



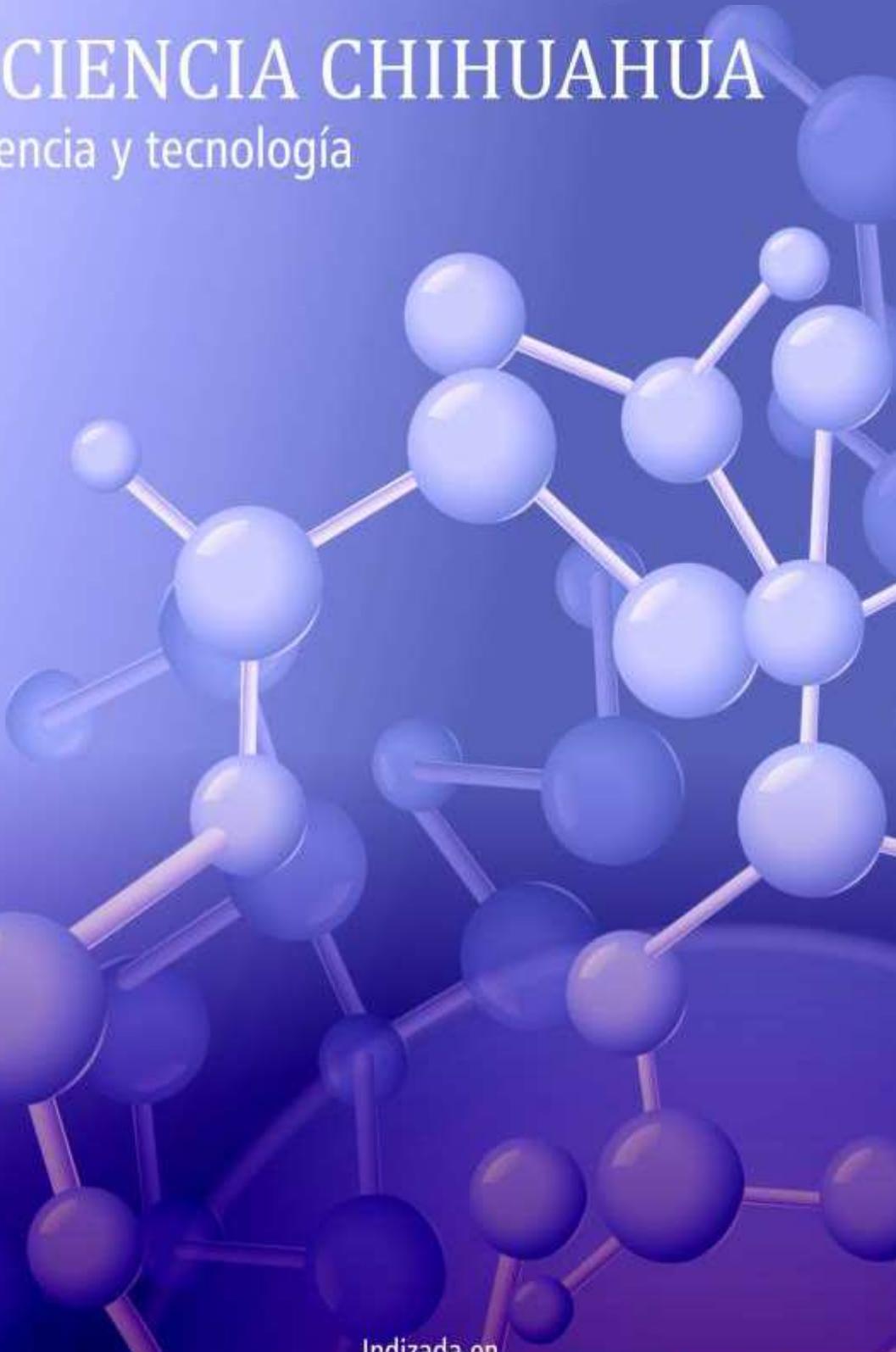
UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado

VOLUMEN XIV | NÚMERO 2 | PUBLICACIÓN CONTINUA 2020

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA

Revista de ciencia y tecnología



Indizada en





Directorio Institucional

M.E. Luis Alberto Fierro Ramírez

Rector

M.A.V. Raúl Sánchez Trillo

Secretario General

M.E.A. Alfredo Ramón Urbina Valenzuela

Director de Investigación y Posgrado

M.A. Herik Germán Valles Baca

Director Académico

M.L. Ramón Gerónimo Olvera Néder

Director de Extensión y Difusión Cultural

M.C. Francisco Márquez Salcido

Director Administrativo

M.I. Ricardo Ramón Torres Knight

Director de Planeación y Desarrollo Institucional



TECNOCIENCIA CHIHUAHUA

Revista de ciencia y tecnología

Equipo Editorial

Editor responsable

Dr. Armando Quintero Ramos, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. (SNI III)

Asistente editorial

M.E.S. Nancy Karina Venegas Hernández, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Co-editores

Dra. Carmen O. Meléndez Pizarro, Universidad Autónoma de Chihuahua. México.

Dr. Héctor Osbaldo Rubio Arias, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Secretaria del Comité Editorial

Dra. Martha Graciela Ruiz Gutiérrez, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

EDITORES ASOCIADOS UACH

Dr. Alejandro Camacho Dávila, Universidad Autónoma de Chihuahua, México (Química).

Dr. Néstor Gutiérrez Méndez, Universidad Autónoma de Chihuahua, México (Ciencia y Tecnología de Alimentos).

Dr. Felipe Alonso Rodríguez Almeida, Universidad Autónoma de Chihuahua, México (Reproducción y Mejoramiento Animal).

Dra. Ramona Pérez Leal, Universidad Autónoma de Chihuahua, México (Agropecuarias).

Dr. Gerardo Pavel Espino Solís, Universidad Autónoma de Chihuahua, México (Medicina y Ciencias de la Salud).

Dra. Margarita Levario Carrillo, Universidad Autónoma de Chihuahua, México (Medicina y Ciencias de la Salud).

Dr. Luis Carlos González Gurrola, Universidad Autónoma de Chihuahua, México (Ingeniería).

Dr. Roberto Narro García, Universidad Autónoma de Chihuahua, México (Ingeniería, Físico-Matemáticas y Ciencias de la Tierra).

EDITORES ASOCIADOS NACIONALES

Dra. Elizabeth Carvajal Millán, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Hermosillo, Sonora, México (Ciencia y Tecnología de Alimentos).

Dr. Benjamín Ramírez Wong, Departamento de Investigación y Posgrado, Universidad de Sonora. Hermosillo, México. (Ciencia y Tecnología de Alimentos).

Dr. Ricardo Vázquez Juárez, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Baja California Sur, México. (Biología).

Dr. Rubén Francisco González Laredo, Instituto Tecnológico de Durango., Durango, Durango, México (Procesos Químicos y Fitoquímicos).

Dr. Fernando Martínez Bustos, Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Querétaro, México. (Procesamiento de Alimentos).

Dr. Gerardo Méndez Zamora, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Escobedo, Nuevo León, México. (Producción Animal y Procesamiento).

Dr. José de Jesús Zazueta Morales, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.

Dr. José Rafael Minjares Fuentes, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México (Alimentos).

Dr. Víctor Arturo González Hernández, Colegio de Postgraduados (Agronomía/Fisiología de Cultivos/Genética)

Dr. Humberto González Rodríguez, Director de la Facultad de Ciencias Forestales UANL

Dr. Guillermo Fuentes Dávila, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Dr. Luis Raúl Tovar Gálvez, Instituto Politécnico Nacional, Doctorado en Nutrición

Dr. Luis Fernando Plenge Tellechea, Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, UACJ

EDITORES ASOCIADOS INTERNACIONALES

Dra. Marcela Rodríguez, Universidad Nacional del Centro. Olavarría, Argentina.

Dra. Valeria Soledad Eim Iznardo, Universidad de las Islas Baleares, Islas Baleares, España.

Dr. Efrén Delgado, New Mexico State University, Las Cruces, NM, USA.

PhD. Nadezhda Traycheva Petkova, University of Food Technologies, Bulgaria · Plovdiv.

PhD Mérida Gutiérrez, Missouri State University, Department of Geography, Geology and Planning

CONTENIDO

Definición de la revista	5
Carta del Editor	e 636
Editor's Letter	
Armando Quintero-Ramos	
<u>Alimentos</u>	
Efecto alelopático del zacate rosado (<i>Melinis repens</i>) en la germinación de chile y tomate	e 529
Allelopathic effect of Natal grass (<i>Melinis repens</i>) on germination of pepper and tomato	
Otilia Rivero-Hernández, Alejandra López-Rubio, Eduardo Chávez-Ponce, Alicia Melgoza-Castillo	
<u>Físico-matemáticas</u>	
Modelación de la fermentación para la producción de fenilalanina	e 511
Fermentation modeling for phenylalanine production	
Marco Antonio Paredes-Lizárraga	
<u>Salud</u>	
Detección de Adenovirus Entéricos en infantes con enfermedad diarreica aguda de la Ciudad de Chihuahua	e 569
Detection of enteric Adenoviruses in infants with acute diarrheal disease in the city of Chihuahua, Mexico	
Miriam Rosario Zermeño-Ortega, Laura Alicia Manjarrez-Nevárez, Reyna Reyes-Martínez, Carmen Myriam De La O-Contreras	

Cultura Física

Caracterización de lesiones en jugadores de fútbol de las categorías sub 19 y sub 20 e 474

Characterization of injuries in soccer players of the u19 and u20 categories

Laura Elizabeth Castro-Jiménez, Isabel Adriana Sánchez-Rojas; Pablo Sergio Molina-Murcia; Juan Martínez-Baquero, Daniel Zambrano, Yelenka Tatiana Velasco

Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable

Patrones de concentración de carbono negro y principales fuentes de emisión en Ciudad Juárez, Chihuahua e 399

Patterns of black carbon concentration and determination of its main emission sources in Ciudad Juarez, Chihuahua, Mexico

Frida Yael Toquinto-Manjarrez, Felipe Adrián Vázquez-Galvez, Yazmin Guadalupe Hernández-García, Luis Gerardo Bernadac-Villegas, Sergio Saúl Solís, Marisela Yadira Soto-Padilla, Miguel Domínguez-Acosta, Gilberto Velázquez-Angulo, Edith Flores-Tavizón, Alfredo Granados-Olivas

DEFINICIÓN DE LA REVISTA

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA, es una revista multidisciplinaria, de publicación continua, que publica artículos y notas científicas, así como artículos de revisión *por invitación* originales e inéditos, en español e inglés, en formato electrónico de acceso abierto.

El objetivo de TECNOCIENCIA CHIHUAHUA es divulgar los resultados y avances de investigación originales e inéditas en las áreas temáticas de Alimentos, Biológica, Salud, Agropecuaria, Cultura Física, Ingeniería y Tecnología, Química y Recursos Naturales, dirigidos a investigadores, académicos, estudiantes y público con interés científico.

El contenido científico y calidad de los artículos son evaluados a través de un proceso de arbitraje de forma anónima en la modalidad de doble ciego por al menos dos árbitros especializados en la materia.

La revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA es editada y financiada por la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chihuahua, México. La revista está adherida a la Declaración de San Francisco a través de DORA (Declaration on Research Assessment) se encuentra indexada en índices y portales especializados como Latindex, Periódica. La revista cuenta con el DOI (Digital Object Identifier) a través de la organización internacional Crossref.

Carta del Editor

Editor's Letter

Estimados Lectores:

TECNOCENCIA CHIHUAHUA es una publicación de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) que ha venido desarrollándose durante estos últimos años, desde que fue concebida en febrero de 2007, por un grupo de académicos y administrativos, hasta transformarse recientemente, en lo que es ahora: una revista electrónica multidisciplinaria operada bajo un sistema de acceso libre, con miras a alcanzar una mayor difusión de las contribuciones técnico-científicas publicadas.

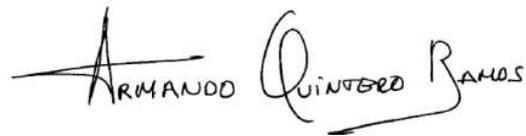
Se tomó la decisión de reflejar la evolución de la Revista TECNOCENCIA CHIHUAHUA de una que históricamente estaba basada en la diseminación del conocimiento en formato impreso, a otra de carácter digital con un espacio más amplio para sustentar la teoría y las aplicaciones prácticas de la ciencia en nuestro tiempo, mostrando los avances científicos y tecnológicos actuales.

TECNOCENCIA CHIHUAHUA publica aportaciones científicas originales en español e inglés en formato electrónico de acceso abierto, con periodicidad cuatrimestral. En estos se incluyen artículos científicos producto de investigaciones originales, así como revisiones bibliográficas críticas actualizadas por invitación, en áreas temáticas como Ciencias Agropecuarias, Química, Biología, Alimentos, Salud, Cultura Física, Recursos Naturales e Ingeniería y Tecnología. Su formato electrónico, permite el acceso público, sin costo, ofreciendo una alternativa para la difusión accesible de todas las contribuciones incluidas en cada uno de nuestros números.

Para TECNOCENCIA CHIHUAHUA, la atención a nuestro autores y lectores es y seguirá siendo una prioridad, por lo que, bajo este enfoque, se realizarán los cambios necesarios para una mejora continua de la revista; que ésta siga siendo una alternativa para la publicación de trabajos originales productos de investigación de los usuarios interesados. El proceso de publicación de artículos se realizará siempre bajo un proceso de evaluación por pares, donde cada manuscrito es revisado y aceptado hasta cumplir con los estándares editoriales que caracterizan a nuestra revista.

En este número se muestra un nuevo formato en el sitio web y en la estructura de sus artículos; se ha procurado mayor atractivo visual y estar acorde a las tendencias editoriales modernas, balanceando diseño y calidad de los contenidos. Así mismo, se ha estructurado una guía de autores detallada y una plantilla para que la edición y producción sean más sencillos y rápidos; que se acorte el proceso de revisión de pares, la aceptación y la publicación de los manuscritos.

Finalmente, deseo expresar mi reconocimiento, al equipo editorial y administrativo de TECNOCENCIA CHIHUAHUA, los editores asociados de la UACH, editores internacionales y revisores, por su apoyo en los procesos de revisión y edición de los manuscritos. Asimismo, agradecer a los lectores y especialmente a los autores, por su confianza en el envío de sus contribuciones que derivarán en la mejora y posicionamiento de la revista. A nombre del equipo TECNOCENCIA CHIHUAHUA, agradezco a la UACH la confianza y apoyo para liderar este proyecto de divulgación técnico- científica.



Armando Quintero Ramos

<https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v14i2.636>

2020 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Artículo Científico

Efecto alelopático del zacate rosado (*Melinis repens*) en la germinación de chile y tomate

Allelopathic effect of Natal grass (*Melinis repens*) on germination of
pepper and tomato

Otilia Rivero-Hernández¹, Alejandra López-Rubio¹, Eduardo Chávez-Ponce¹ y Alicia
Melgoza-Castillo^{1*}

¹Universidad Autónoma de Chihuahua. C. Escorza, 900, Col. Centro. Chihuahua, México, 31000

*Correspondencia: Correo electrónico: amelgoza@uach.mx (Alicia Melgoza-Castillo)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v14i2.529>

Recibido: 15 de noviembre de 2019; Aceptado: 27 de Agosto de 2020

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

La dominancia del zacate rosado (*Melinis repens* (Willd.) Zizka), gramínea exótica proveniente de África, pone en riesgo la biodiversidad en pastizales y la producción en áreas de cultivo. La dominancia de esta planta pudiera estar relacionada con la presencia de metabolitos secundarios con propiedades alelopáticas que inhiben el crecimiento de otras especies. El objetivo fue determinar el efecto de posibles sustancias alelopáticas de la especie sobre la germinación de dos cultivos. Con material del zacate rosado en etapa de madurez se hicieron soluciones a diferentes concentraciones con las que se pusieron a germinar semillas de tomate y chile. Las concentraciones fueron 0, 50 y 100 g L⁻¹. Las semillas se germinaron por 21 d a temperatura de 25 ± 4 °C; diariamente se monitoreo germinación. En ambos cultivos se redujo la germinación (P<0.05) con las soluciones de 50 y 100 g; en chile de 64 a 6 % y en tomate de 82 a 14 %, así como un retraso en el tiempo de la germinación entre una a dos semanas. Ambos efectos, reducción y retraso, tienen implicaciones económicas. La reducción representa un incremento en la densidad de semilla para mantener una producción. Por otra parte, en campo, el mantillo de zacate rosado comúnmente se distribuye de forma heterogénea; por lo que, el retraso en la germinación en las áreas con mayor concentración de matillo puede provocar falta de uniformidad en las etapas fenológicas y por lo tanto en la aplicación de prácticas culturales.

Palabras clave: competencia, cultivos en Chihuahua, especies invasoras.

Abstract

Natal grass (*Melinis repens* (Willd.) Zizka) is an exotic species from Africa. At the state of Chihuahua is invading grasslands and crop lands. Natal grass dominance could be related to secondary

metabolites that work as allelopathic substances, which inhibits the growth of other species. The objective of this study was to determine the possible effect of allelopathic substances of this species on the germination of two crops. Natal grass biomass at maturity stage was used to make dilutions and applied them on pepper and tomato seeds; dilutions were 0, 50, and 100 g L⁻¹. Germination test was carried out during 21 days at 25 ± 4 °C, and monitoring every day. Natal grass dilutions reduced germination on the two crops; in pepper from 64 to 6 % and tomato from 82 to 14 %, as well as a delay of one to two weeks on germination. Both effects, germination reduction and delay, may have economic implications. A reduction represents to increase seed density when seeding in order to maintain a certain production level. On the other hand, at the field Natal grass litter may not be uniformly distributed on the ground; therefore, delay may cause heterogeneity on phenological stages at that can alter cultural.

Keywords: competence, Chihuahua crops, invasive species

1. Introducción

El zacate rosado (*Melinis repens* (Willd.) Zizka) es una gramínea exótica proveniente de África, comúnmente anual, que a veces se comporta como perenne de vida corta. Esta especie invade diversos ecosistemas y en México se encuentra reportada en todos los estados (Melgoza et al., 2014). En el estado de Chihuahua, el zacate rosado es una especie dominante en extensas áreas de pastizales y presenta una tendencia a incrementar su distribución (Sánchez, 2012). Las especies invasoras son una de las principales causas de la pérdida de la biodiversidad (Aguilar, 2005), además de reducir la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos (FAO, 2016); así también podrían tener efectos negativos sobre cultivos cuando invaden áreas agrícolas.

La dominancia del zacate rosado pudiera estar relacionada con la presencia de metabolitos secundarios con propiedades alelopáticas que inhiben el crecimiento. Estas sustancias alelopáticas en algunas plantas ya se han relacionado con su capacidad de invasión (Callaway y Ridenour, 2004; Novoa et al., 2012). El término alelopatía se refiere a efectos de compuestos químicos liberados por una especie que perjudica o beneficia directa o indirectamente a otra especie. Posteriormente, este término se ha utilizado más para referirse a efectos perjudiciales y principalmente en plantas (Stowe, 1979; Wardle et al., 1998). Estos fitoquímicos pueden inhibir de forma directa en germinación, crecimiento o reproducción de otras plantas. Pero también se ha encontrado que de forma indirecta pueden tener efectos en microorganismos de suelo y posteriormente en el crecimiento y desarrollo de plantas (Callaway y Ridenour, 2004).

En un estudio se probaron extractos de *Hyptis suaveolens* sobre lentejilla (*Lepidium sativum*), lechuga (*Lactuca sativa*), alfalfa (*Medicago sativa*), nabo (*Brassica napus*), alpistle (*Phleum pratense*), ryegrass (*Lolium multiflorum*) y las gramíneas consideradas como malezas: *Digitaria sanguinalis* y *Echinochloa crus-galli* (Islam y Kato-Noguchi, 2013). Los extractos que utilizaron variaron de 3 a 30 mg de materia seca por mililitro. El crecimiento y especialmente la raíz fueron inhibidos en alfalfa y ryegrass desde la concentración de 3 mg ml⁻¹. Además, el resto de las especies se vieron afectadas a partir de la concentración de 10 mg ml⁻¹. La planta invasora *Centaurea maculosa* se sabe que produce metabolitos secundarios, entre ellos catequina, con propiedades alelopáticas (Pollock et al., 2009). Los extractos de catequina en concentraciones de 200 a 1000 µg ml⁻¹ se estudiaron en las gramíneas *Festuca idahoensis* y *Koeleria macrantha*. A partir de 300 µg ml⁻¹ se presentó una reducción en el número de hojas y se incrementó la mortalidad. Zhang et al. (2009) utilizaron concentraciones de 0 a 0.25 % de extracto de *Solidago canadensis*, maleza común en campos de cultivo en tomate,

para reducir la presencia de patógenos en suelo. En todas las concentraciones se obtuvo mortalidad de dos bacterias patógenas del tomate, *Pythium ultimum* y *Rhizoctonia solani*. La maleza de pastizales *Centaurea maculosa* reduce la elongación de raíces en la gramínea *Festuca idahoensis* (Ridenour y Callaway, 2001). En este trabajo y bajo condiciones de laboratorio, al agregar carbón activado el efecto de alelopatía se disminuyó; sin embargo, este resultado no se observó bajo condiciones de campo. Los autores concluyen que el éxito de la invasión de *C. maculosa* en pastizales es debido a sus metabolitos secundarios con propiedades alelopáticas en la gramínea nativa dominante de los pastizales estudiados. Cuando las especies con propiedades alelopáticas se presentan en cultivos pueden afectar negativamente el crecimiento y desarrollo de éstos.

En el estado de Chihuahua existen alrededor de 60 cadenas productivas en las que se encuentra el chile y el tomate. Chihuahua es productor número uno a nivel nacional de chile *Capsicum annum* (InfoRural, 2019). Existen dos grandes zonas en Chihuahua dedicadas a este cultivo que son: la zona sur centro, los municipios de Delicias con 39 000 ha, Camargo con 35 000 ha, Mequí con 31 000 ha y Jiménez con 28 000 ha (UACH, 2010). La producción de tomate se presenta en los municipios de Casas Grandes, Delicias, Cuauhtémoc, Ojinaga y Parral. Para el 2017, el estado reportó un total de más de 11 mil ton (SIACON-NG, 2018). Si bien el área de suelo sembrada para dicho cultivo no es mucha porque la mayoría de la producción es en invernadero, existe una parte de productores que aún la siguen realizando a cielo abierto con diversos problemas tecnológicos, productivos y de mercadotecnia (FIRA, 2017).

Dentro de las áreas que está invadiendo el zacate rosado están los campos de cultivo. Si bien el zacate es removido para llevar a cabo la siembra, en el suelo pueden permanecer las sustancias alelopáticas. Esto daría como resultado una reducción en la producción de cultivos o bien incrementos en las prácticas agrícolas como remoción, producción irregular, entre otras. Con base en la posible presencia de estas sustancias se llevó a cabo el presente trabajo. El objetivo fue determinar el efecto de posibles sustancias alelopáticas presentes en zacate rosado sobre la germinación de dos cultivos.

2. Materiales y métodos

En otoño de 2015 se colectó el material del zacate rosado en los alrededores de la ciudad de Chihuahua. Las plantas se cortaron con hoz a nivel del suelo en la etapa fenológica de floración. El material cortado se colocó en bolsas de papel para su transporte al laboratorio. Esta muestra se secó por 24 h en una estufa a 60 °C; posteriormente se molió para elaborar soluciones a diferentes concentraciones. En matraces de un litro se mezclaron 50 g y 100 g de material seco del zacate rosado con agua destilada.

En semillas comerciales de chile y tomate se probaron las concentraciones de 0, 50 y 100 g L⁻¹ de material. Para cada especie de cultivo y tratamiento se utilizaron 150 semillas que se distribuyeron en 5 cajas Petri, 30 semillas por caja. La solución se colocó en las cajas sin filtrarse. Cada caja o repetición se etiquetó con el nombre del cultivo, tratamiento asignado y número de repetición. Las cajas se mantuvieron a temperatura ambiente de 25 ± 4 °C en el laboratorio. Periódicamente se realizaron observaciones para cuantificar el número de semillas germinadas, considerándose como tal cuando la radícula presentaba por lo menos 2 mm de largo. Cada semilla germinada fue contada y eliminada de la caja para facilitar posteriores conteos.

El diseño experimental fue un completamente al azar. Cada tratamiento y especie de cultivo tuvo 5 repeticiones. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA. La separación de

medias se realizó con la prueba de Tukey, a un nivel de significancia de 0.05. Para el análisis se utilizó el paquete estadístico SAS 9.1.3 (2006).

3. Resultados y discusión

Las diferentes concentraciones de zacate rosado redujeron ($P < 0.05$) los porcentajes de germinación en semillas de chile y tomate (Tabla 1). Por lo que, muy probablemente esta especie presente metabolitos secundarios que tengan función alelopática. Diversas malezas y plantas silvestres que se desarrollan en campos de cultivo pueden presentar sustancias alelopáticas que repercuten en el desarrollo de las cosechas. Morikawa et al. (2012) evaluaron extractos de las hojas de 170 especies nativas de Perú que presentan acción alelopática para el cultivo de la lechuga. En el desarrollo de plántulas de lechuga, todas las soluciones de las extracciones de estas plantas redujeron el crecimiento de la raíz hasta en 90 %. La maleza *Erigeron annuus* (Park et al., 2011) y extractos de *Ambrosia artemisiifolia* (Vidotto et al., 2013) afectan negativamente el crecimiento de lechuga. El extracto de *Solidago gigantea* redujo la germinación de los cultivos de cilantro, cebada y zanahoria en pruebas de laboratorio (Balicevic et al., 2015). Gomaa et al. (2014) reportaron que el follaje seco de *Sonchus oleraceus* afecta negativamente a los cultivos y malezas en estos. El efecto inhibitor se debe a la presencia de fenoles, flavonoides, saponinas, taninos y alcaloides (Gomaa et al., 2014; Hassan et al., 2014). Otros químicos en forma de lípidos producidos por *Artemisia annua* redujeron la germinación de *Portulaca oleracea* (Rahimi et al., 2015). En el caso del zacate rosado es importante identificar los posibles químicos relacionados con la actividad alelopática. Esto servirá no solo para desarrollar estrategias que reduzcan este efecto en el cultivo sino también para desarrollar prácticas de control para eliminar a esta especie introducida. Por otra parte, la identificación de los compuestos es información básica en el desarrollo de herbicidas naturales.

Tabla 1. Porcentajes de germinación (EE) en semillas de chile y tomate con diferentes concentraciones de extractos de zacate rosado (*Melinis repens*)*.

Table 1. Germination percentages (SE) in chili pepper and tomato seeds with different concentrations of pink grass extracts (*Melinis repens*)*.

Tratamiento	Chile		Tomate	
Control	64.00	± 3.56 ^a	82.00	± 3.09 ^a
50 g	13.33	± 2.36 ^b	18.00	± 2.26 ^b
100 g	6.00	± 2.21 ^b	14.67	± 2.26 ^b

*Medias y ± Error Estándar. Valores con literales iguales dentro de columnas son similares estadísticamente ($P > 0.05$)

La semilla de chile inició la germinación durante la primera semana del experimento en el control y en el caso del tomate, el control comenzó en la segunda semana. Las concentraciones de 50 g y 100g retrasaron una semana la germinación en el chile (Figura 1). En tomate, sólo con la concentración de 100 g retrasó este proceso hasta la segunda semana de iniciado el experimento (Figura 2).

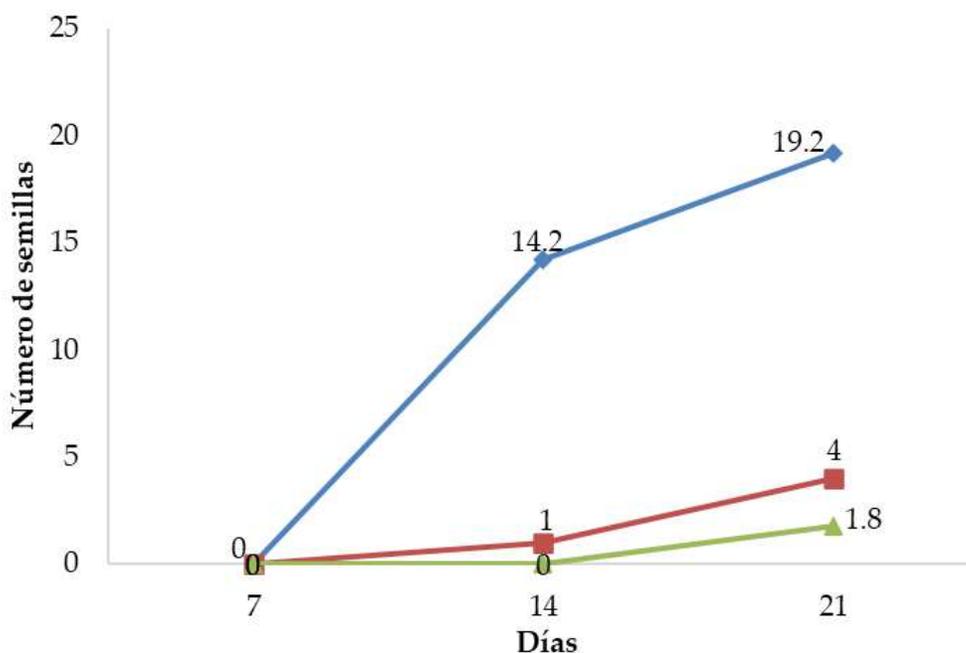


Figura 1. Respuesta de la germinación de semilla de chile con diferentes concentraciones de material seco de zacate rosado (*Melinis repens*) en 1 L de agua. ■ 0g - ■ 50g - ■ 100g

Figure 1. Response of chili seed germination with different concentrations of dry material of pink grass (*Melinis repens*) in 1 L of water. ■ 0g - ■ 50g - ■ 100g

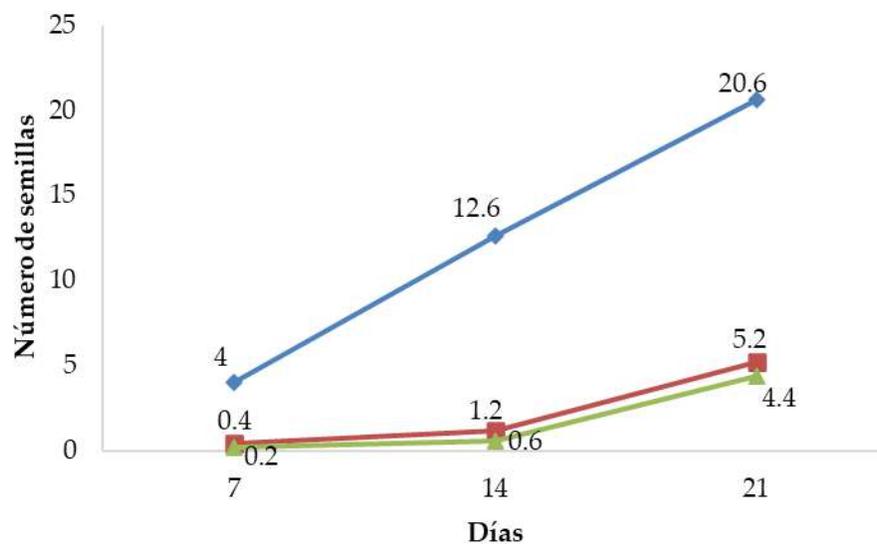


Figura 2. Respuesta de la germinación de semilla de tomate con diferentes concentraciones de material seco de zacate rosado (*Melinis repens*) en 1 L de agua. ■ 0g - ■ 50g - ■ 100g

Figure 2. Response of tomato seed germination with different concentrations of dry material of pink grass (*Melinis repens*) in 1 L of water. ■ 0g - ■ 50g - ■ 100g

Para estos cultivos, la posible presencia de sustancias alelopáticas no sólo reduce la germinación sino también retrasa el tiempo de ésta. Ambos efectos, reducción y retraso, tienen implicaciones económicas. La reducción implica incrementar la densidad de siembra lo que sube costos de

producción por la compra de semilla. Ahora, en caso de mantener la densidad de siembra, la producción se verá disminuida debido al menor número de plantas producidas.

Por otra parte, la falta de uniformidad en la edad de las plantas de un cultivo debido a la presencia de sustancias alelopáticas tiene otras implicaciones. Los cultivos tienen su fecha de siembra y de aplicación de prácticas culturales, por lo que en áreas invadidas con zacate rosado el desarrollo de las plantas puede llevar un retraso de por lo menos una semana. Por otra parte, en campo muy probablemente la concentración de sustancias alelopáticas no es uniforme en suelo. Esto representa afectaciones que se pueden dar en parches con un detrimento para la producción.

4. Conclusiones

Las soluciones del zacate rosado tuvieron efecto alelopático sobre la germinación de la semilla en chile y tomate. Esto podría tener repercusiones económicas en áreas de cultivo donde esta especie es invasora. La presencia de sustancias alelopáticas en el zacate rosado afecta en el desarrollo de la semilla de estos cultivos ya que reduce y retrasa la germinación, por lo que es importante el desarrollo de más investigaciones para cuantificar posibles daños en áreas de cultivo. Este trabajo da las bases para continuar investigaciones sobre este tema. Una primera investigación sería la identificación química de los posibles compuestos alelopáticos. Una vez identificados los compuestos alelopáticos pueden ser cuantificados en suelos de diversos cultivos, en áreas donde esta especie es invasora. Otra línea de investigación pudiera ser la determinación de las cantidades mínimas de compuestos alelopáticos que afectan no solo en chile y tomate sino también otros cultivos comunes en las áreas donde se presenta esta especie invasora. Por último, se puede llevar a cabo diversas investigaciones en campo como la manipulación de diferentes cantidades de mantillo en suelo, así como niveles de humedad para ver la respuesta de la emergencia de semillas y desarrollo de planta de los diversos cultivos. El dar seguimiento a este tipo de investigaciones indudablemente tiene repercusiones económicas.

5. Referencias

- Aguilar, V. 2005. Especies invasoras: una amenaza para la biodiversidad y el hombre. *Biodiversitas* 60:7-10. <https://bit.ly/3tkHiYk>
- Balicevic, R., M. Ravlic and T. Zivkovic. 2015. Allelopathic effect of invasive species giant goldenrod (*Solidago gigantea* Ait.) on crops and weeds. *Herbologia* 15(1):19-29. <http://dx.doi.org/10.5644/Herb.15.1.03>
- Callaway, R. M. and W. M. Ridenour. 2004. Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Front. Ecol. Env.* 2(8):436-443. <https://doi.org/10.1890/1540-9295%282004%29002%5B0436%3ANWISAT%5D2.0.CO%3B2>
- FAO. Food and Agriculture Organization. 2016. Servicios ecosistémicos y biodiversidad. En: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura. 2017. Tomate rojo 2017. Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Mexico, D.F.
- Gomaa, N. H., M. O. Hassan, G. M. Fahmy, I. Gonzalez, O. Hammoudaa and A. M. Atteya. 2014. Allelopathic effects of *Sonchus oleraceus* L. on the germination and seedling growth of crop and weed species. *Acta Bot Bras.* 28(3):408-416. <https://doi.org/10.1590/0102-33062014abb3433>
- Hassan, M. O., N. H. Gomaa, G. M. Fahmy, I. Gonzales, O. Hammouda and A. M. Atteya. 2014. Influence of *Sonchus oleraceus* L. residue on soil properties and growth of some plants. *Philipp Agric Sci.* 97(4):368-376.

- InfoRural. 2019. Chihuahua es el primer productor de chile verde. Notimex. <https://www.inforural.com.mx/chihuahua-primer-productor-chile-verde/>
- Islam, M. A. K. M. and H. Kato-Noguchi. 2013. Plant growth inhibitory activity of medicinal plant *Hyptis suaveolens*: could allelopathy be a cause? Emir. J. Food Agric. 25(9):692-701. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i9.16073>
- Melgoza, A., M. I. Balandrá, R. Mata-González y A. C. Pinedo. 2014. Biología del pasto rosado *Melinis repens* (Wild) e implicaciones para su aprovechamiento o control. Rev. Mex. Cienc. Pec. 5(4):429-442. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265632520004>
- Morikawa, C. I. O., R. Miyaura, M. L. Tapia y Figueroa, E. L. Rengifo Salgado and Y. Fuji. 2012. Screening of 170 Peruvian plant species for allelopathic activity by using the Sandwich Method. Weed Biol. Manage. 12:1-11. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2011.00429.x>
- Novoa, A., L. Gonzalez, L. Moravcova and P. Pysek. 2012. Effects of soil characteristics, allelopathy and frugivory on establishment of the invasive plant *Carpobrotus edulis* and a co-occurring native, *Malcolmia littorea*. PLoS ONE. 7: e53166. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0053166>
- Park, K. A., K. C. Shim, J. K. Kil and S. H. Yeau. 2011. Allelopathic effects of aqueous extracts from *Eupatorium rugosum* Houtt. and *Erigeron annuus*. L. on radicles growth of *Lactuca sativa* and *Raphanus raphanistrroides*. Allelopathy J. 27: 65-74. <https://dSPACE.ewha.ac.kr/handle/2015.oak/231265>
- Pollock, J. L., R. M. Callaway, G. C. Thelen and W. E. Holben. 2009. Catechin-metal interactions as a mechanism for conditional allelopathy by the invasive plant *Centaurea maculosa*. J. Ecol. 97:1234-1242. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01553.x>
- Rahimi, M., F. Bidarnamani and M. Shabanipoor. 2015. Effects of allelopathic three medicinal plants on germination and seeding growth of *Portulaca oleracea*. Biological Forum - An International Journal 7(1):1520-1523.
- Ridenour, W. and R. M. Callaway. 2001. The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecologia* 126(3):444-450. <https://doi.org/10.1007/s004420000533>
- Sánchez, J. J. 2012. Caracterización de hábitat y riesgo de invasión por zacate rosado (*Melinis repens*) en pastizales áridos y semiáridos de Chihuahua, México. tesis maestría. México: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- SAS Institute Inc. 2006. SAS 9.1.3 User's guide. Cary, NC, USA.
- SIACON-NG. 2018. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Stowe, L. G. 1979. Allelopathy and its influence on the distribution of plants in an Illinois old-field. J. Ecol. 67(3):1065-1085. <https://doi.org/10.2307/2259228>
- UACH. 2010. Diagnostico prospectivo del sector rural del estado de Chihuahua 2010. Gobierno del estado de Chihuahua. SAGARPA. Chihuahua, Chih. México. <https://bit.ly/3NW0bsD>
- Vidotto, F., F. Tesio and A. Ferrero. 2013. Allelopathic effects of *Ambrosia artemisiifolia* L. in the invasive process. Crop Protection. 54:161-167. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.009>
- Wardle, D. A., M. C. Nilsson, C. Gallets and O. Zackrisson. 1998. An ecosystem-level perspective of allelopathy. Biol Rev. 73(3): 305-319. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1998.tb00033.x>
- Zhang, S., Y. Jin, J. Tang and X. Chen. 2009. The invasive plant *Solidago canadensis* L. suppresses local soil pathogens through allelopathy. App. Soil Ecol. 41(2): 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.11.002>

2020 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Artículo Científico

Modelación de la fermentación para la producción de fenilalanina

Fermentation modeling for phenylalanine production

Marco Antonio Paredes-Lizárraga^{1*}

¹Instituto Tecnológico Nacional de México. Campus Instituto Tecnológico de Los Mochis.

*Correspondencia: Correo electrónico: marco.pl@mochis.tecnm.mx (Marco Antonio Paredes-Lizárraga)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v14i2.511>

Recibido: 16, abril, 2020; Aceptado: 28, julio, 2020

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

Se detalla la aplicación de la función de producción Cobb-Douglas (CD) a un proceso de fermentación, aplicando en Excel® Solver® regresión restringida, regresión paso a paso y optimización restringida con el objetivo de determinar la combinación óptima de insumos que maximiza la producción y productividad. El modelo CD correlaciona con $R^2 = 0.941$. La producción óptima se logra con $X_1 = 1 \text{ gL}^{-1}$ de glicerol crudo, $X_2 = 1 \text{ gL}^{-1}$ de sulfato de amonio, $X_3 = 12.46 \text{ gL}^{-1}$ de otras sales, $X_4 = 2.318 \text{ gL}^{-1}$ de vitaminas y elementos traza y $X_5 = 36 \text{ h}$ de tiempo de incubación con producción de 1.227 gL^{-1} de fenilalanina, costo total de \$0.5866 por ensayo y productividad de $2.093 \text{ g L}^{-1} \text{ \$}^{-1}$ por ensayo. La productividad óptima se logra con $X_1 = 1$, $X_2 = 1$, $X_3 = 12.46$, $X_4 = 0.331$ y $X_5 = 36$ respectivamente con producción de 0.886 gL^{-1} de fenilalanina y costo total de \$0.0898 por ensayo y productividad de $9.8674 \text{ g L}^{-1} \text{ \$}^{-1}$ por ensayo. La eficiencia de escala induce a considerar la reducción proporcional de insumos para que progresivamente el proceso se aproxime a suma de exponentes unitaria, para aumentar la productividad. La regresión paso a paso puede acotar la superficie de respuesta, abriendo puertas a otros modelos de regresión que puedan recuperar la correlación de la superficie de respuesta de diversos diseños experimentales.

Palabras clave: función de producción, regresión restringida paso a paso, Excel® Solver®, superficie de respuesta, productividad

Abstract

The application of the Cobb-Douglas (CD) production function to a fermentation process is detailed, applying restricted regression, step-by-step regression and restricted optimization in Excel® Solver® in order to determine the optimal combination of inputs that maximizes the production and productivity. The CD model correlates with $R^2 = 0.941$. Optimal production is achieved with $X_1 = 1 \text{ gL}^{-1}$ of crude glycerol, $X_2 = 1 \text{ gL}^{-1}$ of ammonium sulfate, $X_3 = 12.46 \text{ gL}^{-1}$ of other salts, $X_4 = 2.318 \text{ gL}^{-1}$ of vitamins and trace elements and $X_5 = 36 \text{ h}$ incubation time with production of 1.227 gL^{-1} of phenylalanine, total cost of \$ 0.5866 per assay and productivity of $2.093 \text{ g L}^{-1} \text{ \$}^{-1}$ per assay. Optimal productivity is achieved with $X_1 = 1$, $X_2 = 1$, $X_3 = 12.46$, $X_4 = 0.331$ and $X_5 = 36$

respectively with production of 0.886gL^{-1} of phenylalanine and total cost of \$ 0.0898 per test and productivity of $9.8674\text{ g L}^{-1}\text{\$}^{-1}$ per trial. The scale efficiency induces to consider the proportional reduction of inputs so that the process progressively approaches the sum of unit exponents, to increase productivity. Stepwise regression can narrow the response surface, opening doors to other regression models that can recover the response surface correlation from various experimental designs.

Keywords: production function, stepwise restricted regression, Excel® Solver®, response surface, productivity.

1. Introducción

Los modelos de programación matemática permiten obtener una solución mejor, de las muchas soluciones posibles, suficientemente meritoria para explorar la factibilidad de aplicarla al proceso. Según Igartua y Humanes (2004), un modelo es una representación teórica y simplificada del mundo real; todo modelo ha de fundamentarse en una teoría y por esta razón no se entienden los modelos si no se encuadran en un marco conceptual mayor. Los modelos sirven para formular teorías. García-Sabater y Maheut (2016) indican que los modelos no son la realidad, son el atajo que nos permite aprehenderla. El principal beneficio en la generación de un modelo es la del comportamiento de la realidad. Con frecuencia ocurre que una vez finalizado el modelo los objetivos perseguidos inicialmente se hayan alcanzado sin hacer ningún tipo de experimento.

Los modelos de función de producción (FDP), desde el punto de vista predictivo, son útiles para establecer entre qué valores estará la producción en base a la medición o extrapolación de los factores de producción (López, 1999). En ingeniería las variables de procesos son de diversa índole, significados e implicaciones distintos a los de la economía. Por ejemplo, en deshidratación de alimentos aumentar la temperatura disminuye la cantidad de agua retenida (producto obtenido Y) o al aumentar el pH de un cultivo disminuye la actividad biológica del microorganismo que produce la fermentación o síntesis (y el producto obtenido).

Se ha reportado que las funciones de producción se han aplicado para comparar agricultura y eficiencia del sector (Farrel, 1957), productividades agrícolas entre países (Yamada y Ruttan, 1989), producción de azúcar (Singh *et al.*, 2007), nuez de cola (Ojo *et al.*, 2010), caña de azúcar (Baiyegunhi y Arnold, 2011), aceite de palma (Oguzor, 2013), cultivo de mandioca (Taiwo y Bolariwa, 2014), pesca (Suhaeni *et al.*, 2014), producción de huevo (Zarini *et al.*, 2015). Se han aplicado a la extracción de compuestos bioactivos e impregnación de componentes en la industria alimentaria, tales como procesos de extracción de fructanos (Narváez-Flores *et al.*, 2015) y absorción de sorbitol (Paredes-Lizárraga y Quintero-Ramos, 2017), cuyos ajustes fueron satisfactorios.

La FDP, en economía, se aplica para analizar la contribución cuantitativa que los insumos (las variables de la producción) hacen al producto total obtenido; mediante la FDP se analiza la eficiencia en la asignación de recursos. La FDP más conocida es la función de producción de Cobb-Douglas (CD) (Rensman, 1996; Debertin, 2012; Sturgeon, 2012)

Una propiedad importante de la FDP es el rendimiento de escala. Ho *et al.*, (2017) comentan que los rendimientos constantes implican un costo marginal constante, mientras que los rendimientos decrecientes implican un costo marginal que aumenta con cada unidad producida. Como resultado, si los rendimientos a escala disminuyen de constante a decreciente, el costo marginal de la última unidad excedería el costo promedio de todas las unidades producidas, reduciendo el margen de beneficio y la productividad; aumentos en el costo marginal de producción obligan al establecimiento a cobrar un precio más alto. Las desviaciones de los rendimientos constantes a

escala implican que el tamaño del establecimiento afecta su productividad. Por otra parte, Gilpin y Rusik (2001) sugieren que, en una industria caracterizada por rendimientos crecientes, una empresa con una ventaja inicial puede aumentar su producción y disminuir sus costos promedio mucho más rápidamente que los competidores que recién comienzan la producción. Por este motivo es importante determinar la combinación de insumos que maximiza el beneficio de la empresa, lo cual implica atender y entender las relaciones económicas de los rendimientos de escala en los procesos de producción. De todo esto, se deduce que no hay conflicto entre economía e ingeniería.

Por lo anterior, el objetivo consiste en determinar la combinación de insumos que hace máxima la producción de fenilalanina por fermentación y la combinación de insumos que hace máxima la productividad de fenilalanina por fermentación, dos aspectos relacionados pero diferentes.

Hipotéticamente, la aplicación del modelo de FDP de Cobb-Douglas permite estimar las combinaciones óptimas de insumos que maximizan la producción o productividad, por acotamiento del diseño experimental y superficie de respuesta del proceso de fermentación.

2. Materiales y métodos

Esta investigación es de enfoque cuantitativa y de tipo aplicada, consistió en el remodelado de un diseño experimental para determinar la superficie de respuesta utilizando el método estadístico matemático; según su metodología es correlacional porque compara el resultado obtenido con el modelo de FDP con el modelo de segundo orden; es explicativa porque se pronosticaron los resultados ante cambios en las cantidades de insumos, fundamentados en las tasas de cambio del modelo CD. Los materiales utilizados fueron los datos de un DOE como fuente de información, computadora con MS Office® y métodos estadísticos desarrollados en Excel®. No se utilizaron sustancias, reactivos ni se hicieron diseños experimentales.

2.1 Materiales

Los datos de este estudio fueron tomados de Anusith *et al.*, (2011), a los cuales se les aplicó regresión estadística restringida en el software Excel® Solver® (2016) para obtener el modelo de predicción de la función de producción con la forma funcional

$$Y(X) = AX_1^{a_1}X_2^{a_2}X_3^{a_3}X_4^{a_4}X_5^{a_5} + \mu \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde Y es la cantidad de producción obtenida (gL^{-1} de fenilalanina) con los insumos X_1 (gL^{-1} de glicerol crudo), X_2 (gL^{-1} de sal de amonio), X_3 (gL^{-1} de otras sales), X_4 (gL^{-1} de vitaminas y elementos traza) y X_5 (horas de tiempo de incubación) utilizados en el diseño experimental (DE); donde A es un factor de productividad total, a_i son las elasticidades de producción de cada variable con $0 \leq a_i \leq 1$ y μ es el error aleatorio de la estimación. Una propiedad de las funciones de producción es que la derivada siempre es positiva, $\partial Y / \partial X_i > 0$ excepto cuando uno de los insumos es cero.

Los resultados obtenidos con el modelo CD se compararon con los resultados obtenidos por Anusith *et al.*, (2011) y se obtuvieron conclusiones.

2.2 Métodos

Regresión restringida.

Para el ajuste de la función de producción de Cobb-Douglas, el modelo de regresión incluyó la restricción de derivada positiva, como lo describen Sidiropoulos (1999) y Wang *et al.*, (2004) que presentaron un modelo de programación matemática de regresión por mínimos cuadrados, donde la función a obtener por regresión fue restringida por el conjunto de la región factible donde está la solución, tal que se cumplan simultáneamente las condiciones exigidas al modelo. El modelo de regresión para modelar la función CD fue el siguiente:

$$\text{Min} \sum \mu^2 = \sum [AX_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} X_4^{a_4} X_5^{a_5} - Y]^2 \quad (\text{Ec. 2})$$

Sujeto a $\hat{\partial} Y / \hat{\partial} X_i > 0$ para todo $X_i > 0$,

Donde μ^2 son los errores cuadráticos de la estimación, aleatorios, independientes y normalmente distribuidos. Los modelos de optimización, al estar sujetos a restricciones, se programan en Excel® Solver® y macros Solver® para así encontrar la combinación de parámetros a_i de óptima solución.

Regresión paso a paso (stepwise).

Para estimar los parámetros del modelo FDP por regresión estadística se utilizó el Software Excel® Solver® (2016); con todos los datos del diseño experimental utilizado por Anusith *et al.*, (2011), eliminando un dato a la vez, el que condujo al valor más alto de correlación global (R^2) y el menor valor del cuadrado medio del error (MSE), como indican Montgomery *et al.*, (2003):

Optimización restringida.

Una vez obtenido el modelo CD por regresión paso a paso se aplicó Excel Solver® para localizar la combinación de insumos que dio la máxima producción, mediante el siguiente modelo de optimización

$$\text{Max} Y = AX_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} X_4^{a_4} X_5^{a_5} \quad (\text{Ec. 3})$$

Sujeto a $X_i \min \leq X_i \leq X_i \max$ para todo $X_i \geq 0$

donde $X_i \min$ y $X_i \max$ son los valores frontera del DE.

También, una vez obtenidos los parámetros del modelo CD se diseña el modelo para estimar la productividad, matemáticamente expresado en la Ec. (4).

$$PT = Y / C \quad \text{donde } C \text{ es el costo de los insumos} \quad (\text{Ec. 4})$$

Y que al sustituir términos en la Ec. (4) se obtuvo el modelo de optimización de la productividad

$$\text{Max} PT = \frac{\text{producción}}{\text{costo}} = \frac{AX_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} X_4^{a_4} X_5^{a_5}}{P_1 X_1 + P_2 X_2 + P_3 X_3 + P_4 X_4 + P_5 X_5} \quad (\text{Ec. 5})$$

Sujeto a $X_i \min \leq X_i \leq X_i \max$ para todo $X_i \geq 0$

donde $X_i \min$ y $X_i \max$ son los valores frontera del DE, P_i es el precio del insumo i con $i=1,2, \dots, 5$

Proceso metodológico

Excel® Solver® es un método robusto, más económico y amigable que los programas de cómputo especializados (Ngo *et al.*, 2013) y el análisis cuantitativo requiere menos entrenamiento formal en regresión no lineal (Reed *et al.*, 2012), es simple, robusto, rápido y confiable (Ibrahim y Ghani, 2015). El proceso de regresión en Excel® Solver® se describe a continuación:

1. Obtener por regresión restringida paso a paso los parámetros a_i de la FDP.
 - a) Para los n datos del DE del artículo analizado, estimar la R^2 y MSE correspondientes. Si R^2 es aceptable para pronosticar: FIN DEL PROCESO DE REGRESIÓN, de otro modo continuar.
 - b) Acotar superficie de respuesta. Eliminar uno, y solo uno, dato del DE tal que maximiza el valor de R^2 . Si R^2 es aceptable para pronosticar: FIN DEL PROCESO DE REGRESIÓN, de otro modo repetir este paso hasta terminar. El modelo así obtenido es el mejor, porque tiene el menor MSE y mayor R^2 (Montgomery y Runger, 2003)
2. Obtener por optimización restringida los valores de X_i que hacen máxima la producción, manteniendo cada variable X_i min y X_i max dentro de los valores frontera del DE. Aplicar análisis de eficiencia por derivadas.
3. Obtener por optimización restringida los valores de X_i que hacen máxima la productividad, manteniendo cada variable X_i min y X_i max dentro de los valores frontera del DE. Aplicar análisis de eficiencia por derivadas.

3. Resultados y discusión

En este apartado se aplica el modelo de función de producción de Cobb-Douglas a los datos de la publicación científica de Anusith *et al.*, (2011) denominada "Optimized Production of L-phenylalanine by Fermentation Using Crude Glycerol" en la cual utiliza glicerol crudo como fuente de carbono para producir fenilalanina por fermentación con *Escherichia coli* BL21 (DE3). Aplica un diseño central compuesto Plackett-Burman de tres niveles y cinco factores con superficie de respuesta por polinomio de segundo orden con el cual deduce una producción óptima de 1.03 gL⁻¹ de fenilalanina en 30.29 h.

Anusith *et al.*, (2011) reportan que los niveles óptimos para los cinco factores fueron estimados utilizando el software Statistica: 25.27 gL⁻¹ de glicerol crudo, 11.53 gL⁻¹ de sulfato de amonio, 2.225 gL⁻¹ mezcla de sales, 1.511 gL⁻¹ de vitaminas y 30.29 h de tiempo de incubación. El modelo de segundo orden correlaciona con $R^2=0.943$

3.1 Regresión restringida y regresión paso a paso

En la tabla 1 se presenta el diseño con los 30 valores de las variables independientes y la producción de fenilalanina, utilizado en la publicación original. Para obtener la forma funcional de la Ec (1) se programa el proceso de regresión estadística en Solver® con el modelo de la Ec. (2) aplicado a los datos de la tabla 1; las restricciones del modelo indican que los valores permitidos para los exponentes son $0 < a_i < 1$. En la tabla 2 se reportan los resultados del proceso de regresión paso a paso que mejora gradualmente R^2 a medida que se eliminan del proceso de regresión los datos individuales, uno a uno, que teóricamente se apartan del modelo de CD y tienen un alto valor relativo de error cuadrático medio (MSE). La columna dos reporta los resultados de la primera ronda de regresión, con los 30 datos originales de la Tabla 1 con los siguientes resultados notorios

para el modelo de la Ec. (1): $a_1=-0.001$, $a_2=-0.001$, $a_3=-0.001$ negativos (prohibido en el modelo CD) y $R^2=0.09$.

Tabla 1. Diseño central compuesto para cinco variables independientes utilizado en el artículo original*
Table 1. Central composite design for five independent variables used in the original article

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	
No.Exp	Glicerol (gL ⁻¹)	(NH ₄) ₂ SO ₄ (gL ⁻¹)	Sales (gL ⁻¹)	Vitaminas y elementos traza (gL ⁻¹)	Tiempo de incubación (h)	Fenilalanina (gL ⁻¹)
1	1	1	1.778	0.331	36	0.8
2	1	1	1.778	2.318	12	0.8
3	1	1	12.47	0.331	12	0.61
4	1	1	12.47	2.318	36	0.58
5	1	50	1.778	0.331	12	0.71
6	1	50	1.778	2.318	36	0.86
7	1	50	12.47	0.331	36	0.63
8	1	50	12.47	2.318	12	0.68
9	50	1	1.778	0.331	12	0.78
10	50	1	1.778	2.318	36	0.94
11	50	1	12.47	0.331	36	0.76
12	50	1	12.47	2.318	12	0.64
13	50	50	1.778	0.331	36	0.52
14	50	50	1.778	2.318	12	0.45
15	50	50	12.47	0.331	12	0.4
16	50	50	12.47	2.318	36	0.49
17	25.5	25.5	7.125	1.325	24	0.94
18	25.5	25.5	7.125	1.325	24	0.99
19	1	25.5	7.125	1.325	24	0.8
20	50	25.5	7.125	1.325	24	0.8
21	25.5	1	7.125	1.325	24	0.61
22	25.5	50	7.125	1.325	24	0.58
23	25.5	25.5	1.778	1.325	24	0.71
24	25.5	25.5	12.47	1.325	24	0.86
25	25.5	25.5	7.125	0.331	24	0.63
26	25.5	25.5	7.125	2.318	24	0.68
27	25.5	25.5	7.125	1.325	12	0.78
28	25.5	25.5	7.125	1.325	36	0.94
29	25.5	25.5	7.125	1.325	24	0.76
30	25.5	25.5	7.125	1.325	24	0.64

Fuente: *Anusith, et al; (2011). Optimized Production of L-phenylalanine by Fermentation Using Crude Glycerol.

En procesos de ingeniería, cuando a_i adquiere valores negativos indica que si el insumo X_i aumenta el producto Y disminuye; para eliminar este inconveniente (en toda FDP siempre que X_i aumenta

debe aumentar Y) se transforma la variable X_i en otra variable Z tal que $Z_i = b_i - X_i$ genera un exponente $a_i > 0$, como lo requiere la teoría económica de funciones de producción. El segundo proceso de regresión se resume en la columna tres de la tabla 2, con el cual se obtienen los valores de los parámetros b_i que logran que los exponentes a_i sean positivos para los 30 datos con mejora de R^2 del valor previo 0.09 al valor 0.42.

Tabla 2. Proceso de mejora de R^2 y MSE por regresión estadística paso a paso (stepwise)
Table 2. Process of improvement of R^2 and MSE by stepwise statistical regression (stepwise)

Parámetro	R 1	R 2	R 6	R 10	R 12	R 13	R 15	R 17	R 18	R 19
n	30	30	26	22	20	19	17	15	14	13
SST	0.66	0.66	0.62	0.49	0.43	0.42	0.4	0.39	0.39	0.32
SSE	0.6	0.38	0.21	0.07	0.03	0.02	0.01	0.01	0	0
gl	24	21	17	14	12	11	9	7	6	5
MSE	0.02	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0
R^2	0.09	0.42	0.66	0.87	0.923	0.941	0.962	0.98	0.99	0.99
DT			21, 4, 5, 26	30, 9, 16, 18	17, 27	20	22, 19	12,29	23	14
A	0.51	0.4	0.25	0.14	0.05	0.044	0.044	0.05	0.05	0.06
a_1	-0.01	0.02	0.07	0.11	0.15	0.168	0.18	0.16	0.16	0.14
a_2	-0.01	0.06	0.09	0.1	0.25	0.256	0.24	0.26	0.26	0.24
a_3	-0.01	0.06	0.02	0.04	0.05	0.044	0.05	0.07	0.06	0.05
a_4	0.05	0.03	0.1	0.16	0.17	0.167	0.17	0.19	0.19	0.18
a_5	0.11	0.1	0.19	0.31	0.35	0.349	0.36	0.34	0.34	0.31
b_1	0	51	58	63.4	73	72.95	73	73	73	73
b_2	0	51	51	52.6	71.9	71.94	72	72	72	72
b_3	0	13.5	13.5	0	0	0	0	0	0	0
b_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rend		0.27	0.46	0.72	0.97	0.99	1	1.01	1	0.93

Nota. R= regresión; DT=data eliminado; Rend= rendimientos; Si hay un valor a_i (exponente) negativo se debe hacer transformación de variable ($Z_i = b_i - X_i$) para que $a_i > 0$. Fuente: cálculos del Autor.
 Note. R = regression; DT = data removed; Rend = yields; If there is a negative a_i (exponent) value, we must do a variable transformation ($Z_i = b_i - X_i$) so that $a_i > 0$. Source: Author's calculations.

En la columna cuatro de la Tabla 2 se reporta la regresión sexta del proceso de eliminación selectiva de un dato, aplicando el criterio de que “el estadístico R^2 deberá utilizarse con precaución, ya que siempre es posible hacer que R^2 sea unitario, simplemente agregando suficientes términos al modelo, también R^2 siempre aumentará si se agrega una variable al modelo, pero esto no necesariamente significa que el nuevo modelo sea superior al anterior. A menos que la suma de cuadrados del error (SSE) del nuevo modelo sea reducida por una cantidad igual al cuadrado medio del error (MSE) original, el nuevo modelo tendrá un cuadrado medio de error mayor que el anterior, debido a la pérdida de un grado de libertad. Entonces, en realidad el nuevo modelo será peor que el anterior.” (Montgomery y Runger, 2003: 398). Con esta sexta regresión para 26 datos, después de eliminar secuencialmente los datos 21, 4, 5 y 26 respectivamente con lo cual se logra mejorar R^2 a 0.66. En la columna cinco de la tabla 2 se indican los parámetros de regresión para 22

datos, después de eliminar secuencialmente los datos 30, 9, 16 y 18 respectivamente, logrando mejorar R² a 0.87. En la columna 6, con la doceava regresión, se reporta R²=0.923 después de eliminar los datos 17 y 27.

En la Tabla 2 y columna siete se resume la regresión treceava, utilizando 19 datos para regresión, el modelo CD tiene correlación global R²=0.941 y MSE=0.0022 equivalente al polinomio de segundo orden aplicado por Anusith *et al.*, (2011) con R²=0.943 y MSE=0.0041 utilizando los 30 datos del diseño experimental. Para hacer inferencias se utilizan los parámetros de la columna 7 como base de comparación entre los modelos de segundo orden y el modelo de función de producción.

La Tabla 3 muestra el conjunto de los 19 datos seleccionados para la regresión, correspondientes a la columna 7 de la tabla 2, que cumplen con una función de producción pura, como la de la Ec. (1) con R² =0.941 y MSE=0.0022 y en la tabla 4 se reportan los parámetros del modelo de regresión que satisface la forma funcional con cambio de variables

$$Y = A(b_1 - X_1)^{a_1} (b_2 - X_2)^{a_2} X_3^{a_3} X_4^{a_4} X_5^{a_5} \tag{Ec. 6}$$

Tabla 3. Datos útiles para la regresión estadística

Table 3. Useful data for statistical regression

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y	
No. Exp	Glicerol crudo (g/L)	(NH ₄) ₂ SO ₄ (g/L)	Sales (g/L)	Vitaminas y elementos traza (g/L)	Tiempo de incubación (h)	fenilalanina (g/L)	Valor Estimado (Y*)
1	1	1	1.778	0.331	36	0.8	0.813
2	1	1	1.778	2.318	12	0.8	0.766
3	1	1	12.467	0.331	12	0.61	0.603
4	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
5	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
6	1	50	1.778	2.318	36	0.86	0.833
7	1	50	12.467	0.331	36	0.63	0.656
8	1	50	12.467	2.318	12	0.68	0.619
9	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
10	50	1	1.778	2.318	36	0.94	0.929
11	50	1	12.467	0.331	36	0.76	0.731
12	50	1	12.467	2.318	12	0.64	0.689
13	50	50	1.778	0.331	36	0.52	0.497
14	50	50	1.778	2.318	12	0.45	0.468
15	50	50	12.467	0.331	12	0.4	0.369
16	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
17	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
18	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
19	1	25.5	7.125	1.325	24	0.8	0.849
20	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
21	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
22	25.5	50	7.125	1.325	24	0.58	0.653
23	25.5	25.5	1.778	1.325	24	0.71	0.744
24	25.5	25.5	12.467	1.325	24	0.86	0.811
25	25.5	25.5	7.125	0.331	24	0.63	0.627
26	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
27	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
28	25.5	25.5	7.125	1.325	36	0.94	0.912
29	25.5	25.5	7.125	1.325	24	0.76	0.791
30	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc

Fuente: Cálculos del Autor; nc = no considerado

Source: Author's calculations; nc= not considered

El proceso de fermentación requiere de condiciones de operación específicas tal que excedentes de insumos, como la temperatura, estresan al microorganismo bioactivo y se obtiene menos producción. Expresados en una variable de control, el modelo gráfico del proceso de fermentación se asemeja a la gráfica de la Figura 1a), que representa al diseño experimental completo de la tabla 1) y correlaciona con el modelo de segundo orden utilizado por Anusith *et al.*, (2011) representado por la Figura 1b). Por otra parte, la FDP correspondiente a la Ec. (1) cuyo modelo gráfico en una variable de control se asemeja a la gráfica de la Figura 2a) no correlaciona con las gráficas de la Figura 1.

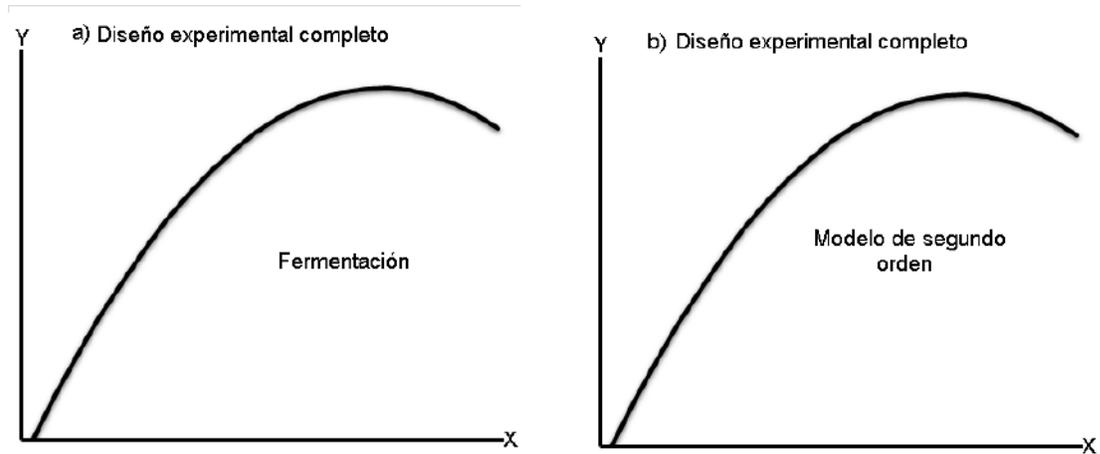


Figura 1. Modelo de fermentación y modelo de segundo orden.

Figure 1. Fermentation model and second order model.

Para hacer compatible el modelo de FDP de la Figura 2a) con el modelo de fermentación representado por la Figura 1a) se requiere acotar el diseño experimental, como se indica en la gráfica de la Figura 2b), que representa al diseño experimental acotado de la Tabla 3.

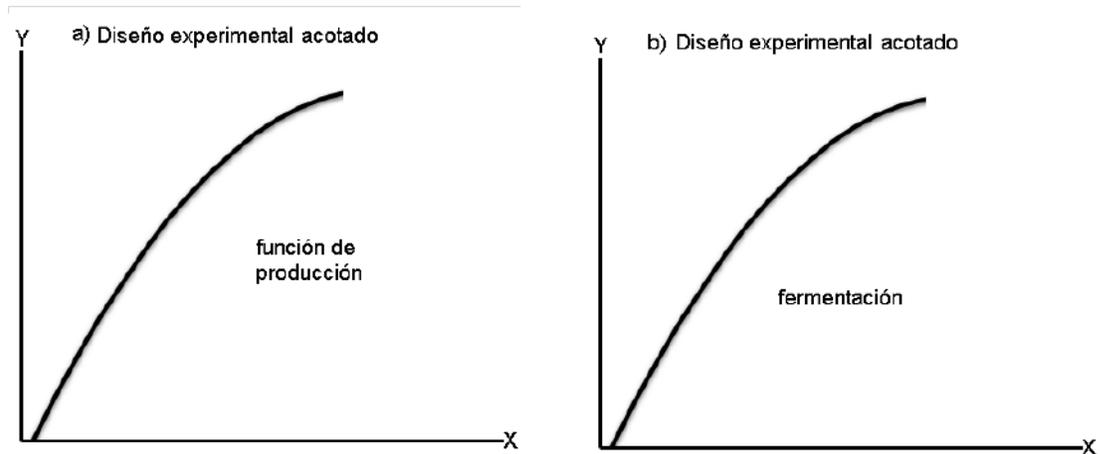


Figura 2. Modelo de función de producción y modelo de fermentación acotado

Figure 2. Production function model and bounded fermentation model

El acotamiento de modelos de regresión se ha aplicado para obtener modelos predictivos relacionados con pronósticos hidrológicos (Ssegane *et al.*, 2012), contrastes salariales entre Estados Unidos, Europa y Asia (Sperlich *et al.*, 1999); multimétodos para determinación de la procedencia del mármol (Attanasio *et al.*, 2007) y cálculo de curvas de aclaramiento plasmático (Nimmon *et al.*, 1975).

La eliminación de los datos discrepantes para el modelo CD que permiten mejorar R^2 al reducir la superficie de respuesta del experimento ha permitido así llevar la aplicación de un modelo de economía a un proceso de ingeniería, con resultados comparables.

El acotamiento de la superficie de respuesta plantea la posibilidad de recuperar un diseño experimental de baja correlación polinomial, analizándolo desde la perspectiva del modelo de FDP, eliminando los datos discrepantes por alto valor de MSE. Adicionalmente, esta investigación abre puertas para la búsqueda de otros modelos de regresión que puedan replicar la superficie de respuesta de diversos diseños experimentales.

Tabla 4. Coeficientes del modelo de regresión* para los datos de la tabla 3.

Table 4. Coefficients of the regression model * for the data in table 3.

Coeficientes	Coeficientes ajustados $\times (10^{-3})$	Coeficientes	Coeficientes ajustados
A	44.450		
a_1	168.488	b_1	73.016
a_2	256.171	b_2	71.978
a_3	44.392	b_3	0
a_4	167.138	b_4	0
a_5	349.813	b_5	0

*Coeficientes estimados del modelo ajustado con el modelo de la función de productividad (cálculos del Autor)

* Estimated coefficients of the model adjusted with the model of the productivity function (Author's calculations)

3.2 Optimización restringida

Conocidos los parámetros de la FDP, se procede a optimizar los resultados del proceso de producción de fenilalanina. El proceso de optimización busca el máximo valor posible de producción o productividad respetando el rango de variación permitido a cada variable independiente X_i , como se indican en la tabla 3, los cuales son: $(1 \leq X_1 \leq 50)$, $(1 \leq X_2 \leq 50)$, $(1.778 \leq X_3 \leq 12.467)$, $(0.331 \leq X_4 \leq 2.318)$ y $(12 \leq X_5 \leq 36)$ a fin de no extrapolar resultados y mantener el proceso dentro de las fronteras del experimento. Solver realiza búsquedas metódicas de valores ideales para cada X_i tal que se obtiene el mayor valor de la variable dependiente.

En la tabla 5 se reportan los resultados del proceso de optimización restringida de la producción y la productividad del proceso. En el renglón 1 de la tabla 5 se indican los precios en dólares para cada insumo, por consultas en páginas públicas de internet, como $0.7\text{\$USkg}^{-1}$ para glicerol crudo (consultado en quiminet.com); $0.33\text{\$USkg}^{-1}$ para $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (consultado en mercosur.com); $0.2\text{\$USkg}^{-1}$ para Sales (minerales para hidroponia, consultado en mercadlibre.com); $250\text{\$USkg}^{-1}$ para Vitaminas y trazas de elementos (mercadolibre.com); y un valor simbólico (a falta de estimador) de $0.0001\text{\$USh}^{-1}$ para tiempo de incubación. Con estos precios se deduce el costo de operación del proceso experimental, indicado en la penúltima columna de la Tabla 5, y se calcula la productividad reportada en la última columna de la Tabla 5. En los renglones 2 y 3 de la tabla 5 se

indican los valores mínimos y máximos permitidos a cada variable independiente, extraídos del diseño experimental.

Tabla 5. Comparación de resultados de optimización, valorada en estimaciones de producción (Y), costos (C) y productividad (PT) manteniendo las variables de control dentro del rango del diseño experimental.

Table 5. Comparison of optimization results, valued in estimated values, (Y), costs (C) and productivity (PT), keeping the control variables within the range of the experimental design.

	X1	X2	X3	X4	X5			
Indicadores de optimización	Glicerol crudo (gL ⁻¹)	(NH ₄) ₂ SO ₄ (gL ⁻¹)	Sales (gL ⁻¹) ¹	Vitaminas y elementos traza (gL ⁻¹)	Tiempo de incubación (h)	Y	COSTO C	PT=Y/C
US/unit	0.0007	0.0003	.0002	0.25	0.0001			
<i>Xi min</i>	1	1	1.778	0.331	12			
<i>Xi max</i>	50	50	12.46	2.318	36			
Óptimo	25.27	11.53	2.225	1.511	30.29	0.892	0.4027	2.2164
<i>Max Y</i>	1	1	12.46	2.318	36	1.227	0.58662	2.0929
<i>Max PT</i>	1	1	12.46	0.331	36	0.886	0.08987	9.8674

^aY, COSTO C y $PT=Y/C$, valores estimados por en modelo ajustado (cálculos del Autor)

^aY, COSTO C y $PT=Y/C$, values estimated by the adjusted model (Author's calculations)

3.3 Optimización de la producción

Se aplica el modelo de la Ec. (3) permitiendo variar las X_i dentro del rango especificado, tal que obtenemos el mayor valor de producción. En el renglón 4 de la Tabla 5 se indican los valores óptimos reportados por Anusith *et al.*, (2011) (renglón "Óptimo") y que valorado con la Ec. (1) da una producción $Y=0.892$ gL⁻¹ de fenilalanina, a un costo de $\$0.4027$ g⁻¹ y productividad de 2.2164 g^{\\$}⁻¹. En el renglón 5 de la tabla 5 se indican los valores óptimos para la máxima producción (max Y) con el modelo de FDP de la EC. (1) con una producción $Y=1.227$ gL⁻¹ de fenilalanina, a un costo de $\$0.5866$ g⁻¹ y productividad de 2.0929 g^{\\$}⁻¹.

Expresando en un arreglo vectorial las cantidades de cada insumo aplicados al diseño experimental, tenemos que el vector óptimo que maximiza la producción es Max Y de coordenadas (1, 1, 12.46, 2.318, 36) respectivamente con $Y=1.227$ gL⁻¹ de fenilalanina y costo $\$0.5866$ g⁻¹.

Una empresa con enfoque de producción operaría con el vector del renglón 5 (max Y, óptimo físico) de la Tabla 5 a pesar de incurrir en mayor costo unitario de producción. Estos resultados concuerdan con las observaciones reportadas por Ginésy *et al.*, (2018) de que aumentar el sulfato de amonio inicial de 10 a 20 g L⁻¹ resultó en una disminución de casi seis veces en la producción de fenilalanina y productividad; y Mathee *et al.*, (2009) que indican que la alta concentración de glicerol redujo la producción de fenilalanina y que un aumento de sales con la concentración de las vitaminas hasta el punto óptimo aumentó la producción de fenilalanina.

3.4 Optimización de la productividad

Las cantidades físicas utilizadas en el experimento se convierten en cantidades económicas, determinando el costo de cada corrida y así poder calcular y comparar la productividad de

diferentes combinaciones alternativas de insumos, obteniendo así la eficiencia distributiva indicada por OECD (2001).

Para estimar la productividad se aplica el modelo de la Ec. (5) permitiendo variar las X_i dentro del rango especificado, tal que obtenemos el mayor valor de productividad.

En el renglón 6 de la tabla 5 se indican los valores óptimos para la máxima productividad (max PT) con el modelo de la EC. (5) con una producción $Y=0.8868 \text{ gL}^{-1}$ de fenilalanina, a un costo de $\$0.0899\text{g}^{-1}$ y productividad de $9.8674\text{g}\$^{-1}$.

Una empresa con enfoque de productividad operaría con el vector del renglón 8 (max PT , óptimo económico) de la Tabla 5 logrando menor costo unitario de producción. El vector óptimo que maximiza la productividad es Max PT de coordenadas (1, 1, 12.46, 0.331, 36) respectivamente con $Y=0.886$ y costo $\$0.0899$

Con la estimación de estas combinaciones óptimas para la producción y productividad se comprueba la hipótesis planteada y el modelo de FDP de Cobb-Douglas se pudo aplicar al proceso de fermentación, una vez acotado el DE y la superficie de respuesta.

3.5 Comparación de modelos

El modelo de segundo orden reportado por Anusith *et al.*, (2011) requiere de 21 parámetros, correlaciona con $R^2=0.943$ y tiene un $MSE=0.004$ (porque $SST=0.655$) y tiene 9 grados de libertad; mientras que el modelo CD aplicado en esta investigación requiere de 8 parámetros; si se aplican los 19 datos seleccionados del diseño experimental el modelo de función de producción pura correlaciona con $R^2=0.941$ y $MSE=0.0022$ y tiene 11 grados de libertad. En este punto, el modelo CD es estadísticamente mejor que el modelo de segundo orden porque tiene mejor MSE según los criterios especificados por Montgomery *et al.*, (2003).

3.6 Eficiencia técnica del proceso

Para optimizar la producción se deriva la Ec. (1) respecto de cada variable y se igualan todas las derivadas, según se indica para X_i con $i=1, 2, \dots, n$

$$\frac{\partial Y}{\partial X_i} = a_i (AX_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} X_4^{a_4} X_5^{a_5}) / X_i = a_i Y / X_i \tag{Ec. 7}$$

donde Y / X_i es la productividad parcial de X_i

La Ec. (1) derivada para cada una de las cuatro variables independientes, como lo indica la Ec. (7), nos da un sistema de cuatro ecuaciones, que se listan a continuación

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Y}{\partial X_1} &= a_1 Y / X_1 \\ \frac{\partial Y}{\partial X_2} &= a_2 Y / X_2 \\ \frac{\partial Y}{\partial X_3} &= a_3 Y / X_3 \\ \frac{\partial Y}{\partial X_4} &= a_4 Y / X_4 \end{aligned} \right\} \tag{Ec. 8}$$

Resolvemos el sistema de Ecs. (8), dos a la vez, igualando todas las derivadas (se ejemplifica para las primeras dos) y se obtiene

$$a_1 \frac{Y}{X_1} = a_2 \frac{Y}{X_2} \quad \text{que se transforma en} \quad \frac{a_1}{a_2} = \frac{X_1}{X_2} \quad (\text{Ec. 9})$$

La Ec. (9) indica que los exponentes de la FDP están en proporción a las cantidades de recursos utilizados y que a mayor cantidad de insumo X_i mayor valor relativo del exponente a_i asociado y mayor la contribución al producto obtenido. En el óptimo todas las derivadas parciales son iguales (Mcneill, 1977; Kurose y Simha, 1989; Debertin, 2012). Lograr y mantener la proporción de cada X_i con su exponente a_i (y por tanto todas las derivadas iguales entre sí) asegurará el logro de la eficiencia técnica del proceso. En la Tabla 6 se presentan los valores de las derivadas para los vectores “Óptimo”, “Max Y” y “Max ef Y” en la que se observa que la derivada de la variable X_4 es notoriamente elevada en comparación con las otras derivadas, lo cual indica que aumentando X_4 a valores más allá de la frontera del diseño experimental hay una mejora de producción, como se sugiere en la última columna con mejor valor Y si aplicamos $X_4=4.92$, generando producción $Y=1.392 \text{ gL}^{-1}$. La búsqueda de eficiencia técnica induce a considerar que un nuevo diseño experimental debería contemplar esta nueva frontera en su planeación.

Tabla 6. Valores estimados de las derivadas parciales y su relación con la producción.

Table 6. Estimated values of the partial derivatives and their relationship with production.

Y=0.9291		Max Y=1.2277		Max ef Y=1.3926	
X_i	$\partial Y/\partial X_i$	X_i	$\partial Y/\partial X_i$	X_i	$\partial Y/\partial X_i$
50	0.00674	1	0.00287	1	0.00326
1	0.00334	1	0.00443	1	0.00502
1.778	0.0226	12.467	0.00429	12.467	0.00487
2.318	0.06582	← 2.318	0.08698	← 4.9272	0.04685
36	0.00899	36	0.01188	36	0.01347

Fuente: cálculos del Autor

Source: Author's calculations

3.7 Eficiencia de escala (Rendimientos de escala)

La función CD tiene la propiedad de rendimientos de escala siguiente: si aumentamos el vector de insumos en cierta proporción λ , tal que $\lambda > 1$, entonces

$$Y(\lambda X_1, \lambda X_2, \dots, \lambda X_n) = A(\lambda X_1)^{a_1} (\lambda X_2)^{a_2} (\lambda X_3)^{a_3} (\lambda X_4)^{a_4} (\lambda X_5)^{a_5} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$Y(\lambda X_1, \lambda X_2, \dots, \lambda X_n) = \lambda^{a_1+a_2+a_3+a_4+a_5} \left[A X_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} X_4^{a_4} X_5^{a_5} \right] \quad (\text{Ec. 11})$$

Si $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 < 1$ los rendimientos de escala son decrecientes, un aumento en el vector de insumos (los valores de las variables) disminuye la eficiencia y productividad del proceso de producción analizado. Por el contrario, si $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 > 1$ los rendimientos son crecientes y un aumento en el vector de insumos aumenta la eficiencia y productividad. Si $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 = 1$ los rendimientos son constantes y aumentos proporcionales en insumos producen aumentos proporcionales en productos.

Dollery *et al.*, (2007) documentan que, en general, la teoría económica sostiene que a medida que la escala física de producción aumenta, el proceso de producción exhibirá primero rendimientos

crecientes a escala, seguida de rendimientos constantes a escala, y finalmente rendimientos decrecientes a escala.

De conformidad con las Ecs. (10) y (11), la teoría económica establece que cuando la escala o tamaño de la empresa (en este caso infraestructura física del experimento) es óptimo(a) los rendimientos son uno (suma de exponentes =1). Si no es el caso, se deben hacer ajustes para lograr que el modelo CD llegue a suma de exponentes igual a uno. Esta condición asegura el logro de la eficiencia de escala, como lo describe Dollery *et al.*, (2007).

Los exponentes de las variables suman 0.986, el experimento está en rendimientos decrecientes, por lo que la teoría indica que disminuyendo proporcionalmente el vector de insumos (las variables) aumenta la eficiencia del proceso de producción de fenilalanina por fermentación.

En algunos de los casos, las inferencias de aumentar o disminuir el valor de la(s) variable(s) X_i induce a salir del rango de diseño del experimento; en estos casos es necesario valorar si el proceso puede llevarse a esos valores sugeridos considerando, en este caso particular, si el microorganismo bioactivo soportará los nuevos parámetros de control. Existe un proceso de aproximación sucesiva hacia las nuevas y desconocidas condiciones (llamado operación evolutiva) que incorporan la optimalidad de escala y optimalidad técnica en nuevos DE a partir del anterior DE.

La búsqueda de eficiencia de escala induce a considerar que en un nuevo diseño experimental debería contemplar este criterio de escala para definir la nueva frontera del siguiente experimento que progresivamente se aproxime a suma de exponentes igual a uno, a fin de optimizar la productividad.

3.8 Eficiencia Económica

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2001) describe que la eficiencia económica tiene dos componentes distintos, la eficiencia "distributiva" y la eficiencia "técnica". La eficiencia técnica es la capacidad de una empresa para obtener la máxima salida de un determinado conjunto de insumos ("eficiencia técnica de salida") o el uso de insumos mínimos para un determinado conjunto de productos ("eficiencia de los insumos técnicos"). La eficiencia distributiva se refiere a la capacidad de una empresa para utilizar insumos en proporciones óptimas, dado un conjunto de precios de los insumos, o para producir salidas en proporciones óptimas, dado un conjunto de precios de los productos. Rendimientos constantes a escala se producen cuando aumentos proporcionales en todas las entradas resultan en el mismo aumento proporcional en las salidas. Conocidos los precios de los insumos se puede comparar la productividad total (PT) de cada modelo y de cada combinación de insumos. En la realidad, los precios y cada cambio de precios cambian la combinación óptima en la que debe operar la empresa. Como indica Prokopenko (1989), la productividad de la empresa no puede aumentar indefinidamente, cada escala de producción (tamaño de la empresa) tiene asociada una capacidad óptima de producción a la cual se maximiza la productividad, de acuerdo con la ley de los rendimientos decrecientes.

En la Tabla 7 se presentan los valores de las derivadas, respecto de $X_i P_i$, para los vectores "Max PT " y "Max ef PT " en la que se observa que la derivada de la variable X_5 es notoriamente elevada en comparación con las otras derivadas, lo cual indica que aumentando X_5 hay una mejora de productividad a valores más allá de la frontera del diseño experimental, como se sugiere en la parte derecha de la tabla. El aumento de X_5 de 36 a 43.2 horas de fermentación mejoran la productividad de 9.86 a 10.43.

La búsqueda de eficiencia económica induce a considerar que en un nuevo diseño experimental debería contemplarse esta nueva frontera en su planeación. En condiciones de igualdad, una

empresa con información analítica del óptimo físico y óptimo económico preferirá operar en el óptimo económico para maximizar sus beneficios, al disminuir su costo de producción, como lo refieren Ho *et al.*, (2017) y Gilpin y Rusik (2001).

Tabla 7. Valores estimados de las derivadas parciales y su relación con la productividad.
Table 7. Estimated values of the partial derivatives and their relationship with productivity.

Max Y=0.8868 PT=9.8674			Max ef Y=0.9452 PT=10.4336		
X_i	costo X_iP_i	$\partial Y/\partial X_iP_i$	X_i	costo X_iP_i	$\partial Y/\partial X_iP_i$
1	0.0007	2.96226	1	0.0007	3.15735
1	0.00033	9.69399	1	0.00033	10.3324
12.467	0.0025	15.494	12.467	0.00249	16.5143
0.331	0.08275	1.6002	0.331	0.08275	1.70558
36	0.0036	85.7865 ←	43.2	0.00432	76.2535

Fuente: cálculos del Autor
 Source: Author's calculations

4. Conclusiones

El acotamiento de la superficie de respuesta del diseño experimental permite llevar la aplicación de un modelo de economía a un proceso de ingeniería, con resultados comparables.

El acotamiento de la superficie de respuesta plantea la posibilidad de recuperar un diseño experimental de baja correlación polinomial, analizándolo desde la perspectiva del modelo de FDP, eliminando los datos discrepantes por alto valor de MSE. Adicionalmente, esta investigación abre puertas para la búsqueda de otros modelos de regresión que puedan replicar la superficie de respuesta de diversos diseños experimentales.

La mejor producción está en el vector óptimo físico de coordenadas (1, 1, 12.46, 2.318, 36) con producción de 1.227 gL⁻¹ de fenilalanina y costo total de \$0.5866 y productividad de 2.093g\$⁻¹.

La mejor productividad está en el vector óptimo económico de coordenadas (1, 1, 12.46, 0.331, 36) con producción de 0.886 gL⁻¹ de fenilalanina y costo total de \$0.0898 y productividad de 9.8674g\$⁻¹.

Con el proceso de optimización descrito, una empresa con enfoque de producción operaría en el vector óptimo físico descrito, a pesar de incurrir en mayor costo unitario de producción mientras que una empresa con enfoque de productividad operaría en el vector óptimo económico descrito, logrando menor costo unitario de producción.

Para mejorar el rendimiento físico y económico, el análisis de eficiencias por derivadas induce a explorar, en el próximo diseño experimental, la frontera de las variables X_4 (vitaminas y trazas) hacia 4.92 y la variable X_5 (tiempo de incubación (h)) hacia 43.2. La búsqueda de eficiencias (técnica o económica) induce a considerar que en un nuevo diseño experimental debería contemplar esta nueva frontera en la planeación del nuevo diseño experimental.

La búsqueda de eficiencia de escala induce a considerar que en un nuevo diseño experimental debería contemplarse la reducción proporcional del vector de insumos para que progresivamente el proceso se aproxime a suma de exponentes igual a uno, a fin de optimizar la productividad.

5. Referencias

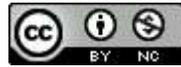
- Anusith, T., Kla, T., Methée, K., Kanoktip, P. y Penjit S. (2011). Optimized Production of L-phenylalanine by Fermentation Using Crude Glycerol. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 45: 686 - 699. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/245347>
- Attanasio, D., Armiento G., Brilli, M., Emanuele, M. C., Platania, R. y Turi, B. (2007). Multi-method marble provenance determinations: the carrara marbles as a case study for the combined use of isotopic, electron spin resonance and petrographic data. *Archaeometry* 42: 257-272. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2000.tb00881.x>
- Baiyegunhi, L. y Arnold, C. (2011). Economics of sugarcane production on large scale farms in the Eshowe/Entumeni areas of KwaZulu-Natal, South Africa. *African Journal of Agricultural Research* 6(21). <https://bit.ly/3wMRviH>
- Debertin, D. L. (2012). *Agricultural Production Economics*. Mcmillan Publishing Company, New York. <http://www.uky.edu/~deberti/prod/agprod5.pdf>
- Dollery, B., Byrnes, J. y Crase, L. (2007). *Economies of Scale and Population Size in Australian Local Government Structural Reform Programs. Working Papers Series*. https://www.une.edu.au/_data/assets/pdf_file/0010/19189/15-2007.pdf
- Farrel, M. (1957). *The measurement of productive efficiency*. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- García-Sabater, J. P. y Maheut, J. (2016). *Modelado y Resolución de Problemas de Organización Industrial mediante Programación Matemática Lineal*. <https://www.lawebdelprogramador.com/pdf/info.php?id=12716>
- Gilpin, R. y Rusik, D. (2001). *Global Political Economy Understanding the International Economic Order*. Princeton University Press, Princeton, USA. <https://bit.ly/3tM6Azo>
- Ginésy, M., Rusanova-Naydenova, D., y Rova, U. (2018). *Tuning of The Carbon-to-Nitrogen Ratio for the Production of L-Arginine by Escherichia Coli. En Kennes, C. (2018) Bioconversion Process*. University of La Coruna, Spain. <https://doi.org/10.3390/fermentation3040060>
- Ho, S. J. y Dimitrije R. (2017). *Returns to Scale, Productivity Measurement, and Trends in U.S. Manufacturing Misallocation*. <https://bit.ly/3iRBxvv>
- Ibrahim, M. y Ghani, I. (2015). An Application of Non-Linear Regression Analysis for Food Science Data with Microsoft Excel Solver. *International Journal of Science, Environment and Technology*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:54600112>
- Igartua, J. J. y Humanes M. L. (2004). *El método científico aplicado a la investigación en comunicación social. Aula Abierta. Lecciones básicas*. https://repositorioinstitucional.ceu.es/bitstream/10637/2491/6/Cap_III.pdf
- Kurose, J.F. y Simha, R. (1989). A Microeconomic Approach to Optimal Resource Allocation in Distributed Computer Systems. *IEEE Trans. Comput.* 38: 705-717. <https://doi.org/10.1109/12.24272>
- López, S. C. (1999). *Análisis de la Función de Producción Agraria para Distintos Niveles de Agregación. Estudios de Economía Aplicada*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=176028>
- Methée K., Jarun C., Kanoktip P. y Penjit S. (2009). Optimization of Medium Composition for L-phenylalanine Production from Glycerol using Response Surface Methodology. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 43: 727 - 737. <https://bit.ly/3ITnY9w>
- Montgomery, D. C. y Runger, G. (2003). *Applied Statistical and Probability for Engineers* (3th Ed.). John Wiley & Sons, USA. <https://bit.ly/3xarSHf>
- McNeill, R.C. (1977). *Production functions for apple orchard systems in the Okanagan valley of British Columbia. MSc thesis. Faculty of Graduate Studies. Department of Agricultural Economics. University of British Columbia. Vancouver, CA*. <https://dx.doi.org/10.14288/1.0094264>

- Nimmon, C. C., Mcalister, J. M., Hickson, B. y Cattell, W. R. (1975). Study of the post-equilibrium slope approximation in the calculation of glomerular filtration rate using the C r-EDTA single injection technique. En *Dynamic Studies with Radioisotopes in Medicine 1974*. Proceedings of Symposium, Knoxville, 15-19 July 1974. <https://bit.ly/3uGKKfE>
- Ngo, H., Guo, W. y Hossain, M. (2013). Introductory of Microsoft Excel SOLVER Function - Spreadsheet Method for Isotherm and Kinetics Modelling of Metals Biosorption in Water and Wastewater. *Journal of Water Sustainability*. <http://hdl.handle.net/10453/28380>
- OCDE (2001). *Measuring Productivity*. OECD Manual. Measurement of Aggregate and Industry-Level Productivity Growth. OECD, Paris. <https://www.oecd.org/sdd/productivity-stats/2352458.pdf>
- Oguzor, N. S. (2013). Technical and Economic Efficiency of Palm Oil Marketing in the Niger Delta Region of Southern Nigeria. *Current Research Journal of Economic Theory*. <http://dx.doi.org/10.19026/crjet.5.5523>
- Narváez-Flores, M., Sánchez-Madrigal, M. Á., Quintero-Ramos, A., Paredes-Lizárraga, M. A., González-Laredo, R. F., Ruiz-Gutiérrez, M. G., Piñón-Castillo, H. A. y Meléndez-Pizarro, C. O. (2015). Ultrasound assisted extraction modeling of fructans from agave (Agave tequilana Weber var. Azul) at different temperatures and ultrasound powers. *Food and Bioproducts Processing* 96: 232-239. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2015.08.007>.
- Ojo, O. y Ehinmowo, O. (2010). Economic Analysis of Kola-nut Production in Nigeria. *J Soc Sci* 22(1). <https://doi.org/10.1080/09718923.2010.11892777>
- Paredes-Lizarraga, M. A. y Quintero-Ramos, A. (2017). La Función de Producción y Productividad en el Proceso de Absorción de Sorbitol. *ITMochis Investigación, Tecnología y Liderazgo Mexicano* 8 (agosto-diciembre).
- Prokopenko, J. (1989). *La gestión de la productividad: manual práctico*. Limusa, México.
- Reed, D., Kaplan, B. y Brewer, A. (2012). A Tutorial on the Use of Excel 2010 and Excel for Mac 2011 for Conducting Delay-Discounting Analyses. *Journal of Applied Behavior Analysis*. <https://doi.org/10.1901/jaba.2012.45-375>
- Rensman, M. (1996). *Economic Growth and Technological Change in the Long Run: a survey of theoretical and empirical literature*. SOM Research Report 96C10, Groningen University, Groningen. <https://ideas.repec.org/p/gro/rugsom/96c10.html>
- Sidiropoulos, N. (1999). Mathematical Programming Algorithms for Regression-Based Non-linear Filtering in Rn. *IEEE Transactions on Signal Processing* 47. <https://doi.org/10.1109/78.747782>
- Singh, N. P., Singh, P. y Pal, S. (2007). Estimation of Economic Efficiency of Sugar Industry in Uttar Pradesh: A Frontier Production Function Approach. *Ind. Jn. of Agri. Econ.* <https://www.proquest.com/docview/201555495>
- Sperlich, S., Schwalbach, J., Grasshoff, U. (1999). *Executive pay and corporate financial performance. An explorative data analysis*. Working Papers. Statistics and Econometrics. WS 6382, Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Estadística. <https://bit.ly/3qL9hzd>
- Ssegane, H., Tollner E. W., Mohamoud Y. M., T. C. Rasmussen T. C. y Dowd J. F. (2012). Advances in variable selection methods I: Causal selection methods versus stepwise regression and principal component analysis on data of known and unknown functional relationships. *Journal of Hydrology* 438–439: 16–25. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.jhydrol.2012.01.008>
- Sturgeon, D. E. (2012). *Economic performance of architectural firms: An application of production theory*. Tesis Doctoral. University of Illinois. Urbana, Illinois. <https://bit.ly/36IEImO>
- Suhaeni, S., Soemarno, N., Harahap, N. y Berhimpon, S. (2014). The Empowerment Model of Skipjack Tuna Fish (Cakalang Fufu) Processing Small Industry in Bitung City. *Journal of Research in Environmental and Earth Science*. <https://www.questjournals.org/jrees/papers/vol1-issue4/B140915.pdf>

- Taiwo, O., Dayo, O. y Bolariwa, K. (2014). Technical Efficiency Analysis of Cassava Production in Nigeria; Implication for Increased Productivity and Competitiveness. *Research Journal of Agriculture and Environmental Management* 3(11). <https://bit.ly/3tNorFV>
- Wang, D., Chukova, S. y Lai, C. (2004). On the Relationship Between Regression Analysis and Mathematical Programming. *Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences* 8(2):131-140. <https://www.emis.de/journals/HOA/JAMDS/8/2131.pdf>
- Yamada, S. y Ruttan, V. (1989). "Comparaciones internacionales de la Productividad Agraria". En San Juan (comp.). *La modernización de la economía española*. MAPA, Madrid. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/fondo/pdf/13382_4.pdf
- Zarini R. L., Loghmanpour M. H., Ramezani M. A., Afrouzi H.N. y Tabatabaekolor R. (2015). Relationship between of Energy Consumption and Eg Production in Poultry in Iran. *Biological Forum – An International Journal*.

2020 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Detección de Adenovirus entéricos en infantes con enfermedad diarreica aguda de la ciudad de Chihuahua, México

Detection of enteric Adenoviruses in infants with acute diarrheal disease in the city of Chihuahua, México

Miriam Rosario Zermeño-Ortega¹, Laura Alicia Manjarrez-Nevárez¹, Reyna Reyes-Martínez¹ y Carmen Myriam De La O-Contreras*¹

¹Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Químicas. Circuito Universitario Campus II, Chihuahua, Chihuahua, México, C.P. 31125

*Correspondencia: Correo electrónico: cdelao@uach.mx (Carmen Myriam De La O-Contreras)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v14i2.569>

Recibido: 18 de diciembre 2019; Aceptado: 14 de septiembre 2020

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El objetivo del estudio fue detectar la presencia de Adenovirus entéricos en muestras de heces de infantes menores de cinco años con enfermedad diarreica aguda (EDA) en la ciudad de Chihuahua, México, en el período de 2004 a 2008 y 2012. Se analizaron un total de 236 muestras de heces diarreicas provenientes de infantes hospitalizados con EDA de la ciudad de Chihuahua, México, con la técnica PCR utilizando los iniciadores Hex1deg y Hex2deg. Se determinaron los serotipos entéricos, en las muestras positivas para Adenovirus, mediante el patrón de las enzimas de restricción HaeIII y HinfI obtenidos de los productos de PCR. Los resultados obtenidos revelaron que el 24 %, de las 236 muestras analizadas fueron positivas para Adenovirus entéricos, de las cuales 22.3 % correspondieron al serotipo 41 y 1.7 % al serotipo 40, con una mayor cantidad de casos en el período invernal. Con este estudio se detectó la presencia de Adenovirus entérico como agente etiológico de EDA en infantes menores de cinco años en la ciudad de Chihuahua, México, en el periodo 2004-2008, además se encontró la presencia de Adenovirus no entéricos sugiriendo su atención en el futuro como agentes causales de EDA.

Palabras clave: Adenovirus, gastroenteritis, infecciones, epidemiología, Chihuahua (ciudad), México

Abstract

The objective of the study was to detect the presence of enteric Adenovirus in stool samples of infants under 5 years of age with acute diarrheal disease (ADD) in the city of Chihuahua, Mexico, in the period from 2004 to 2008 and 2012. A total of 236 diarrheal stool samples from infants hospitalized with ADD from the city of Chihuahua, Mexico, with the PCR technique using the Hex1deg and Hex2deg primers. The enteric serotypes were determined in the samples positive for Adenovirus, using the standard of the restriction enzymes HaeIII and HinfI obtained from the PCR

products. The results obtained revealed that 24% of the 236 samples analyzed were positive for enteric Adenovirus, of which 22.3% corresponded to serotype 41 and 1.7% to serotype 40, with a greater number of cases in the winter period. With this study, the presence of enteric Adenovirus was detected as an etiological agent of ADD in infants under 5 years of age in the city of Chihuahua, Mexico, in the period 2004-2008, in addition the presence of non-enteric Adenovirus was found, suggesting their care in the future as agents, causes of ADD.

Keywords: Adenovirus, gastroenteritis, infectious, epidemiology, Chihuahua (city), Mexico.

1. Introducción

A nivel mundial, la Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) es un problema de salud pública y la segunda causa de mortalidad y morbilidad en la población infantil. Se describe como una de las principales causas de muerte en niños menores de cinco años, se reporta que anualmente 525,000 niños fallecen a causa de diarrea, principalmente en países subdesarrollados (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).

En México se ha reducido de manera significativa la mortalidad por esta enfermedad, principalmente en menores de cinco años de edad, esto es debido a las acciones y políticas de salud que se han establecido, tales como: la creación de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual trabaja en brindar una buena calidad en el agua de consumo humano, disminuyendo la transmisión de enfermedades infecciosas a través de ésta, la vacunación contra el sarampión y rotavirus, aplicación de vitamina A y albendazol en las Semanas Nacionales de Salud, promoción de la lactancia materna que ayuda al fortalecimiento inmunológico a corto plazo de los niños para enfrentar procesos infecciosos, gracias a los anticuerpos maternos transferidos, así como, la promoción de terapia de hidratación oral como la estrategia más importante que ha disminuido drásticamente la mortalidad por esta enfermedad. Sin embargo, la EDA en menores de cinco años de edad continua dentro de las 10 principales causas de mortalidad y segunda en morbilidad; además en nuestro país se presentan al año más de 1 millón de casos, afectando principalmente a los niños y niñas menores de un año de edad (Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica / Dirección General de Epidemiología / Secretaría de Salud [SINAVE/DGE/SALUD], 2017; Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control [CEVECE], 2010; Ahmed et al., 2020). La EDA puede ser causada por distintos agentes etiológicos, entre los que se encuentran virus, bacterias, parásitos y hongos (Sirok et al., 2008; Amar et al., 2007; Desselberger U., 2017; DGE, 2020).

Los principales virus causantes de EDA son: Rotavirus, Norovirus, Astrovirus, Sapovirus y Adenovirus (Banga-Mingo et al., 2014; Corcoran et al., 2014; Li et al., 2016; Operario et al., 2017).

Programas de vacunación contra Rotavirus han sido establecidos en 107 países para abril del 2020, estando disponibles en el mercado global cuatro vacunas: Rotarix®, Rotasil®, RotaTeq® y Rotavac® (Rotavirus Organization of Technical Allies [ROTA], 2019 y 2020).

México fue uno de los primeros países en introducir a su esquema de vacunación nacional la vacuna contra Rotavirus, en el 2007 México introduce la vacuna denominada como Rotarix® y en el 2011 la sustituye por la vacuna Rotateq®, lo cual ha llevado a una disminución de la mortalidad por este agente de entre 35 y 55%, y a una disminución de hospitalizaciones de alrededor del 47%. (Reyna-Figueroa et al., 2011; Gastanaduy et al., 2013; Paternina-Cacedo et al., 2015; Sánchez-Uribe et al., 2016). Sin embargo, dicha vacuna no previene gastroenteritis de otra etiología viral, diferente a Rotavirus, y mucho menos bacteriana, viéndose esto reflejado en los datos epidemiológicos sin disminución de EDA en población infantil. Uno de los estudios realizados en nuestra ciudad de EDA encontró una mayor prevalencia de Rotavirus en población pediátrica, por lo que se

considera importante continuar el estudio epidemiológico en la detección de otros virus causantes de dicha enfermedad, esto permitirá recabar datos que lleven a considerar no solo a Rotavirus como principal agente viral causante de EDA en infantes en nuestra comunidad, ayudando así a generar información para que las autoridades correspondientes consideren implementar medidas necesarias para su prevención y control (Hernández et al., 2011; Medina, 2012).

Otro de los agentes etiológicos de EDA, además de Rotavirus, es el género Adenovirus, los cuales son virus de ADN de doble cadena, que tienen un diámetro de 70 a 110 nm, con estructura icosaédrica y carecen de envoltura, tienen un aspecto similar a un satélite artificial, están clasificados en serotipos, existen más de 50 serotipos de Adenovirus, de los cuales los serotipos 40 y 41 son llamados Adenovirus entéricos y por ende están asociados EDA (Collier y Oxford, 2008; International Committee on Taxonomy of Viruses [ICTV], 2011; Harrach et al., 2011).

Los serotipos entéricos causan un cuadro subagudo de diarrea profusa, acuosa y mucosa, con una duración promedio de cuatro días, algunos casos se acompañan de vómito, fiebre, dolor y distensión abdominal por lo que están considerados dentro del grupo de virus medicamente importantes que causan gastroenteritis en infantes (Martina et al., 2013; Bányai et al., 2018; Hassan et al., 2019) siendo los responsables del 12 % de las diarreas en niños hospitalizados en México (Romero, 2007).

Las EDA causadas por virus son un grave problema de salud pública en el país, en donde incluyen consecuencias de índole económico, que se manifiestan principalmente en el nivel de atención primaria, la hospitalización y el costo que representan estos pacientes ya que en la mayoría de los casos el agente causal no se determina, por lo que es importante identificar los agentes causales para brindar el tratamiento adecuado, así como para ayudar a establecer las medidas de prevención y control. En México la incidencia de Rotavirus ha disminuido gracias a la inclusión de la vacuna en la cartilla nacional de vacunación, sin embargo, la EDA en infantes sigue persistiendo, por lo que es necesario rastrear la presencia de otros agentes virales, como Adenovirus entéricos, permitiendo así establecer datos epidemiológicos que ayuden a las autoridades correspondientes a tomar medidas necesarias para su prevención y control. En este estudio se desea detectar ADN de Adenovirus entéricos en infantes menores de cinco años en la ciudad de Chihuahua, como probable agente etiológico de EDA, demostrando la presencia de otros virus que se sumen a los datos epidemiológicos de Rotavirus.

Desde el 2004 en la ciudad de Chihuahua, México, se ha monitoreado la prevalencia de virus causantes de EDA en población pediátrica, donde se ha reportado una incidencia del 14% de Adenovirus causantes de diarreas agudas severas en infantes, principalmente del serotipo 41 durante los años 2010-2011 (Medina, 2012). A partir de lo cual se plantea el siguiente objetivo de este de trabajo: detectar la presencia de Adenovirus entérico en infantes con EDA durante los años 2004- 2008 y 2012 en la ciudad de Chihuahua, México.

2. Materiales y métodos

Fueron recolectadas muestras de heces diarreicas de niños entre 0-5 años de edad hospitalizados en Hospital General “Dr. Salvador Zubirán”, Hospital General Regional No. 1 Unidad Morelos del Instituto Mexicano del Seguro Social y el Hospital Infantil de Especialidades, todos ubicados en la ciudad de Chihuahua, México, durante los años 2004-2008 y 2012 (consentimiento firmado por tutores emitido por la Secretaría de Salud titulado “Encuesta Epidemiológica de Casos de Enfermedad Diarreica Aguda”). Se usó como control positivo un constructo viral denominado ADV41, creado y caracterizado con el vector pGEM-T y el gen de la proteína Hexón de Adenovirus serotipo 41 previamente secuenciado por Medina-Soltero en el 2012

(Moreno, 2014). Las muestras de heces analizadas fueron suspendidas en una solución amortiguadora de fosfatos al 20 % para la extracción de ADN utilizando el método por fenol-cloroformo (modificado de Herring et al., 1982). Se realizó PCR para Adenovirus amplificando un segmento que codifica para la proteína Hexón, usando los siguientes iniciadores: Hex 1 deg: 5'-GCCSCARTGGKWCATGACATC-3' (nucleótido 7663-17687), Hex2deg: 5'-CAGCACSCCICGRATGTCAAA-3' (nucleótido 17943-17963). La mezcla de reacción tuvo las siguientes condiciones: amortiguador PCR 1X, MgCl₂ 3 mM, Hex1deg 0.5 μM, Hex2deg 0.5 μM, dNTP's 0.4 mM, Taq polimerasa 1U y un total de 5 μL de DNA extraído por fenol cloroformo. Los tubos de reacción fueron colocados en un termociclador HYBAD PCR Express manteniéndolos a 94° C por tres minutos e inmediatamente después 35 ciclos 94° C 30 s, 55° C 30 s y 72° C 1 min finalizando con un ciclo de 72° C por cinco min (Allard et al., 2001). La visualización del amplicón se realizó en gel de agarosa al 1 % teñido con bromuro de etidio y analizado con el programa KODAK 1D 3.6. Se realizó un análisis con el programa NEBcutter, para determinar el tamaño de los fragmentos de restricción generados en el producto de PCR del control positivo ADV41, para la identificación del serotipo viral 40 y 41 de Adenovirus, usando las enzimas HaeIII y HinfI (Vincze et al., 2003). Se determinó el serotipo de Adenovirus de las muestras que resultaron positivas por enzimas de restricción, HaeIII y HinfI de 10 u/μl marca Promega, bajo el protocolo de digestión directa para productos de PCR Master Mix, usando 25 μl de la reacción de PCR y una concentración final de la mezcla 1X (Promega Corporation, 2011). Los productos de restricción se analizaron en gel de agarosa al 2 % teñido con bromuro de etidio y analizaron con el programa KODAK 1D 3.6. Los resultados obtenidos se analizaron a través de estadística descriptiva, por medio de Excel Office, calculando las frecuencias (%).

Para identificar si el ADN de Adenovirus correspondía al serotipo 41 en cada una de las muestras positivas, se usó la enzima HinfI, ya que el análisis con el programa NEBcutter de la secuencia nucleotídica del producto de PCR del control positivo ADV41 generó tres fragmentos de restricción: 128, 124 y 55 pb para identificarlo (Vincze et al., 2003). En la Figura 2 puede observarse la obtención del fragmento de restricción de 128 pb en el control positivo ADV41, confirmando que se trata del serotipo 41 el control utilizado.

La prueba con la enzima de restricción HaeIII se usó para aquellos productos de PCR que no fueron cortados por la enzima HinfI, indicándonos entonces el serotipo 40, ya que de acuerdo al programa NEBcutter, tanto el serotipo 40 como el 41 de Adenovirus dicha enzima puede realizar 3 cortes generando 4 fragmentos: 179, 63, 35 y 30 pb (Vincze et al., 2003). Al realizar el procedimiento descrito previamente en metodología, se observó un fragmento de restricción de ~179 pb en el producto de PCR del control positivo ADV41 (Figura 3).

3. Resultados y discusión

Se analizaron un total de 236 muestras de heces de niños. En 221 de estas muestras pertenecientes a los años de 2004 a 2008 y 15 muestras del 2012. La detección de Adenovirus por PCR se realizó logrando amplificar un fragmento de ~301 pb que codifica para la proteína hexón de Adenovirus (Allard y col. 2001). De las 236 muestras analizadas se detectó en 74 (31.3%) la presencia del fragmento de ~301 bp del género Adenovirus. De los cuales 71 fueron en el periodo de 2004 a 2008 y 3 en el periodo 2012. En la Figura 1 se muestran algunos resultados, puede observarse un amplicón de ~301 pb en el control positivo (carril 14) y los productos obtenidos de algunas de las muestras analizadas: los carriles 4-13 muestran un resultado positivo para Adenovirus, observándose el producto amplificado ~301 pb, las muestras analizadas son ADN extraído de heces diarreicas de infantes menores de cinco años de diferentes hospitales de la

ciudad de Chihuahua, México. En los carriles 11 y 13 podemos ver que la intensidad de la banda observada es menor al resto, sin embargo, no se hizo una cuantificación del amplicón ya que solo es un estudio cualitativo, permitiéndonos identificar un resultado positivo o negativo. En el carril tres observamos una muestra negativa a Adenovirus, debido a la ausencia del producto de amplificación, indicando que en dicha muestra no está presente el ADN de Adenovirus, descartando entonces que este sea el agente causal de la EDA en ese paciente. En algunas figuras puede observarse la presencia de fragmentos de tamaños diferentes además del fragmento esperado, lo que probablemente indique la presencia de isoformas del gen en estudio siendo común debido a la variabilidad genética que los virus pueden presentar (Li et al., 2017).

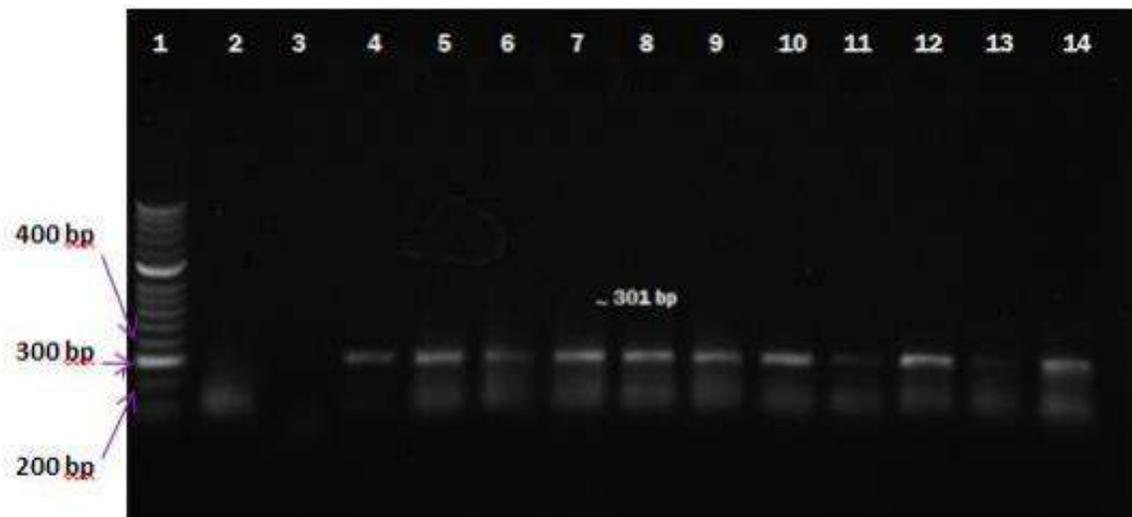


Figura 1. Identificación de la presencia de ADN de Adenovirus en muestras de heces a través de la amplificación del fragmento de ~301 pb del gen de la proteína Hexón de Adenovirus. Electroforesis en gel de agarosa al 1%. Carril 1, Marcador de peso molecular (MPM) Hyperladder II; Carril 2 control negativo sin ADN; Carril 3 resultado de PCR de una muestra de heces negativa a ADN de Adenovirus; Carril 4-13 resultado de PCR de muestras de heces positivas a ADN de Adenovirus; carril 14 control positivo ADV41.

Figure 1. Identification of the presence of Adenovirus DNA in stool samples through amplification of the ~301 bp fragment of the Adenovirus Hexon protein gene. 1% agarose gel electrophoresis. Lane 1, Hyperladder II Molecular Weight Marker (MPM); Lane 2 negative control without DNA; Lane 3 PCR result of a stool sample negative for Adenovirus DNA; Lane 4-13 PCR result of stool samples positive for Adenovirus DNA; lane 14 positive control ADV41.

Para identificar si el ADN de Adenovirus correspondía al serotipo 41 en cada una de las muestras positivas, se usó la enzima *HinfI*, ya que el análisis con el programa NEBcutter de la secuencia nucleotídica del producto de PCR del control positivo ADV41 generó tres fragmentos de restricción: 128, 124 y 55 pb para identificarlo (Vincze et al., 2003). En la Figura 2 puede observarse la obtención del fragmento de restricción de 128 pb en el control positivo ADV41, confirmando que se trata del serotipo 41 el control utilizado.

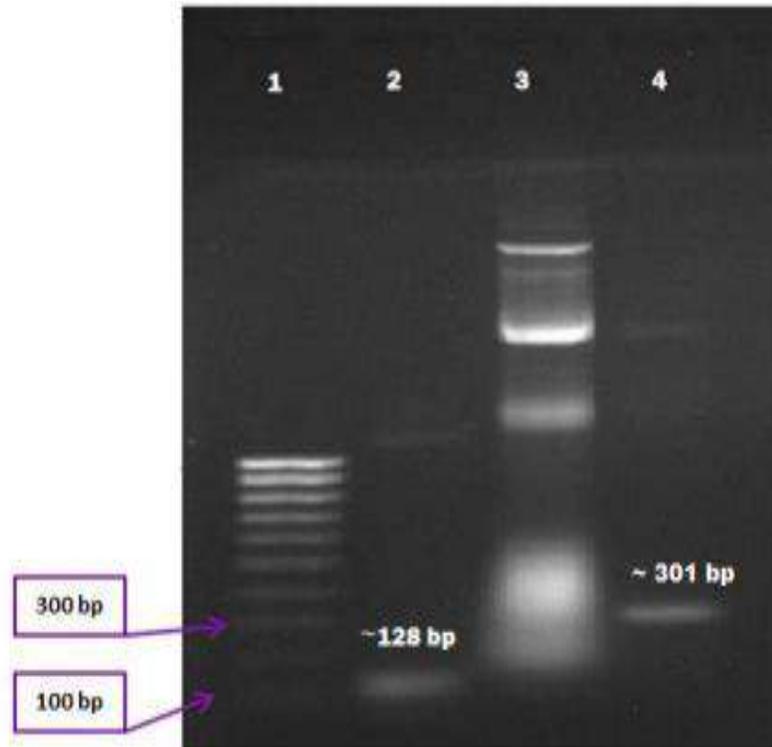


Figura 2. Estandarización para identificación de ADN de Adenovirus serotipo 41 mediante la enzima de restricción *Hinfl* en productos de PCR. Carril 1, MPM Hyperladder IV; carril 2, producto de PCR del control positivo ADV21 incubado con *Hinfl*; carril 3, ADN plasmídico procedente de clonas ADV41 sin amplificar incubado con enzima *Hinfl* como control negativo; carril 4 producto de PCR del control positivo ADV21 sin incubar con *Hinfl* como control negativo.

Figure 2. Standardization for identification of Adenovirus serotype 41 DNA by the restriction enzyme *Hinfl* in PCR products. Lane 1, MPM Hyperladder IV; lane 2, PCR product of the positive control ADV21 incubated with *Hinfl*; Lane 3, plasmid DNA from unamplified ADV41 clones incubated with *Hinfl* enzyme as negative control; lane 4 PCR product of ADV21 positive control without incubation with *Hinfl* as negative control.

La prueba con la enzima de restricción *HaeIII* se usó para aquellos productos de PCR que no fueron cortados por la enzima *Hinfl*, indicándonos entonces el serotipo 40, ya que de acuerdo al programa NEBcutter, tanto el serotipo 40 como el 41 de Adenovirus dicha enzima puede realizar 3 cortes generando 4 fragmentos: 179, 63, 35 y 30 pb (Vincze et al., 2003). Al realizar el procedimiento descrito previamente en metodología, se observó un fragmento de restricción de ~179 pb en el producto de PCR del control positivo ADV41 (Figura 3).

El análisis con las enzimas de restricción indicó que de las 74 muestras positivas por PCR a Adenovirus, 52 (70.3 %) muestras fueron positivas para Adenovirus 41 (Figura 4) y 4 (5.4 %) para Adenovirus 40 (Figura 5), mientras que 15 (20.3 %) muestras fueron otro serotipo de Adenovirus, ya que fueron positivas a la amplificación por PCR, sin embargo las enzimas de restricción no generaron fragmentos con los tamaños indicados, hay reportes que muestran la detección de Adenovirus no entéricos en pacientes pediátricos con EDA (Portes et al., 2016; Avilés, 2017; Kumthip et al., 2019).

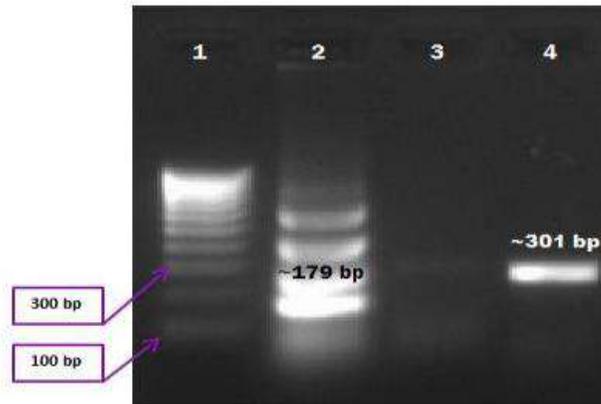


Figura 3. Estandarización para identificación de ADN de Adenovirus serotipo 40 mediante la enzima de restricción HaeIII en productos de PCR. Carril 1, MPM Hyperladder IV; carril 2, carril 2, producto de PCR del control positivo ADV21 incubado con HaeIII; carril 3, mezcla de reacción de PCR proveniente de una muestra negativa a Adenovirus incubada con la enzima HaeIII como control negativo; carril 4 carril 2, producto de PCR del control positivo ADV21 sin incubación con la enzima HaeIII como control negativo.

Figure 3. Standardization for identification of Adenovirus serotype 40 DNA by restriction enzyme HaeIII in PCR products. Lane 1, MPM Hyperladder IV; lane 2, lane 2, PCR product of the positive control ADV21 incubated with HaeIII; Lane 3, PCR reaction mix from an Adenovirus negative sample incubated with the HaeIII enzyme as a negative control; lane 4 lane 2, ADV21 positive control PCR product without incubation with HaeIII enzyme as negative control.

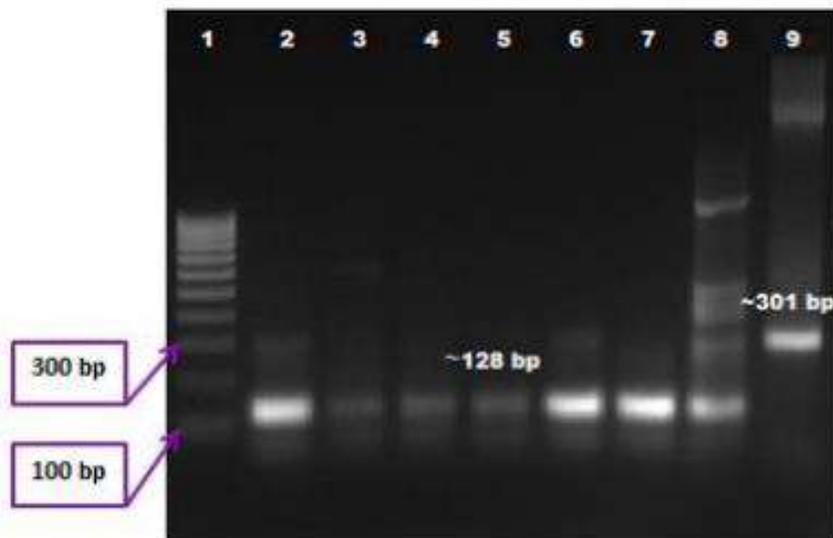


Figura 4. Productos de PCR de muestras positivas para ADN de Adenovirus tratados con la enzima HinfI para identificar Adenovirus serotipo 41. Carril 1, MPM Hyperladder IV; Carril 2- 7, productos de PCR de muestras positivas a ADN Adenovirus que muestran un fragmento de restricción de ~128 pb; Carril 8, producto de PCR del control positivo ADV41 que muestra el fragmento de restricción de ~128 pb; Carril 9, producto de PCR del control positivo ADV41 sin tratar con la enzima HinfI como control negativo.

Figure 4. PCR products of samples positive for Adenovirus DNA treated with HinfI enzyme to identify Adenovirus serotype 41. Lane 1, MPM Hyperladder IV; Lane 2-7, PCR products from Adenovirus DNA positive samples showing a restriction fragment of ~ 128 bp; Lane 8, ADV41 positive control PCR product showing ~ 128 bp restriction fragment; Lane 9, ADV41 positive control PCR product untreated with HinfI enzyme as negative control.

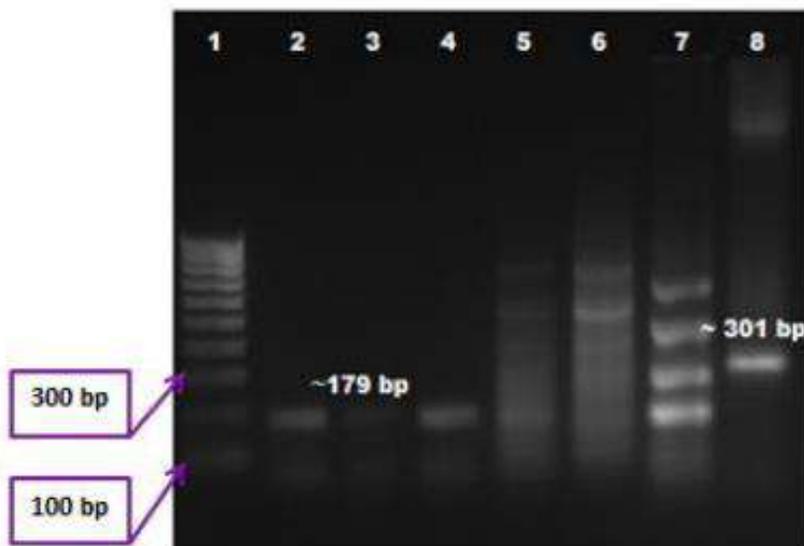


Figura 5. Productos de PCR de muestras positivas para ADN de Adenovirus tratados con la enzima HaeIII para identificar Adenovirus serotipo 40. Carril 1, MPM Hyperladder IV; Carril 2- 5, productos de PCR de muestras positivas a ADN de Adenovirus que muestran un fragmento de restricción de ~179 pb; Carril 6, mezcla de reacción de PCR proveniente de una muestra negativa a ADN de Adenovirus incubada con la enzima HaeIII como control negativo; Carril 7 producto de PCR del control positivo ADV41 que muestra el fragmento de restricción de ~179 pb; Carril 8, producto de PCR del control positivo ADV41 sin tratar con la enzima HaeIII como control negativo.

Figure 5. PCR products of samples positive for Adenovirus DNA treated with the HaeIII enzyme to identify Adenovirus serotype 40. Lane 1, MPM Hyperladder IV; Lane 2-5, PCR products from Adenovirus DNA positive samples showing a ~ 179 bp restriction fragment; Lane 6, PCR reaction mix from an Adenovirus DNA negative sample incubated with the HaeIII enzyme as a negative control; Lane 7 ADV41 positive control PCR product showing the ~ 179 bp restriction fragment; Lane 8, untreated ADV41 positive control PCR product with HaeIII enzyme as negative control.

Se analizaron 236 muestras de las cuales 74(31 %) fueron positivas a Adenovirus por PCR y solo 56 (24 %) fueron positivas para Adenovirus entéricos, identificados mediante la restricción de productos de PCR con las enzimas HinfI y HaeIII; 22.3% corresponden al serotipo 41 y 1.7 % al serotipo 40. Los resultados obtenidos durante este estudio muestran la presencia de Adenovirus entéricos en la ciudad de Chihuahua, México, dentro del rango establecido a nivel mundial en países subdesarrollados, que va del 2 al 31 % (Rezaei et al., 2012). En la Tabla 1 se pueden observar algunos datos para comparar la incidencia de Adenovirus entéricos con diversos países, en donde tenemos que la incidencia detectada en nuestro estudio es mucho mayor a lo reportado.

En México existen pocos estudios sobre la prevalencia o la biología de Adenovirus. Un estudio encontró que están presentes en alrededor del 10% de los niños hospitalizados con gastroenteritis (Martina et al., 2013), por lo tanto, nuestros resultados se encuentran por encima de ello y muy por encima de lo reportado por Méndez-Toss en el 2004 (2.3 %). En la ciudad de Chihuahua los resultados obtenidos se encuentran por encima de lo reportado por Medina en el 2012, del orden de 14 % de Adenovirus entéricos en el año 2010 y 2011.

Como se puede observar en los resultados, existe una predominancia de Adenovirus serotipo 41 sobre Adenovirus serotipo 40, similar a lo reportado en China, Tailandia por mencionar algunos, a diferencia del predominio de Adenovirus serotipo 40 sobre Adenovirus serotipo 41 en Brasil (Filho et al., 2007; Kumpthip et al., 2019; Li et al., 2020).

Tabla 1. Incidencia de Adenovirus entéricos en infantes menores de 5 años con EDA en diferentes partes del mundo.

Table 1. Incidence of enteric Adenovirus in infants under five years of age with ADD in different parts of the world

País	Período de detección de Adenovirus entéricos	Incidencia de Adenovirus entérico en infantes < 5 años
Irán	2012-2013	5.18%
Brasil	1996-2003	2%
Colombia	2013-2014	3%
Australia	2011	26%
Turquía	2007	8.60%
Alemania	2005-2008	9.70%

Referencias: Sanaei et al., 2016; Filho et al., 2007; Farfán-García et al., 2020; Ozsari et al., 2016, Bicer et al., 2011; Wiegering et al., 2011

En la Tabla 2 y Figura 6 se muestra la relación de casos positivos de Adenovirus entéricos detectados por año. Se puede observar que el porcentaje de Adenovirus entéricos en los años de 2004 a 2006 estuvo por encima del rango establecido (2-31 %) (Rezaei et al., 2012) esto pudo deberse a que en esos años haya ocurrido un brote en los hospitales lo que generó el aumento de casos. Mientras que en los años de 2007 y 2008 el rango se encontró dentro de lo establecido.

A pesar de que en el año 2012 se encontraron tres casos de Adenovirus positivos por PCR, ninguno de estos fueron Adenovirus entéricos, esto pudo deberse a que en ese año las muestras recolectadas fueron muy pocas, y no corresponden a todos los meses del año por lo que posibles casos positivos pudieron haberse escapado, o bien a la presencia de nuevos serotipos virales de Adenovirus asociados a las EDAs que no fueron detectados a través del protocolo de restricción empleado en cualquiera de los periodos estudiados (Li et al., 2005; Liu et al., 2014; Afrad et al., 2018; Colak et al., 2017; Dey et al., 2009).

Tabla 2. Relación de muestras de heces positivas de Adenovirus entéricos por año en infantes menores con EDA en la ciudad de Chihuahua.

Table 2. Relation of enteric Adenovirus positive stool samples per year in young infants with ADD in the city of Chihuahua.

Año	No. de muestras	Adenovirus 40	Adenovirus 41	Adenovirus entéricos		Adenovirus no entéricos		Muestras negativas
				Muestras	%	Muestras	%	
2004	18	0	9	9	50	0	0	50
2005	30	0	12	12	40	3	10	50
2006	41	4	15	19	46.3	3	7	46.3
2007	85	0	12	12	14.1	4	5	80.9
2008	47	0	4	4	8.5	2	4	87
2012	15	0	0	0	0	3	20	80
TOTAL	236	4 (1.7 %)	52 (22 %)	56	24	15	6.4	70

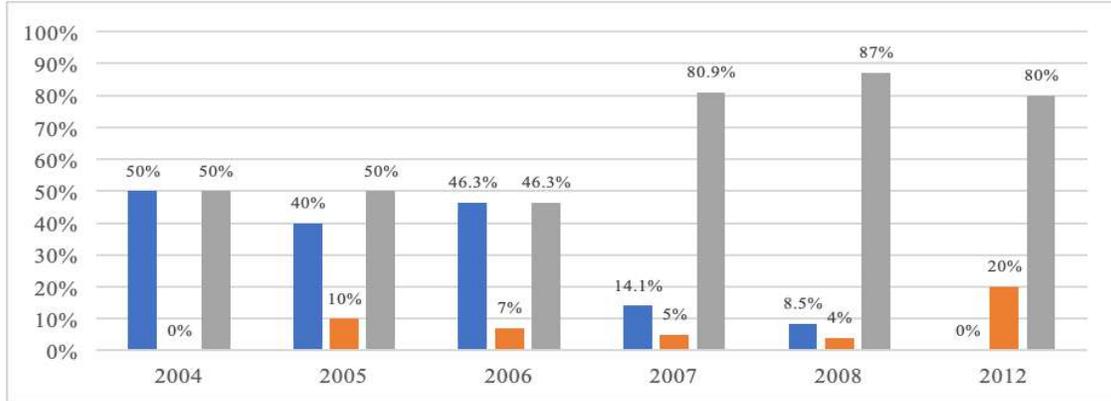


Figura 6. Distribución de porcentajes anuales de muestras de heces positivas a Adenovirus entéricos (Pe), Adenovirus no entéricos (Pne) y muestras negativas (N) por año en infantes menores de cinco años con EDA en la ciudad de Chihuahua, México. ■ Pe ■ Pne ■ N

Figure 6. Distribution of annual percentages of stool samples positive for enteric Adenovirus (Pe), non-enteric Adenovirus (Pne) and negative samples (N) per year in infants under five years of age with ADD in Chihuahua city, Mexico. ■ Pe ■ Pne ■ N

En la Figura 7 se muestra la distribución de muestras de heces positivas a Adenovirus entéricos por mes y año detectadas en este estudio. Teniendo que el 59% (33) de las muestras positivas Adenovirus entéricos se presentaron durante la temporada invernal, el 12.5% (7) durante primavera, 10.7% (6) en verano y 18% (10) en otoño. Generalmente se ha descrito que los Adenovirus entéricos no muestran un fuerte patrón estacional, sin embargo se encontró que la mayor cantidad de casos positivos se detectaron en los meses de invierno, concordando con lo reportado por Rezaei et al., 2012 que encontraron un 37 % de casos positivos en invierno, así como también lo establecen Martínez et al., en el 2017 con un predominio de gastroenteritis con positividad para virus en heces en los primeros meses del año, con un repunte en otoño en España durante el período 2013-2015. Si bien la mayor cantidad de casos positivos se dio en los meses de invierno, también se encontraron a lo largo de todo el año, por lo que Adenovirus entérico no tiene un patrón estacional (Ozsari et al., 2016).

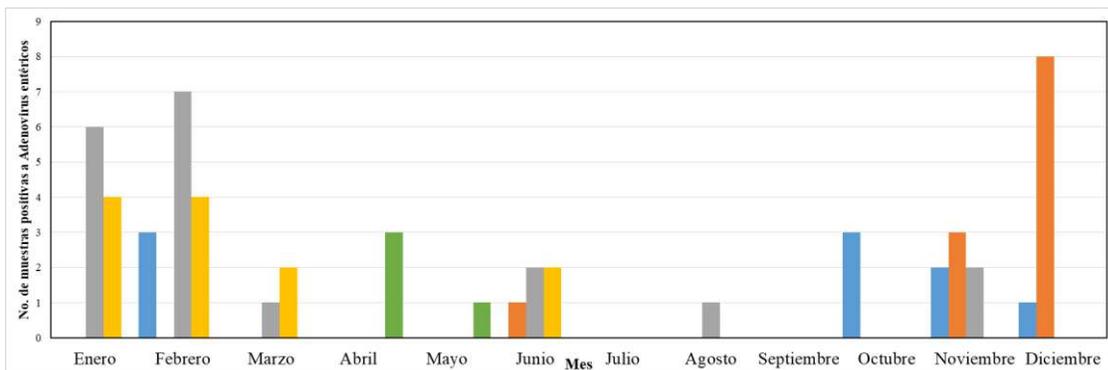


Figura 7. Distribución anual de muestras de heces positivas a Adenovirus entéricos de infantes menores de 5 años con EDA de la ciudad de Chihuahua. ■ 2004 ■ 2005 ■ 2006 ■ 2007 ■ 2008.

Figure 7. Annual distribution of enteric Adenovirus positive stool samples from infants under five years of age with ADD from the city of Chihuahua. ■ 2004 ■ 2005 ■ 2006 ■ 2007 ■ 2008.

Romo en el 2011 reportó la presencia de Rotavirus del 2004-2008 en la ciudad de Chihuahua, México, por lo que cabe mencionar que entonces, en base a nuestros resultados, ambos virus, Rotavirus y Adenovirus, son agentes etiológicos de las enfermedades diarreicas agudas en nuestra entidad, sin dejar de lado que cada día hay más evidencia de que enfermedad es causada por virus coinfectantes y, de hecho, pueden estar ocurriendo en ausencia de síntomas. La frecuencia de coinfección y la identidad de los virus implicados pueden alterarse con la introducción de programas de vacunación. Por ejemplo, la vacuna contra Rotavirus redujo la tasa de infección en comunidades de todo el mundo. Por lo tanto, a medida que se desarrollan vacunas para otros patógenos virales entéricos, es posible que sigan produciéndose cambios importantes en la prevalencia de la coinfección viral, siendo importante considerar la realización de un panel de diagnóstico que incluya la detección de más de un virus, ampliando así el seguimiento epidemiológico de agentes virales que ayuden a implementar mejoras en los tratamientos médicos así como medidas de prevención y control en nuestro país (Romo, 2011; Makimaa et al., 2020).

4. Conclusiones

Se detectó la presencia de ADN del género Adenovirus en infantes menores de cinco años hospitalizados por enfermedad diarreica aguda en la ciudad de Chihuahua en el periodo 2004-2008 y 2012. Los análisis de los serotipos entéricos demostraron la presencia de dos serotipos principales: Adenovirus serotipo 41 en la mayoría de los infantes, sin embargo, algunos pacientes presentaron Adenovirus serotipo 40, con una mayor incidencia durante la temporada invernal, indicando la circulación de otros virus en nuestra entidad además de Rotavirus agente etiológico de EDA.

Se encontró también un porcentaje de ADN de Adenovirus no entérico, los cuales no están asociados con EDA, lo cual sugiere que en un futuro sean considerados para ampliar los estudios epidemiológicos que se llevan a cabo en la ciudad de Chihuahua, México, en relación a gastroenteritis virales.

5. Referencias

- Ahmed, K. Y., Page, A., Arora, A., Ogbo, F. A., & Global Maternal and Child Health Research collaboration (GloMACH) (2020). Associations between infant and young child feeding practices and acute respiratory infection and diarrhoea in Ethiopia: A propensity score matching approach. *PloS One*, 15(4), e0230978. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230978>
- Afrad, M. H., Avzun, T., Haque, J., Haque, W., Hossain, M. E., Rahman, A. R., Ahmed, S., Faruque, A., Rahman, M. Z., & Rahman, M. (2018). Detection of enteric- and non-enteric adenoviruses in gastroenteritis patients, Bangladesh, 2012-2015. *Journal of Medical Virology*, 90(4), 677–684. <https://doi.org/10.1002/jmv.25008>
- Allard, A., Albinsson, B., & Wadell, G. (2001). Rapid typing of human adenoviruses by a general PCR combined with restriction endonuclease analysis. *Journal of Clinical Microbiology*, 39(2), 498–505. <https://doi.org/10.1128/JCM.39.2.498-505.2001>
- Amar, C. F., East, C. L., Gray, J., Iturriza-Gomara, M., Maclure, E. A., & McLauchlin, J. (2007). Detection by PCR of eight groups of enteric pathogens in 4,627 faecal samples: re-examination of the English case-control Infectious Intestinal Disease Study (1993-1996). *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases: official publication of the European Society of Clinical Microbiology*, 26(5), 311–323. <https://doi.org/10.1007/s10096-007-0290-8>

- Avilés, H. A. (2017). Detección y Genotipificación de Adenovirus en Niños con Gastroenteritis. (Tesis licenciatura Universidad de Sonora). <http://hdl.handle.net/20.500.12984/2026>
- Banga-Mingo, V., Waku-Kouomou, D., Gody, J. C., Esona, M. D., Yetimbi, J. F., Mbary-Daba, R., Dahl, B. A., Dimanche, L., Koyazegbe, T. d., Tricou, V., Cavallaro, K. F., Guifara, G., Bowen, M. D., & Gouandjika-Vasilache, I. (2014). Molecular surveillance of rotavirus infection in Bangui, Central African Republic, October 2011-September 2013. *Infection, Genetics and Evolution: Journal of Molecular Epidemiology and Evolutionary Genetics in Infectious Diseases*, 28, 476–479. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2014.08.023>
- Bányai, K., Estes, M. K., Martella, V., & Parashar, U. D. (2018). Viral gastroenteritis. *Lancet* (London, England), 392(10142), 175–186. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31128-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31128-0)
- Bicer, S., Sahin, G. T., Koncay, B., Gemici, H., Siraneci, R., Ozturk, N. Y., & Sevketoglu, E. (2011). Incidence assessment of rotavirus and adenovirus associated acute gastroenteritis cases in early childhood. *Le Infezioni in Medicina*, 19(2), 113–119. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21753251/>
- Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades (CEVECE). (2010). <https://bit.ly/3ubOrez>
- Çolak, M., Bozdayı, G., Altay, A., Yalaki, Z., Ahmed, K., & Özkan, S. (2017). Detection and molecular characterisation of adenovirus in children under 5 years old with diarrhoea. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 47(5), 1463–1471. <https://doi.org/10.3906/sag-1510-94>
- Collier, L., Oxford, J. (2008). *Virología humana*. McGraw Hill Interamericana.
- Corcoran, M. S., van Well, G. T., & van Loo, I. H. (2014). Diagnosis of viral gastroenteritis in children: interpretation of real-time PCR results and relation to clinical symptoms. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases: official publication of the European Society of Clinical Microbiology*, 33(10), 1663–1673. <https://doi.org/10.1007/s10096-014-2135-6>
- Desselberger U., (2017). Viral gastroenteritis. *Medicine*, 45(11), 690-694. <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2017.08.005>
- Dey, S. K., Shimizu, H., Phan, T. G., Hayakawa, Y., Islam, A., Salim, A. F., Khan, A. R., Mizuguchi, M., Okitsu, S., & Ushijima, H. (2009). Molecular epidemiology of adenovirus infection among infants and children with acute gastroenteritis in Dhaka City, Bangladesh. *Infection, Genetics and Evolution. Journal of Molecular Epidemiology and Evolutionary Genetics in Infectious Diseases*, 9(4), 518–522. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2009.02.001>
- Dirección General de Epidemiología (DGE). (2020). Lineamientos para la vigilancia por el laboratorio de la gastroenteritis viral: Rotavirus, Norovirus, Astrovirus y Adenovirus entéricos. <https://bit.ly/3LFz6Zu>
- Farfán-García, A. E., Imdad, A., Zhang, C., Arias-Guerrero, M. Y., Sánchez-Álvarez, N. T., Iqbal, J., Hernández-Gamboa, A. E., Slaughter, J. C., & Gómez-Duarte, O. G. (2020). Etiology of acute gastroenteritis among children less than 5 years of age in Bucaramanga, Colombia: A case-control study. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 14(6), e0008375. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008375>
- Filho, E. P., da Costa Faria, N. R., Fialho, A. M., de Assis, R. S., Almeida, M., Rocha, M., Galvão, M., Dos Santos, F. B., Barreto, M. L., & Leite, J. (2007). Adenoviruses associated with acute gastroenteritis in hospitalized and community children up to 5 years old in Rio de Janeiro and Salvador, Brazil. *Journal of Medical Microbiology*, 56(3), 313–319. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.46685-0>
- Gastanaduy, P.A., Sanchez-Uribe, E., Esparza-Aguilar, M., Desai, R., Parashar, U.D., Patel, M., & Richardson, V. (2013). Effect of rotavirus vaccine on diarrhea mortality in different socioeconomic regions of Mexico. *Pediatrics*, 131, 1115-1120. <https://doi.org/10.1542/peds.2012-2797>

- Harrach, B., Benkó, M., Both, G.W., Brown, M., Davison, A.J., Echevarría, M., Hess, M., Jones, M.S., Kajon, A., Lehmkuhl, H.D., Mautner, V., Mittal, S. K., & Wadell, G. (2011). *Viral Taxonomy*. Elsevier
- Hassan, F., Kanwar, N., Harrison, C. J., Halasa, N. B., Chappell, J. D., Englund, J. A., Klein, E. J., Weinberg, G. A., Szilagyi, P. G., Moffatt, M. E., Oberste, M. S., Nix, W. A., Rogers, S., Bowen, M. D., Vinjé, J., Wikswo, M. E., Parashar, U. D., Payne, D. C., & Selvarangan, R. (2019). Viral Etiology of Acute Gastroenteritis in <2-Year-Old US Children in the Post-Rotavirus Vaccine Era. *Journal of the Pediatric Infectious Diseases Society*, 8(5), 414–421. <https://doi.org/10.1093/jpids/piy077>
- Hernández, C. C., Aguilera, A. M.G., & Castro, E.G. (2011). Situación de las Enfermedades Gastrointestinales en México. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*, 31(4):137-151. <https://bit.ly/3NJ2YWG>
- Herring, A. J., Inglis, N. F., Ojeh, C. K., Snodgrass, D. R., & Menzies, J. D. (1982). Rapid diagnosis of rotavirus infection by direct detection of viral nucleic acid in silver-stained polyacrylamide gels. *Journal of Clinical Microbiology*, 16(3), 473–477. <https://bit.ly/3KdvgXn>
- International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV). (2011). Adenoviridae, 9th Report. https://talk.ictvonline.org/ictv-reports/ictv_9th_report/dsdna-viruses
2011/w/dsdna_viruses/93/adenoviridae
- Kumthip, K., Khamrin, P., Ushijima, H., & Maneekarn, N. (2019). Enteric and non-enteric adenoviruses associated with acute gastroenteritis in pediatric patients in Thailand, 2011 to 2017. *PloS One*, 14(8), e0220263. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220263>
- Li, L., Phan, T. G., Nguyen, T. A., Kim, K. S., Seo, J. K., Shimizu, H., Suzuki, E., Okitsu, S., & Ushijima, H. (2005). Molecular epidemiology of adenovirus infection among pediatric population with diarrhea in Asia. *Microbiology and Immunology*, 49(2), 121–128. <https://doi.org/10.1111/j.1348-0421.2005.tb03711.x>
- Li, P., Yang, L., Guo, J., Zou, W., Xu, X., Yang, X., Du, X., Qiu, S., & Song, H. (2017). Circulation of HAdV-41 with diverse genome types and recombination in acute gastroenteritis among children in Shanghai. *Scientific Reports*, 7(1), 3548. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01293-3>
- Li, W., Xiang, W., Li, C., Xu, J., Zhou, D., & Shang, S. (2020). Molecular epidemiology of rotavirus A and adenovirus among children with acute diarrhea in Hangzhou, China. *Gut Pathogens*, 12, 19. <https://doi.org/10.1186/s13099-020-00359-4>
- Liu, L., Qian, Y., Zhang, Y., Deng, J., Jia, L., & Dong, H. (2014). Adenoviruses associated with acute diarrhea in children in Beijing, China. *PloS One*, 9(2), e88791. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088791>
- Li, L. L., Liu, N., Humphries, E. M., Yu, J. M., Li, S., Lindsay, B. R., Stine, O. C., & Duan, Z. J. (2016). Etiology of diarrhoeal disease and evaluation of viral-bacterial coinfection in children under 5 years old in China: a matched case-control study. *Clinical Microbiology and Infection: the official publication of the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 22(4), 381.e9–381.e16. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2015.12.018>
- Makimaa, H., Ingle, H. & Baldridge, M. T. (2020). Enteric Viral Co-Infections: Pathogenesis and Perspective. *Viruses*, 12(8), 904. <https://doi.org/10.3390/v12080904>
- Martina, M., Iglesias, J., & Rendón-Macías, M.E. (2013). Los adenovirus como causa de gastroenteritis aguda en los niños. *Revista Mexicana de Pediatría*, 80 (3), 98-104. <https://bit.ly/35I6GhT>
- Martínez, A. O., Vázquez G. L., Buyo S. P., Díaz S. R., & Moldes S. L.M. (2017). Gastroenteritis agudas y virus entéricos: impacto de la detección de norovirus. *Anales de Pediatría*, 87(3):143-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anpedi.2016.08.006>

- Medina S., M. R. (2012). Estudio viral de enfermedades diarreicas agudas severas (EDAS) en infantes de la ciudad de Chihuahua (Tesis maestría. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua).
- Méndez-Toss, M., Griffin, D. D., Calva, J., Contreras, J. F., Puerto, F. I., Mota, F., Guiscafré, H., Cedillo, R., Muñoz, O., Herrera, I., López, S., & Arias, C. F. (2004). Prevalence and genetic diversity of human astroviruses in Mexican children with symptomatic and asymptomatic infections. *Journal of Clinical Microbiology*, 42(1): 151–157. <https://doi.org/10.1128/JCM.42.1.151-157.2004>
- Moreno G., J.G. (2014). Optimización de un Sistema De Filtración-Captura y Detección Molecular de Virus Entéricos en Muestras de Agua (Tesis maestría Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua).
- Operario, D. J., Platts-Mills, J. A., Nadan, S., Page, N., Seheri, M., Mphahlele, J., Praharaj, I., Kang, G., Araujo, I. T., Leite, J., Cowley, D., Thomas, S., Kirkwood, C. D., Dennis, F., Armah, G., Mwenda, J. M., Wijesinghe, P. R., Rey, G., Grabovac, V., Berejena, C., & Houpt, E. R. (2017). Etiology of Severe Acute Watery Diarrhea in Children in the Global Rotavirus Surveillance Network Using Quantitative Polymerase Chain Reaction. *The Journal of Infectious Diseases*, 216(2), 220–227. <https://doi.org/10.1093/infdis/jix294>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017) Enfermedades Diarreicas. <https://bit.ly/3O1as7M>
- Ozsari, T., Bora, G., Kaya, B., & Yakut, K. (2016). The Prevalence of Rotavirus and Adenovirus in the Childhood Gastroenteritis. *Jundishapur Journal of Microbiology*, 9(6), e34867. <https://dx.doi.org/10.5812/jjm.34867>
- Paternina-Cacedo, A., Parashar, U. D., Alvis-Guzmán, N., De Oliveira, L. H., Castaño-Zuluaga, A., Cotes-Cantillo, K., Gamboa-Garay, O., Coronell-Rodríguez, W., & De la Hoz-Restrepo, F. (2015). Effect of rotavirus vaccine on childhood diarrhea mortality in five Latin American countries. *Vaccine*, 33(32), 3923–3928. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.06.058>
- Portes, S. A., Volotão, E., Rocha, M. S., Rebelo, M. C., Xavier, M., Assis, R. M., Rose, T. L., Miagostovich, M. P., Leite, J. P., & Carvalho-Costa, F. A. (2016). A non-enteric adenovirus A12 gastroenteritis outbreak in Rio de Janeiro, Brazil. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 111(6), 403–406. <https://doi.org/10.1590/0074-02760160030>
- Promega Corporation Assembly of Restriction Enzyme Digestions. (2011) <https://bit.ly/3J65gM8>
- Reyna-Figueroa, J., Vidal-Vázquez, R.P., Richardson López-Collada, V.L. (2011). Inmunización contra rotavirus en México con vacuna oral monovalente. Evaluación de los datos de dos años del sistema de reporte de eventos temporalmente asociados a vacunación. *Revista de Investigación Clínica*, 63(4). 391-398. <https://bit.ly/3Kc99Av>
- Rezaei, M., Sohrabi, A., Edalat, R., Siadat, S. D., Gomari, H., & Gilani, S. M. (2012). Molecular epidemiology of acute gastroenteritis caused by subgenus F (40, 41) enteric adenoviruses in inpatient children. *Laboratory Medicine*, 43(1), 10–15. <https://bit.ly/3uTMB16>
- Romero, C. R. (2007). Microbiología y parasitología humana. Médica Panamericana.
- Romo S., C. I. (2011). Diferencias entre los patrones electroforéticos de cepas de rotavirus en la coproteca de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (Tesis licenciatura Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua).
- Rotavirus Organization of Technical Allies (ROTA). (2019). <https://bit.ly/3uPxR3a>
- Rotavirus Organization of Technical Allies (ROTA). (2020). <https://bit.ly/3LKHsyY>
- Sanaei Dashti, A., Ghahremani, P., Hashempoor, T., & Karimi, A. (2016). Molecular Epidemiology of Enteric Adenovirus Gastroenteritis in under-Five-Year-Old Children in Iran. *Gastroenterology Research and Practice*, 2016(2), 1-5. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/2045697>
- Sánchez-Uribe, E., Esparza-Aguilar, M., Parashar, U. D., & Richardson, V. (2016). Sustained Reduction of Childhood Diarrhea-Related Mortality and Hospitalizations in Mexico after

- Rotavirus Vaccine Universalization. *Clinical infectious diseases: an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, 62 Suppl 2, S133–S139. <https://doi.org/10.1093/cid/civ1205>
- SINAVE/DGE/SALUD. (2017). Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica / Dirección General de Epidemiología / Secretaría de Salud. <https://bit.ly/3r0rTLN>
- Sirok, V., Le Pera, V., & Sandín, D. (2008). Agentes virales de gastroenteritis Rotavirus. *Temas de Bacteriología y Virología Medica*. 29, 519-533.
- Vincze, T., Posfai, J., & Roberts, R. J. (2003). NEBcutter: A program to cleave DNA with restriction enzymes. *Nucleic Acids Research*, 31(13), 3688–3691. <https://doi.org/10.1093/nar/gkg526>
- Wiegering, V., Kaiser, J., Tappe, D., Weissbrich, B., Morbach, H., & Girschick, H. J. (2011). Gastroenteritis in childhood: a retrospective study of 650 hospitalized pediatric patients. *International Journal of Infectious Diseases: IJID: official publication of the International Society for Infectious Diseases*, 15(6), e401–e407. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2011.02.006>

2020 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Artículo Científico

Caracterización de lesiones en jugadores de fútbol de las categorías sub 19 y sub 20

Characterization of injuries in soccer players of the u19 and u20 categories

Laura E. Castro-Jiménez¹, Isabel A. Sánchez-Rojas*¹, Pablo S. Molina-Murcia¹, Juan Martínez-Baquero¹, Daniel. Zambrano¹, Yelenka T. Velasco².

¹Universidad Santo Tomás.

²Escuela Militar de Cadetes José María Córdova.

*Correspondencia: Correo electrónico: isabel.sanchez@usantotomas.edu.co (Isabel A. Sánchez-Rojas)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v14i2.474>

Recibido: 13 de febrero, 2020; Aceptado: 29 de junio, 2020; Publicado:

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El objetivo de esta investigación es caracterizar las lesiones de mayor incidencia en futbolistas. Se presenta un estudio de alcance descriptivo y diseño transversal, cuyos criterios de inclusión son: deportistas (hombres), que llevaran con el club más de tres meses continuos de trabajo y asistan a más del 95% de los entrenamientos programados. La población total involucró 47 jugadores de la categoría Sub 19 y Sub 20; la media de edad fue de 16,24 (14-19 años DS \pm 1,676). El 73,1% del total de los jugadores reportó lesiones de origen osteomuscular durante su práctica deportiva, reportando al trauma directo como el más recurrente. Se encontró relación entre el número de lesiones durante la práctica deportiva y las presentadas en los últimos seis meses ($p < 0,001$); entre el tiempo de práctica deportiva y la presencia de lesiones ($p < 0,05$). Se determinaron las lesiones osteomusculares como las principales, encontrando relaciones entre el tiempo total de trabajo práctico con la aparición aguda de las mismas. Aspectos como inestabilidad articular, mal alineamiento e imbalance muscular deben ser evaluados periódicamente a fin de prevenir la aparición de lesiones.

Palabras clave: fútbol, lesiones, deportistas, rehabilitación, aptitud física.

Abstract

The objective of this research is to characterize the injuries with the highest incidence in soccer players. A study with a descriptive scope and cross-sectional design is presented, whose inclusion criteria are: athletes (men), who have been with the club for more than three continuous months of work and attend more than 95% of the programmed training sessions. The total population involved 47 players from the Under 19 and Under 20 categories; the mean age was 16.24 (14-19 years SD \pm 1.676). 73.1% of the total players reported injuries of musculoskeletal origin during their sports practice, reporting direct trauma as the most recurrent. A relationship was found between the number of injuries during sports practice and those presented in the last six months ($p < 0.001$);

between the time of sports practice and the presence of injuries ($p < 0.05$). The musculoskeletal injuries were determined as the main ones, finding relationships between the total time of practical work with the acute appearance of them. Aspects such as joint instability, misalignment and muscle imbalance should be evaluated periodically in order to prevent the appearance of injuries.

Keywords: soccer, injuries, athletes, rehabilitation, physical fitness.

1. Introducción

El fútbol es sin lugar a duda el deporte más popular y practicado en el mundo de acuerdo con las cifras arrojadas en el censo realizado por la FIFA (Caccese y Kaminski, 2016), las cuales revelaron que más de 265 millones de personas practican este deporte alrededor del mundo, siendo aproximadamente 204 millones de deportistas quienes integran gran parte de las categorías juveniles. La evolución que ha tenido este deporte, así como los patrocinios de grandes entidades en las últimas décadas lo han convertido en una de las disciplinas deportivas más populares en todo el mundo. La evolución actual del futbolista como sujeto protagonista de este deporte, dentro y fuera de la cancha, lo ha llevado a verse sometido a múltiples cargas físicas asociadas, no solo a los procesos de entrenamiento intenso, sino a los procesos que conlleva el convertirse en figura pública en escenarios fuera del campo de juego: partidos amistosos y campañas deportivas, entre otras actividades, haciendo que el ritmo de vida sea aún más intenso. Sin embargo, el futbolista de ahora tendrá mayores exigencias físicas dentro de lo que involucra su gesto deportivo, es decir, recorrerá mayores distancias, sus capacidades físicas esenciales le deberán permitir amortiguar de manera más precisa los choques, saltos, *sprints* y actividades de alta intensidad. Por otro lado, tendrá que acumular la mayor cantidad de minutos jugados que le permitan ser considerado en convocatorias internacionales (Gómez-Díaz et al., 2013). No obstante, la cuantificación de la carga física y psicológica en fútbol profesional presenta marcadas diferencias según el nivel competitivo y efectos sobre el resultado en competición oficial, dado que los objetivos de trabajo y el rendimiento para el caso de los deportistas de élite, están seriamente condicionados al tipo de competencia en la cual participen.

Considerando lo expuesto por Olmedilla et al. (2014), el riesgo de lesionarse temporal o definitivamente a causa de la práctica deportiva no solo es un problema personal sino que trasciende a las estructuras de salud y a la comunidad deportiva; por eso, la importancia de empezar a mitigar sus causas y prevenir la presencia de éstas puesto que las mismas impactan áreas propias del jugador que abarcan lo psicológico, lo físico, lo social y en gran proporción lo relacionado con su economía, ya que al verse obligado a retirarse del campo de juego, sus ingresos se ven afectados (Mayo et al., 2014).

Son múltiples las investigaciones realizadas en futbolistas profesionales, las cuales han evidenciado la presencia de gran variedad de lesiones, en su mayoría de tipo muscular en los miembros inferiores, asociadas a los constantes traumas por esencia misma del deporte; por el sobreuso de las estructuras, por contacto directo o indirecto, definido como el choque entre dos jugadores o de un jugador con un algún elemento durante la práctica deportiva (Zafra et al., 2008). Se define la lesión en el fútbol como cualquier daño físico que presente un jugador, tanto en competencia como en entrenamiento, independiente de la necesidad de atención médica o de la incapacidad que genera para la práctica del fútbol (Zurita et al., 2014).

Según el grado de severidad, estas lesiones se pueden dividir en: (1) leves cuando la ausencia del entrenamiento o del juego no supera los siete días; (2) moderadas cuando la ausencia al

entrenamiento o al juego oscilan entre ocho y 29 días; y (3) severas cuando la ausencia del juego o del entrenamiento es mayor a 30 días (Beas et al., 2008). De acuerdo con (Márquez et al., 2016), el 10% de las lesiones en futbolistas se encuentran clasificadas entre moderadas y severas, no obstante, el consenso de lesiones en fútbol sugiere que las lesiones sean clasificadas según los días perdidos desde la lesión hasta que el jugador esté disponible para entrenar y participar en competencia.

Algunas de las lesiones en los futbolistas se pueden dar de manera accidental o por factores extrínsecos como el uso de calzado apropiado, indumentaria cómoda o las espinilleras, las cuales facilitan el impacto nocivo a nivel de los tejidos óseos, tegumentarios, ligamentosos, tendinosos o musculares (Ortin, 2007; Barreira et al., 2014). De la misma manera, existen factores predisponentes relacionados con la inadecuada preparación física, la desmotivación inducida en el deportista, el cansancio físico durante las amplias temporadas de juego y la mala nutrición según lo afirma el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, Servicio de Salud Pública (Pascual et al., 2014).

Una de las investigaciones que realizó la Universidad Católica de San Antonio en Murcia, España, consideró además de los factores asociados a la práctica deportiva, como los elementos que inciden en la generación de lesiones en los futbolistas, sino que evidencia la importancia de considerar las condiciones del espacio físico en donde se realiza la práctica deportiva, ya que gracias a reportes de diversas organizaciones mundiales de fútbol estos son considerados una de las principales causas de lesiones en los deportistas, por consiguiente, es importante establecer planes de mejora con el fin de mitigar las lesiones en el terreno de juego (Melis et al., 2011).

Considerando las posiciones de juego de los futbolistas, el estudio de Onaka et al. (2017), determina que para el caso de los porteros la presencia de lesiones se asocia a que en la actualidad la participación de estos jugadores es más dinámica y anticipada dentro del campo de juego, por ende, los traumatismos directos son una de las causas principales para que desarrollen lesiones, las cuales pueden ir desde luxaciones, rupturas ligamentarias y fracturas, esto en cuanto a los defensas, volantes y delanteros (Wong y Hong, 2005), concluyeron que las lesiones en estas posiciones, se asocian a mecanismos directos que involucran traumatismos por choque durante el juego y mecanismos indirectos los cuales estarían ligados a sobre entrenamientos, malos procesos de recuperación y variaciones en la carga de entrenamiento.

Por otro lado, cuando se analiza la presencia de lesiones en futbolistas amateur, en el estudio desarrollado por Nogueira et al. (2017) donde se evaluaron 527 jugadores de ligas sub 17 y sub 19, se encontró que el mayor porcentaje de lesiones se generó durante los partidos, contra un porcentaje menor de futbolistas que presentaron lesiones durante los entrenamientos; en este mismo estudio los autores reportaron que el 76,6% de las lesiones tuvo su origen por mecanismos traumáticos, mientras que el porcentaje restante evidenció lesiones asociadas al sobreentrenamiento. Adicionalmente, las estructuras con mayor predisposición a lesionarse fueron los músculos y tendones a nivel del muslo. Tomando como referencia el estudio Tourny et al. (2014), donde se evaluaron 137 jugadores de ligas sub12, 15, 15 y sub 20, se encontró que el mayor porcentaje de lesiones se documentó durante los partidos y no durante los entrenamientos, lo cual coincide con lo reportado en el estudio de Nogueira et al. (2017). No obstante, en esta investigación se reportaron como las zonas más comprometidas la cadera, el tobillo y el muslo. Finalmente, y de manera similar se reportaron como agentes causales, las lesiones asociadas a mecanismos traumáticos.

Considerando lo anteriormente expuesto, se puede establecer como propósito fundamental de esta investigación, caracterizar las lesiones en futbolistas de un equipo profesional con el fin de que los actores involucrados en esta disciplina puedan comprender y tener una orientación asertiva que permita direccionar los programas de entrenamiento, plantear estrategias de intervención y

prevención de las mismas que conduzcan a la optimización de los jugadores dentro y fuera de la cancha (Casáis, 2008).

2. Materiales y Métodos

Se utilizó un diseño metodológico de enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo y diseño transversal, con el fin de establecer la prevalencia de lesiones musculoesqueléticas en futbolistas. El tamaño de muestra fue de tipo censal, es decir, después de aplicados los criterios de inclusión y de exclusión se tomó el total de las muestras de población de futbolistas pertenecientes a las categorías sub 19 y sub 20.

2.1 Población

Sujetos deportistas de las categorías sub 19 y sub 20 del Club Deportivo de la Equidad Seguros (Bogotá, Colombia). Los criterios de inclusión fueron deportistas (hombres) pertenecientes a las categorías anteriormente mencionadas, que llevaran participando con el club más de tres meses continuos de entrenamiento, que asistan de forma regular a más del 95% de los entrenamientos programados y que participen de manera voluntaria en el estudio. Los criterios de exclusión fue deportistas que no estuvieran presentes en el momento de la aplicación del instrumento o que indicaran su deseo de no participar en el estudio. La muestra final de estudio fue de 47 jugadores de fútbol del Club Deportivo de la Equidad Seguros categoría Sub 19 y Sub 20 (alrededor de dos equipos). La media de edad fue de 16,24 (14-19 años DS \pm 1,676).

2.2 Instrumentos para la recolección de datos

Se tomó como referencia el instrumento de Figueroa-Menjura et al. (2015), el cual fue validado a través de juicio de expertos (validez de criterio) y tiene una confiabilidad de 0,90 (bueno). Las variables que se tuvieron en cuenta para analizar son datos sociodemográficos, práctica deportiva, prevalencia, mecanismo de lesión y tipo de lesión, las cuales son incluidas en el instrumento de recolección de datos y se utilizaron todas.

El instrumento consta de 23 preguntas de selección múltiple, algunas en escala de Likert, otras de SI-NO y otras de selección para evitar que el jugador responda de forma incorrecta. Al instrumento no se le hizo ningún ajuste y se aplicó a la muestra junto a uno de investigadores para explicarles las diferencias por ejemplo en los tipos de lesión.

2.3 Análisis Estadístico

La información se almacenó en una base de datos y se analizó a través del IBM SPSS Statistics Visor Pasw 22 Premium, para describir las características de los deportistas lesionados se utilizaron medidas de frecuencia y porcentajes con las variables cualitativas; para las variables cuantitativas, medidas de tendencia central y de dispersión. Y posteriormente se realizó un análisis bi-variado con coeficiente de Pearson.

2.4 Consideraciones éticas

Respecto a las consideraciones éticas, el proyecto se desarrolló en este sentido conforme a la Declaración de Helsinki y la resolución N° 008430 de 1993 del Ministerio de Salud Colombiano, que según lo decretado en el artículo 11, numeral B, la presente investigación es de riesgo mínimo, pues no presenta situaciones o elementos que la hagan de mayor gravedad a las establecida por la ley. La información recopilada se mantuvo en confidencialidad tanto en su carácter físico como electrónico.

3. Resultados y Discusión

En total se evaluaron 47 jugadores de fútbol Club Deportivo de la Equidad Seguros categoría Sub 19 y Sub 20. La edad promedio fue de $16,2 \pm 1,6$ años. El tiempo en años que llevan practicando el deporte fue de $2,4 \pm 0,7$ años, días a la semana que tienen práctica deportiva fue de $2,35 \pm 0,6$ días, las sesiones a la semana que entrenan fueron de $1,8 \pm 0,8$ sesiones (la sesión hace referencia al número de entrenamientos realizados, debido que algunos deportistas mencionan que pueden tener más de una sesión al día) y la duración de cada sesión fue de $1,2 \pm 0,38$ horas. Del total de la población se encuestaron a 10 arqueros, 11 defensas, 19 volantes y 7 delanteros. El 73,1% del total de los jugadores ha presentado una lesión osteomuscular durante su práctica deportiva, de estos el 60,9% presento de una a dos lesiones, el 13% de tres a cuatro lesiones y más de cinco lesiones el 6,5%, siendo en la Tabla 1 discriminada esta información por posición de juego, encontrando mayor presencia de lesiones en los arqueros. Reportando a nivel general mayor compromiso del componente muscular siendo la lesión asociada al trauma directo la que más prevalece; en relación con la posición de juego los arqueros indicaron mayor lesión ligamentaria con traumatismo directo, los defensas y volantes presentaron compromiso muscular derivado de traumatismo directo y los delanteros lesión muscular con relacionada con traumatismo de tipo indirecto (Tabla 2).

Tabla 1. Lesión osteomuscular por práctica deportiva

Table 1. Musculoskeletal injury due to sports practice

		Lesión por práctica deportiva			
		Si		No	
		Recuento	%	Recuento	% de la fila
Posición en el terreno de juego	Arquero	9	90,0%	1	10,0%
	Defensa	8	72,7%	3	27,3%
	Volante	13	68,4%	6	31,6%
	Delantero	4	57,1%	3	42,9%

La zona donde se presenta mayor lesión fue la rodilla, teniendo mayor compromiso de los ligamentos en el 54,5%, seguido del tejido muscular (18,2%) y tendinoso (18,2%); en segundo lugar, con mayor frecuencia de lesiones se encuentra el muslo con mayor compromiso de los músculos de esta parte. Se realizó un análisis bivariado entre la posición de juego y número de lesiones durante la práctica deportiva, así como la presencia de lesiones en los últimos seis meses no encontrando relación estadísticamente significativa entre estas variables, aunque esta relación no se establece como causalidad porque el estudio no tiene ese alcance. Sin embargo, se encontró relación entre el número de lesiones durante la práctica deportiva y las presentadas en los últimos seis meses ($p < 0,001$) con un valor de correlación de $-0,460$, lo que significa que los

que han presentado más lesiones en su práctica deportiva no se han dado en los últimos seis meses. Así mismo se encontró correlación estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre el tiempo que lleva practicando el deporte y la presencia de lesiones, esta correlación es negativa (-0,298) lo que quiere decir, que a menor tiempo de practica mayor presencia de lesión por práctica deportiva.

Tabla 2. Compromiso osteomuscular y tipo de lesión
Table 2. Musculoskeletal involvement and type of injury

		Lesión de mayor compromiso fue a nivel					Tipo de lesiones presentadas	
		Muscular	Ligamentaria	Tendinosa	Ósea	Articular	Directa	Indirecta
		%	%	%	%	%	%	%
Posición en el terreno de juego	Arquero	22,2%	55,6%	11,1%	0,0%	11,1%	60,0%	40,0%
	Defensa	55,6%	22,2%	11,1%	0,0%	11,1%	75,0%	25,0%
	Volante	40,0%	26,7%	13,3%	13,3%	6,7%	80,0%	20,0%
	Delantero	57,1%	14,3%	0,0%	28,6%	0,0%	28,6%	71,4%

Frente a las posibles causas que pueden generar lesiones se indagó sobre el conocimiento de los deportistas sobre el plan de entrenamiento encontrando que el 17,6% de los que se han lesionado no conocen la planificación del entrenamiento. Entre las causas de lesión se reporta con mayor porcentaje la mala movilidad articular (64,7%), seguido de la falta de estiramiento (23,5%). Las lesiones se presentan más frecuentemente en los partidos oficiales (45,5%), seguido de los entrenamientos (39,4%); aunque no se encontraron relaciones estadísticamente significativas por eso se menciona como posibles causas (Tabla 3).

Tabla 3. Lesión por práctica deportiva vs causas de lesión
Table 3. Sports injury versus causes of injury.

		Lesión por práctica deportiva		
		Si	No	Valor de P
		%	%	
Conoce el plan de entrenamiento	Si	82,4%	92,3%	0,392
	No	17,6%	7,7%	
Causas de lesión	Mala movilidad articular	64,7%	50,0%	0,372
	Mala activación cardiovascular	5,9%	8,3%	
	Falta de estiramiento	23,5%	33,3%	
	Mal manejo de cargas	0,0%	8,3%	
	Condiciones del terreno de juego	5,9%	0,0%	
	Otra	0,0%	0,0%	
	Entrenamiento	39,4%	25,0%	
Lesiones más frecuentes por práctica deportiva	Partido amistoso	9,1%	25,0%	0,194
	Partido oficial	45,5%	25,0%	
	Otras actividades	6,1%	25,0%	

Con respecto al proceso de rehabilitación se encontró que los que han tenido mayor número de lesiones y más graves cumplieron con los tiempos de incapacidad, pero no todos han terminado el proceso de rehabilitación completo lo que a largo plazo puede ser un factor que puede influir en la presencia de una nueva lesión, no se encontró relación estadísticamente significativa entre el número de lesiones y el proceso de rehabilitación (Tabla 4).

Tabla 4. Proceso de rehabilitación

Table 4. Rehabilitation process

		Número de lesiones durante práctica deportiva			Valor de p
		1 - 2 % del N de la columna	3 - 4 % del N de la columna	5 o mas % del N de la columna	
Formularon incapacidad	si	77,8%	80,0%	100,0%	0,714
	no	22,2%	20,0%	0,0%	
Cumplió la incapacidad sugerida	si	63,0%	40,0%	100,0%	0,196
	no	37,0%	60,0%	0,0%	
Tiempo que espero para reiniciar práctica deportiva	1 a 3 meses	88,5%	100,0%	33,3%	0,091
	3 a 6 meses	7,7%	0,0%	66,7%	
	6 meses a 1 año	3,8%	0,0%	0,0%	
Termino proceso de rehabilitación	si	66,7%	60,0%	66,7%	0,777
	no	33,3%	40,0%	33,3%	

5. Discusión

El presente estudio se basó en la aplicación de un instrumento que permitió la evaluación de futbolistas considerando variables de tipo sociodemográficas, variables relacionadas con la práctica deportiva, así como la prevalencia de lesiones, los mecanismos de lesión, la clasificación de las lesiones, el tipo de lesión, la zona afectada y los procesos de rehabilitación (Figueroa-Menjura et al., 2015). Dicho instrumento se ajusta a otros en el contexto deportivo como lo es el cuestionario REINLE validado por Noya y Sillero (2012), el cual considera aspectos similares al propuesto en este estudio, reportando niveles de confiabilidad superiores a 0,90 y que permite caracterizar de manera asertiva las lesiones en esta disciplina.

De acuerdo con los datos obtenidos, el estudio evidenció que la articulación más afectada en la práctica del fútbol para la población evaluada fue la rodilla. Cabe aclarar que la posición del jugador dentro del terreno de juego no tuvo incidencia en la presencia de estas lesiones; lo anterior coincide con lo expuesto en el estudio de Llana et al.(2010), quienes realizaron una revisión sistemática sobre las bases epidemiológicas de las lesiones en el fútbol, concluyendo que los factores que conllevan a la generación de lesiones se derivan de aspectos intrínsecos los cuales se basan en cualidades propias del jugador como: la composición corporal, la anatomía del pie y su influencia biomecánica en el rendimiento y la nutrición; también se consideraron aspectos extrínsecos dentro de los cuales se destacaron el entorno de juego e indumentaria deportiva. Ahora bien, si se tiene en cuenta el gesto deportivo que debe hacer cada jugador, así como los movimientos propios del deporte: pases, remates, recepción de pase, choque con otros jugadores, entre otros, se logra evidenciar la gran participación que tiene la articulación de la rodilla durante el juego; pese a ello, existen situaciones en la cuales la misma es llevada a movimiento y angulaciones extremas, lo cual favorece su compromiso. En este sentido, es

importante mencionar que la rodilla, permite un máximo de 10° de rotación axial, siendo el movimiento que realiza la tibia sobre los cóndilos femorales, al momento de golpear el balón con borde interno (golpear el balón con la parte interna del pie) o borde externo (golpear el balón con la parte externa del pie), no obstante cuando se sobrepasan estas angulaciones se corren riesgos inminentes que deben ser considerados durante el entrenamiento táctico y técnico (González, 2016).

La fundamentación en el fútbol se aprende en edades tempranas, por lo que parece muy simple en ejecución, sin embargo, esta capacidad madura con el tiempo y es mucho más eficaz en futbolistas experimentados. Este proceso consiste en lo siguiente:

- A. Aproximación al balón.
- B. Pie de apoyo.
- C. Parámetros cinemáticos del golpe al pie del balón (velocidad del balón tras el golpe, velocidad del pie ejecutor, velocidades angulares en el miembro inferior) (González, 2016).

Con base en este comportamiento biomecánico de la rodilla, y con relación al presente estudio, se evidenció una relación estadísticamente significativa entre el tiempo de práctica del fútbol y la presencia de lesiones siendo más recurrentes en los deportistas que tuvieron menor tiempo entrenando; de acuerdo con (Pangrazio y Forriol, 2016), las lesiones en futbolistas no solo se producen durante los tiempos de competencia, sino que las mismas pueden aparecer en las etapas de preparación. Existen diversos aspectos que pueden incidir en la aparición de estas lesiones los cuales están relacionados con el no cumplimiento con el proceso de entrenamiento, el nivel de actividad y condición física del jugador previo a la competición, el género, la edad, la procedencia ya que puede interferir en los procesos de adaptación (Zurita et al., 2015).

Por otro lado, se encontró que existe mayor presencia de lesiones en los futbolistas que no realizaron un adecuado calentamiento o tienen mala movilidad articular; no obstante, los resultados mostraron que no hubo relación estadísticamente significativa que asocie estos dos factores. Pese a los resultados obtenidos, es necesario considerar que el calentamiento permite a los deportistas preparar su cuerpo para la actividad mediante la estimulación de todos los sistemas involucrados en el movimiento humano, esto con el fin de optimizar las respuestas fisiológicas, elevar de manera progresiva la actividad cardiovascular pulmonar y activar al sistema musculo esquelético a fin de prevenir futuras lesiones por la falta de preparación (Soligard, et al., 2008).

Adicionalmente, Rosas (2011), afirma que una lesión resulta de la conjunción de fuerzas aplicadas que superan la capacidad de resistencia de un tejido, sin embargo, el resultado de la lesión es más incapacitante y traumático en la medida que los componentes de la zona impactada tienen menor capacidad de movimiento. Dichos componentes constitutivos de estructuras tales como: fascia muscular, ligamentos, tendones, músculos y cartílago, deben estar indemnes y contar con capacidades reológicas adecuadas que permitan su adaptación ante las fuerzas extrínsecas aplicadas. Otros aspectos como la hipermovilidad y la hiperlaxitud se convierten de igual manera en factores de riesgo que inducen a la inestabilidad articular, la mala alineación de las estructuras y por ende al imbalance muscular asociado a la inadecuada distribución de fuerzas mecánicas en especial en la articulación de la rodilla.

Otro aspecto importante, se vio reflejado en el alto porcentaje de lesiones durante los entrenamientos, lo cual concuerda con los resultados del estudio de Vilamiñana (2010), en el cual se evaluaron 95 futbolistas profesionales donde evidenciaron este mismo aspecto el cual puede estar asociado a los cambios en el esquema de trabajo o metodología que siguen durante los entrenamientos los cuales por lo general presentan variaciones en su intensidad dependiendo de si el jugador se encuentra en temporada o no; por otra parte, los tiempos de recuperación no siempre suelen ser los adecuados por lo que estos dos aspectos deben ser considerados por el grupo de trabajo a fin de reducir la aparición de lesiones.

En cuanto al componente relacionado con el incumplimiento en los procesos de rehabilitación como factor desencadenante para la presentación de lesiones, es importante considerar lo planteado en el estudio de Zahínos et al, (2010), quienes manifiestan que los procesos de rehabilitación en el futbolista forman parte de una acción conjunta e interdisciplinar, que deben propiciar la recuperación ante lesiones nuevas optimizando el patrón motriz del deportista y la adecuada ejecución del mismo; sin embargo, ante la generación de lesiones recurrentes, es necesario revisar los esquemas de trabajo de modo tal que se le permita al deportista prepararse en todos los ámbitos, con adecuados tiempos de recuperación y cargas de trabajo según se requiera, considerando que parte de lo que concluyen estos investigadores es que los tratamientos de recuperación se realizan de un modo acelerado lo cual no es objetivo y conllevará a situaciones adversas para la salud del deportista en la posteridad.

Finalmente, no se encontró relación estadísticamente significativa entre el uso de indumentaria adecuada y la presencia de lesiones, pese a que es innegable que el uso de estos elementos favorece el rendimiento adecuado y el confort del deportista; sin embargo, una indumentaria mal utilizada también puede contribuir a lesiones, más aún cuando la misma no se adapta al biotipo del futbolista (Nilsson et al., 2016).

5. Conclusiones

El presente estudio logró determinar que las lesiones osteomusculares fueron las más relevantes para las categorías analizadas, encontrando relaciones importantes entre el tiempo total de trabajo práctico de los jugadores con la aparición aguda de las mismas. No obstante, aspectos como el proceso de entrenamiento, nivel de actividad, condición física del jugador previo a la competición, el género, la edad y la procedencia forman parte de las características propias de este grupo, sin embargo, son elementos que deben ser evaluados y considerados por los integrantes del cuerpo técnico y de rehabilitación con el fin de garantizar la indemnidad de todo el aparato osteomuscular.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, es importante resaltar que el mayor porcentaje de aparición en los deportistas evaluados se presentó durante los entrenamientos; esto puede estar asociado a las variaciones dadas en esta fase, en dependencia de si el jugador se encuentra en temporada o no y a que los tiempos de recuperación no siempre son efectivos, lo cual varía de acuerdo con las condiciones propias de cada jugador.

Finalmente, la evaluación adecuada, exhaustiva y progresiva de este sistema le permite tanto a entrenadores como a jugadores determinar factores de riesgo que induzcan a la inestabilidad articular, la mala alineación de las estructuras e imbalance muscular siendo esto un punto de

partida para la generación y ejecución de programas de prevención de lesiones lo cual garantiza la salud deportiva de los competidores.

5. Referencias

- Barreira, D., Garganta, J., Castellano, J., Prudente, J. y Anguera, M. T. (2014). Evolución del ataque en el fútbol de élite entre 1982 y 2010: aplicación del análisis secuencial de retardos. *Revista de Psicología del Deporte* 23(1): 139-146. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=235129571019>
- Beas-Jiménez, J. D., Ribas-Serna, J., Centeno-Prada, R. A., Da Silva-Grigoletto, M. E., Viana-Montaner, B., Gómez-Puerto, J. R. y Melero-Romero, C. (2008). Prevención de lesiones musculares en el fútbol profesional mediante suplementación oral de hidratos de carbono y monohidrato de creatina. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte* 1(1): 14-21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323327654004>
- Caccese, JB., Kaminski, TW. (2016). Minimizing Head Acceleration in Soccer: A Review of the Literature. *Revista J Sports Med.* 46(11):1591-1604. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0544-7>
- Casáis, M. (2008). Revisión de las estrategias para la prevención de lesiones en el deporte desde la actividad física. *Revista Apunts Medicine de l'Esport* 43(157): 30-40. [http://dx.doi.org/10.1016/S1886-6581\(08\)70066-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1886-6581(08)70066-5)
- Figueroa- Menjura, Osorio, M., Rodríguez - Báez, G., Castro, L.E. (2015). Caracterización de las lesiones en deportistas de fútbol de la Universidad Santo Tomás. *Revista Ímpetus* 9(2): 57-66. <https://bit.ly/3MsQsZu>
- Gómez Díaz, A., Pallarés, J., Díaz, A. y Bradley, P. (2013). Quantification of physical and psychological loads: differences in competitive levels and the effects on match results. *Revista de Psicología del Deporte* 22(2), 463-469. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=235128058015>
- González Pluas, M. A. (2016). Comportamiento de las lesiones de extremidades inferiores de los deportistas que practican futbol en Barcelona Sporting Club. Tesis de Especialista en Medicina del Deporte. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/38290>
- Llana Belloch, S.; Pérez Soriano, P. y Lledó Figueres, E. (2010). La epidemiología del fútbol: una revisión sistemática. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* 10(37): 22-40. <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista37/artfutbol130.htm>
- Márquez, J., Suárez, R.G. y Quiceno, C. (2016). Lesiones en futbolistas de un equipo sudamericano durante 1 año de seguimiento. *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología* 30(1): 65-75. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=67933>
- Mayo, M., Seijas, R. y Alvarez, P. (2014). Calentamiento neuromuscular estructurado como prevención de lesiones en futbolistas profesionales jóvenes. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología* 58(6): 336-342. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2014.05.008>
- Melis, J., García, A., García, J., Payá, J., Ferrer, R., Ripoll, E. y García, J. (2011). Diseño innovador de botas de fútbol para hierba artificial. *Revista de Biomecánica* 56:35-40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3683666>
- Nilsson, T., Östenberg, A. H. y Alricsson, M. (2016). Injury profile among elite male youth soccer players in a Swedish first league. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 12(2): 83-89. <http://doi.org/10.12965/jer.1632548.274>
- Nogueira, M., Laiginhas, R., Ramos, J. y Costa, O. (2017). Injuries in Portuguese Amateur Youth Football Players: A Six Month Prospective Descriptive Study. *Acta Médica Portuguesa* 30(12), 840. <http://doi.org/10.20344/amp.8835>
- Noya, J. y Sillero, M. (2012). Incidencia lesional en el fútbol profesional a lo largo de una temporada: días de baja por lesión. *Rev. Apunts* 47(176): 115-123. <http://doi.org/10.1016/j.apunts.2011.10.001>

- Olmedilla, A., Ortega, E. y Gómez, J. M. (2014). Influencia de la lesión deportiva en los cambios del estado de ánimo y de la ansiedad precompetitiva en futbolistas. Cuadernos de Psicología del Deporte 14(1): 55-62. <http://revistas.um.es/cpd/article/view/190961>
- Onaka, G. M., Gaspar-Jr., J. J., Graças, D. das, Barbosa, F. S. S., Martinez, P. F. y Oliveira-Junior, S. A. de. (2017). Sports injuries in soccer according to tactical position: a retrospective survey. Fisioterapia Em Movimento 30(suppl 1): 249-257. <http://doi.org/10.1590/1980-5918.030.s01.ao24>
- Ortín F. (2007) Factores psicológicos y socio-deportivos y lesiones en jugadores de fútbol semiprofesionales y profesionales (tesis doctoral). Universidad de Murcia. <http://hdl.handle.net/10803/11024>
- Pangrazio, O. y Forriol, F. (2016). Epidemiology of injuries sustained by players during the 16th Under-17 South American Soccer Championship. Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (English Edition) 60(3): 192-199. <https://doi.org/10.1016/j.recote.2016.03.005>
- Pascual, C.M., Pérez, V.R. y Calvo, J.S. (2008). Epidemiología de las lesiones deportivas. Revista Fisioterapia 30(1):40-48. [https://doi.org/10.1016/S0211-5638\(08\)72954-7](https://doi.org/10.1016/S0211-5638(08)72954-7)
- Pérez del Pozo, D. (2014). Epidemiología de la lesión deportiva: epidemiología de la lesión deportiva. Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/36508/>
- Rosas, R. (2011). Lesiones deportivas: clínica y tratamiento. Revista Offarm 30(3): 36-42. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5324145>
- Soligard, T., Myklebust, G., Steffen, K., Holme, I., Silvers, H., Bizzini, M., Junge, A., Dvorak, J., Bahr, R. y Andersen, T. (2008). Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. British Medical Journal *BMJ* 337: 1-9. <https://doi.org/10.1136/bmj.a2469>
- Tourny, C., Sangnier, S., Cotte, T., Langlois, R. y Coquart, J. (2014). Epidemiologic study of young soccer player's injuries in U12 to U20. The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 54(4): 526-535. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25034555/>
- Vilamitjana, J. (2010). Incidencia de lesiones en jugadores profesionales de fútbol con alta y baja frecuencia competitiva. (Tesis de maestría). Universidad CAECE, Buenos Aires, Argentina.
- Wong, P. y Hong, Y. (2005). Soccer injury in the lower extremities. British Journal of Sports Medicine, 39(8): 473-482. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.015511>
- Zafra, A. O., Alvarez, M. D. A., Montero, F. J. O. y Redondo, A. B. (2008). Epidemiología lesional en futbolistas jóvenes: cultura, ciencia y deporte. Revista de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad Católica de San Antonio, 9: 177-184. <https://doi.org/10.12800/ccd.v3i9.165>
- Zahínos, J.I., González, C. y Salinero, J. (2010). Epidemiological study of the injuries, the processes of readaptation and prevention of the injury of anterior cruciate ligament in the professional football. Journal of Sport and Health Research 2(2): 139-150. <https://bit.ly/3znsKEH>
- Zurita, F., Fernández, R., Cachón, J., Linares, D. y Pérez, A.J. (2014). Aspectos psicosomáticos implicados en las lesiones deportivas. Cuadernos de Psicología del Deporte 14(2):81-88. <http://revistas.um.es/cpd/article/view/199521>
- Zurita-Ortega, F., Olmo-Extremuera, M., Cachón-Zagalaz, J., Castro-Sánchez, M., Ruano-Hermoso, B. y Zurita, N. (2015). Relaciones entre lesiones deportivas y parámetros de nivel, fase y modalidad deportiva relations between sports injuries and level parameters, phase and type of sport. Journal of Sport and Health Research 7(3): 215-228. <https://bit.ly/3MuJnYm>

2020 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Artículo Científico

Patrones de concentración de carbono negro y principales fuentes de emisión en Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Patterns of black carbon concentration and determination of its main emission sources in Ciudad Juarez, Chihuahua, Mexico

Frida Yael Toquinto-Manjarrez¹, Felipe Adrián Vázquez-Galvez¹, Yazmín Guadalupe Hernández-García^{1*}, Luis Gerardo Bernadac-Villegas¹, Sergio Saúl Solís¹, Marisela Yadira Soto-Padilla¹, Miguel Domínguez-Acosta¹, Gilberto Velázquez-Angulo¹, Edith Flores-Tavizón¹, Alfredo Granados-Olivas¹.

¹Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Av. Del Charro 610 Nte. Partido Romero C.P. 32310. 656-688-48-002

*Correspondencia: yazmin.hernandez@uach.mx (Yazmín Guadalupe Hernández-García)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v14i2.399>

Recibido: 26 de febrero de 2020; Aceptado: 27 de junio de 2020

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El carbono negro (CN) es un contaminante atmosférico producido de forma natural y como resultado de la combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. La región Paso del Norte (México-Estados Unidos) no cuenta con monitoreo continuo de CN, aun cuando México tiene la meta internacional de reducir sus emisiones en 51% para el 2030. El objetivo de este estudio fue evaluar el patrón de comportamiento del CN y su correlación con óxido de nitrógeno (NO_x) y carbono (CO) por su asociación a emisiones vehiculares a diésel. El monitoreo fue de octubre de 2018 a marzo de 2019 por ser los meses del año más fríos y de mayor estabilidad atmosférica en la región. Las concentraciones de CN, todos los contaminantes criterio y la meteorología se determinaron mediante etalómetro, analizadores Teledyne y estación meteorológica Campbell Scientific en la estación de referencia científica IIT-01 en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. La correlación de Spearman arrojó una CO y NO_x de $R=0.735$ y entre CO y CN de $R=0.704$. Los resultados apoyan la relación significativa entre CN y NO_x de $R=0.794$. Los resultados apoyan la posibilidad de que la fuente del CN está asociada al tráfico vehicular y a su patrón típico de comportamiento. Además de que la correlación significativa entre el CO y CN permitirá realizar estimaciones sobre el comportamiento del CN en base a las concentraciones de CO registradas por otras estaciones.

Palabras clave: contaminación atmosférica, contaminantes criterio, combustibles fósiles, quema de biomasa, zona fronteriza Paso del Norte.

Abstract

Black carbon (CN) is an atmospheric pollutant produced naturally and as a result of incomplete combustion of fossil fuels, biofuels and biomass. The Paso del Norte region (Mexico-USA) does not have continuous CN monitoring, even though Mexico has the international goal of reducing CN emissions by 51% by 2030. The objective was to assess the CN's behavior pattern and its correlation with nitrogen oxides (NO_x) and carbon (CO) as a proxy to diesel vehicles. The monitoring was from October 2018 to March 2019 because of the relative atmospheric stability associated to the cold months in the region. CN concentrations were determined with an aethalometer, criteria air pollutants by Teledyne analyzers and the meteorology by a Campbell Scientific automatic station at the IIT-01 reference station in Ciudad Juarez, Chihuahua, México. The Spearman correlation showed a significant relation between CN and NO_x of $R = 0.794$, between CO and NO_x of $R = 0.735$ and between CO and CN of $R = 0.704$. Result support the inference that CN is associated with vehicular traffic. In addition, the significant correlation between CO and CN will allow estimate the relative presence of the CN based on the CO concentrations recorded by other stations within the basin.

Keywords: atmospheric pollution, biomass burning, fossil fuels, pollutants criterion, Paso del Norte border zone.

1. Introducción

El carbono negro (CN) es un contaminante atmosférico de importancia a nivel global debido a su notable aportación al cambio climático. Esto funciona dispersando la luz solar entrante fuera de la superficie de la tierra, afectando la temperatura, calentando la atmósfera y cambiando el balance radiativo de la tierra. La emisión antropogénica de este ocupa el segundo lugar en la capacidad de generar un forzamiento radiativo positivo en la atmósfera (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014). Se ha sugerido que el mitigar de forma temprana las concentraciones de CN, así como los precursores de ozono (O₃), permitirá ganar tiempo para que las estrategias de sumideros de carbono sean viables bajo un mecanismo parecido al Protocolo de Montreal (Molina et al., 2009). Además, el CN se ha asociado con ciertos padecimientos típicamente asociado al material particulado fino (PM_{2.5}), ya que estas pueden alcanzar zonas profundas del sistema respiratorio, aumentando la incidencia de afecciones pulmonares (Díaz, 2016).

El CN es un aerosol emitido a la atmósfera como parte de la fracción de PM_{2.5} y generado de forma principal a consecuencia de una combustión incompleta de combustibles fósiles y biomasa (Bond et al., 2013; Lim et al., 2014). Es emitido en conjunto con otros aerosoles y es de esta interacción, junto con las características químicas derivadas de su fuente de emisión, lo que le imprime propiedades toxicológicas (Long et al., 2013).

El CN forma parte de los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), tiene un tiempo de residencia medio de días a semanas en comparación con el bióxido de carbono (CO₂) que puede llegar a ser de cientos de años; sin embargo, no se ha determinado el tiempo de residencia específica, el cual difiere de acuerdo con la región donde se calcule (Molina et al., 2009; Cape et al., 2012).

Como parte de la respuesta para disminuir los efectos del cambio climático, en 2016 varios países han firmado el Acuerdo de París, para lo cual, el gobierno mexicano ha planteado una nueva estrategia de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y CN. La estrategia

establece como meta la reducción de emisiones de CN en 51% para el año 2030, tomando como línea base la tendencia actual proyectada hacia el 2030, lo que representa una reducción de 152 mil toneladas métricas (tnm) a 75 mil tnm (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2015). Por tanto, como parte de los esfuerzos para monitorear y modelar las reducciones pactadas, se requiere de establecer las variaciones espacio tiempo, así como las principales fuentes de emisión.

Varios estudios han encontrado que los principales contribuyentes a las emisiones de CN son el tráfico vehicular y su comportamiento de movilidad; así como la relación entre las concentraciones de este contaminante y los patrones climatológicos sinópticos y de mesoescala (Novakov y Hansen, 2004; Raju et al., 2011; Kalluri et al., 2017; Chand et al., 2018; Hussain et al., 2018; Ježek et al., 2018; Kutzner et al., 2018).

Lugares como Buenos Aires, Argentina y algunas entidades federativas de México, han llevado a cabo campañas de monitoreo de CN y de la huella característica por las emisiones de quema de biomasa, particularmente de incendios forestales, dando como resultado la afectación de ecosistemas y un aumento significativo de las concentraciones del contaminante, ocasionando un comportamiento anormal en las tendencias de CN para las zonas identificadas (Subramanian et al., 2010; Resquin et al., 2018).

En 2006 se realizó una campaña de medición de concentraciones de CN en relación con el tránsito vehicular en la zona fronteriza de México y Estados Unidos, donde las ciudades mexicanas de Mexicali y de Ciudad Juárez fueron las que mostraron mayor contribución de CN. La conclusión del estudio fue que el transporte de carga media, dentro del lado fronterizo mexicano, es el principal contribuyente de CN y además se recomendó la necesidad de realizar investigaciones a fondo sobre la situación, dado que se percibieron ciertas desventajas con respecto a la metodología utilizada, tales como: una inherente ambigüedad derivadas de las cambiantes condiciones de viento en la región y la incapacidad de definir satisfactoriamente la procedencia real de algunos automóviles (Kelly et al., 2006).

En el 2010, en Ciudad Juárez se llevó a cabo un proyecto cuya principal finalidad fue mejorar el proceso de fabricación de ladrillos. Como parte complementaria al estudio se estimó que de la cuenca atmosférica Paso del Norte, Ciudad Juárez fue la ciudad que mayormente contribuía a emisiones de partículas suspendidas y de CN, con su consecuente incremento en los índices de mortalidad (Blackman et al., 2006; Molina, 2010).

A partir de 2017, por iniciativa del Instituto Nacional de Cambio Climático (INECC) de México y la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), se inició el monitoreo continuo de CN. Uno de los objetivos de dicha iniciativa es contribuir al conocimiento de los patrones de concentraciones medias y fuentes de emisión del CN y demás contaminantes criterio en la región internacional. El análisis de las concentraciones de contaminantes permitirá establecer el nivel de asociación con las concentraciones de CN, con el fin de determinar los procesos que las producen y su metabolismo en la atmósfera. Estos contaminantes son el óxido de nitrógeno (NO_x) que en los ambientes urbanos son producidos principalmente por la oxidación de nitrógeno a altas temperaturas, en máquinas de combustión interna y hornos industriales de alta temperatura, y el monóxido de carbono (CO), que puede ser emitido por diversos orígenes, como el tráfico vehicular, la quema de biomasa y procesos industriales que involucran la quema de hidrocarburos (Jones et al., 2010; Subramanian et al., 2010; Krecl et al., 2017).

En este trabajo se busca establecer la correlación entre las concentraciones de NO_x y CN como un artificio para establecer que las mismas fuentes que generan el NO_x también son las fuentes de CN.

2. Materiales y Métodos

El área de estudio comprendió la zona fronteriza Paso del Norte, la cual abarca las ciudades de El Paso, Texas y Sunland Park, Nuevo México, Estados Unidos y Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Ciudad Juárez cuenta con una población de aproximadamente 1.3 millones de habitantes y para el 2006, contaba con un parque vehicular de 450 mil vehículos, de los cuales el 90% fue adquirido en Estados Unidos y posteriormente introducido al país de manera legal o ilegal (Centro Mario Molina [CMM], 2006).

La estación de monitoreo de calidad del aire IIT-01 está ubicada en el Instituto de Ingeniería y Tecnología de la UACJ (Figura 1), la cual está equipada con analizadores de gases (NOx, bióxido de azufre, O₃ y CO) y partículas suspendidas menores a 2.5 y 10 micrómetros (PM_{2.5} y PM₁₀), todos de la marca Teledyne (2018, 2020). Dicho equipo realiza mediciones programables cada minuto y lleva a cabo una calibración automática. El control de calidad de los datos se realiza en la estación y los datos se publican de manera continua en el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) operado por el INECC.

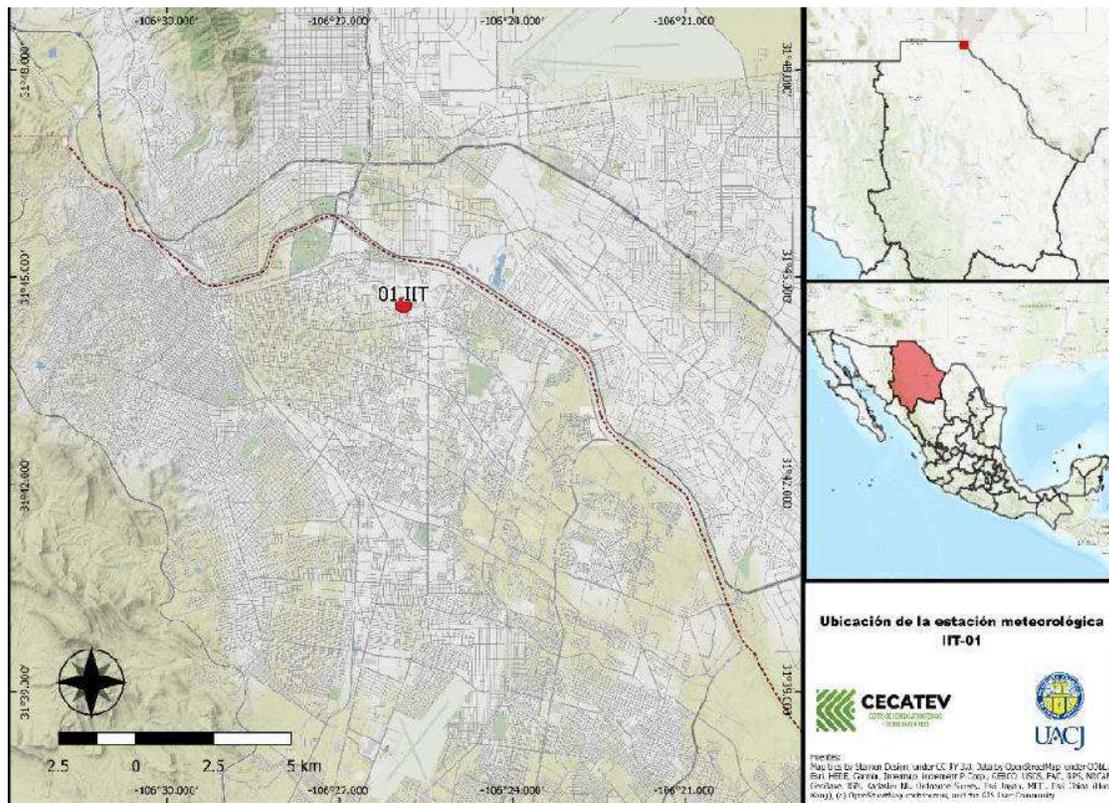


Figura 1. Mapa de localización de la estación de referencia científica IIT-01 operada por la UACJ al norte de Ciudad Juárez, Chih.

Figure 1. Location map for scientific reference station IIT-01 operated by UACJ to the north of Ciudad Juarez, Chih.

El etalómetro portátil es un equipo óptico que realiza mediciones cada cinco minutos y que mide la concentración de CN a siete diferentes longitudes de onda (370 nanómetros [nm], 470nm, 520nm,

590nm, 660nm, 880nm y 950nm). Su funcionamiento se basa en la medición de la atenuación por la absorción de las partículas, este proceso evalúa la masa de CN atrapado en un filtro de fibra de cuarzo, lo que permite determinar el coeficiente de absorción de masa (MAC por sus siglas en inglés). El cálculo del MAC asume que la composición de la masa es de un índice de refracción compleja cercano al del CN puro, sin considerar la influencia de las partículas de polvo, la incertidumbre asociada se asume consistente en toda la serie del tiempo. En la Tabla 1 se muestran las características de los analizadores y el rango de medición de los equipos utilizados.

Tabla 1. Características de los analizadores en las estaciones de monitoreo.

Table 1. Characteristics of the analyzers in the monitoring stations.

Parámetro	Marca	Tipo de analizador y método de medición	Rango de medición	Calibración	Origen
NO _x ¹	Teledyne	Modelo API T300 Fotometría	0-1 partes por millón (ppm) a 0-1000 ppm	Automática por mezcla de gases	Estados Unidos
CO ₂	Teledyne	Modelo API T200 Quimioluminiscencia	0-50 partes por billón (ppb) a 0-20 ppm	Automática por mezcla de gases	Estados Unidos
CN ³	Magee Scientific	Modelo Etalómetro AE42-7-ER Atenuación óptica	0-1300 microgramos sobre metro cúbico ($\mu\text{g m}^{-3}$) a 880 nm	Automática por el método Malissa- Novakov	Estados Unidos

Fuente: Teledyne API, (SF)¹. Teledyne API, (2018)². Magee Scientific. (2019)¹

Source: Teledyne API, (SF)¹. Teledyne API, (2018)². Magee Scientific. (2019)¹

Los análisis del CN se realizaron utilizando la longitud de onda en el infrarrojo cercano (NIR) de 880nm. Si bien las fracciones cercanas al ultravioleta (UV) con longitudes de onda menores a 440nm son más sensibles a los procesos de añejamiento de las partículas de CN, es en el NIR es dónde se puede observar el CN “fresco”. Esto es consistente con las mediciones que se realizan en las principales estaciones de medición de CN para fines comparativos (Dumka et al., 2018).

La campaña de muestreo tuvo una duración de cinco meses, comenzando en octubre del 2018 y finalizando en marzo de 2019. Se tomó el periodo de los meses fríos con el objeto de obtener los registros más altos del año toda vez que es durante la estación de invierno, cuando se observa una mayor estabilidad atmosférica (Baca-Santini y Vázquez-Gálvez, 2015). Los datos obtenidos permitirán establecer la posible asociación de los contaminantes a estudiar con los procesos de generación de estos, ya que se minimiza la dispersión natural por efecto de la estabilidad atmosférica, eliminando así las posibles contribuciones de fuentes remotas como los incendios forestales que son más frecuentes durante la primavera. Esta estrategia ha mostrado ser conveniente en estudios sobre las posibles fuentes de emisión de CN, tanto en zonas urbanas como en zonas rurales y donde se ha encontrado una aparente contribución del sector transporte (Gramsch et al., 2000, Valenzuela et al., 2017; Singh et al., 2018). De esta manera, las fuentes conspicuas de CN se limitan al transporte y la quema de biomasa de manera local y que es más importante durante los meses de octubre a marzo (periodo que observa las temperaturas más frías).

Se recopilaron datos meteorológicos de dirección y velocidad del viento y las principales variables mediante una estación automática Campbell Scientific para el mismo periodo de duración de la

campana de muestreo. Esta estacion realiza mediciones cada minuto y la informacion se encuentra disponible en el portal <http://cecatev.uacj.mx/>

En el analisis de los datos se utilizo el paquete de librerias OpenAir del programa estadistico de programacion R, en el cual facilita la manipulacion de los datos de fuentes heterogeneas y generar graficos para el mejor analisis del comportamiento del CN en diferentes periodos de tiempo, incluyendo la facilidad de producir graficos polares para observar la relacion entre las concentraciones, direccion y velocidad de viento (Carslaw y Ropkins, 2012).

El analisis de datos requirio de la eliminacion de algunos que no correspondian con la monotonia de la tendencia de estos, descartandose aquellos que tuvieran dos desviaciones estandares, como lo indican Young (1962) y Kutzner Et al., (2018). De igual forma se eliminaron datos iguales a cero y negativos, los cuales se generaron por procedimientos internos asociados con calibraciones automaticas y manuales de los equipos, asi como pruebas internas de calidad (Dumka et al., 2018). Las fuentes de emision se determinaron a partir de correlaciones de Spearman (Ec. 1) entre CN y los contaminantes criterio elegidos. Este es un coeficiente no parametrico robusto que permite ciertos desvios del patron normal. La funcion es evaluar la relacion lineal entre dos variables a nivel ordinal y que esta relacion no sea debida al azar; es decir, que la relacion sea estadisticamente significativa (Restrepo et al., 2007).

$$\rho(x, y) = 1 - \frac{6\sum D^2}{N(N^2-1)} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde D es la diferencia entre los correspondientes estadisticos de orden de $x - y$. N es el numero de parejas de datos (Restrepo et al., 2007).

Para generar los graficos para evaluar el comportamiento temporal de los contaminantes, fue necesario realizar la normalizacion de estos. Lo anterior con el fin de mejorar la visualizacion de los datos, ya que las unidades de medida por norma son diferentes para cada contaminante. Para el caso del carbono (CO) se mide en ppm, el NOx en ppb y el CN en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

3. Resultados y Discusion

De acuerdo con el analisis de 33,290 datos para cada uno de los parametros, se observo que la concentracion de CN se presento en un rango de promedio diario durante la campana de entre 0.768 y 1.150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, observando una prevalencia mayor a 1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ los miercoles, jueves y viernes y una disminucion los fines de semana (Tabla 2). El CN al no ser incluido un contaminante criterio no existen valores normados, sin embargo, es importante considerar que la presencia de CN se encuentra incluido en el analisis del PM_{2.5}, el cual esta formado primordialmente por gases y por material proveniente de la combustion. En terminos generales, las particulas estan formadas por un nucleo de carbono y por compuestos organicos e inorganicos, adheridos a su superficie. Los limites maximos permisibles para la evaluacion de este contaminante estan dados por la NOM-025-SSA1-2014, la cual establece un limite de 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ como promedio en 24 horas (h) (Diario Oficial de la Federacion [DOF], 2014). Bajo este esquema, se observa que las concentraciones obtenidas no sobrepasan el limite de promedio en 24 horas.

En la Figura 2 se observa un patron de comportamiento que obedece a las densidades de flujo tipicas de grandes ciudades (Peralta et al., 2019), lo que refuerza la hipotesis de que la mayor contribucion de CN es por parte de la flota vehicular, ya que los picos de contaminacion se registraron a las horas caracteristicas de mayor trafico vehicular en la zona de estudio, siendo consistentes en los dias habiles y disminuyendo en los fines de semana.

Tabla 2. Concentraciones de CN, CO y NOx medidas por la TELEDYNE y etalómetro durante la campaña de muestreo.

Table 2. Concentrations of CN, CO and NOx measured by TELEDYNE and ethalometer during the sampling campaign.

Día	CN ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	CO (ppm)	NOx (ppb)
Lunes	0.921±0.98	0.279±0.33	29.308±28.94
Martes	0.935±1.01	0.287±0.37	30.189±33.20
Miércoles	1.027±1.08	0.313±0.39	33.946±35.63
Jueves	1.150±1.19	0.333±0.36	36.739±37.06
Viernes	1.061±1.21	0.312±0.40	33.423±35.23
Sábado	0.898±1.09	0.306±0.37	28.572±32.37
Domingo	0.768±0.86	0.272±0.30	21.353±20.14

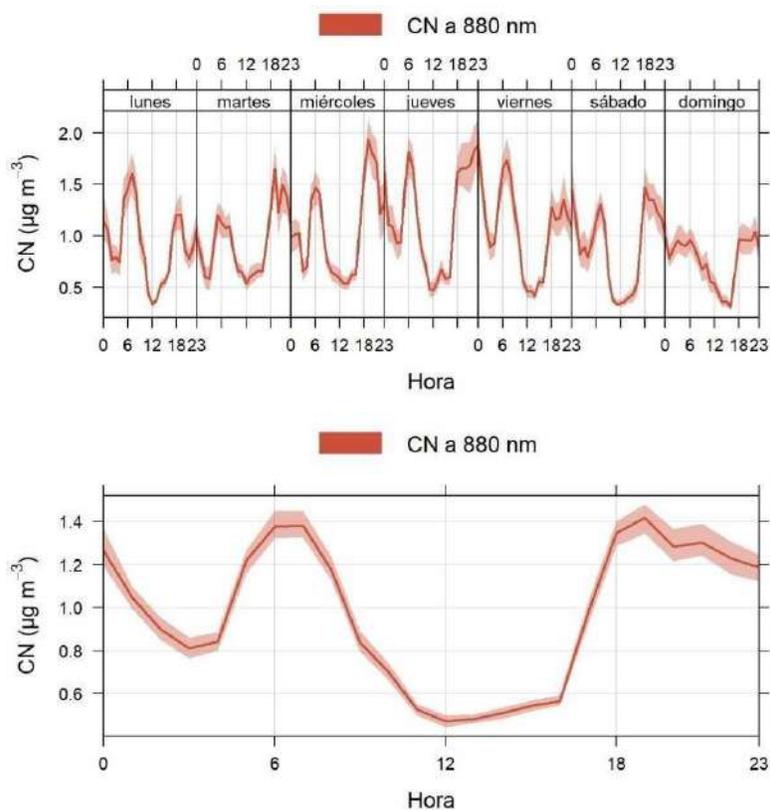


Figura 2. Tendencia de CN en lapsos de una semana y de 24 horas. El sombreado representa 95% de intervalo de confianza, determinado a través del método bootstrap resampling, integrado en la función Time Variation de OpenAir.

Figure 2. CN trend in one-week and 24-hour periods. The shading represents a 95% confidence interval, determined through the bootstrap resampling method, built into the OpenAir Time Variation function

Las concentraciones de NO_x mostradas en la Tabla 2, indican que las concentraciones oscilaron entre 21.353 y 36.739 ppb y para CO fueron entre 0.272 y 0.333 ppm. En la Figura 3 y la Figura 4 se hace una comparativa de las tendencias de los tres contaminantes en diferentes escalas y periodos de tiempo. Los picos de mayor concentración observada concuerdan con las horas de mayor tráfico vehicular en Ciudad Juárez, las cuales son de 6:30 a 8:30 horas y de 15:00 a 16:30 horas, además de observar una tendencia a episodios de mayor concentración durante la noche lo que puede estar relacionado con la capa límite planetaria y el enfriamiento nocturno (Dumka et al., 2018). Igualmente, se identificó un incremento relevante de concentraciones los miércoles para el caso de los tres contaminantes y los jueves solo para el CN, considerando una semana típica del periodo de muestreo, sin embargo, no se identificó la causa de dicho incremento.

Estudios realizados por Singh et al., (2018) muestran el efecto de la contribución de CN atmosférico por efecto del tráfico, de la misma manera, se observó un patrón diurno similar con picos de concentración de CN en la mañana y en la noche, por lo que concluyeron que el mayor flujo de tráfico produce mayores concentraciones atmosféricas de CN a lo largo del día; así como esta investigación, la realizada por Sharma et al., (2018) coincide con el análisis diurno y semanal dónde se expresan horarios significativos por la mañana y por la noche, presentando una contribución significativa de la emisión de vehículos, mostrando un patrón definido con el volumen del flujo de tráfico.

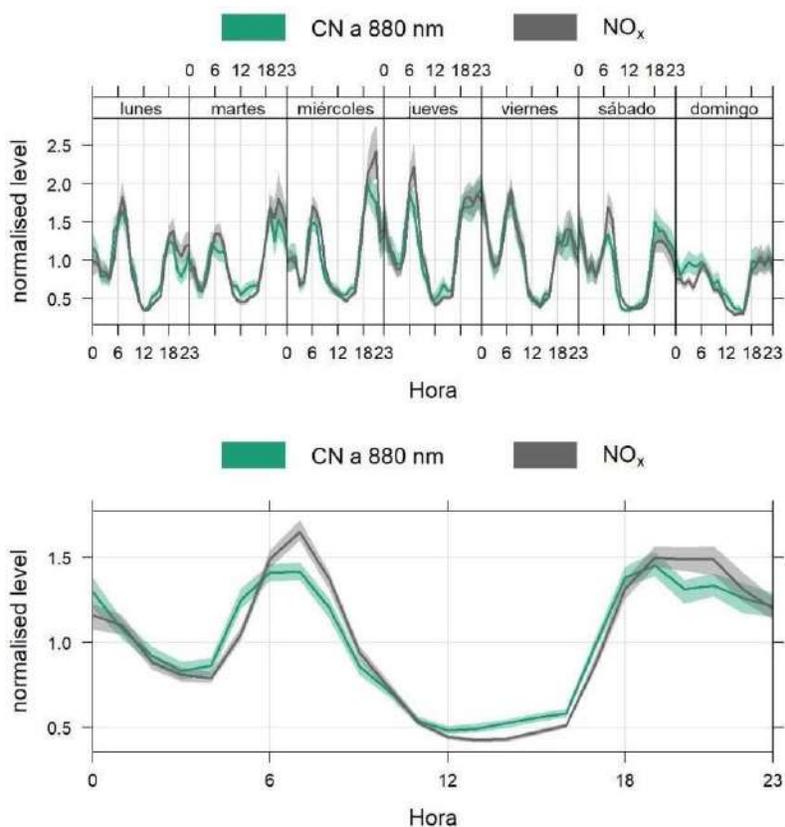


Figura 3. Tendencia de CN y NO_x en lapsos de una semana y de 24 horas. El sombreado representa 95% de intervalo de confianza determinado a través del método bootstrap resampling, integrado en la función Time Variation de OpenAir.

Figure 3. CN and NO_x trend in one-week and 24-hour periods. The shading represents the 95% confidence interval determined through the bootstrap resampling method, built into the OpenAir timeVariation function

La normativa mexicana, considera la NOM-021-SSA1-1993 para determina el valor permisible para la concentración de CO en el aire ambiente, indicando que este, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el valor permisible de 11 ppm, en promedio móvil de ocho horas una vez al año, como protección a la salud de la población susceptible (DOF, 1994). De acuerdo con lo registrado en la Tabla 2, se observa que no hubo días en los que se sobrepasara el límite permisible. Por otro lado, la misma normativa no contempla el análisis de NO_x, sin embargo, si considera la evaluación de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂). Este compuesto es considerado un contaminante primario, el cual deriva de los procesos de combustión, siendo ésta la fuente principal de su vertimiento a la atmósfera. Además de jugar un doble papel en materia medio ambiental, ya que es conocido su efecto potencialmente dañino de manera directa, pero también es uno de los precursores del ozono troposférico. Conforme a lo indicado en la NOM-023-SSA1-1993 sobre los criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al NO₂, y si se asume que las mediciones de NO_x realizadas en este estudio corresponden en su totalidad a NO₂, se considera que no sobrepasan el límite permisible de 11 ppm (Secretaría de Salubridad y Asistencia [SSA], 1994).

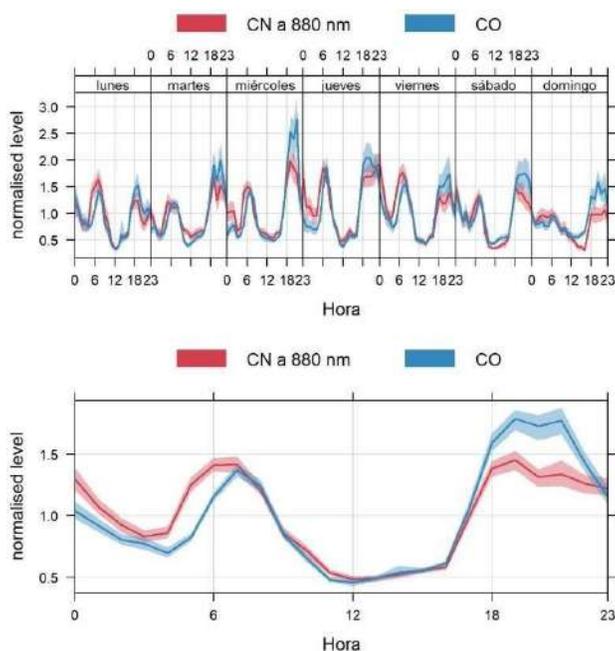


Figura 4. Tendencia de CN y CO en lapsos de una semana y de 24 horas. El sombreado representa 95% de intervalo de confianza determinado a través del método bootstrap resampling, integrado en la función Time Variation de OpenAir.

Figure 4. CN and CO trend in periods of one week and 24 hours. The shading represents the 95% confidence interval determined through the bootstrap resampling method, built into the OpenAir Time Variation function.

En relación con la correlación, Ramos-Herrera et al., 2010 indicaron que una correlación de $R < 0.6$ son consideradas significativas para el análisis de contaminantes atmosféricos. El análisis de correlación de Spearman mostró una alta correlación entre el CN y el NO_x ($R=0.794$), seguida de la

correlación entre el NO_x y el CO ($R=0.738$) y finalmente la relación entre el CN y el CO ($R=0.704$). Este análisis muestra una asociación entre los contaminantes, con el fin de predecir la posible fuente potencial de CN en la región.

De acuerdo con estos resultados se infiere que la correlación entre el CN y el NO_x , establece que la fuente de la emisión de CN está asociada al tráfico vehicular y a los combustibles fósiles que utilizan, ya que la principal fuente de NO_x es el transporte vehicular (Jones et al., 2010; Subramanian et al., 2010; Krecl et al., 2017). Estos resultados son consistentes con otros estudios, como el de Vanderstraten Et al., (2011), los cuales, según en estudios realizados en Bruselas, Bélgica, reportaron una mejor correlación entre CN y NO en comparación a la relación existente entre las partículas y el CO. Raju et al., (2011) mencionan que la variación diurna presentada en la concentración de CN se relaciona a actividades antropogénicas, ya que la correlación mostrada del CN con otros aerosoles originados por actividades antropogénicas, indican una posible fuente común. Mientras que Peralta et al., (2019) reportaron valores para ciudades mexicanas de correlación aceptables para las concentraciones de CO y CN de $R=0.76$ a $R=0.84$ y para CO y $\text{PM}_{2.5}$ de $R=0.70$ a $R=0.76$.

El CO puede ser producido tanto por la quema de biomasa como por el uso de combustibles fósiles (Subramanian et al., 2010) y dado la relación dada entre CO y NO_x ($R=0.738$) se considera que las concentraciones de CO medidas por la estación IIT-01 provienen principalmente por el tráfico vehicular. Es importante mencionar que de acuerdo con la relación que se obtuvo entre el CN y el CO ($R=0.704$), el análisis de CO reportado por diversas estaciones servirá como una herramienta que permitirá construir una línea de base de concentración de CN para otras estaciones de monitoreo en la cuenca. Inclusive, se contempla utilizar estos resultados para reconstruir series de tiempo pasado de concentraciones de este contaminante y proponer una línea base que sirva para sustanciar indicadores en las estrategias de mitigación a los contaminantes de vida corta.

Las concentraciones de los contaminantes estudiados y las condiciones meteorológicas se pueden establecer a partir de la estabilidad atmosférica medida como velocidad de viento. Durante la campaña los vientos predominantes provenían del oeste, con una velocidad que oscilo entre los 0 y 11 m·s. La Figura 5 muestra la distribución de los datos bajo diferentes categorías de estabilidad atmosférica (velocidad de viento), de concentraciones de contaminantes y de correlación lineal de CN, NO_x y CO. Con base a la velocidad del viento, entre mayor sea la velocidad, menor será la concentración de los tres contaminantes como consecuencia de la dispersión. Varios estudios han reportado la importancia de conocer los umbrales de dispersión, es decir, la velocidad de viento a partir de la cual las concentraciones de los contaminantes empiezan a considerarse relevantes (Jones et al., 2010; Raju et al., 2011; Bond et al., 2013; Grundström et al., 2015). Esto permitirá inferir posibles episodios de altas concentraciones en relación con pronósticos de viento.

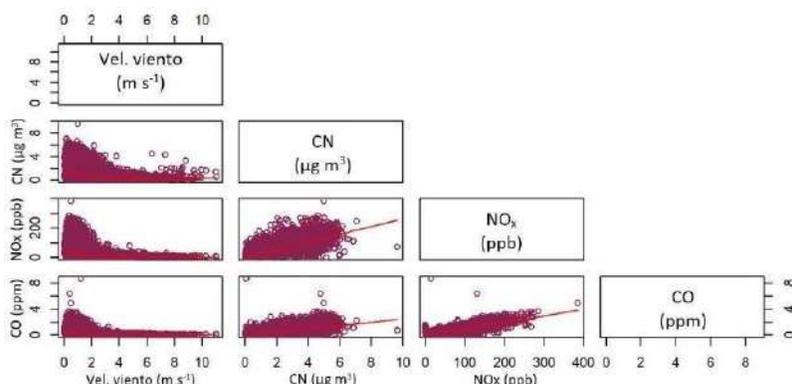


Figura 5. Gráfica de dispersión entre CN, CO, NO_x y velocidad de viento, cada una corresponde a la intersección entre las variables indicadas.

Figure 5. Dispersion graph between CN, CO, NO_x and wind speed, each one corresponds to the intersection between the indicated variables.

La influencia de advección en las concentraciones de contaminantes fue determinada por medio de gráficos polares mostradas en la Figura 6, las cuales comparan las concentraciones de los contaminantes con dirección y velocidad de viento y representan visualmente el resultado con técnicas de suavizado sobre un plano cartesiano (Carslaw y Ropkins, 2012). Al igual que en los gráficos de dispersión, se observa que cuando la velocidad del viento es menor, la concentración de los contaminantes aumenta, esto considerando que el punto de monitoreo es el punto de origen del plano. Para el caso del gráfico de CN, se presenta un punto de concentraciones altas provenientes del suroeste, originado por alguna fuente no identificada, pero que coincide con una zona de alto tráfico vehicular y donde confluyen varias vías de camiones de transporte urbano y carga como se muestra en la Figura 7.

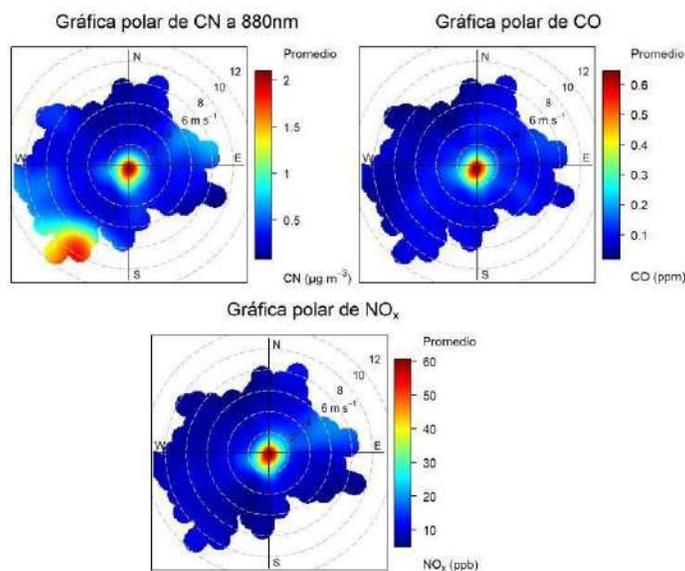


Figura 6. Gráficas polares de CN, CO y NO_x, comparadas con dirección y velocidad de viento.

Figure 6. Polar graphs of CN, CO and NO_x, compared with wind direction and speed

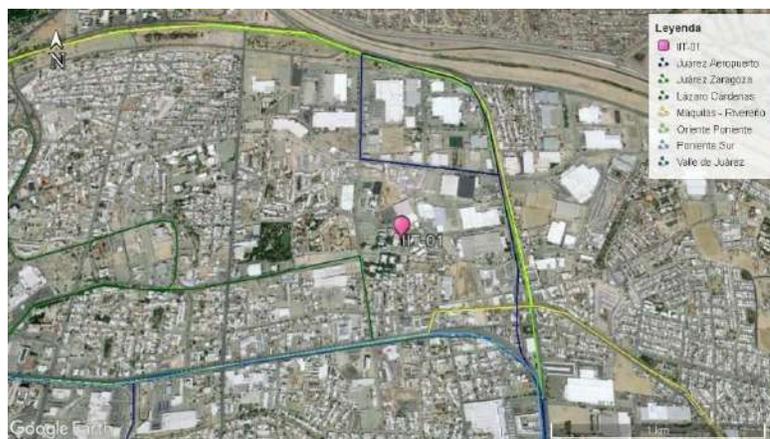


Figura 7. Rutas de transporte público cercanas al área de estudio.

Figure 7. Public transport routes near the study area.

La dispersión del CN por advección está asociada a la exposición potencial de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) que se producen por su atrapamiento en la matriz de carbono, dichas partículas están asociadas con daños oxidativos a nivel celular. Este aspecto fue estudiado con anterioridad en Kelly et al., (2006) y se encontró una asociación entre las emisiones de CN y HAPs en los camiones de Ciudad Juárez. Los HAPs están clasificados como cancerígenos, potencialmente cancerígenos, mutagénicos y pueden generar problemas respiratorios, neurológicos y pulmonares (Pepelko y Ris, 1992), es por ello la importancia de evaluar de manera rápida y estandarizada las emisiones de CN en las ciudades.

4. Conclusiones

Las correlaciones de NO_x y CN y NO_x y CO fueron relativamente altas ($r < 0.7$) y considerando que los NO_x son producidos por la quema de combustibles fósiles como la gasolina y el diésel, se infiere que los tres contaminantes provienen del mismo origen, sin encontrar una aportación exclusiva asociada a la quema de biomasa. Aunado a lo anterior, la tendencia observada de los contaminantes, así como los datos promedio para las 24 horas del día, permite inferir con alto grado de probabilidad que el principal contribuyente de CN es el tráfico vehicular, esto se atribuye a la concordancia entre los picos de concentración con los horarios de mayor afluencia de transporte privado y de personal en Ciudad Juárez.

Debido a la correlación entre CN y CO ($R=0.770$), es posible construir una herramienta para aproximar los valores de CN a partir de valores conocidos de CO, medidos por las estaciones de referencia de la región, lo que a su vez permitirá establecer zonas de mayor impacto por CN y así asociar su prevalencia debido al flujo vehicular y los posibles impactos en poblaciones vulnerables expuestas.

Con respecto a los parámetros meteorológicos, se encontró que la asociación con la velocidad del viento es inversa a las concentraciones de los contaminantes y permite obtener los umbrales de velocidad de viento asociados a altas concentraciones de contaminantes. Lo anterior ayuda a dar un elemento adicional para el establecimiento de planes de contingencia y la protección por la exposición de la población al CN y otros contaminantes criterio, considerando el comportamiento de estos en el tiempo y su interacción con algunos parámetros meteorológicos.

Las concentraciones de los tres contaminantes se encontraron por debajo de los niveles indicados por la normativa mexicana, sin embargo, es importante recalcar que esta normativa no considera al CN como contaminante a evaluar. Para este contaminante se hizo una comparativa con la NOM-025-SSA1-2014 que es utilizada para evaluar la concentración del PM_{2.5}, ya que el CN forma parte de este contaminante. Lo mismo sucedió con el NO_x, la normativa mexicana considera solo al NO₂ como contaminante, por lo que se asumió que los niveles de NO_x provenían exclusivamente de NO₂. Algunas de las recomendaciones realizadas para posteriores estudios es la ampliación en la duración de la campaña de monitoreo, con el fin de incluir todas las estaciones del año, con esto se pretenderá hacer una comparativa en las aportaciones de CO y verificar que efectivamente la quema de biomasa no contribuye significativamente en las concentraciones de CN.

Así mismo y dada la repercusión que tienen estos contaminantes en la salud, se recomienda hacer un análisis epidemiológico en los usuarios del transporte de urbano, ya que en la zona donde se detectó una mayor concentración de CN, se caracteriza por una alta afluencia de este tipo de vehículos.

Finalmente, en el futuro cercano se pretende estudiar el efecto de las partículas incluyendo el CN como forzante del clima y su efecto en las temperaturas de la región.

5. Referencias

- Baca-Santini, C. E. y Vázquez-Galvez, F.A. (2015). Estudio comparativo de la influencia de las zonas arboladas urbanas en la calidad del aire de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua* 9(3):171-179.
- Blackman, A., Shih, J. S., Evans, D., Batz, M., Newbold, S. y Cook, J. (2006). The benefits and costs of informal sector pollution control: Mexican brick kilns. *Environment and Development Economics* 11(5):603–627. <http://doi.org/10.1017/S1355770X06003159>
- Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., Flanner, M. G., Ghan, S., Karcher, B., Koch, D., Kondo, Y., Quinn, P. K., Sarofim, M. C., Schultz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., Bellouin, N., Guttikunda, S. K., Hopke, P. K., Jacobson, M. Z., Kaiser, J. W., Klimont, Z., Lohmann, U., Schwarz, J. P., Shindell, J. D., Storelvmo, T. y Warren, S. G., Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118(11):5380-5552. <http://doi.org/10.1002/jgrd.50171>
- Cape, J. N., Coyle, M. y Dumitrean, P. (2012). The atmospheric lifetime of black carbon. *Atmospheric Environment* 59:256–263. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.05.030>
- Carlaw, D. C. y Ropkins, K. (2012). Openair — An R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling and Software* 27 (28): 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.008>
- Centro Mario Molina (CMM). (2006). Medición de emisiones vehiculares en Ciudad Juárez Chihuahua. <https://bit.ly/3traptg>
- Chand, M., Kumar, V., Kumar, R., Umer, S., Chakrawarthy, E. y Acharya, P. (2018). Urban Climate Seasonal characteristics of black carbon aerosol mass concentrations and influence of meteorology, New Delhi (India). *Urban Climate* 24:968–981. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.12.002>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA-1994, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire, monóxido de carbono (CO), Valor permisible

- para la concentración de monóxido de carbono en el ambiente, como medida de protección a la salud de la población. <https://bit.ly/3NXAaZQ>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2014). Norma Oficial Mexicana NO-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación. <https://bit.ly/3zrodri>
- Díaz Hernández, C.G. (2016). Estudio del Carbono Negro (Black Carbon) contenido en partículas suspendidas en ambientes urbanos (tesis de posgrado), Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. México. <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/2244>
- Dumka, U. C., Kaskaoutis, D. G., Tiwari, S., Safai, P. D., Attri, S. D., Soni, V. K., Singh, N.y Mihalopoulos, N. (2018). Assessment of biomass burning and fossil fuel contribution to black carbon concentrations in Delhi during winter. *Atmospheric Environment* 194:93–109. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.09.033>
- Gramsch, E., Catalán, L., Ormeño, I. y Palma G. (2000). Traffic and seasonal dependence of the light absorption coefficient in Santiago de Chile. *Applied Optics*, 39(27):4895–901. <http://doi.org/10.1364/AO.39.004895>
- Grundström, M., Hak, C., Chen, D., Hallquist, M. y Pleijel, H. (2015). Variation and co-variation of PM10, particle number concentration, NOx and NO2 in the urban air -Relationships with wind speed, vertical temperature gradient and weather type. *Atmospheric Environment* 120(2):317-327. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.057>
- Hussain, S. N., Rao, T. C., Balakrishnaiah, G., Rama, G. K., Reddy, K. R. O., Reddy, N. S.K., Reddy, T. L., Kumari, S. P., Reddy, P. E. y Reddy, R. R. (2018). Investigation of black carbon aerosols and their characteristics over tropical urban and semi-arid rural environments in peninsular India. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 167:48–57. <http://doi.org/10.1016/j.jastp.2017.10.010>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Climate change 2014. Synthesis report. Versión inglés. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 169 p. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Ježek, I., Blond, N., Skupinski, G. y Močnik, G. (2018). The traffic emission-dispersion model for a Central-European city agrees with measured black carbon apportioned to traffic. *Atmospheric Environment* 184:177–190. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.028>
- Jones, A. M., Harrison, R. M. y Baker, J. (2010). The wind speed dependence of the concentrations of airborne particulate matter and NOx. *Atmospheric Environment* 44(13):1682–1690. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.01.007>
- Kalluri, R. O. R., Gugamsetty, B., Kotalo, R. G., Nagireddy, S. K. R., Rao, C. R., Tandule, L. R., Thotli, L., Shaik, N. H., Maraka, V. R., Rajuru, R. R. y Nair, S.B.S. (2017). Seasonal variation of near surface black carbon and satellite derived vertical distribution of aerosols over semi-arid station in India. *Atmospheric Research* 184:77–87. <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.09.003>
- Kelly, K., Wagner, D., Lighty, J., Núñez, M. Q., Vazquez, F. A., Collins, K. y Barud-Zubillaga, A. (2006). Black carbon and polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from vehicles in the United States-Mexico border region: pilot study. *Journal of the Air and Waste Management Association* 56(3):285–293. <http://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464465>
- Krecl, P., Johansson, C., Targino, A. C., Ström, J. y Burman. L. (2017). Trends in black carbon and size-resolved particle number concentrations and vehicle emission factors under real-world conditions. *Atmospheric Environment* 165:155–168. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.06.036>

- Kotu, V. y Bala, D. (2019.) Chapter 3 - Data Exploration. En *Data Science: Concepts and Practice* (pp. 39–64). Morgan Kaufmann.
- Kutzner, R. D., von Schneidemesser, E., Kuik, F., Quedenau, J., Weatherhead, E. C. y Schmale, J. (2018). Long-term monitoring of black carbon across Germany. *Atmospheric Environment* 185:41–52. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.039>
- Lim, S., Faïn, X., Zanatta, M., Cozic, J., Jaffrezo, J., Ginot, P. y Laj. P. (2014). Refractory black carbon mass concentrations in snow and ice: method evaluation and inter-comparison with elemental carbon measurement. *Atmospheric Measurement Techniques* 7(10):3307–3324. <http://doi.org/10.5194/amt-7-3307-2014>
- Long, C. M., Nascarella, M. A. y Valberg, P.A. (2013). Carbon black vs. black carbon and other airborne materials containing elemental carbon: Physical and chemical distinctions. *Environmental Pollution* 181:271–286. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.06.009>
- Magee Scientific. (2018). Operation Manual Black Carbon Photometer. https://twobtech.com/docs/manuals/model_BCP_revA-2.pdf
- Molina, L. T. (2010). Policy Case Study: Ciudad Juarez Brick-makers' Project (tesis de posgrado), University of London.
- Molina, M., Zaelke, D., Sarma, K. M., Andersen, S. O., Ramanathan, V. y Kaniaru, D. (2009). Reducing abrupt climate change risk using the Montreal Protocol and other regulatory actions to complement cuts in CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(49):20616–20621. <https://doi.org/10.1073/pnas.0902568106>
- Novakov, T. y Hansen. J.E. (2004). Black carbon emissions in the United Kingdom during the past four decades: an empirical analysis. *Atmospheric Environment* 38(25):4155–4163. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.04.031>
- Pepelko, W., y Ris, C. (1992). Update on U.S. Environmental Protection Agency Activities in the Assessment of Mobile Sources Air Toxics. En *Toxic Air Pollutants from Mobile Sources: Emissions and Health Effects* (pp. 193–200). Pitsburg: Air and Waste Management Association.
- Peralta, O., Ortíz-Alvarez, A., Basaldud, R., Santiago, N., Alvarez-Ospina, H., De la Cruz, K., Barrera, V., Espinosa, M. L., Saavedra, I., Castro, T., Martínez-Arroyo, A., Páramo, V. H., Ruíz-Suárez, L. G., Vázquez-Gálvez, F. A. y Gavilán, A. (2019). Atmospheric black carbon concentrations in Mexico. *Atmospheric Research* 230: 104626. <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104626>
- Raju, M. P., Safai, P., Rao, P. S. P., Devara, P. C. S. y Budhavant, K.B. (2011). Seasonal characteristics of black carbon aerosols over a high altitude station in Southwest India. *Atmospheric Research* 100(1):103–110. <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.01.006>
- Ramos-Herrera, S., Bautista-Margulis, R. y Valdez-Manzanilla, A. (2010). Estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en la zona nortes de Chiapas, México. *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo* 26(1):65-80.
- Resquin, M. D., Santágata, D., Gallardo, L., Gómez, D., Rössler, C. y Dawidowski, L. (2018). Local and remote black carbon sources in the Metropolitan Area of Buenos Aires. *Atmospheric Environment* 182:105–114. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.018>
- Restrepo, L. F., González, J. (2007). De Pearson a Spearman, *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20(2): 183-192. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324135>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2015. Intended Nationally Determined Contribution: Mexico. Ciudad de México. 21 p. <https://bit.ly/3xzxV9Y>
- Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-023.SSA1-1993. salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de nitrógeno (NO2). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO2) en el aire

- ambiente, como medida de protección a la salud de la población. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/023ssa13.html>
- Sharma, M. C., Pandey, V. K., Kumar, R., Latief, S. U., Chakrawarthy, E. y Acharya, P. (2018). Seasonal characteristics of black carbon aerosol mass concentrations and influence of meteorology, New Delhi (India). *Urban Climate* 24: 968-981. <http://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.12.002>
- Singh, V., Ravindra, K., Sahu, L. y Sokhi, R. (2018). Trends of atmospheric black carbon concentration over United Kingdom. *Atmospheric Environment* 178:148–157. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.01.030>
- Subramanian, R., Kok, G. L., Baumgardner, D., Clarke, A., Shinozuka, Y., Campos, T. L., Heizer, C. G., Stephens, B. B., de Foy, B., Voss, P. B. y Zaveri, R. A. (2010). Black carbon over Mexico: the effect of atmospheric transport on mixing state, mass absorption cross-section, and BC/CO ratios. *Atmospheric Chemistry and Physics* 10(1):219–237. <https://doi.org/10.5194/acp-10-219-2010>
- TELEDYNE API. (2018). Operation Manual Model T300/T300M Carbon Monoxide Analyzer. http://www.teledyne-ml.com/support/_hardware/Documents/T300_M.pdf
- TELEDYNE API. (2020). Model T200. <http://www.teledyne-api.com/products/nitrogen-compound-instrument/t200>
- Valenzuela, A., Arola, A., Antón, M., Quirantes, A. y Alados-arboledas, L. (2017). Black carbon radiative forcing derived from AERONET measurements and models over an urban location in the southeastern Iberian Peninsula. *Atmospheric Research* 191:44–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.03.007>
- Vanderstraeten, P., Forton, M., Basseur, O. y Offer, Z. Y. (2011). Black Carbon Instead of Particle Mass Concentration as an Indicator for the Traffic Related Particles in the Brussels Capital Region. *Journal of Environmental Protection* 2(5): 525–532. <http://doi.org/10.4236/jep.2011.25060>
- Young, H. D. (1962). *Statistical Treatment of Experimental Data*. McGraw-Hill Company, New York. <https://doi.org/10.1002/bimj.19650070123>

2020 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Guía para autores



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

| Dirección de Investigación y Posgrado

Política editorial

Son bienvenidos manuscritos originales e inéditos de tipo científico y tecnológico, los cuales deberán estar escritos con un lenguaje accesible a lectores con formación profesional o de interés científico en forma lógica y clara. TECNOCIENCIA CHIHUAHUA, publica artículos de investigación, notas científicas y artículos de revisión actualizados *por invitación*. Todo manuscrito recibido es revisado en primera instancia por el Comité Editorial para asegurar que cumpla con el formato y contenido establecido por las normas editoriales de TECNOCIENCIA CHIHUAHUA. El equipo editorial revisará que el envío cumpla con todos los requisitos de postulación, incluyendo su revisión bajo el software antiplagio iThenticate donde el porcentaje de similitud con otros trabajos deberá ser menor al 10 %. Los artículos serán enviados a revisión y una vez revisado y consideradas las sugerencias y cambios al manuscrito, los editores asociados determinarán su viabilidad para ser publicado; notificándose la aceptación o rechazo al autor. Si el manuscrito es aceptado la revista enviará el manuscrito al proceso de edición, cuyo responsable se contactará con el autor de correspondencia para la revisión y aprobación de las pruebas de galera. Así mismo, se le solicitará un resumen gráfico que describa en forma visual el contenido del artículo, además de cuatro o cinco aspectos relevantes del trabajo a publicar.

Para la evaluación de manuscritos se aplican los criterios de: rigor científico, calidad y precisión de la información, relevancia del tema y la claridad del lenguaje. Los árbitros prestarán especial atención a la originalidad de los escritos, es decir, revisarán que el manuscrito sea producto del trabajo directo del autor o autores y que no haya sido publicado o enviado algo similar a otras revistas. Los artículos de investigaciones deben presentar: un análisis detallado de los resultados originales, así como un desarrollo metodológico riguroso, resaltando los aportes científicos logrados. Las notas científicas o comunicación corta, deberán mostrar resultados novedosos, modificaciones de técnicas o desarrollo de técnicas emergentes innovadoras. Asimismo, los artículos de revisión deberán abordar temáticas novedosas y fundamentar el estado del arte en una revisión de literatura actualizada sobre temas actuales y de interés para el lector.

La revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA proporciona un acceso abierto e inmediato a su contenido, con el principio de ofrecer al público un acceso libre a información científica original e inédita y a revisiones críticas actualizadas que favorezcan una mayor difusión global de conocimiento y cumplir así, con la normativa de acceso abierto de DOAJ.

Arbitraje

El proceso de evaluación de manuscritos es el siguiente: Un editor evaluará cada contribución, y podría rechazar trabajos en esta etapa por razones tales como: carecer de originalidad, tener serias deficiencias científicas, un uso inadecuado del lenguaje y de la gramática en general, o que el contenido esté fuera de los alcances de la revista. Los autores deberán proporcionar los datos de contacto completos de cuando menos tres árbitros potenciales adscritos a una institución distinta a la del autor, sin embargo,

la asignación de los árbitros para revisión del manuscrito será una decisión de la revista. La revista opera bajo un sistema de doble ciego y favorecerá la participación de revisores externos a la institución y al país de la revista. Tras el proceso de arbitraje, el editor emitirá un dictamen respecto a la evaluación del trabajo a los autores el cual puede ser: aceptado, aceptado con revisiones menores, aceptado con revisiones mayores o rechazado.

En caso de controversia, el Editor podrá solicitar una evaluación adicional con un tercer árbitro o dictaminar el manuscrito.

Derechos de autor

Una vez aceptado el manuscrito, se solicitará al Autor enviar el formato de cesión de derechos de autor para la difusión del artículo a TECNOCIENCIA CHIHUAHUA. Los autores concederán por escrito a la revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA, la propiedad de los derechos de autor, lo que permite que su artículo y materiales puedan ser reproducidos, publicados, editados, fijados, comunicados y transmitidos públicamente en cualquier forma o medio, así como su distribución en el número de ejemplares que se requieran y su comunicación pública, en cada una de sus modalidades, incluida su puesta a disposición del público a través de medios electrónicos, ópticos o de cualquier otra tecnología, para fines exclusivamente científicos, culturales, de difusión y sin fines de lucro.

Los artículos publicados en TECNOCIENCIA CHIHUAHUA, se distribuirán amparados bajo la [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional](#)

Costo y tiempo de publicación

La Revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA es gratuita y está financiada por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Se solicita a los autores se inscriban a la Revista para estadísticas de acceso y autoría.

El tiempo para la recepción y envío a revisión será en un máximo de tres días. El tiempo promedio para la primera respuesta de los árbitros es de cuatro semanas. El tiempo estimado para la aceptación del artículo es de tres meses y su publicación dependerá de la cantidad de trabajos que estén en espera de publicación.

Contribuciones

1. Tipos de contribuciones

Las contribuciones se clasifican en artículos de investigación, notas científicas, así como artículos de revisión en español e inglés. Se aceptarán para su evaluación artículos de revisión, únicamente con *previa invitación* por parte del comité editorial de TECNOCIENCIA CHIHUAHUA.

No se aceptan contribuciones que se limiten a reportar información general sin fundamento estadístico, encuestas, composición química, u optimización de formulaciones (superficie de respuesta). Debe haber una aportación científica, tecnológica o ingenieril original, inédita y que no esté siendo considerada para su publicación simultánea en otro medio. Una descripción de los envíos se encontrará en el siguiente apartado.

2. Áreas de las contribuciones

Las áreas que abarca la Revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA son las siguientes: Alimentos, Biológica, Salud, Agropecuaria, Cultura Física, Ingeniería y Tecnología, Química y Recursos Naturales. Al someter su contribución se deberá indicar la categoría que le corresponde. De no ser esto posible, es responsabilidad del autor proporcionar el área sugerida de su contribución.

3. Idioma de las contribuciones

El idioma de las contribuciones será inglés o español. Se recomienda que los autores lleven a cabo una cuidadosa revisión del correcto uso del lenguaje para que los revisores puedan evaluar los méritos científicos del trabajo. Los editores podrán rechazar cualquier contribución que no cumpla los estándares.

4. Preparación y envío de las contribuciones

Es indispensable que el autor se registre para postular el manuscrito a la revista. Se recomienda que el autor complete en su totalidad todos los datos solicitados en su perfil incluyendo su identificador [ORCID](#).

¿No está registrado? [Regístrese aquí](#)

¿Ya está registrado? [Ingrese aquí](#)

Los autores, deberán seguir las directrices del sitio web de la revista para el envío de las contribuciones.

Lineamientos generales para envío de manuscritos

[Guía práctica para subir un envío a la plataforma](#)

Las contribuciones deben ir acompañadas de una carta al editor ([Carta de presentación del artículo](#)) en donde explícitamente se describirá la relevancia del trabajo, manifestando que el trabajo no ha sido publicado o está siendo considerado para

publicación en otra parte. Así mismo, se hará de manifiesto que la publicación ha sido aprobada por todos los autores y que el manuscrito una vez aceptado no será publicado de la misma forma en otra revista, en inglés, español, o cualquier otra lengua, ni electrónicamente, sin el consentimiento de la revista. Las secciones que integrarán a cada una de las contribuciones se muestran a continuación:

1) Artículos científicos

Se constituirán de los resultados parciales o finales de investigaciones originales fundamentadas en metodologías científicas. Los artículos de investigaciones deben presentar: un análisis detallado de los resultados, así como un desarrollo metodológico original, resaltando los aportes científicos logrados. Estos artículos se conforman de las siguientes secciones:

- a) Título del artículo
- b) Resumen/Abstract
- c) Introducción
- d) Materiales y métodos
 - Materiales
 - Métodos
 - Métodos fisicoquímicos
 - Métodos biológicos
 - Métodos estadísticos
- e) Resultados y discusión
- f) Conclusiones
- g) Agradecimientos
- h) Conflicto de interés
- i) Referencias

En la descripción de la sección de Materiales y métodos y Resultados y discusión, puede redactarse y presentarse en una sola sección o estructurarse con subtítulos para una mejor descripción. Deberá tener una extensión de 18 cuartillas como máximo, incluyendo Resumen y Referencias

2) Notas científicas

Es una comunicación corta, sobre resultados novedosos, modificaciones de técnicas o desarrollo de técnicas emergentes innovadoras, informes novedosos de investigaciones en el área de agropecuaria, salud, deportes o ingeniería. Para la presentación de este documento, se incluirán las secciones.

- a) Título del artículo
- b) Resumen/Abstract
- c) Texto
- d) Conclusiones
- e) Agradecimientos

- f) Conflicto de interés
- g) Referencias

El texto de las notas científicas, se presentará en forma corrida, pero en forma clara y con coherencia, que permita su fácil comprensión. Deberá tener una extensión máxima de 9 cuartillas, incluyendo Resumen y Referencias

3) Artículos por invitación

Artículos de revisión

Se conformarán, de revisiones críticas actualizadas de un tópico en especial novedoso de las áreas temáticas de la revista. El objetivo de estos artículos, es presentar al lector una perspectiva de un tema en específico, a través de su análisis de la información, discusión y tendencias. La estructura de este artículo se conformará de las secciones:

- a) Título del artículo
- b) Resumen/Abstract
- c) Introducción
- d) Texto
- e) Conclusiones
- f) Agradecimientos
- g) Conflicto de interés
- h) Referencias

El texto deberá ser coherente con el objetivo y podrá redactarse con los subtítulos que sean necesarios, para una mayor comprensión del tema. Deberá tener una extensión máxima de 20 cuartillas, incluyendo Resumen y Referencias.

Plantillas de los artículos

La descripción de las secciones están incluidas en la siguiente sección de esta Guía para Autores, además de en la plantilla para cada tipo de artículo: Artículo de Investigación: [Plantilla de Artículo de Investigación](#); Notas científica: [Plantilla de Notas Científicas](#); Artículo de Revisión: [Plantilla Artículo de Revisión](#). En estas se consideran sus especificaciones, las cuales deben ser acatadas por el autor. Asimismo, en cada una de las plantillas vienen las especificaciones del formato de texto (tamaño y tipo de fuente, márgenes, interlineado, etc.) el cual debe estar a una columna. Todas las páginas deben ser numeradas secuencialmente.

Descripción de los elementos de un artículo

Título

Deberá incluir versiones en español e inglés, ser conciso y explicar la naturaleza del trabajo. Este deberá tener una extensión máxima de 20 palabras. La plantilla incluye la sección de autores, los cuales deberán ser correctamente descritos, incluyendo su afiliación. En caso de existir varios autores, deberá indicarse con un asterisco el autor para la correspondencia, así como la cuenta de correo electrónico del mismo.

Resumen/Abstract

Éste deberá presentarse en español e inglés, respectivamente. Con la extensión máxima de palabras como se muestra en la plantilla. Este debe de incluir en forma clara el objetivo, descripción breve de la metodología, resultados y discusión relevantes conclusiones y aporte del trabajo. En éste se incluirán cinco palabras claves, en español e inglés, que permitan ligar informáticamente el contenido del artículo.

Introducción

La introducción describe el estado actual del conocimiento sobre el tópico de investigación abordado, su justificación e importancia, así como la inclusión de la hipótesis y el objetivo del trabajo. Esta sección no deberá ser mayor a dos cuartillas.

Materiales y métodos

Materiales

En esta sección se describen los materiales o sustancias empleadas para el desarrollo de la investigación. Especificando las características y fuentes de obtención, condiciones de manejo, almacenamiento y grado de pureza de sustancia o reactivos si ese es el caso. Señalando el nombre de compañías, ciudad y país donde los materiales y sustancias fueron adquiridos.

Métodos

Descripción de técnicas y procedimientos, así como el análisis de datos de los resultados obtenidos. En el caso de metodologías novedosas, estas se describirán detalladamente y cuando sean métodos comunes, se indicará la referencia correspondiente.

Ética: Cuando el artículo incluya estudios, experimentos con animales y evaluación sensorial de alimentos se deberá de incluir la sección ética correspondiente, la cual deberá describir los procedimientos seguidos y su apego a las normas, asimismo adjuntar un documento con la aprobación por el comité de bioética que corresponda.

Resultados y discusión

Los resultados y discusión se presentarán en una sola sección. Los resultados podrán presentarse en tablas, figuras, fotografías o datos, los cuales se describirán y se justificarán con base a conocimientos o fundamentos existentes. En esta sección se contrastan los resultados obtenidos con la hipótesis planteada y sus semejanzas o

diferencias con resultados de investigaciones previamente realizadas y publicadas. El empleo de tablas y figuras deberá ser en forma complementaria del texto de la sección.

Conclusión

Es una generalización de los resultados obtenidos y representan las aportaciones concretas del estudio. Incluyen magnitudes relativas o absolutas de las respuestas sin argumentación complementaria. Resaltando los aspectos novedosos e importancia de los resultados obtenidos, especificando mejores condiciones o parámetros finales del estudio. Debe mostrar congruencia con el título, resumen y objetivo del trabajo.

Agradecimientos

Esta sección es opcional y tendrá un máximo de cuatro renglones para expresar agradecimientos a personas o instituciones que hayan contribuido a la realización del trabajo.

Conflicto de Interés

Escribir un párrafo señalando la inexistencia de conflicto de intereses, en la publicación de estos resultados.

Referencias

Las referencias que se incluyan en el texto deberán ser pertinentes, originales y modernas; se citarán acorde al formato sistema Harvard, en el cual se incluye el apellido de los autores y año de la publicación entre paréntesis. En el caso de que sean dos autores irán unidos por “y” (Choi y Garza, 2020). Cuando sean más de dos autores, se citará el apellido del primero seguido por “et al.,” (en cursiva) y el año de publicación (Gu *et al.*, 2019). Si se citan varias referencias, éstas se separarán por punto y coma y en orden cronológico ascendente (Gu *et al.*, 2019; Choi y Garza, 2020). La relación de autores en la sección de referencias será por orden alfabético de acuerdo al formato APA.

IMPORTANTE: Toda vez que la referencia cuente con el registro internacional DOI debe incluirlo utilizando el siguiente formato **<http://doi.org/XXXXXX>**

A continuación, se muestran algunos ejemplos:

Artículos de revistas científicas

Braber, N. V., Vergara, L. D., Rossi, Y. E., Aminahuel, C. A., Mauri, A. N., Cavaglieri, L. R., & Montenegro, M. A. (2020). Effect of microencapsulation in whey protein and water-soluble chitosan derivative on the viability of the probiotic *Kluyveromyces marxianus* VM004 during storage and in simulated gastrointestinal conditions. *LWT*, 118, 108844. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108844>

Capítulos de libros

Ho, Y. C., Chua, S. C., & Chong, F. K. (2020). Coagulation-Flocculation Technology in Water and Wastewater Treatment. In *Handbook of Research on Resource Management for Pollution and Waste Treatment* (pp. 432-457). IGI Global.

Libros

Low, I. M. (Ed.). (2018). *Advances in ceramic matrix composites*. Woodhead Publishing.

Patnaik, A., & Patnaik, S. (Eds.). (2019). *Fibres to Smart Textiles: Advances in Manufacturing, Technologies, and Applications*. CRC Press.

Patentes

Götz, M. R., Holmgren, K., Larsson, N., Fiebich, B., & Wade, W. (2019). *U.S. Patent Application No. 16/478,514*.

Tesis

Rios, E. A. (2018). *Incidencia y control de tipos patógenos de Escherichia coli (STEC y EPEC) en leche de vaca y quesos derivados en Castilla y León* (Tesis doctoral, Universidad de León).

Boletín

Kirk, M. D., Angulo, F. J., Havelaar, A. H., & Black, R. E. (2017). Diarrhoeal disease in children due to contaminated food. *Bulletin of the World Health Organization*, 95(3), 233.

Páginas electrónicas

Inegi. (2017). <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/>

Base de datos

Wishart, D. S., Feunang, Y. D., Marcu, A., Guo, A. C., Liang, K., Vázquez-Fresno, R., ... & Sayeeda, Z. (2017). HMDB 4.0: the human metabolome database for 2018. *Nucleic acids research*, 46(D1), D608-D617.

Citas la abreviación de la revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA en los índices internacionales es *Rev. TECNOCIENCIA CHIH*.

Tablas, figuras y ecuaciones, las tablas y figuras deben enviarse en un archivo adjunto al manuscrito; de preferencia en un archivo Word. O bien, crear un archivo comprimido (.zip o .rar) que contenga los archivos de tablas y figuras. Adicionalmente, las tablas y figuras del manuscrito, se colocarán dentro del texto principal en el lugar indicado por

los autores, con títulos en español e inglés. El título de la figura debe presentarse como Fig. 1. Título de la figura.

Es recomendable que las figuras se preparen con software específico. Tome en cuenta que el tamaño de las figuras se ajustará en el proceso de edición para ajustarse a los márgenes de impresión. Por ello, se recomienda hacer ejes, cuadros, etc., suficientemente grandes para que resulten legibles aún al reducir el tamaño. Las extensiones aceptables para las figuras son JEPG y TIF, considerando las siguientes características de calidad (en puntos por pulgadas):

- 300 ppp para imágenes a escala de grises o color.
- 600 ppp para combinaciones imagen texto.
- 1,200 ppp para imágenes a línea.

Las tablas deben presentar tres bordes horizontales completos (en la fila de encabezados y al final), cualquier otro borde horizontal debe ser parcial, no deben tener bordes verticales y no se aceptarán en forma de imágenes.

Las ecuaciones deben estar escritas con un editor de ecuaciones y deben aparecer en el manuscrito numeradas con el formato de número arábigo. Las ecuaciones insertadas como imágenes no son aceptables.

En el texto del manuscrito, al referirse a una ecuación debe escribirse de la siguiente manera: Ec. (1) o bien Ecs. (1) -(4), al referirse a una figura, seguir la misma regla, por ejemplo: Fig. 1, o bien Figs. (1) -(5) y al referirse a una tabla, por ejemplo: Tabla 1 o bien Tablas (1) -(3).

Figuras y cuadros (versión para producción)

Las figuras y gráficos deben proporcionarse en el texto principal y numerarse consecutivamente con números arábigos y sus subtítulos respectivos deben incluirse dentro del texto principal en el lugar indicado por los autores.

Cuando se incluyan figuras que contengan fotografías o micrografías, asegurarse que sean de alta resolución para que cada foto tenga al menos 300 ppp para imágenes a escala de grises o color. Todas las fotografías deben contener el nombre del autor.

Tablas (versión para producción)

Las tablas deben proporcionarse en el texto principal y como archivo adjunto, y numerarse con números arábigos. Deben estar incrustados en el texto del manuscrito, en el lugar indicado por el autor. Las tablas deben prepararse con Microsoft Word® 2007 o posterior; no deben importarse de Excel® o Powerpoint®, y deben:

- a) Tener un número y un título (en inglés y en español)
- b) Sea auto-explicable

- c) Tener los dígitos significativos con la desviación estándar definidos de acuerdo con el criterio estadístico
- d) Mostrar datos que no se muestran en los gráficos
- e) Tener el formato más simple posible; no está permitido el uso de sombras, color o filas verticales y diagonales
- f) Solo tienen letras minúsculas en el superíndice que indiquen notas al pie de tabla (abreviaturas, unidades, diferencias estadísticas, etc.). Un ejemplo de tabla se muestra en los formatos de "[Plantillas de artículos](#)"

Abreviaturas, los nombres científicos se escribirán en cursivas, el género de la especie podrá abreviarse después de que se mencione por primera ocasión en el texto. Las unidades de cualquier dato científico o de laboratorio deberán seguir el sistema internacional de medidas y usar las abreviaturas o símbolos recomendados por las normas internacionales. No deberá usarse punto en las abreviaciones Ej.: kg (NO kg.). Se utilizará espacio entre la cantidad y la unidad o símbolo Ej. 8 cm, 100 %. Las notas a pie de página deberán ser evitadas.

Material adicional, si los autores lo desean, pueden proporcionar material adicional o complementario como soporte al artículo (texto, tablas, figuras o multimedia), el cual estará disponible en la página web de la revista una vez que sea publicado. Si el manuscrito ha sido aceptado, también se le solicitará al autor un resumen gráfico y los puntos relevantes del trabajo. El resumen gráfico debe describir en forma general el contenido del artículo, este resumen debe tener las siguientes características: archivo editable en diapositiva de Powerpoint, NO usar datos, tablas o figuras contenidos en el artículo, contener figuras libres de restricciones de derechos de autor, debe incluir un resumen que incluya de dos a tres enunciados donde se describe los antecedentes, como fue realizado el trabajo y los principales resultados. Los puntos relevantes del trabajo, deberán ser cuatro aspectos alcanzados, presentados en forma de enunciado con un máximo de 80 caracteres con espacios.

Los archivos que el autor deberá preparar para el envío serán:

([Formatos](#))

El texto principal del manuscrito debe presentarse de la siguiente manera:

1) El manuscrito en Word para producción

Este archivo, corresponde a las "[Plantillas de artículos](#)" presentadas en esta guía de autores, cuyas características de formato se muestran a continuación.

- Formato Microsoft Word® 2007 (o posterior)
- 10 puntos Palatino Linotype
- Espaciado especificado en la plantilla

- Texto completo del manuscrito (extensión de acuerdo al tipo de manuscrito)
- Las figuras, cuadros, tablas, ecuaciones y sus respectivos títulos deben estar incorporados en el texto principal en el lugar indicado por los autores
- Las páginas deben estar numeradas secuencialmente
- La carta de presentación debe presentarse por separado
- La página principal debe incluir los nombres e instituciones de los autores
- El archivo deberá llamarse **“Apellidos autor producción”.doc**.

2) En el manuscrito en Word para revisión

Este archivo es una copia del **manuscrito en Word para producción** pero se editará **sin** los nombres de los autores e Instituciones para enviar este archivo cegado a revisión con los árbitros.

Este archivo deberá ser nombrado **“Apellidos de autor revisión”.doc**: versión para evaluación del revisor. Las características de formato incluyen las siguientes especificaciones:

- Las líneas del texto al igual que las páginas deben estar numeradas secuencialmente
- **No debe incluir** los nombres e instituciones de los autores ni en la página principal del manuscrito, ni en la información del archivo

3) Carta de presentación de artículo o autoría.

La carta de presentación del manuscrito ([Carta de presentación del artículo](#)) debe incluir la relevancia e importancia del trabajo (un breve texto que describa la relevancia del trabajo de investigación o artículo de revisión de manera concisa (con no más de 100 palabras). Además, incluirá la declaratoria de que el documento presentado no ha sido publicado (parcial o totalmente) ni ha sido sometido a arbitraje simultáneamente en otra revista. Haciendo constar que cuenta con la aprobación para su publicación por los autores y coautores.

4) Los archivos de Tablas y Figuras para producción (especificaciones que se describen en la **sección de Tablas, figuras y ecuaciones** en esta guía)

5) Resumen gráfico (características descritas en la **sección de Material adicional** en esta guía)

Después de verificar el estilo de formato (acorde a la plantilla y especificaciones en esta guía de autores) y crear los archivos de acuerdo a las especificaciones presentadas, continúe con el envío en línea.

¿No está registrado? [Regístrese aquí](#)

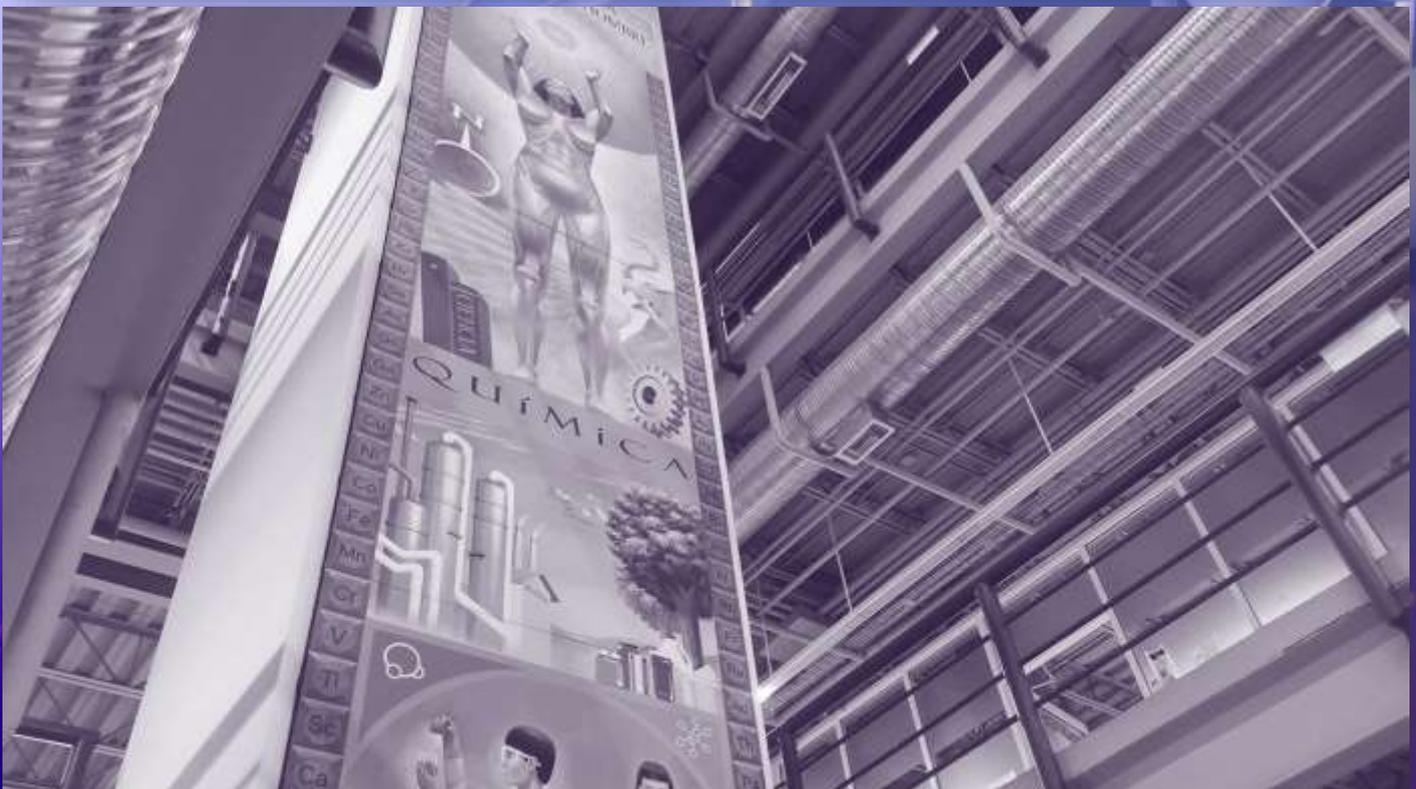
¿Ya está registrado? [Ingrese aquí](#)

Una vez registrado en la plataforma de la revista, entrar y dar clic en 'Nuevo envío', después seguir las instrucciones y completar cada una de las 5 pestañas del envío.



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado





UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA

Revista de ciencia y tecnología



POR LA CIENCIA PARA EL BIEN DEL HOMBRE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS. UACH.

