIMSUN (Casas *et al.*, 2010). La área de aplicación para AIMSUN es la ingeniería de tráfico tanto fuera de línea y, más recientemente, como apoyo en las decisiones de operación de tráfico en tiempo real (en línea). En cualquiera de los casos, el uso de AIMSUN aporta soluciones a corto y mediano plazo para planeación y problemas de operación. Los principales modelos de los simuladores computacionales se basan en la descripción de los factores que influyen en el movimiento individual de los vehículos dentro de la red. Los primeros se enfocaron en la descripción del seguimiento vehicular y del cambio de carril, dentro de los cuales se emplearon a su vez modelos para influir en la velocidad, la aceleración y desaceleración. En cambio, el AIMSUN utiliza los modelos propuestos por Gipps para el seguimiento vehicular y el cambio de carril (Gipps, 1980; Gipps, 1986).

Para la simulación vehicular en AIMSUN es necesario establecer planes de control fijo en cada intersección de la red (Casas *et al.*, 2010), ya que el comportamiento vehicular durante la simulación es ideal, es decir, los vehículos obedecen siempre las señales del semáforo (disminuyen su velocidad en la etapa de luz amarilla y se detienen completamente antes de la línea de parada cuando la señal en rojo se ha activado). Es cierto que diferentes tecnologías se han desarrollado para que los conductores obedezcan las señales y se eviten situaciones de YLR y RLR, como son los mensajes de advertencias, ajustes dinámicos en las señales o, incluso, tecnologías relacionadas con vehículos autónomos (Bonneson *et al.*, 2002; Ragland y Zabyshny, 2003; Neale *et al.*, 2007). Sin embargo, según Ren *et al.* (2016), antes de la aplicación de metodologías preventivas es necesario predecir los comportamientos de YLR y RLR.

De acuerdo con el *Manual Interfaz de programación de aplicaciones* (API) y AIMSUN Mi-

crossimulator (API, 2013), la tendencia actual enfocada en el desarrollo de nuevos sistemas de control inteligentes genera que los simuladores se queden rezagados por su incapacidad de incluir modelos específicos, basados en enfoques dirigidos a situaciones actuales. Por medio del uso de una API, la cual puede ser empleada en algunos simuladores actuales, es posible que el usuario realice cambios en la simulación, como el comportamiento de los conductores, planes de control, entre otros (Fang, 2008). En cuanto a lo anterior, Vilarinho *et al.* (2014) y Vilarinho y Tavares (2014) emplearon APIs para mejorar la capacidad de simulación del AIMSUN; optimizaron los tiempos semafóricos del plan de control con información dinámica del tráfico. Ntousakis *et al.* (2015) usaron APIs en AIMSUN para poder evaluar la comodidad y seguridad de un plan control adaptativo en una intersección. De manera similar, con el uso de una API, Rauh *et al.* (2016) mejoraron el plan de control semafórico en AIMSUN cuando se tiene la presencia de vehículos autónomos.

La elección de las variables que interviene en el comportamiento y en la toma de decisiones de los conductores, puede ser explicada a partir del modelo conceptual propuesto por Summala (1996) que describe la tarea de conducir mediante tres dimensiones. La primera hace referencia a la jerarquía funcional que comprende la elección vehicular, la elección de la ruta, la navegación, la dirección y el control vehicular (en la parte derecha de la Figura 1). En la segunda dimensión se incluyen las capacidades del conductor como la dirección en el carril, el control o la capacidad de evadir obstáculos, el rebase y otras maniobras, la conducción en intersecciones, mantener la distancia entre los vehículos, etc. (parte inferior de Figura 1). La última dimensión se enfoca en explicar la relación entre el control de la percepción del motor, que se realiza de manera automática, y la consciente toma de decisiones y el monitoreo de niveles. En esta dimensión también se incluyen variables psicológicas como el estrés del conductor y la influencia que otros conductores podrían tener en su comportamiento, entre otras

interacciones. Mientras más alta sea la tarea en la jerarquía funcional, más consciente será la toma de decisiones y la supervisión aplicada, es decir, dependiendo del nivel de habilidades y automatización, los conductores incluso aprenden a tomar decisiones relacionadas con el viaje y la navegación habitual, sin la necesidad de ser conscientes.

Distintas tareas son consideradas en la investigación del tráfico. El control de la velocidad y el tiempo están directamente relacionados con la movilidad, el problema fundamental y una de las metas básicas de alto nivel en el transporte. Al incrementar la velocidad por las mejoras en los vehículos y los caminos, también lo hacen las distancias que pueden ser alcanzadas dentro de tiempos razonables, por lo que las decisiones de viaje son ampliamente basadas en el tiempo y otros factores de comodidad. Por otro lado, la velocidad influye en el objetivo motivacional de conducir; las decisiones de viaje establecen el nivel de velocidad deseada, junto con el costo de conducción y los límites de velocidad. De acuerdo con Summala (1996), el control de la velocidad sirve como herramienta de control primario para prácticamente todas las tareas de nivel de conducción, es por ello que los conductores aprenden a ajustar la velocidad para mantener una posición en una línea y las distancias entre vehículos.

En una intersección semaforizada, cuando un conductor se aproxima a una intersección y observa en la señal semafórica el cambio de verde a amarillo, es necesario que tome la decisión de detenerse o seguir. Si el conductor decide seguir, se encontrará ante una situación de YLR o RLR. Sin embargo, dependiendo de la velocidad del vehículo, los tiempos semafóricos y la distancia hasta la intersección, se enfrentará a cuatro posibles situaciones: 1) "Debería avanzar", en la que el vehículo podría pasar la intersección continuando con la velocidad con la que viaja o acelerando de manera moderada antes de que la señal cambie a rojo, pero no podría parar antes de la intersección de manera cómoda o segura, 2) "Debería parar", el vehículo no puede cruzar

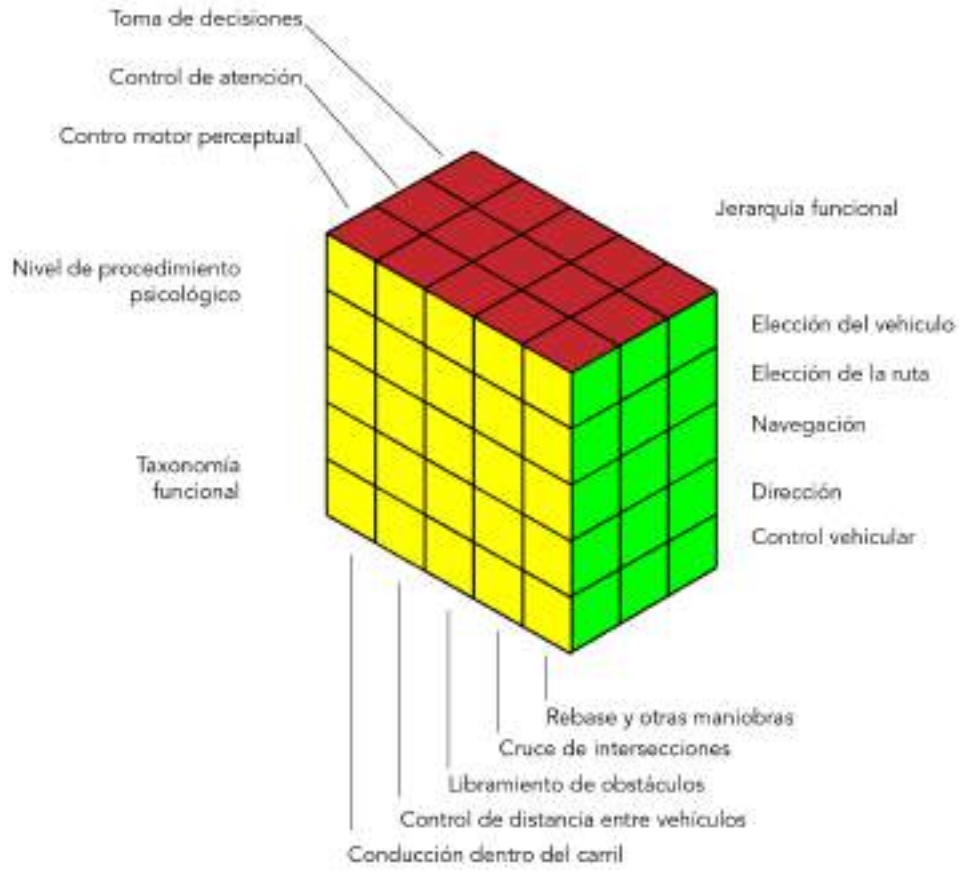


Figura 1. Modelo Driver Task Cube para la interacción de variables durante el comportamiento vehicular

la intersección antes de que el semáforo cambie a rojo, pero puede detenerse de manera segura antes de la línea de parada con una tasa de desaceleración adecuada, 3) "Zona de dilema" (ZD), los vehículos no pueden detenerse con una desaceleración segura ni cruzar la intersección con la velocidad actual ni aumentándola con una aceleración confortable sin cometer RLR, y 4) "Zona de opción" (ZO), el vehículo puede detenerse totalmente con una tasa de desaceleración adecuada o cruzar la intersección con su velocidad actual o acelerando de manera confortable antes de que la señal indique rojo (Lu *et al.*, 2015). Ante esto, Elmitiny *et al.* (2010) encontraron que dos de las variables más significativas, para que los conductores realicen maniobras de YLR y RLR, son la distancia a la que el vehículo se encuentra de

la línea de parada cuando el semáforo inicia la indicación de amarillo, y la velocidad con la que se desplaza el usuario. Los resultados obtenidos por Elmitiny *et al.* (2010) indican que el 80.9% de los vehículos, que se encuentran a una distancia de 87 m o menor, cruzarán la intersección, mientras que el 92.2% de los vehículos, a una distancia de 113 m o mayor, se detendrán antes de la línea de parada. Por otro lado, para los vehículos que se encuentren entre dichas distancias, la velocidad será un factor determinante: más del 80% de los vehículos, que transiten a una velocidad igual o menor a 80 km/h, se detendrá antes de la intersección, mientras que más del 63% de los que transitan a una velocidad mayor cruzarán la intersección.

METODOLOGÍA

La metodología de esta investigación se dividió en tres etapas (véase figura 2). En la primera se creó el escenario de una intersección semaforizada en AIMSUN. En la segunda se empleó una API para obtener información de los vehículos sin afectar su comportamiento. En la tercera parte se modificó el comportamiento del simulador mediante la implementación de una API.

Escenario de intersecciones semaforizadas en AIMSUN

Se creó un nodo de intersección de cuatro secciones en AIMSUN, procurando que dichas secciones tuvieran una longitud igual o mayor a 100 m y

que los carriles contaran con un ancho mayor de 3 m. Se creó un plan semafórico con un ciclo de 144 segundos para analizar 25 ciclos en una hora de escenario simulado. Los centroides y las matrices Origen-Destino (OD) se establecieron de tal manera que los vehículos sólo realicen movimientos frontales (ningún vehículo da vuelta a la derecha o a la izquierda en la intersección). Se empleó solamente un tipo de vehículo cargado a la demanda de tráfico cuyas características se presentan en la Tabla 1.

Obtención de información, mediante API, del comportamiento vehicular

Al emplear el programa Visual Studio se creó una Biblioteca de Enlace Dinámico (DLL) que el AIM-

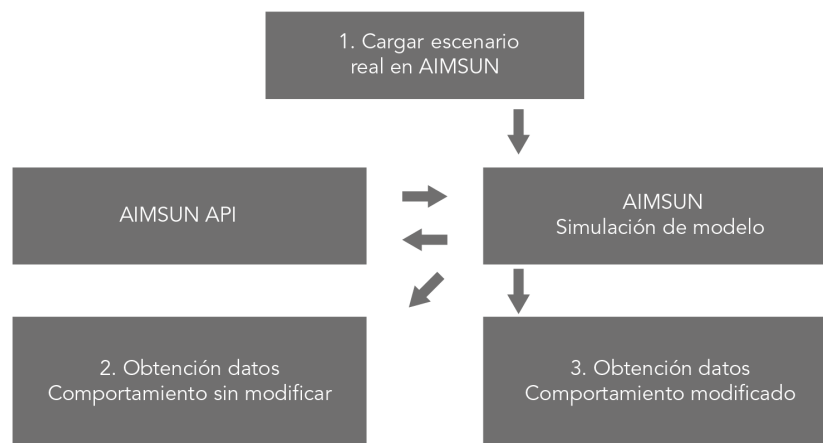


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología

Tabla 1. Características de vehículo tipo cargado en AIMSUN para la simulación

| | Media | Desviación | Mínimo | Máximo |
|---|-------|------------|--------|--------|
| Longitud (m) | 4 | 0.5 | 3.5 | 4.5 |
| Anchura (m) | 2 | 0 | 2 | 2 |
| Velocidad máxima deseada (km/h) | 110 | 10 | 80 | 150 |
| Aceleración máxima (m/s ²) | 3 | 0.2 | 2.6 | 3.4 |
| Desaceleración normal (m/s ²) | 4 | 0.25 | 3.5 | 4.5 |
| Desaceleración máxima (m/s ²) | 6 | 0.5 | 5 | 7 |
| Aceptación de velocidad | 1.1 | 1 | 0.9 | 1.3 |
| Distancia mínima entre vehículos | 1 | 0.3 | 0.5 | 1.5 |



SUN interpreta como una API para leer la información de los vehículos en cada paso de la simulación. El paso de la simulación se estableció en 0.1 segundos para obtener la información de los vehículos aproximadamente cuando se han desplazado un metro. La API está conformada por seis funciones para comunicarse con el modelo de AIMSUN:

- `Int AAPILoad ()`: En el escenario del modelo de AIMSUN se ha cargado la ubicación del archivo DLL y este comando ejecuta la API seleccionada.
- `int AAPInit ()`: Inicia la API. En esta sección pueden incluirse parámetros que serán empleados en las siguientes funciones.
- `Int AAPIManage (double time, double timeSta, double timeTrans, double acycle)`: Se declaran las variables que controlarán la ejecución del código. El código cargado en esta sección se ejecutará antes del paso de la simulación.

- `int AAPPostManage (double time, double timeSta, double timeTrans, double acycle)`: La única diferencia entre este punto y el anterior es que éste se ejecutará posterior al paso de la simulación.
- `int AAPIFinish ()`: Se finaliza la API.
- `int AAPILoad ()`: Se cierra la aplicación en el AIMSUN.

En la Figura 3 se puede apreciar la interacción entre el AIMSUN y la API para realizar la simulación. El código empleado en esa etapa fue cargado en la sección `AAPIManage (...)`, de tal manera que se solicitó la información de los vehículos antes de efectuar el paso de la simulación. Los datos obtenidos fueron los siguientes: Identificador (ID) del vehículo, ID de la sección, número de carril, distancia hasta la intersección y la velocidad.

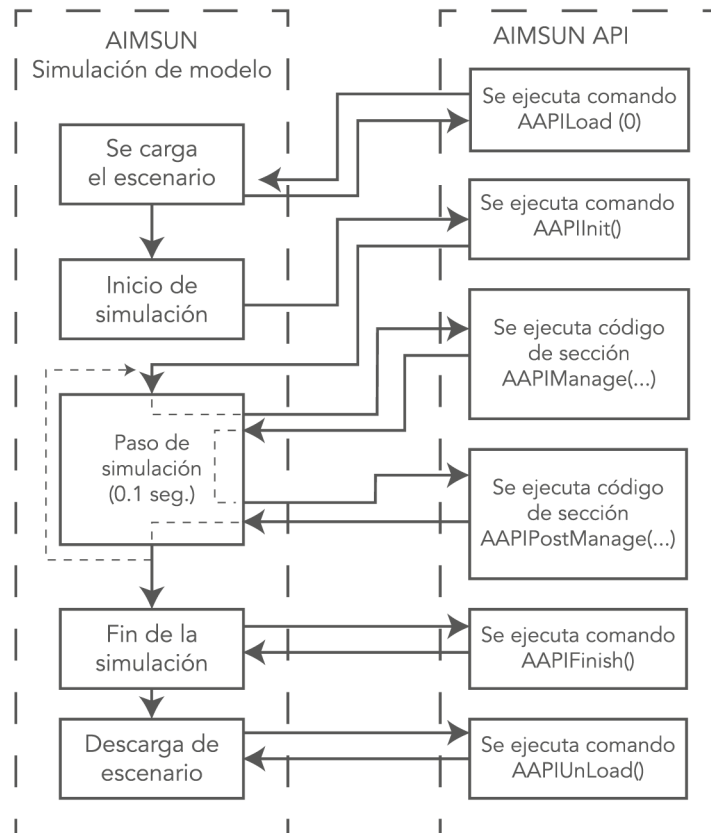


Figura 3. Diagrama de flujo de la interacción entre el AIMSUN y la API

Modificación del comportamiento vehicular en AIMSUN mediante API

Fue creada una API, incluyendo el código en la función AAPIManage (...), para realizar las siguientes acciones: 1) apagar el plan de control de los semáforos, 2) implementar un control manual de los semáforos, es decir, definido por la API, 3) instrumentar los vehículos de manera que aceleren cuando inicie la fase de amarillo y se encuentren a menos de 87 m de la intersección.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 472 vehículos creados durante la simulación se encontró que se presentaron 14 casos de YLR y 5 de RLR para un escenario promedio. En la Figura 4a se puede observar que, en todos los casos en los que se mostraron comportamientos de YLR, los vehículos estaban a menos de 40 m hasta el punto de parada de la intersección cuando el semáforo cambiaba la señal de verde a amarillo, y su velocidad media estuvo cerca de los 53 km/h. Mientras que en la Figura 4b se exponen los casos en los que los vehículos cruzaron la intersección cuando la señal del semáforo indicaba luz roja, distinguiéndose que los vehículos ubicados a menos de 87 m cruzan la intersección, para ellos las velocidades tienen una mayor varianza.

Puede observarse, en la Figura 4, que los vehículos no modifican su velocidad una vez que han decidido cruzar la intersección cuando el semáforo indica amarillo o rojo.

Las distancias de parada empleadas para el diseño de carreteras están relacionadas con la velocidad a la que los vehículos circulan. Para velocidades de operación de 45 a 60 km/h, las distancias de parada segura se encuentran entre 55 y 87 m. Para la velocidad promedio de los vehículos, con un comportamiento de YLR (53 km/h), se requieren de aproximadamente 70 m para realizar una maniobra de parada segura, la distancia hasta la línea de parada de todos los conductores en estos casos fue menor por lo que la decisión de cruzar la intersección era adecuada.

Un comportamiento más cercano a la realidad sería que los vehículos aumentaran su velocidad cuando la distancia y la velocidad son inadecuadas para frenar, debido a que manteniendo la velocidad es probable que se encuentren en la intersección cuando otro flujo vehicular se encuentre en verde. De manera similar, las distancias hasta la línea de parada y las velocidades de los vehículos de los casos de RLR no eran adecuadas para frenar con seguridad, sin embargo, estos podrían presentar un mayor riesgo de colisión ya que dos flujos vehiculares se podrían encontrar dentro de la intersección.

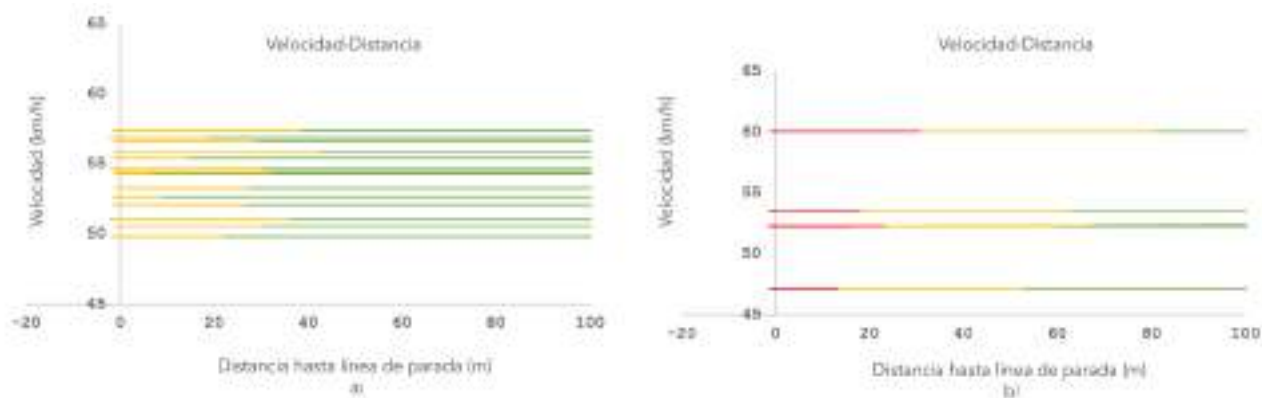


Figura 4. a) Comportamiento de vehículos que presentaron YLR,
b) Comportamiento de vehículos que presentaron RLR



En la Figura 5a se observan los comportamientos de vehículos simulados cuando la distancia a la línea de parada es menor a 60 m y el semáforo realiza el cambio de señal amarilla a roja. No se aprecia un cambio en la velocidad de los vehículos hasta aproximadamente 30 m antes de la línea de parada, no importando la diferencia de las velocidades de operación. En la Figura 5b se distingue el mismo comportamiento, aunque para los vehículos que se encuentran en la fase de rojo y pueden ver el semáforo desde una distancia mayor a 50 m. Estos no modifican su velocidad hasta encontrarse a menos de 30 m de la línea de parada o del último vehículo estacionado.

En la Figura 6 se presentan las trayectorias de vehículos, instrumentados mediante la API para modificar su comportamiento. Se exhiben algunos casos de YLR en los que se aumentaron las velocidades para que los vehículos crucen la intersección antes de que el semáforo les indique verde a los otros flujos vehiculares.

CONCLUSIONES

Los simuladores computacionales de tránsito son empleados en la actualidad como herramientas básicas para el análisis de las vialidades, si bien ayudan a los investigadores a comprender el comportamiento vehicular dentro de las redes, el de los vehículos simulados está lejos de ser una copia fiel de la realidad. A través del análisis del comportamiento de los vehículos simulados en una intersección semaforizada, mediante AIMSUN, se observó que los vehículos mantienen velocidades constantes incluso cuando han decidido no obedecer las indicaciones de reducir la velocidad (fase amarilla) y de detenerse (fase roja) emitidas por el semáforo. Por otra parte, se vislumbró que las distancias de frenado, para los vehículos simulados, parecen ser una constante independiente de la velocidad de operación y de las indicaciones del semáforo. Los conductores en una intersección real presentan un comportamiento variado.

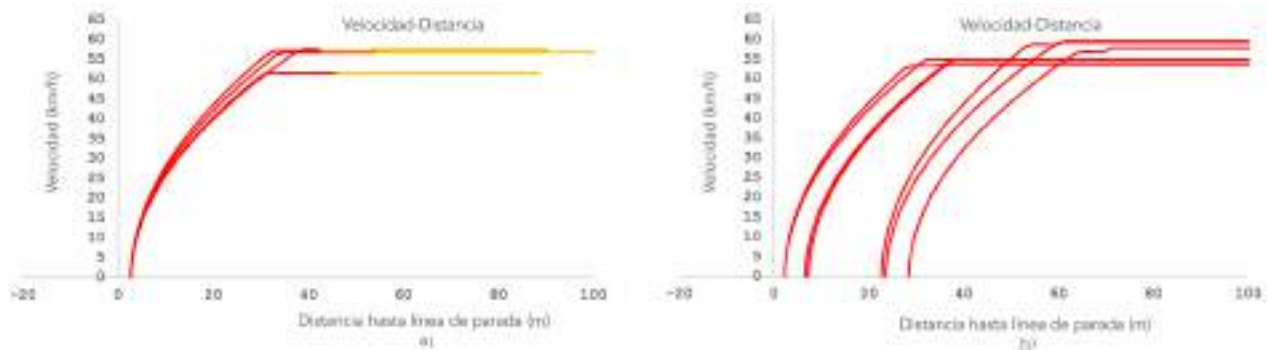


Figura 5. Comportamiento de frenado de vehículos cuando: a) Se encuentran a corta distancia y el semáforo cambia a rojo, b) Pueden ver la señal roja desde una distancia mayor a 50 m

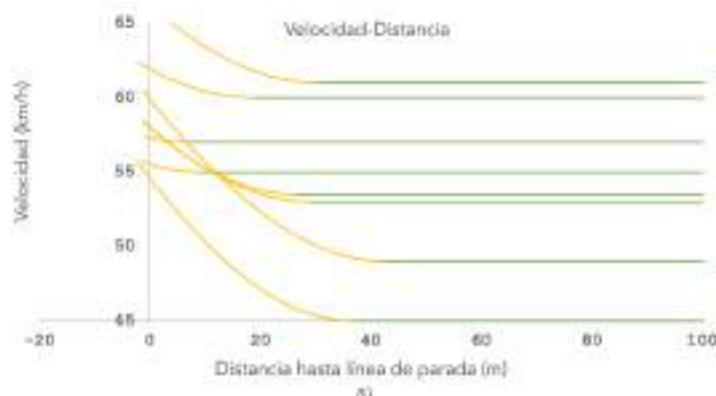


Figura 6. Comportamiento de vehículos instrumentados mediante la API

A partir de esta investigación se desarrolló una API para modificar el comportamiento vehicular simulado en AIMSUN. Se tomaron parámetros como la distancia a la que los vehículos se encuentran de la línea de parada, así como la velocidad a la que se acercan a la intersección para tomar la decisión de obedecer o no las indicaciones del semáforo y realizar aceleración o desaceleración. Con el fin de tratar de emular un comportamiento real.

Sin embargo, el comportamiento real es mucho más complejo, por lo que se debe profundizar en éste para encontrar los factores que intervienen en la toma de decisiones del conductor. Al implementar dichos parámetros, mediante una API en el simulador AIMSUN, será posible hacer uso de los parámetros estadísticos del simulador para evaluar la seguridad de la intersección y así comenzar a usar medidas de prevención de accidentes.

REFERENCIAS

- ANJANA, S. y Anjaneyule, M.V.L.R. (2015). Safety analysis of urban signalized intersections under mixed traffic. *Journal of safety research*. Vol. 52, pp. 9-14.
- BARCELÓ, J (ed.). (2010). Models, traffics models, simulation, and traffic simulation. *Fundamentals of traffic simulation*. Barcelona, España: Springer, pp. 1-62.
- BAUER, K. M. y Harwood, D. W. (2000). Statistical models of At-Grade Intersections Accidents-Addendum (FHWA report-99-094). Washington D.C.: FHWA.
- Bonneson, J., Middleton, D., Zimmerman, K., Charara, H. y Abbas, M. (2002). Intelligent detection-control system for rural signalized intersections (No. FHWA/TX-03/4022-2).
- CASAS, J., Ferrer, J., García, D., Perarnau, J. y Torday, A. (2010). Traffic Simulation with AIMSUN. *Fundamentals of traffic simulation*. Barcelona, España: Springer, pp. 173-232.
- CHIN, H. C. y Quddus, M. A. (2003). Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*. Vol. 35, pp. 253-259.
- ELMITINY, N., Yan, X., Radwan, E., Russo, C. y Nashar, D. (2010). Classification analysis of driver's stop/go decision and red-light running violation. *Accident Analysis and Prevention*. Vol. 42, pp. 101-111.
- FANG, C. (2008). Development of an Application Programming Interface (API) in Simulation to Evaluate Real-Time Signal Control. *Plan, Build, and Manage Transportation Infrastructures in China*. Congress (ISSTP) ASCE, pp. 419-432.
- FELLENDORF, M. y Vortisch, P. (2010). Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. *Fundamentals of traffic simulation*. Barcelona, España: Springer, pp. 63-94.
- GALATIOTO, F., Giuffrè, T., Bell, M., Tesoriere, G. y Campisi, T. (2012). Traffic Microsimulation Model to Predict Variability of Red-Light Running Influenced by Traffic Light Operations in Urban Area. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Vol. 53, pp. 872-880.
- GIPPS, P. (1980). A behavioural car-following model for computer simulation. *Transportation Research Part B: Methodological*, pp. 105-111.
- GIPPS, P. (1986). A model for the structure of lane-changing decisions. *Transportation Research Part B: Methodological*. Vol. 20, pp. 403-414.
- KUMARA, S. S. P. y Chin, H. C. (2003). Modeling Accident Occurrence at Signalized Tee Intersections with Special Emphasis on Excess Zeros. *Traffic Injury Prevention*. Vol. 4(1), pp. 53-57.
- LU, G., Wang, Y., Wu., X. y Liu, H. (2015). Analysis of yellow-light running at signalized intersections using high-resolution traffic data. *Transportation Research Part A: A Policy and Practice*. Vol. 73, pp. 39-52.



- NEALE, V. L., Perez, M.A., Lee, S. E. y Doerzapf, Z.R. (2007). Investigation of Driver-Infrastructure and Driver-Vehicle Interfaces for an Intersection Violation Warning System. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. Vol. 11(3), pp. 133-142.
- NTOUSAKIS, I., Nikolos, I. y Papageorgiou, M. (2015). On Microscopic Modelling of Adaptive Cruise Control Systems. *Transportation Research Procedia*. Vol. 6, pp. 111-127.
- RAGLAND, D. R. y Zabyshny, A. A. (2003). Intersection Decision Support Project: Taxonomy of Crossing-Path Crashes at Intersections using GES 2000 Data. *Safe Transportation Research & Education Center*.
- RAUH, E., Castelan, R. y Kraus, W. (2016). Intersection control for automated vehicles with MILP. *IFAC-PapersOnLine*. Vol. 49(3), pp. 37-42.
- REN, Y., Wang, Y., Wu, X., Yu, G. y Ding, C. (2016). Influential factors of red-light running at signalized intersection and prediction using a rare events logistic regression model. *Accident Analysis and Prevention*. Vol. 95, pp. 266-273.
- SHAHZAD, M. y Ranjitkar, P. (2009). Capacity Analysis of Signalised Intersection using Microsimulation. Auckland, New Zealand: 32nd Australasian Transport Research Forum: the growth engine: interconnecting transport performance, the economy and the environment.
- SUMMALA, H. (1996). Accident risk and driver behavior. *Safety Science*. Vol. 22, pp. 103-117.
- TAY, R. y Rifaat, S.M. (2007). Factors contributing to the severity of intersection crashes. *Journal of Advanced Transportation*. Vol. 41(3), pp. 245-265.
- VILARINHO, C., Soares, G., Macebo, J., Tavares, J y Sossetti, R. (2014). Capability-enhanced AIMSUN with Real-time Signal Timing Control. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. Vol. 111, pp. 262-271.
- VILARINHO, C. y Tavares, P. (2014). Real-time Traffic Signal Settings at an Isolated Signal Control Intersection. *Transportation Research Procedia*. Vol. 3, pp. 1021-1030.
- VOGT, A. (1999). Crash Models for Rural Intersections: Four-Lane by Two-Lane Stop Controlled and Two-Lane by Two-Lane signalized. Federal Highway Authority. (FHWA report 99-128). Washington D.C.: FHWA.
- YAN, F., Li, B., Zhang, W. y Hu, G. (2016). Red-light running rates at five intersections by road user in Changsha, China: An observational study. *Accident Analysis and Prevention*. Vol. 95, pp. 381-386.
- YAN, X., Radwan, E. y Abdel-Aty, M. (2005). Characteristics of rear-end accidents at signalized intersections using multiple logistic regression model. *Accident Analysis and Prevention*. Vol. 37, pp. 983-995.



EVOLUCIÓN DE LA COMPRESIBILIDAD EN EL TIEMPO DE UN SUELO ARCILLOSO CONTAMINADO CON DIÉSEL

Evolution of the compressibility over time of a clay soil
contaminated with diesel

Laura Yessenia Cabello Suárez¹, María de la Luz Pérez Rea¹, Christian Eduardo
Hernández Mendoza², Eduardo Rojas¹, Roberto Galaviz González¹

¹División de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Querétaro

²Conacyt, Universidad Autónoma de Querétaro,
División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería.

Autor de correspondencia
cabello.lauray@gmail.com

RESUMEN

El problema de los suelos contaminados se ha agudizado en los últimos años, debido al gran incremento de accidentes por derrames, fugas y tomas clandestinas de hidrocarburos, los cuales han dañado al ambiente. Estos fenómenos modifican las propiedades del suelo tanto físicas, químicas y biológicas, así como también afectan las aguas subterráneas, ya que en los suelos arenosos, limosos o una combinación de ellos, el contaminante llega fácilmente a los mantos acuíferos. Contrario al caso de las arcillas, el contaminante queda atrapado dentro de los vacíos del suelo.

En México se han llevado a cabo distintos estudios sobre los cambios en las propiedades físicas y mecánicas, causados por la presencia de algún contaminante, de suelos finos. Estos contaminantes producen a su vez alteraciones en sus propiedades ingenieriles tales como características de deformabilidad, resistencia al corte y permeabilidad. Dicha información no se puede generalizar ya que cada región posee una diversidad en climas y tipología de suelos. En este trabajo se presenta una comparativa de la compresibilidad de un suelo arcilloso (CH) contaminado con diésel. La compresibilidad se presenta a distintos tiempos de envejecimiento: nulo (cero), uno y tres meses después de la contaminación. Estos valores se obtuvieron a partir de ensayos edométricos. Se estableció un contenido de diésel del 12.37% en su peso seco del suelo. Los resultados muestran una reducción del 17% en el coeficiente de compresibilidad conforme avanza el tiempo de envejecimiento, provocando que el suelo contaminado sea menos compresible que el suelo natural.

Palabras clave

Suelo contaminado, diésel, coeficiente de compresibilidad, contaminante, geotecnia ambiental

ABSTRACT

The problem of contaminated soils has been aggravated in recent years due to the large increase in accidental spills, leaks, and clandestine taps, which damage the environment. This phenomenon generates a change in physical, chemical, mechanical and biological properties of soils, as well as affections to groundwater. For example, in sandy and silty soils or a combination of them, the contaminant reaches easily the aquifer. Instead, in the case of clays, most of the contaminant remains trapped within the soil voids.

In México, studies have been carried out on the modification of physical and mechanical properties due to the presence of some pollutants in fine soils. These pollutants cause changes in the engineering properties of soils such as compressibility, strength, and permeability. However, this information cannot be generalized because each region has diversity in soil type. In this paper a comparative study in the compressibility of a clayey (CH) contaminated with diesel is performed. The compressibility at different aging times: null (zero), one, and three months after the soil was contaminated is presented. These values were obtained from oedometric tests. The content of diesel was established at 12.37% with respect to the dry mass of the soil. The results showed a 17% reduction in the coefficient of compressibility as the aging time progressed, causing the contaminated soil to be less compressive than the natural soil.

Keywords

Contaminated soil, diesel, coefficient of compressibility, contaminant, environmental geotechnics.

INTRODUCCIÓN

La actividad de exploración, perforación, refinación y transformación del petróleo causa contaminación terrestre y marina. Estas actividades



producen pérdida de la diversidad biológica y de ecosistemas que sirven de sostén al equilibrio ecológico, alteración del estado físico y químico de los suelos y del aire, así como degradación de la calidad del agua. Los hidrocarburos representan una fuente importante de contaminación en México, ya que este país es uno de los principales productores y exportadores de petróleo y sus derivados (Jacott *et al.*, 2011). En los últimos años ha existido un incremento en accidentes relacionados con hidrocarburos, los cuales han sucedido por accidentes carreteros, fugas en los tanques de almacenamiento o líneas de conducción y tomas clandestinas (Alvarez *et al.*, 2002). En cuanto a esto, la pluma de contaminación también depende de la composición química del contaminante y de las propiedades del suelo (Khamehchian *et al.*, 2007).

Al respecto, el petróleo y sus derivados han contaminado al medioambiente específicamente a los suelos, provocando una alteración en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Fallah *et al.*, 2015). Cuando los suelos son arenosos, limosos o una combinación de ellos, el contaminante llega fácilmente a los acuíferos. Contrario al caso de las arcillas, el contaminante queda atrapado dentro de los vacíos del suelo. Por lo que el comportamiento del suelo, ante la presencia de algún fluido, dependerá de la estructura del suelo y su mineralogía, así como también de las propiedades fisicoquímicas del fluido: la concentración de electrolitos, el tipo de iones y valencia, la absorción de aniones, el pH, la constante dieléctrica y la temperatura, entre otros factores (Meegoda y Ratnaweera, 1994).

Las interacciones fisicoquímicas en los suelos han sido expresadas cualitativamente por la teoría de la doble capa difusa. La reducción de ésta produce una estructura floculada, mientras que un aumento da como resultado una estructura dispersa. Este cambio en la estructura del suelo causa alteraciones en sus propiedades de ingeniería, tales como deformabilidad, resistencia al corte, permeabilidad, y potencial de expansión (Meegoda y Ratnaweera, 1994). Singh *et al.* (2008) observan que, entre más pequeña sea la

partícula de suelo, más sensibilidad tendrá para interactuar con el contaminante.

Antecedentes

Los suelos reaccionan ante la presencia de un líquido distinto al agua y en función de la mineralogía del suelo. Las arcillas con una gran cantidad de mineral montmorillonita serán potencialmente más sensibles a la adsorción e interacción con los contaminantes que la illita y kaolinita (Singh *et al.*, 2008). Una cuestión importante que se debe de tomar en cuenta es que los efectos causados por la contaminación del suelo son, en general, a largo plazo, y en ocasiones las consecuencias no se detectan de inmediato, por lo que los riesgos potenciales pueden tardar décadas en manifestarse con efectos de gran magnitud (Rahman *et al.*, 2011). Al respecto, diversos estudios han evaluado cómo los contaminantes, en especial el petróleo y sus derivados, afectan al suelo. Dichas investigaciones buscan, de esta manera, recuperar los sitios contaminados, dejándolos en estado de servicio para la sociedad por medio de técnicas de remediación ambientales del suelo o, en su caso, para poder estimar los asentamientos diferenciales en una obra civil que pudieran originarse debido a una contaminación del subsuelo.

Meegoda y Ratnaweera (1994) investigaron la compresibilidad en suelos tipo caolín contaminados con distintos fluidos orgánicos: propanol y glicerol, y encontraron que, además de la naturaleza del líquido presente en los poros, la constante dieléctrica y la viscosidad del fluido repercuten en la magnitud del índice de compresibilidad del suelo contaminado. Por otro lado, Singh *et al.* (2008) propusieron una ecuación modificada para predecir el índice de compresibilidad de un suelo contaminado. Para ello realizaron una serie de experimentos en dos tipos de arcilla secas: de alta y baja compresibilidad (CH y CL), cada una fue sometida a distintas concentraciones (3%, 6% y 9%) de petróleo, diésel, gasolina y keroseno. Los resultados muestran para ambos casos un incremento en el índice de compresibilidad

conforme se aumenta el contaminante al suelo, a excepción de cuando al suelo se le aplica keroseno, asimismo, se observa una disminución en el valor del coeficiente de consolidación del suelo contaminado. Ur-Rehman *et al.* (2007) compararon las propiedades geotécnicas de una arcilla no contaminada y contaminada (con petróleo), mostrando en los resultados que la segunda se comporta como un material con menos cohesión debido a la formación de aglomerados. Por consiguiente, el suelo contaminado mostrará afectación en su plasticidad y capacidad de intercambio catiónico (CEC). Adicionalmente indican que el índice de compresibilidad del suelo contaminado se incrementa al triple por efecto de la creación de una estructura abierta hecha por petróleo.

Izdebska y Trzcinski (2008), a través del software STIMAN, realizaron un análisis cuantitativo de fotografías en microscopio de un barrido de una arcilla formado bajo un glacial y causado por la contaminación *in situ* del diésel. Los resultados muestran cambios en su microestructura; aumentaron el empaquetamiento de partículas y el tamaño de los mesoporos. Finalmente, concluyen que la arcilla contaminada con diésel se vuelve más isotrópica y que los cambios que existen pueden deberse a una reducción en las fuerzas de atracción entre las partículas de suelo y el fluido, ya que el fluido es caracterizado por una constante dieléctrica más baja que la del agua.

Kermani y Ebadi (2012) estudiaron una arcilla con humedad natural, contaminada con petróleo, y con un envejecimiento de tres meses

ensayándola en concentraciones de 0%, 4%, 8% y 12%. Los resultados, respecto a los límites de consistencia del suelo contaminado, permiten observar que estos se incrementan conforme se va añadiendo la concentración de petróleo. En cuanto al índice de compresibilidad, éste aumenta con el incremento del contaminante, provocando que el suelo se comprima más en comparación con el suelo sin contaminar, por lo que se concluye que este comportamiento se atribuye al efecto de lubricación que tiene el petróleo en la partícula de arcilla.

En referencia a lo anterior no se ha profundizado tanto en la influencia que tiene el contaminante sobre el suelo, en términos de asentamiento ya que, de acuerdo con la literatura, los autores se enfocan más en la influencia que tiene el suelo químicamente que en la conductividad hidráulica (Singh *et al.*, 2008).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de ensayos edométricos hechos a una arcilla de alta compresibilidad (CH) seca, tanto contaminada, con un contenido de diésel de 12.37%, como sin contaminar. Se analiza el cambio en el valor del coeficiente de compresibilidad del suelo natural respecto al contaminado a diferentes tiempos de envejecimiento: nulo (cero), uno y tres meses.

METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo se extrajeron muestras alteradas de suelo arcilloso de alta



Figura 1. Localización geográfica del sitio de extracción del suelo en estudio (Google Earth, 2017)



compresibilidad (CH) a una profundidad de 2.50 m, la extracción del material se hizo a través de un pozo a cielo abierto (PCA), procedimiento descrito en la norma mexicana NMX-C431-ON-NCCE-2002. El predio se ubica en el fraccionamiento Santa Fe, municipio de Corregidora, Querétaro, sus coordenadas geográficas son $100^{\circ} 26' 50.55''\text{O}$ y $20^{\circ} 35' 10.65''\text{N}$. Cabe mencionar que dicho predio no se encuentra contaminando por ningún líquido ni sustancia, por lo que la extracción de material se realizó en su condición natural.

Determinación del coeficiente de compresibilidad (C_c)

El coeficiente de compresibilidad (C_c) representa la pendiente del tramo virgen en una curva de compresibilidad del suelo, la cual está construida por el esfuerzo aplicado (Log P) versus la relación de vacíos (e). Un C_c alto caracteriza al suelo como muy compresible (susceptible a asentamientos), mientras que un C_c bajo será menos compresible (tiene pequeños asentamientos observados).

Coeficiente de compresibilidad del suelo natural

Para la construcción de la curva de compresibilidad y para la prueba edométrica se siguió el proceso descrito en la norma ASTM D 4546-08 realizando el ensayo mediante el método B. El suelo fue remoldeado en el anillo de consolidación con un peso específico seco de la muestra $\gamma_d = 12.45 \text{ kN/m}^3$, enseguida se prosiguió a realizar el montaje del espécimen en el consolidómetro, nivelando el brazo de palanca y el marco de carga. Cabe mencionar que el proceso de remoldeo del espécimen se llevó a cabo a través de una prensa manual (forma estática) donde no se tiene controlada la energía con la que realiza el remoldeo, sólo se controla el valor del peso específico seco de la muestra. Finalmente, es colocado el primer esfuerzo correspondiente a la carga de sitio $P = 50 \text{ kPa}$ (0.50 kg/cm^2) sobre el brazo de palanca. Al colocar la carga de sitio se efectuó el proceso de saturación del espécimen

por capilaridad. Para un proceso típico de consolidación después de la carga de sitio, los esfuerzos aplicados son: 100 kPa (1.0 kg/cm^2), 200 kPa (2.0 kg/cm^2), 400 kPa (4.0 kg/cm^2), 600 kPa (6.0 kg/cm^2) y así sucesivamente hasta llegar a abatir la presión de expansión si es el caso.

Una vez que se termina el proceso de colocación de carga se comienza el proceso de descarga. De acuerdo con la colocación de la carga, saturación o descarga (según sea el caso), se comienzan a tener lecturas de deformación, las cuales se toman cada 2 s, 5 s, 10 s, 15 s, 30 s, 1 min, 2 min, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, y 24 h hasta que la lectura de deformación permanece constante. Las curvas de consolidación (o expansión) fueron obtenidas por cada incremento de carga y la curva de compresibilidad del suelo fue construida con el esfuerzo aplicado (Log P) y la relación de vacíos (e).

Coeficiente de compresibilidad del suelo contaminado con diésel

Para este caso, se agregó un contenido de diésel $w_{di} = 12.37\%$ correspondiente a un grado de saturación $G_w = 60\%$ al suelo natural en su peso seco. Para ello se reprodujo el peso específico seco de la muestra y el diésel se obtuvo de Petróleos Mexicanos (PEMEX), de la estación 4127 Universidad, Santiago de Querétaro, Qro., México. Este hidrocarburo es considerado como fracción media y tiene una densidad de 8.32 kN/m^3 . Cuando se obtuvo el suelo contaminado se colocó el peso necesario para remodelarlo en el anillo de consolidación en frascos herméticos dejándolos a diferentes tiempos de reposo: nulo (cero), un mes y tres meses. Para cada tiempo de envejecimiento se realizaron tres pruebas edométricas, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado "Coeficiente de compresibilidad del suelo natural", para el suelo natural tanto saturación como carga y descarga. Con las curvas de consolidación (o expansión), obtenidas por cada incremento de carga, la curva de compresibilidad del suelo fue construida con el esfuerzo aplicado (Log P) y la relación de vacíos (e).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la prueba edométrica del suelo natural y del contaminado con diésel se detallan a continuación. La Figura 2 muestra la curva de compresibilidad del suelo natural (sin contaminante), en la cual se exponen claramente los tramos de recompresión virgen y descarga. En cuanto a esto se distingue que el proceso de remoldeo del espécimen genera que la relación de vacíos inicial sea de 1.081. Asimismo se observa que, al colocar el primer incremento del esfuerzo, correspondiente a la carga de sitio (50 kPa) y dejarlo hasta la deformación constante, la relación de vacíos disminuye a 1.047. Lo anterior significa que el suelo ha llegado a la relación de vacíos real, la que poseía en condiciones *in situ*, justo antes de haber sido extraído.

En la etapa de saturación, el suelo sufre un incremento en su relación de vacíos (1.481), bajo

el mismo esfuerzo de sitio de 50 kPa, por un cambio de volumen y por su gran capacidad de adsorción de agua en condición seca. Se realizó el proceso de carga, mediante los incrementos de esfuerzo, cada uno de ellos se dejó hasta obtener una deformación constante. A causa de la colocación de los esfuerzos desde 50 kPa hasta 550 kPa, el suelo revela su tramo de recompresión, en cual se aprecia un decremento en su relación de vacíos de 1.480 hasta 1.325. A partir de la aplicación de 550 kPa hasta 2500 kPa, el tramo virgen es notable; la relación de vacíos pasó de 1.325 a 0.999. Por otro lado, la pendiente del tramo virgen de la curva de compresibilidad representa el coeficiente de compresibilidad y manifiesta un valor de $C_c = 0.4960$ (línea punteada).

Ahora bien, para la realización de la curva de compresibilidad del suelo contaminado de cada tiempo de envejecimiento se retomaron las de la repetición 2 y 3, ya que los resultados muestran

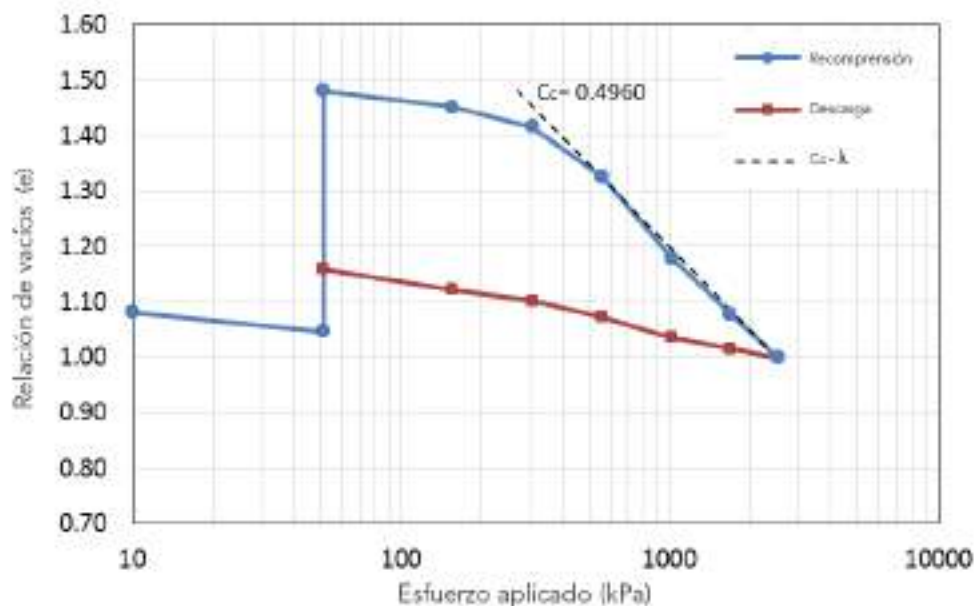


Figura 2. Curva de compresibilidad del suelo natural (no contaminado)



un comportamiento más parecido en comparación con la repetición 1. Es así que la Figura 3 exhibe la curva de compresibilidad promedio del suelo contaminado a nulo envejecimiento (0 meses) en donde se nota que la relación de vacíos obtenida después del remoldeo fue de 0.991, sin embargo, cuando el esfuerzo de sitio es aplicado (50 kPa), la relación de vacíos decrece a un valor de 0.974. De forma consecuente, el suelo contaminado es sometido al proceso de saturación con agua, donde se observa que la relación de vacíos sufrió un aumento, pasó de 0.974 a 1.393.

Hasta este momento cabe mencionar que el suelo natural experimenta un mayor incremento de volumen durante el proceso de saturación respecto al suelo contaminado, ya que la presencia del contaminante, una vez que el agua entra en el suelo, desplaza una cantidad de diésel para tomar al agua. Sin embargo, no desplaza la necesaria para llegar a aumentar su volumen como lo hace con el espécimen en su condición seca.

Al continuar con el proceso de carga (compresión), por medio el incremento de los esfuerzos aplicados al espécimen, se logra observar claramente que la pendiente del tramo virgen de la curva de compresibilidad (véase Figura 3), también llamado el coeficiente de compresibilidad (C_c), posee un valor de 0.4624 para el caso del suelo contaminado a nulo (0 meses) envejecimiento.

En la Figura 4 se muestra la curva de compresibilidad promedio del suelo contaminado a un mes de envejecimiento. Se nota que la relación de vacíos de 0.987 nuevamente fue obtenida después de realizar el proceso de remoldeo. Tiempo después de haber colocado el esfuerzo de sitio, disminuyó el volumen del espécimen, con ello, se manifestó la reducción de la relación de vacíos hasta alcanzar el valor $e=0.913$. Seguidamente, el suelo contaminado experimentó un incremento de volumen por el proceso de saturación con agua, llegando a una relación de vacíos $e=1.165$.

Una vez terminado el proceso de saturación, el suelo natural alcanzó una relación de vacíos de 1.481 (véase Figura 1), mientras que el suelo contaminado a un envejecimiento nulo fue de $e=1.393$ y a un envejecimiento de 1 mes llegó a $e=1.165$. Con lo anterior se visualiza notablemente que el incremento de volumen por saturación del suelo disminuye conforme el envejecimiento aumenta. Esto se debe a que el suelo contaminado a cierto grado de envejecimiento pierde atracción por el agua, debido a la impregnación del contaminante en las partículas de suelo.

Por otra parte, el tramo virgen de la curva de compresibilidad promedio del suelo contaminado a 1 mes de envejecimiento se expone clara-

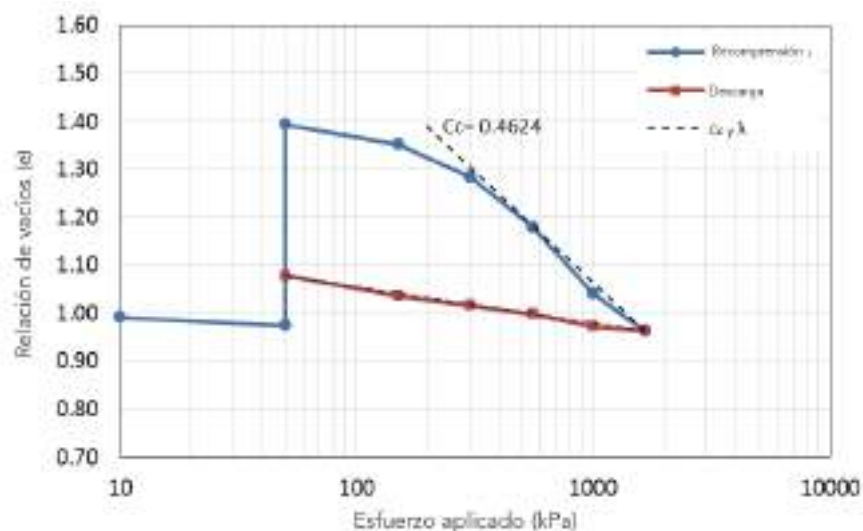


Figura 3. Curva de compresibilidad del suelo contaminado a 0 meses de envejecimiento

mente en la Figura 4, donde se observa que el valor de su pendiente ($C_c=0.4397$) disminuye en comparación con el suelo natural y con el contaminado a nulo envejecimiento.

Finalmente, la Figura 5 indica una relación de vacíos de 0.991 después de remoldear el espécimen. Una vez colocado el esfuerzo de sitio, la relación de vacíos se reduce a $e=0.962$. Cuando el espécimen es contaminado y envejecido a 3 meses, es sometido al proceso de saturación con agua, sufriendo un incremento importante en su

volumen ($e=1.422$) y provocando de nuevo que el suelo tenga una mayor atracción con el agua, por lo tanto el contaminante es desplazado.

La Figura 5 hace evidente que el valor de la pendiente del tramo virgen es $C_c=0.4115$, es decir, que su magnitud es menor respecto a los ensayos anteriores (nulo y de 1 mes de envejecimiento), lo que significa que el suelo contaminado se vuelve menos compresible, es decir, tendrá menor capacidad para deformarse bajo esfuerzos de compresión.

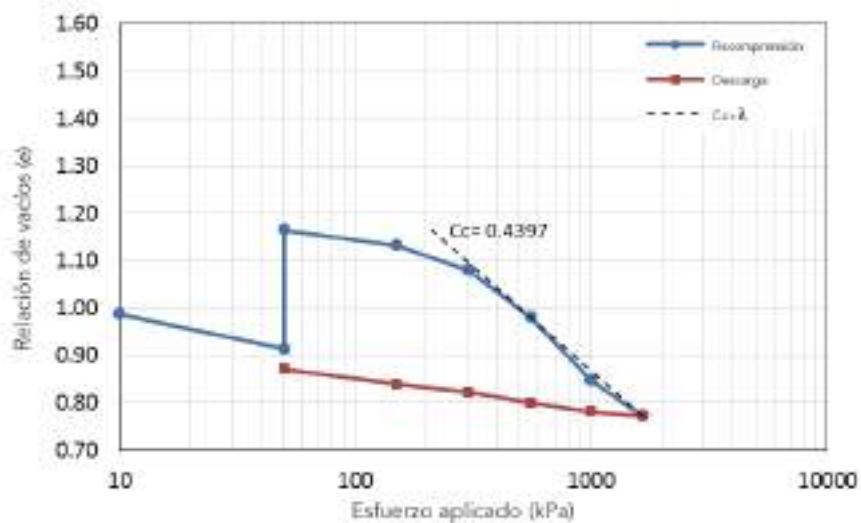


Figura 4. Curva de compresibilidad del suelo contaminado a 1 mes de envejecimiento

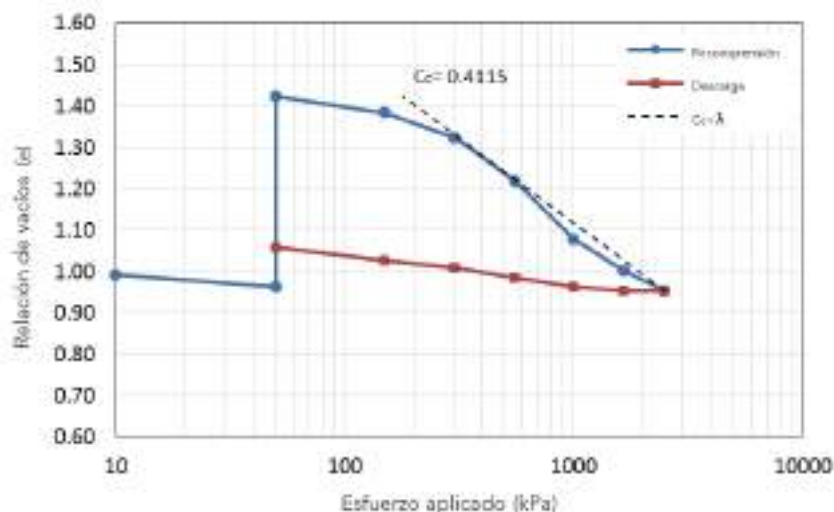


Figura 5. Curva de compresibilidad del suelo contaminado a 3 meses de envejecimiento



Al realizar una comparativa de las curvas de compresibilidad, obtenidas del suelo natural y contaminado a distintos tiempos de envejecimiento (véase Figura 6), se percibe que el suelo más compresible es el suelo natural por tener un mayor índice ($C_c=0.4960$) mientras que, conforme el envejecimiento incrementa, el C_c del suelo expuesto a contaminación va disminuyendo. En consecuencia, al considerar que el suelo contaminado a 0 meses presenta un $C_c=0.4624$, el de un mes un $C_c=0.4397$ y el de 3 meses un $C_c=0.4115$, se vislumbra que, por el aumento del tiempo de

envejecimiento, este tipo de suelo se vuelve más rígido (menos compresible). Por ende, se concluye que el suelo contaminado a 3 meses se vuelve menos compresible (véase Figura 7).

Los hidrocarburos se caracterizan por ser un fluido no polar, por lo que, al estar en contacto con el suelo, su estructura y textura se ve modificada. El suelo pierde propiedades de plasticidad y por ende también cohesión, dicha conclusión coincide con la investigación realizada por Ur-Rehman et al. (2007) sobre una arcilla contaminada con petróleo. Sin embargo, estos mismos auto-

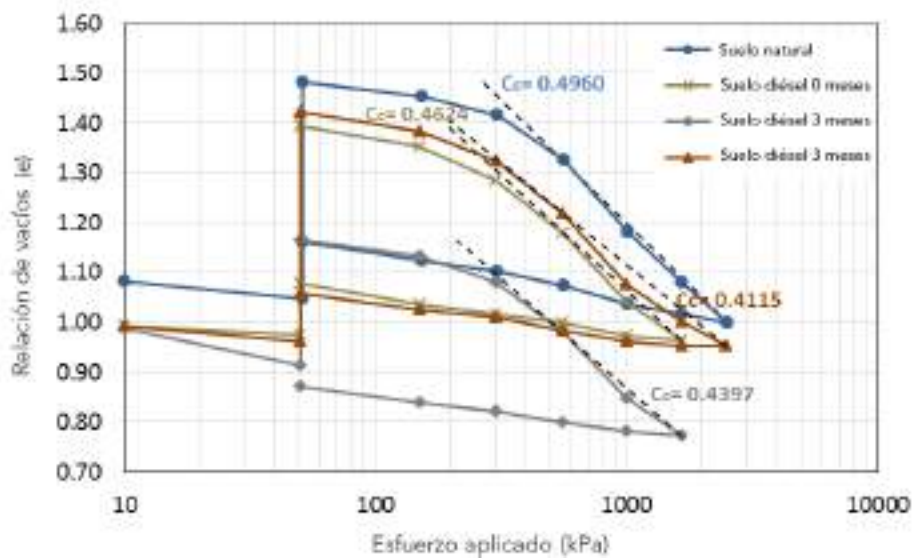


Figura 6. Comparativa de las curvas de compresibilidad del suelo natural y contaminado a nulo, 1 y 3 meses de envejecimiento

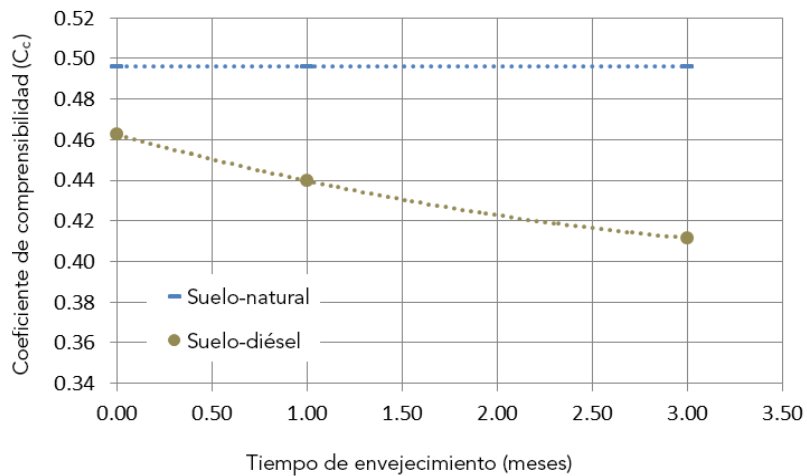


Figura 7. Comparativa del coeficiente de compresibilidad entre el suelo natural y el contaminado a nulo, 1 y 3 meses de envejecimiento

res comentan que cuando la arcilla tiene vínculo con petróleo, el índice de compresibilidad incrementa, provocando que el suelo contaminado se vuelva más deformable que el no contaminado debido a la creación de una estructura abierta a causa del contaminante. Este efecto no puede ocurrir ya que, la interacción del suelo con cualquier tipo de hidrocarburo es mucho menor que su interacción con el agua. Por lo tanto, no puede modificar su estructura y aumentar los vacíos.

El cambio en la relación de vacíos se puede atribuir a la acción de los microorganismos sobre el contaminante a lo largo del tiempo. Inicialmente, el suelo natural está asociado con una comunidad microbiana, la cual se expone a la acción del contaminante, alterando de cierta forma su equilibrio ecológico y metabólico. Por lo tanto, se lleva a cabo un proceso de selección natural con base en la disponibilidad de los nutrientes existentes en el medio, que en este caso quedan representados por el hidrocarburo empleado para contaminar el suelo. Durante este periodo de selección y adaptación del consorcio microbiano en el nuevo medio, las partículas de arcilla quedan recubiertas por el hidrocarburo, por lo que su interacción con el agua se ve limitada. Conforme se desarrolla el proceso de aclimatación de los microorganismos en el nuevo ambiente, estos comienzan a adaptarse al consumo del hidrocarburo como fuente de carbono e inicia un proceso de reducción de la concentración del contaminante presente en el medio (atenuación natural). Debido a esto, el espesor de la capa que recubre a las partículas de arcilla comienza a disminuir y, por ende, se tiene una recuperación del volumen de vacíos del suelo.

Aunado a esto y derivado de la contaminación del suelo, se puede formar una estructura floculada (Meegoda y Ratnaweera 1994), ya que las partículas de suelo generan aglomerados por efecto de la contaminación. Lo anterior se debe al cambio de la distribución de las fuerzas de atracción y repulsión intermoleculares, representadas en este caso por las fuerzas de Vander Waals-London, las cuales se ven afectadas por la constante dieléctrica (ϵ) que indica la capaci-

dad de un medio para conducir electricidad y depende del fluido presente en el suelo natural (agua, $\epsilon=80.3$) y en el suelo contaminado (diésel, $\epsilon=2.1$). Por lo que, al disminuir el valor de la constante dieléctrica y/o del pH del suelo, se promueve la formación de flóculos.

CONCLUSIONES

El diésel, al contaminar el suelo, reduce su compresibilidad. Esta reducción se favorece conforme aumenta el tiempo de envejecimiento, de tal manera que, a 3 meses de contaminación, la reducción del coeficiente de compresibilidad es del 17% con respecto al valor del suelo natural. Así el suelo contaminado se vuelve menos deformable que el suelo natural al avanzar el tiempo de contaminación. Sin embargo, de ninguna manera se puede indicar que el diésel podría actuar como agente estabilizador, ya que se debe de evitar de cualquier manera la contaminación al medio.

Por otro lado, a cero y un mes de envejecimiento, la expansión disminuyó respecto a la muestra natural. Este fenómeno fue revertido a los tres meses de envejecimiento a causa de la presencia de microorganismos. Zabbey *et al.* (2017) detectaron que, por la adición del diésel en el suelo, éste proporciona una fuente de carbono lo que propicia el crecimiento y activación de una comunidad microbiana. Asimismo, Alrumman *et al.* (2015) vislumbran que dichos microorganismos tienen la capacidad de degradar la película de contaminante que recubre a las partículas de arcilla, permitiendo que las moléculas de agua nuevamente provoquen un incremento de volumen en el suelo. Lo anterior conduce a que la expansión se revierta en un lapso de tres meses. Cabe mencionar que existen técnicas de remediación, en donde se usan los microorganismos para degradar la contaminación de sitios por algún tipo de hidrocarburo. Es así que se recomienda continuar con esta línea de investigación, ya que se deben de abordar, además de aspectos fisicoquímicos y mecánicos del suelo, aspectos biológicos.



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el financiamiento a la becaria y por el equipo adquirido con fondos del proyecto de Infraestructura 270161 y a la Universidad Autónoma de Querétaro por el apoyo brindado.

REFERENCIAS

- Alrumman, S. A., Standing, D. B., y Paton, G. I. (2015). Effects of hydrocarbon contamination on soil microbial community and enzyme activity. *Journal of King Saud University - Science*. Vol. 27(1), pp. 31-41. doi:10.1016/j.jksus.2014.10.001
- Alvarez, A., Martínez, G. E., Flores, M. A. y Garnica, P. (2002). *Metodología para saneamiento de acuíferos profundos por derrame de hidrocarburos*. Querétaro.
- FALLAH, M., Shabanpor, M. y Ebrahimi, S. (2015). Evaluation of petroleum impacts on some properties of loamy sand soil with the main focus on hydraulic properties. *Environmental Earth Sciences*. Vol. 74(6), pp. 4751-4762. doi:10.1007/s12665-015-4458-8
- GOOGLE Earth. (2017).
- IZDEBSKA, D. y Trzcinski, J. (2008). *Effects of petroleum pollution on clay soil microstructure*. *Geologija*. Vol. 50, pp. 68-75. doi:10.2478/v10056-008-0027-0
- JACOTT, M., Arias, J. M., Ireta, H. y Franco, A. (2011). Impactos de la actividad petrolera en la salud humana y el ambiente. Proyecto México Tóxico Etapa Tabasco. Fronteras comunes y Asociación. Ecológica Santo Tomás. México.
- KERMANI, M. y Ebadi, T. (2012). The Effect of Oil Contamination on the Geotechnical Properties of Fine-Grained Soils. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*. Vol. 21(5), pp. 655-671. doi: 10.1080/15320383.2012.672486
- KHAMEHCHIYAN, M., Hossein, A. y Tajik, M. (2007). Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering Geology*. Vol. 89(3-4), pp. 220-229. doi:10.1016/j.eng-geo.2006.10.009
- MEEGODA, N. J. y Ratnaweera, P. (1994). Compressibility of contaminated fine-grained soils. *Geotechnical Testing Journal*. Vol. 17(1), pp. 101-112. doi:10.1520/GT-J10078J
- RAHMAN, Z. A., Hamzah, U. y Binti, N. A. (2011). *Engineering geological properties of oil contaminated granitic and metasedimentary soils*. *Asian Journal of Applied Sciences*. Vol. 3(4), pp. 293-300.
- SINGH, S. K., Srivastava, R. K. y John, S. (2008). Settlement Characteristics of Clayey Soils Contaminated with Petroleum Hydrocarbons. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*. Vol. 17(3), pp. 290-300. doi:10.1080/15320380802007028
- UR-REHMAN, H., Abduljauwad, S. N. y Akram, T. (2007). Geotechnical behavior of oil-contaminated fine-grained soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. Vol. 12A, 15-23.
- ZABBEY, N., Sam, K. y Onyebuchi, A. T. (2017). *Remediation of contaminated lands in the Niger Delta, Nigeria: Prospects and challenges*. *Science of The Total Environment*. Vol. 586, pp. 952-965. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.02.075

APLICACIÓN DE CONSORCIOS MICROBIANOS EN LA AGRICULTURA

Application of microbial consortia in agriculture

Betsie Martínez Cano¹, Genaro Martín Soto Zarazúa¹

Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia
betsiemtz@gmail.com

RESUMEN

La agricultura se enfrenta a varios problemas que deben ser atendidos, tales como la falta de fijación de nutrientes, la mala calidad y la enfermedad de los cultivos, ya que afectan de manera directa su rendimiento. Por este conflicto agrícola se han desarrollado diferentes métodos para solucionarlos. Uno de estos son los consorcios microbianos que se pueden entender como la combinación de microorganismos benéficos, algunos de ellos son: fitoestimulantes, biofertilizantes y agentes de biocontrol. La importancia de la combinación de estos microorganismos radica en que se puede aprovechar la suma de las acciones de cada uno de estos para dar como resultado un aumento en el rendimiento y calidad de los cultivos, tomando en cuenta factores como el comensalismo, la competencia, la depredación, la falta de interacción, la cooperación y el amensalismo.

Palabras clave

Conorcios microbianos, fijadores de nitrógeno, promotores de crecimiento, antipatogénicos

ABSTRACT

Agriculture has several problems that need to be solved, such as the lack of nutrient fixation, poor quality and diseases of crops because they affect directly their yield. Therefore, different methods have been developed to solve them, including microbial consortia. The combination of beneficial microorganisms such as phytoestrogens, biofertilizers and biocontrol agents can be defined as a microbial consortium. The importance of the combination of these microorganisms is that, adding their actions results in an increase of the yield and quality of the crops taking into consideration factors such as commensalism, competition, predation, lack of interaction, cooperation and amensalism.

Keywords

Microbial consortium, nitrogen fixers, growth promoters, antipathogens

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la agricultura se enfrenta al reto de producir una mayor cantidad de alimentos para satisfacer la creciente demanda de la población, minimizando el costo de mano de obra (FAO, 2009). Es por ello que el uso de nuevas tecnologías, en este sector, se está enfocando en una explotación racional de los recursos naturales, aplicando medidas para la preservación del medioambiente (Grageda *et al.*, 2012).

Para contrarrestar el efecto de la rápida pérdida de la calidad ambiental a la que se enfrenta, se han propuesto diferentes estrategias. Una de ellas es la llamada agricultura sustentable (Creus, 2017) que tiene como objetivo lograr un alto rendimiento por unidad de superficie y satisfacer la demanda creciente de alimentos (Grageda *et al.*, 2012), por medio de la disminución del uso de productos químicos y el aumento, en su lugar, de recursos biológicos (Creus, 2017), como son los consorcios microbianos. Estos son una combinación de microorganismos benéficos: fitoestimulantes, biofertilizantes y agentes de biocontrol utilizados en las prácticas agrícolas (Sharma *et al.*, 2017). Los microorganismos y su actividad determinan la disponibilidad de nutrientes e influyen significativamente en la salud y productividad de las plantas (Jeffries *et al.*, 2002; Singh *et al.*, 2015). Sin embargo, la compatibilidad entre diferentes cepas necesita ser cuidadosamente determinada (Roberts, 2005).

INGENIERÍA DE LA RIZOSFERA

Los consorcios microbianos en la rizosfera benefician el crecimiento vegetal por el aumento de absorción de nitrógeno y fósforo, lo cual se traduce en un incremento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo y se refleja en la biomasa y la supervivencia de las plantas (Matías *et al.*, 2009). Además se ve expresado en la potenciación de los efectos supresores de enfermedad y en la estimulación del crecimiento vegetal (Cano, 2011). Dentro de los mecanismos que



presentan los consorcios microbianos se pueden encontrar los promotores de crecimiento, fijadores de nitrógeno y antipatogénicos.

Ingeniería de la rizosfera a través de comunidades microbianas rizosféricas sintéticas

La bioingeniería de comunidades microbianas sintéticas enfocada en la promoción del crecimiento vegetal, la fijación del nitrógeno y la resistencia a enfermedades representa un desafío significativo, ya que se deben tener en cuenta diversos factores, tales como el comensalismo, la competencia, la depredación, la falta de interacción, la cooperación y el amensalismo (Ahkami et al., 2017). Además, se minimizan el parasitismo y la competencia, mientras se maximizan los efectos benéficos y la cooperación entre los microorganismos (Foster y Bell, 2012).

Promotores de crecimiento

Los microorganismos promotores de crecimiento de las plantas (PGPR) son rizobacterias capaces de colonizar las raíces de los cultivos y aumentar su crecimiento mediante diferentes mecanismos (Prasad y Babu, 2016), ya sea por fijación biológica del nitrógeno, producción de metabolitos en la planta y solubilización del fósforo (Criollo, 2012), así como por un aumento en la tasa de fotosíntesis (Zhang et al., 1996). Ante ello las interacciones benéficas planta-microorganismo en la rizosfera son determinantes para la salud de la planta y la fertilidad del suelo (Hamza et al., 1994; Glick, 1995; Hegazi y Fayes, 2003; Jeffries et al., 2003) y satisfacen la necesidad de reducir el aporte de nitrógeno para lograr una mayor eficiencia en la producción de cultivos (Dal Cortivo et al., 2017), ya que ofrecen una alternativa para reemplazar los fertilizantes químicos y suplementos (Prasad y Babu, 2016). Algunos de los microorganismos estudiados por sus cualidades para promover el crecimiento de las plantas son los del género *Pseudomonas* que han sido utilizados para mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Mohamed y Gomaa, 2012; Pi-

romyou et al., 2011), así como de *Brevibacillus*, el cual aumenta el crecimiento y biomasa de las plantas (Piromyou et al., 2011), y de *Paenibacillus* que es capaz de estimular los mecanismos de defensa de la planta, a través del lipopolipéptido paenimixina, y funciona como elicitor y antibacteriano (Selim et al., 2005).

Fijadores de nitrógeno

La fijación del nitrógeno es el proceso donde las bacterias de la rizosfera captan el gas nitrógeno (N_2), que está presente en la atmósfera, y lo convierten en amoníaco para las plantas (Tortora, 2007). Todos los microorganismos fijadores de nitrógeno poseen la enzima nitrogenasa que es la encargada de llevar a cabo esta reacción (Betancourt et al., 2008). La cantidad de nitrógeno fijado depende de la planta, el tipo de bacterias, el nitrógeno disponible en el suelo, el manejo del cultivo, el contenido de agua del suelo y sus propiedades químicas (Sainju, 2017). Entre las bacterias que han sido utilizadas como fijadoras de nitrógeno se encuentran *Rhizobium* que aumenta la nodulación y la producción en biomasa (Hannan et al., 2013), *Azotobacter*, en la cual se observa actividad hormonal y producción de enzimas que incrementan el crecimiento de las plantas (Abdel-Azies et al., 2014), *Burkholderia* que tiene la capacidad de fijar nitrógeno, promueve el crecimiento por su producción de elicitors y es utilizada en el biocontrol para algunos fitoparásitos (Bolívar et al., 2016), *Azospirillum* cuya inoculación aumenta el porcentaje de rendimiento en peso seco de los cultivos (Bilal et al., 2017), *cyanobacterias* que confieren propiedades químicas y mejoran el suelo de baja calidad (Kheirfam et al., 2017), *Rhodopseudomonas* y *Rhodobacter* las cuales fijan nitrógeno atmosférico y reducen la contaminación por metales en el suelo (Sakpirom et al., 2017), y actinomicetos que se presentan como fijadores de nitrógeno. No obstante, también se utilizan patógenos para el ser humano, como *Streptomyces* (Tamreihao et al., 2016; Dahal et al., 2017).

Antipatogénicos

Un antipatogénico es aquel microorganismo que interactúa antagónicamente con otro microorganismo y causa algún daño o enfermedad a la planta (Creus, 2017). La mayoría de los productos utilizados para el control biológico de patógenos de las plantas está elaborado a partir de bacterias, hongos, virus o nematodos y es agregado a un agroecosistema para limitar las enfermedades de las plantas (Lazarovits et al., 2014). El uso de estos productos es una alternativa para dar solución a la aparición de enfermedades fúngicas o bacterianas que atacan a las plantas y disminuyen los rendimientos agrícolas (Rojas et al., 2012). Actualmente se han utilizado bacterias como *Bacillus*, potente antagonista de *Fusarium tricinctum*, ya que forma una biopelícula en las raíces del cultivo para así protegerlas de infecciones (Zhang et al., 2014; Shen et al., 2015; Mansoori et al., 2013), *Enterobacter* (Abbas et al., 2014), *Burkholderia* utilizada para suprimir a *R. solani* en cultivos de algodón (Zaki et al., 1998) y *Pseudomonas* que protegen a los cultivos ante ciertos patógenos, disminuyendo el daño por la enfermedad (Byrne et al., 2005; Erdogan y Benlioglu, 2010; Mansoori et al., 2013). De la misma manera, actinomicetos y hongos como *Streptomyces* muestran un fuerte antagonismo hacia fitopatógenos fúngicos (Yuan y Crawford, 1995) y *Trichoderma*, posicionándose así como un agente eficaz de control biológico contra las enfermedades de ciertos cultivos (Hanson et al., 2000; Howell et al., 2012; Bae et al., 2016), respectivamente, para funciones antipatogénicas.

PRODUCTO DE LA INTERACCIÓN ENTRE LOS MECANISMOS DEL CONSORCIO MICROBIANO

Los consorcios microbianos están constituidos por la existencia de sinergia entre los microorganismos, la cual se entiende como las conexiones entre las acciones y puede ser influenciada cuando acciones procedentes de causas distintas se

refuerzan para provocar un resultado diferente (Gómez, 2013). En los ecosistemas naturales, la sinergia tiene un papel clave ya que influye en la productividad de las plantas, su nutrición y provee una mejor inhibición de los patógenos (Abd-Alla et al., 2014).

Actualmente en el área de la agricultura se han realizado varios estudios sobre la sinergia entre microorganismos, como el realizado por Ali et al. (2005) donde revisan la sinergia entre *Azotobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter* y *Pseudomonas* y se muestran rendimientos más altos en comparación con los fertilizantes químicos. Al respecto, la sinergia entre *Azotobacter* y hongos micorrízicos mejoran la altura de las plantas, así como el número y peso de los frutos (Paul et al., 2011). Por otra parte, *Azotobacter* y *Bacillus*, en referencia a la sinergia, mejoran el crecimiento y rendimiento de cultivos, al hacer una aplicación reducida de fertilizantes químicos (Yasmin et al., 2013). Hanan et al. (2013) comprueban la sinergia entre *Rhizobium* y *Trichoderma* y demuestran que se puede generar una mayor producción del cultivo, así como un aumento en el soporte de las plantas. Mientras que, a partir de la convivencia sinérgica entre *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter* y *Pseudomonas*, se obtiene una recuperación significativa del nitrógeno fijado biológicamente, así como una menor incidencia de patógenos, lo cual se ve reflejado en la productividad (Abbas et al., 2014). Además, *Azospirillum* y *Azotobacter* en sinergia han arrojado resultados benéficos como es el crecimiento de las plantas cuando se agrega nitrógeno inorgánico (Bilal et al., 2017). El consorcio de bacterias *Azospirillum*, *Azoarcus* y *Azorhizobium* mejora el crecimiento de raíces, aumenta la resistencia a la tensión ambiental y disminuye la pérdida de nitrógeno en el ecosistema agrícola (Dal Cortivo et al., 2017).

CONCLUSIONES

Para aminorar los problemas del sector agrícola de la actualidad es importante conocer el tipo de



microorganismos que favorecen la interacción sinérgica entre los mismos. Los microorganismos óptimos son aquellos que tienen la capacidad de fijar nitrógeno, los que hacen que la planta libere promotores de crecimiento y aquellos que ejercen antagonismo ante los fitopatógenos. Esta interacción entre diferentes microorganismos puede ser explorada aún más para lograr una adecuada fertilización del suelo y mejorar el rendimiento y calidad de los cultivos.

REFERENCIAS

- ABBAS, M., Hamza, M., Youssef, H., Youssef, G., Fayez, M., Monib, M. y Hegazi, N. (2014). *Bio-preparates support the productivity of potato plants grown under desert farming conditions of north Sinai: Five years of field trials. Journal of Advanced Research. Vol. 5*, pp. 41-48.
- ABD-ALLA, M. H., El-Enany, A. W. E., Nafady, N. A., Khalaf, D. M. y Morsy, F. M. (2014). Synergistic interaction of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* and arbuscular mycorrhizal fungi as a plant growth promoting biofertilizers for faba bean (*Vicia faba* L.) in alkaline soil. *Microbiological research. Vol. 169*(1), pp. 49-58.
- ABDEL-AZIES, S., Eweda, W., Girgis, M. y Abdel, B. (2014). *Improving the productivity and quality of black cumin (Nigella sativa) by using Azotobacter as N2 biofertilizer. Annals of Agricultural Science. Vol. 59*(1), pp. 95-108.
- AHKAMI, A., White, R. A., Handakumbura, P. P. y Jansson, C. (2017). *Rhizosphere engineering: Enhancing sustainable plant ecosystem productivity. Rhizosphere. Vol. 3*.
- ALI, S. M., Hamza, M. A., Amin, G., Fayez, M., El-Tahan, M., Monib, M. y Hegazi, N. A. (2005). *Production of biofertilizers using baker's yeast effluent and their application to wheat and barley grown in north Sinai deserts. Archives of Agronomy and Soil Science. Vol. 51*(6), pp. 589-604.
- BAE, S., Mohanta, T., Chung, J., Ryu, M., Park, G., Shim, S., Hong, S., Seo, H., Bae, D., Bae, I., Kim, J. y Bae, H. (2016). *Trichoderma metabolites as biological control agents against Phytophthora pathogens. Biological Control. Vol. 92*, pp. 128-138.
- BETANCOURT, D. A., Loveless, T. M., Brown, J. W. y Bishop, P. E. (2008). *Characterization of Diazotrophs Containing Mo-Independent Nitrogenase, Isolated from Diverse Natural Environments. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 74*, pp. 3471-3480.
- BILAL, M., Ayub, M., Tariq, M., Tahir, M. y Nadeem, M. (2017). Dry matter yield and forage quality traits of oat (*Avena sativa* L.) under integrative use of microbial and synthetic source of nitrogen. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. Vol. 16*, pp. 236-241.
- BOLÍVAR, H., Contreras, M. y Teherán, L. (2016). *Burkholderia tropica una bacteria con gran potencial para su uso en la agricultura. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. Vol. 19*(2), pp. 102-108.
- BYRNE, J., Dianese, A., Ji, P., Campbell, H., Cuppels, D., Louws, F., Miller, S., Jones, J. y Wilson, M. (2005). Biological control of bacterial spot of tomato under field conditions at several locations in North America. *Biological Control. Vol. 32*(3), pp. 408-418.
- CANO, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. *Una revisión. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica. Vol. 14*(2), pp. 15-31.

- CREUS, C. M. (2017). Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Revista Argentina de Microbiología*. Vol. 49(3), pp. 207-209.
- CRIOLLO, P.J., Obando, M., Sánchez, L. y Bonilla, R. (2012). Effect of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) associated to *Pennisetum clandestinum* in the altiplano cundiboyacense. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. Vol. 13(2), pp. 189-195.
- DAHAL, B., NandaKafle, G., Perkins, L. y Brözel, V. (2017). Diversity of free-living nitrogen fixing *Streptomyces* in soils of the badlands of South Dakota. *Microbiological Research*. Vol. 195, pp. 31-39
- DAL CORTIVO, C., Barion, G., Visioli, G., Marrarozzi, M., Mosca, G. y Vamerali, T. (2017). Increased root growth and nitrogen accumulation in common wheat following PGPR inoculation: Assessment of plant-microbe interactions by ESEM. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 247, pp. 396-408.
- ERDOGAN O. y Benlioglu K. (2010). *Biological control of Verticillium wilt on cotton by the use of fluorescent Pseudomonas spp. under field conditions*. *Biological Control*. Vol. 53(1), pp. 39-45.
- FAO. (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Cómo alimentar al mundo en 2050. Foro de Expertos de Alto Nivel.
- FOSTER, K. R. y Bell, T. (2012). *Competition, not cooperation, dominates interactions among culturable microbial species*. *Current Biology*. Vol. 22, pp. 1845-1850.
- GLICK, B.R. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*. Vol. 41, pp. 109-17.
- GÓMEZ, D. y Gómez, M. T. (2013). Evaluación de Impacto Ambiental. Mundi-Prensa Libros.
- GRAGEDA, O. A., Díaz, A., Peña, J. J. y Vera, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. Vol. 3(6), pp. 1261-1274.
- HAMZA, M.A., Youssef, H., Helmy, A., Amin, G. A., Fayez, M., Higazy, A., El-Khawas, H. M., Monib, M., Sedik, M. Z. y Hegazi, N. A. (1994). Mixed cultivation and inoculation of various genera of associative diazotrophs. The Sixth International Symposium on Nitrogen Fixation with Non-Legumes. Ismailia, Egypt: The American University in Cairo Press, pp. 319-326.
- HANNAN A., Hasan M. y Hossain I. (2013). Impact of Dual Inoculations with *Rhizobium* and *Trichoderma* on Root Rot disease and Plant Growth Parameters of Grasspea under Field Conditions. *Persian Gulf Crop Protection*. Vol. 2(1), pp. 1-9
- HANSON, L. (2000). Reduction of Verticillium Wilt Symptoms in Cotton Following Seed Treatment with *Trichoderma virens*. *The Journal of Cotton Science*. Vol. 4, pp. 224-231.
- HEGAZI, N. A. y FAYEZ, M. (2003). Biodiversity and endophytic nature of diazotrophs other than rhizobia associated to non-leguminous plants of semi-arid environments. *Archives of Agronomy Soil Science*. Vol. 49, pp. 213-35.
- HOWELL, C. (2002). Cotton Seedling Pree-mergence Damping-Off Incited by *Rhizopus oryzae* and *Pythium* spp. and Its Biological Control with *Trichoderma* spp. *Phytopathology*. Vol. 92(2), pp. 177-180.
- JEFFRIES, S., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K. y Barea, J. M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*. Vol. 37, pp. 1-16.
- KHEIRFAM, H., Hamidreza, S., Homae, M. y Zarei, B. (2017). Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial



- enrichment. *Soil and Tillage Research*. Vol. 165, pp. 230-238.
- LAZAROVITS, G., Turnbull, A. y Johnston-Monje, D. (2014). Plant Health Management: Biological Control of Plant Pathogens. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. Vol. 4, pp. 388-389.
- MANSOORI, M., Heydari, A., Hassanzadeh, N., Rezaee, S. y Naraghi, L. (2013). Evaluation of *Pseudomonas* and *Bacillus* antagonists for biological control of cotton verticillium wilt disease. *Journal of Plant Protection Research*. Vol. 53(2), pp. 154-157.
- MATÍAS, S. R., Pagano, M. C., Muzzi, F. C., Oliveira, C. A., Carneiro, A. A., Horta, S. N. y Scotti, M. R. (2009). Effect of rhizobia, mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing microorganisms in the rhizosphere of native plants used to recover an iron ore area in Brazil. *European Journal of Soil Biology*. Vol. 45(3), pp. 259-266.
- MOHAMED, H. I. y Gomaa, E. Z. (2012). Effect of plant growth promoting *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on growth and pigment composition of radish plants (*Raphanus sativus*) under NaCl stress. *Photosynthetica*. Vol. 50, pp. 1-10.
- PAUL, S., Rathi, M. y Tygai, S. P. (2011). Interactive effect with AM fungi and Azotobacter inoculated seed on germination, plant growth and yield in cotton (*Gossypium hirsutum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 81(11), pp. 1041-1045.
- PIROMYOU, P., Buranabanyat, B., Tantasawat, P., Tittabutr, P., Boonkerd, N. y Teaumroong, N. (2011). Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation on microbial community structure in rhizosphere of forage corn cultivated in Thailand. *European Journal of Soil Biology*. Vol. 47, pp. 44-54.
- PRASAD, A. A. y Babu, S. (2016). Compatibility of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* in growth promotion of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Vol. 89(2), pp. 1027-1040.
- ROBERTS, D. P., Lohrke, S. M., Meyer, S. L., Buyer, J. S., Bowers, J. H., Baker, C. J., Li W., de Souza J., Lewis J. y Chung, S. (2005). Biocontrol agents applied individually and in combination for suppression of soilborne diseases of cucumber. *Crop Protection*. Vol. 24(2), pp. 141-155.
- ROJAS, M., Tejera, B. y Heydrich, M. (2012). Antagonismo de *Bacillus* spp. frente a hongos fitopatógenos del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista de Protección Vegetal*. Vol. 27(2).
- SAKPIROM, J., Kantachote, D., Nunkaew, T. y Khan, E. (2017). Characterizations of purple non-sulfur bacteria isolated from paddy fields, and identification of strains with potential for plant growth-promotion, greenhouse gas mitigation and heavy metal bioremediation. *Research in Microbiology*. Vol. 168, pp. 266-275.
- SELIM, S., Negrel, J., Govaerts, C., Gianinazzi, S. y van Tuinen, D. (2005). Isolation and partial characterization of antagonistic peptides produced by *Paenibacillus* sp. strain B2 isolated from the sorghum mycorrhizosphere. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 71, pp. 6501-6507.
- SHARMA, R., Paliwal, J. S., Chopra, P., Dogra, D., Pooniya, V., Bisaria, V. S., Swarnalakhmi, K. y Sharma, S. (2017). Survival, efficacy and rhizospheric effects of bacterial inoculants on *Cajanus cajan*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 240, pp. 244-252.
- SHEN, Z., Ruan, Y., Wang, B., Zhong, S., Su, L., Li, R. y Shen, Q. (2015). Effect of bio-fertilizer for suppressing *Fusarium* wilt disease of banana as well as enhancing

- microbial and chemical properties of soil under greenhouse trial. *Applied Soil Ecology*. Vol. 93, pp. 111-119.
- SINGH, S., Singh, B. y Singh, A. P. (2015). Nematodes: a Threat to Sustainability of Agriculture. *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 29, pp. 215-216.
- TAMREIHAO, K., Ningthoujam, D., Nimaichand, S., Shanta, E., Reena, P., Herojeet, S. y Nongthomna U. (2016). Biocontrol and plant growth promoting activities of a *Streptomyces corchorusii* strain UCR3-16 and preparation of powder formulation for application as biofertilizer agents for rice plant. *Microbiological Research*. Vol. 192, pp. 260-270
- TORTORA, G., Berdell, R., Funke, B. y Case, C. (2007). Introducción a la microbiología. Madrid, España. Editorial Médica Panamericana.
- SAINJU, U. M. (2017). Determination of nitrogen balance in agroecosystems. *MethodsX*, 199-208.
- YASMIN, S., Hafeez F., Schmid M. y Hartmann A. (2013). *Plant-beneficial rhizobacteria for sustainable increased yield of cotton with reduced level of chemical fertilizer*. *Pakistan Journal of Botany*. Vol. 45(2), pp. 655-662.
- YUAN, W. y Crawford, D. (1995). Characterization of *Streptomyces lydicus* WYEC108 as a potential biocontrol agent against fungal root and seed rots. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 61(8), pp. 3119-3128.
- ZAKI, K., Misaghi I. y Heydari A. (1998). Control of cotton seedling damping-off in the field by *Burkholderia (Pseudomonas) cepacia*. *Plant Disease*. Vol. 82, pp. 291-293.
- ZHANG, Q., Zhang, J., Yang, L., Zhang, L., Jiang, D., Chen, W. y Li, G. (2014). *Diversity and biocontrol potential of endophytic fungi in Brassica napus*. *Biological Control*. Vol. 72, pp. 98-108.

