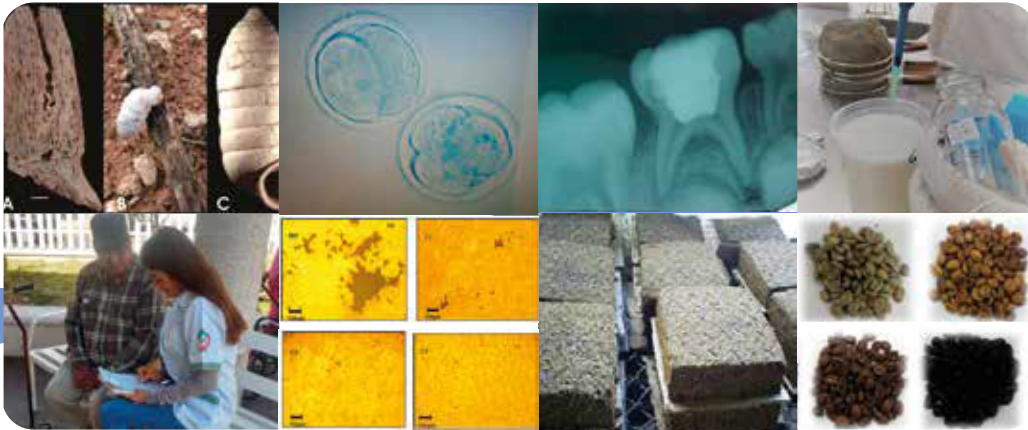


INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

CIENCIAS AGROPECUARIAS, CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS, CIENCIAS DE LA SALUD,
INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS, CIENCIAS ECONÓMICAS, CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES



▲ Sustitución del malajo de maíz (*Zea mays* L.) por la bora (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms) en bloques multinutricionales para bovinos en crecimiento

▲ Pulpotomía utilizando extracto de orégano como alternativa en el tratamiento de dientes temporales

▲ Fertilización in vitro (FIV) de ovocitos obtenidos en ovejas mediante la técnica de recolección laparoscópica de óvulos

▲ Evaluación del estado nutricional del adulto mayor asilado en la ciudad de Aguascalientes, México

▲ Inhibición de bacterias patógenas por bacterias acidolácticas en quesos de cabra

▲ Una revisión al uniformitarismo, sus aplicaciones en paleontología y las particularidades del registro fósil de animales terrestres mexicanos

▲ Evaluación de compuestos químicos de la variedad Típica de *Coffea arabica* durante el proceso del tostado artesanal

▲ El sendero del cambio estructural en el Bajío: Terciarización económica y digitalización

▲ Estimación de volumen forestal mediante imágenes de satélite Landsat 8 OLI en bosques templados mixtos

▲ César Martínez. *In memoriam*

▲ Desgasificación con NaCl: Un método para incrementar las propiedades mecánicas de una aleación de aluminio A 319

▲ *La gramática en la diacronía: La evolución de las perífrasis verbales modales en español*. Reseña

AÑO 28
SEPTIEMBRE-DICIEMBRE 2020

81

EDICIÓN CUATRIMESTRAL
ISSN 1665-4412
e-ISSN 2521-9758



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Dirección General de Investigación y Posgrado
Departamento de Apoyo a la Investigación

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES, año 28, núm. 81, periodo septiembre-diciembre de 2020, es una publicación periódica, cuatrimestral, multidisciplinaria, editada y distribuida por la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C.P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Tel./Fax. 449 910 74 00, ext. 34113, www.uaa.mx/investigacion/revista, revistaiyc@correo.uaa.mx. Editor responsable: Elizabeth Casillas Casillas. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2002-042412342500-102, ISSN: 1665-4412, Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2018-060115052000-203, e-ISSN: 2521-9758. Número de Certificado de Licitud de Título: 12284, Número de Certificado de Licitud de Contenido: 8497, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Registro Postal en SEPOMEX No. PP01-0003. Diseñada e impresa en el Departamento de Procesos Gráficos de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C.P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Este número se terminó de imprimir el 30 de noviembre de 2020 con un tiraje de 1,000 ejemplares.

Los artículos firmados son responsabilidad de su autor y no reflejan necesariamente el criterio de la institución, a menos que se especifique lo contrario.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Precio por ejemplar \$60.00 (pesos). Costo por suscripción anual \$160.00 (pesos).

La revista **Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes** está citada en los siguientes índices y bases de datos:

ÍNDICES:

Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONACYT,

<http://www.conacyt.gob.mx>

Índice Internacional, "Actualidad Iberoamericana" ISSN 0717-3636. Centro de Información Tecnológica-CII, La Serrana, Chile, <http://www.citchile.cl>

IRESIE (Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa), <http://iresie.unam.mx>

LATINDEX (Sistema Regional de Información en línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal), <http://www.latindex.org>

PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias), periodica.unam.mx

REDALYC (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), <http://www.redalyc.org>

BASES DE DATOS:

BIBLAT (Bibliografía Latinoamericana en revistas de investigación científica y social), <http://biblat.unam.mx/es/>

DIALNET (Hemeroteca de artículos científicos hispanos en internet) <http://dialnet.uniroja.es>

INFORME ACADÉMICO, www.gale-la.com/galeiberoweb/products/db/informe-academico.php

ULRICH'S Periodicals Directory, <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>

EBSCO, MÉXICO, <https://www.ebscohost.com>



**ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**

FOTOGRAFÍAS DE PORTADA:

Núcleo de cuerno de *Bison*, caracol terrestre *Holospira* y concha • División celular de ovocitos • Se estudia el extracto de orégano como alternativa al formocresol • Proceso de inoculación de la leche procesada con BAL • Aplicación de encuestas nutricionales • Fotomicrografías a 10X de las composiciones MB, C1, C2 y C3 • Bloques multinutricionales (BMN) elaborados • Grados de tueste

DIRECTORIO

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González
Rector

M. en Der. Const. J. Jesús González Hernández
Secretario General

MCO. Elizabeth Casillas Casillas
Directora General de Investigación y Posgrado

Dr. en Farm. Raúl Ortiz Martínez
Decano del Centro de Ciencias Agropecuarias

Jorge Martín Alférez Chávez
Decano del Centro de Ciencias Básicas

M. I. Felipe de Jesús Rizo Díaz
Decano del Centro de Ciencias de la Ingeniería

Dr. Jorge Prieto Macías
Decano del Centro de Ciencias de la Salud

Dr. en C. T. C. Héctor Romero Posada Ávila
Decano del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción

M. F. Virginia Guzmán Díaz de León
Decana del Centro de Ciencias Económicas y Administrativas

Dr. en Dir. y M. K. T. Miguel Ángel Montalvo Vivanco
Decano del Centro de Ciencias Empresariales

Mtra. C. S. y H. María Zapopan Tejeda Caldera
Decana del Centro de Ciencias Sociales y Humanidades

M. en E. H. Ana Luisa Topete Ceballos
Decano del Centro de las Artes y la Cultura

CONSEJO EDITORIAL

- Dr. Francisco Cervantes Pérez
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
- Dr. Alfredo Feria Velasco†
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, MÉXICO
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES
- Dr. Luis Miguel García Segura
INSTITUTO CAJAL
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
MADRID, ESPAÑA
- Dr. Frank Marcano Requena
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, VENEZUELA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
- Dr. Javier de Felipe Oroquieta
INSTITUTO CAJAL
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
MADRID, ESPAÑA
- Dr. Philippe Poujeol
UNIVERSIDAD DE NIZA-SOPHIA, ANTIPOLIS FRANCESA, FRANCIA
LABORATORIO DE FISIOLÓGIA CELULAR Y MOLECULAR
- Dr. José Luis Reyes Sánchez
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, MÉXICO
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEPTO. DE FISIOLÓGIA, BIOFÍSICA Y NEUROCIENCIAS

COMITÉ EDITORIAL

- Dr. Jaime Raúl Bonilla Barbosa †
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
- Dr. Juan Carlos A. Jáuregui Correa
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO, MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
- Dra. María J. Rodríguez-Shadow
INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA, MÉXICO
DIRECCIÓN DE ETNOLOGÍA Y ANTROPOLOGÍA SOCIAL
- Dr. Óscar Alejandro Viramontes Olivas
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA, MÉXICO
FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN
- MCO. Elizabeth Casillas Casillas
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
Editor
- Lic. Sandra Margarita Ruiz Guerra
Asistente
- Lic. Mónica Ávalos Valladares
Corrector de estilo
- Lic. César Enrique Martínez Martínez
Corrector de estilo idioma Inglés
- SECCIÓN DE PROCESOS GRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO EDITORIAL
Armado e impresión

CONTENIDO

INVESTIGACIÓN

Pág.

CIENCIAS AGROPECUARIAS

- **Sustitución del malojo de maíz (*Zea mays* L.) por la bora (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms) en bloques multinutricionales para bovinos en crecimiento** 5-14
Replacement of the corn malojo (*Zea mays* L.) for bora (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms) in multinutritional blocks for growing steers

Guillermo Sabu Romero-Marcano
Liseth Josefina Cárdenas-Ramírez

- **Fertilización in vitro (FIV) de ovocitos obtenidos en ovejas mediante la técnica de recolección laparoscópica de óvulos** 15-23
In vitro fertilization (IVF) of oocytes obtained from sheep using the laparoscopic ovum pick up technique

Julio Ramón-Ugalde
Deneb Cervera-Paúl
Álvaro Domínguez-Rebolledo
Juan Baeza-Rodríguez
Luis Pinzón-López
Roberto Zamora-Bustillos

CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

- **Inhibición de bacterias patógenas por bacterias acidolácticas en quesos de cabra** 24-31
Inhibition of pathogenic bacteria by lactic acid bacteria in goat cheeses

Dolores Gabriela Martínez-Vázquez
Blanca Liliana Narvaéz-Guillén
Armando Robledo-Olivo
Ana Verónica Charles-Rodríguez
Alma Leticia Martínez-Herrera
Sarahí del Carmen Rangel-Ortega

- **Evaluación de compuestos químicos de la variedad Típica de *Coffea arabica* durante el proceso del tostado artesanal** 32-39
Evaluation of chemical compounds of the Typica variety of *Coffea arabica* during the artisan roasting process

María F. Salazar-Hernández
Janet A. Lona-Ramírez
Claudia Rivera-Domínguez
Víctor M. Sánchez-Núñez
Hugo Rosales-Bravo
Norma A. Caudillo-Ortega

INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS

- **Estimación de volumen forestal mediante imágenes de satélite Landsat 8 OLI en bosques templados mixtos** 40-49
Stand volume estimation using Landsat 8 OLI satellite images in mixed temperate forests

Pedro García-Ramírez
Pedro Antonio Domínguez-Calleros
José Javier Corral-Rivas
Marín Pompa-García
Jorge Armando Chávez-Simental
Pablito Marcelo López-Serrano
Rodrigo Rodríguez-Laguna
Jaime Roberto Padilla-Martínez

CONTENIDO

- **Desgasificación con NaCl: Un método para incrementar las propiedades mecánicas de una aleación de aluminio A 319** Pág. 50-57
Degassing with NaCl: A method for increasing the mechanical properties of an aluminum alloy A 319

Rubin Ortega-De la Rosa
J. Edgardo Estrada-De la Torre
Marco Alonso García-Romero
Omar Rocha-Echavarría
Pedro Antonio Bañuelos-Ruiz

CIENCIAS DE LA SALUD

- **Pulpotomía utilizando extracto de orégano como alternativa en el tratamiento de dientes temporales** 58-65
Pulpotomy using oregan extract as an alternative in the treatment of temporary teeth

José Eduardo Orellana-Centeno
Darío Gaytán-Hernández
Jaime Francisco Nava-Calvillo

- **Evaluación del estado nutricional del adulto mayor asilado en la ciudad de Aguascalientes, México** 66-73
Evaluation of the nutritional status of the older adults living in nursing homes in the city of Aguascalientes, Mexico

Abril Alejandra Rivera-Flores
Valeria Díaz-Posada
Jessica Díaz-López
Judith Martín del Campo-Cervantes

REVISIÓN CIENTÍFICA

- **Una revisión al uniformitarismo, sus aplicaciones en paleontología y las particularidades del registro fósil de animales terrestres mexicanos** 74-81
A review of uniformitarianism, its applications in paleontology and the particularities of the fossil record of Mexican land animals

Rosalía Guerrero-Arenas
Eduardo Jiménez-Hidalgo
Víctor Manuel Bravo-Cuevas

- **El sendero del cambio estructural en el Bajío: Terciarización económica y digitalización** 82-93
The path of structural change in the Bajío: Economic tertiarization and digitalization

Jordy Micheli-Thirión
José Eduardo Valle-Zárate

OBITUARIO

- **César Martínez. *In memoriam*** 94-95

David Alfonso Páez
Lilia P. Aké

RESEÑA

- **La gramática en la diacronía: La evolución de las perífrasis verbales modales en español** 96-97

Cristina Eslava-Heredia

Sustitución del malojo de maíz (*Zea mays* L.) por la bora (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms) en bloques multinutricionales para bovinos en crecimiento

Replacement of the corn malojo (*Zea mays* L.) for bora (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms) in multinutritional blocks for growing steers

Guillermo Sabu Romero-Marcano*✉, Liseth Josefina Cárdenas-Ramírez*

Romero-Marcano, G. S., & Cárdenas-Ramírez, L. J. (2020). Sustitución del malojo de maíz (*Zea mays* L.) por la bora (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms) en bloques multinutricionales para bovinos en crecimiento. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(81), 5-14.

RESUMEN

Con el propósito de comparar la sustitución parcial o total del malojo de maíz por la bora en bloques multinutricionales (BMN) para bovinos en crecimiento se utilizaron nueve mautes y seis mautas, mestizos, distribuidos en grupos de cinco animales, para suministrar tres fórmulas experimentales: MM (0% bora); BORA-10 (10% bora) y BORA-20 (20% bora) bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2. BORA-10 fue el de mayor consumo (0.575 ± 0.075 kg/animal/día), mientras que BORA-20, mostró restricción. En los animales la proporción de bora en los BMN (PDBBMN) no influyó sobre la variación de peso, pero sí el sexo del animal, con pérdidas más pronunciadas en machos; la interacción PDBBMN*Sexo del animal influyó sobre la variación del perímetro torácico (PT), el aumento del contenido de bora en el BMN redujo el PT. La bora no puede sustituir al malojo de maíz como ingrediente en la alimentación de bovinos en crecimiento.

Palabras clave: plantas acuáticas; fibra proteica; suplementación estratégica; rumiantes.

Keywords: aquatic plants; protein fiber; strategic supplementation; ruminant.

Recibido: 4 de septiembre de 2019, Aceptado: 27 de agosto de 2020

* Departamento de Nutrición Animal y Forrajes, Escuela de Zootecnia, Universidad de Oriente, Venezuela. Núcleo Monagas, Campus Los Guaritos, Av. Universidad, Ciudad de Maturín, Monagas, Venezuela. Correo electrónico: gsmarcano@udo.edu.ve; lcardenas@udo.edu.ve. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7324-4354>; <http://orcid.org/0000-0002-9925-2413>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

With the purpose of comparing partial or total replacement of corn malojo with bora in multinutritional blocks (MNB) for growing steers, nine males and six females, mixed, distributed in groups of five animals, were used for three treatments T1: MM (0% bora); T2: BORA-10 (10% bora) and T3: BORA-20 (20% bora) under a completely randomized design with 3x2 factorial arrangement. BORA-10 was the most consumed (0.575 ± 0.075 kg./animal/day), while BORA-20 showed restriction. In animals: The bora proportion in MNB (BPMNB) did not influence the change of weight, but the sex of the animal does, with losses more pronounced in males; the interaction BPMNB*Sex of animal influenced the change of the thoracic perimeter (TP), the increase of the content of bora in the MNB, reduced the TP. The bora cannot replace corn malojo, as an ingredient in the feeding of growing steers.

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina contiene un principio de eficiencia que comparte con el resto de los rumiantes domésticos: la capacidad de producir a partir de los forrajes proteína de origen animal de alto valor biológico para la dieta humana (Gasque Gómez, 2008). Las gramíneas tropicales, además de baja calidad, presentan variación estacional en su oferta durante el año, con poca producción de biomasa en época seca, que limita la respuesta productiva del rebaño y obliga al productor a implementar mecanismos de suplementación (Arronis Díaz, 2003; Preston & Leng, 1989).

Los elevados costos en los alimentos concentrados demandan el uso de materias primas locales con características de accesibilidad, bajo costo de utilización y aporte significativo de nutrimentos al animal (Caravaca Rodríguez et al., 2003). Una estrategia de suplementación alimenticia sencilla es la elaboración de bloques multinutricionales (BMN); técnica de fácil manipulación, almacenamiento y suministro (Araujo-Febres, 2005b). La formulación base del BMN exige incorporar recursos forrajeros (convencionales y/o no convencionales), como ingredientes aportantes de fibra dietética y de soporte (Arraque & Cortes, 1998).

Entre los forrajes se incluyen los residuos de cosecha, especialmente de cultivos anuales, en donde el malojo o rastrojo de maíz es uno de los más utilizados y estudiados como alimento para el ganado (Arellano-Vicente et al., 2016; Castellanos Alva, 2015; Guevara Hernández et al., 2013; Sánchez Acosta, Ortega Cerrilla, Mendoza Martínez, Montañez Valdez, & Buntinx Dios, 2012). A pesar de ser una materia prima abundante y bastante accesible, posee bajos tenores de PC, con escasa digestibilidad, debido a sus altas concentraciones de carbohidratos estructurales (lignina) que pueden limitar la actividad microbiana en el rumen (Parsi et al., 2001).

La bora (*Eichhornia crassipes*) es una planta acuática flotante que habita comúnmente en cuerpos de agua en regiones de Venezuela, donde destacan los estados Anzoátegui, Apure, Bolívar, Delta Amacuro, Nueva Esparta y Guárico (Velásquez, 1994). La iniciativa de uso de esta planta se fundamenta en su abundante y extensa cobertura vegetal durante todo el año en cursos de agua, con rendimientos anuales de 4.20 t/ha de biomasa seca (Rodríguez, 1997). Es considerada una maleza debido a que suele dificultar el desarrollo de actividades fluviales. Su acelerada tasa de crecimiento produce eutrofización y sedimentación, lo que afecta la pesca, la agricultura y la salud (Lindsey & Hirt, 1999; Velásquez, 1994). Aunado a esto, la bora presenta características bromatológicas que pueden beneficiar el contenido nutritivo de la ración alimenticia, rica en minerales, sobre todo nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y en menor proporción magnesio (Mg), sodio (Na) y azufre (S) (Rodríguez, 1997).

Dichos atributos son respaldados por experiencias de aprovechamiento y uso de bora fresca en alimentación animal; sea en rumiantes (Malik, 2007; Thâm, 2012), no rumiantes (Domínguez, 1996; Febrero Toussaint, Romero Cruz, Ruiz Ortiz, & González Salas, 2005) e, incluso, en animales silvestres (Yusti-Muñoz, 2012), también por la elaboración de harinas alimenticias (Párraga-Alava, Barre-Zambrano, Dueñas-Rivadeneira, Muñoz-Murillo, & Zambrano-Vélez, 2018) y su inclusión en BMN para vacas lecheras (Rodríguez Reyes, Marcano Cumana, & Salazar López, 2005).

La presente investigación tuvo por objetivo comparar la sustitución parcial o total de malojo de maíz por bora en bloques multinutricionales (BMN) para bovinos en crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue desarrollado en el periodo comprendido entre los meses de enero y noviembre de 2010, en tres etapas:

I. Determinación del contenido porcentual de materia seca en la bora

Se realizó en la finca La Milagrosa, parroquia La Pica, municipio Maturín, Monagas-Venezuela. Las plantas de bora se cosecharon directamente de su medio natural, en Laguna Grande, importante cuerpo de agua de dicha parroquia. Las mismas se ensacaron y pesaron en fresco (Materia verde) en un peso reloj CAZ con capacidad para 100 kg, las plantas se trocearon y secaron al sol en lonas plásticas por siete días (figura 1). Se pesó el material deshidratado (Materia seca), se ensacó y almacenó para su posterior procesamiento. Dicho pesaje se realizó en 10 ocasiones en las cosechas de bora. El contenido porcentual de materia seca por repetición se obtuvo a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MS} = \frac{\text{MS}}{\text{MV}} \times 100$$

MS= Materia seca

MV= Materia verde



Figura 1. Cosecha (izquierda) y secado al sol (derecha) de la bora.

Fotografías del equipo de investigación.

II. Elaboración de los bloques multinutricionales (BMN) y valoración nutritiva

La elaboración de los BMN se realizó en la Unidad de Ganadería Luís Pérez Guillén (UGLPG) adscrita a la Escuela de Zootecnia, Universidad de Oriente, Venezuela. De acuerdo con las materias primas disponibles y el tipo de animal a suplementar se establecieron las fórmulas de BMN, con tres proporciones de malajo de maíz y bora; la primera con 20% de malajo y 0% de bora (MM), otra con 10% de malajo y 10% de bora (BORA-10) y otra con 0% de malajo y 20% de bora (BORA-20) (tabla 1). Los BMN se elaboraron cada 15 días y permanecieron 5 días secándose bajo techo (figura 2). se elaboraron cada 15 días y permanecieron 5 días secándose bajo techo (figura 2).

Tabla 1

Composición porcentual de los bloques multinutricionales (BMN) empleados en la suplementación de bovinos en crecimiento, con malajo de maíz a 20% (MM), bora y malajo cada uno a 10% (BORA-10) y bora a 20% (BORA-20)

Ingredientes	MM	BORA-10	BORA-20
Melaza	35	35	35
Cemento	10	10	10
Sal y minerales	13	13	13
Bora molida	0	10	20
Malajo de maíz molido	20	10	0
Pulpa cítrica molida	7	7	7
Heno de pasto aguja molido	5	5	5
Urea	7	7	7
Cama de pollo	3	3	3
Total	100	100	100

Nota: Elaboración propia.



Figura 2. Bloques multinutricionales (BMN) elaborados. Fotografía del equipo de investigación.

La valoración nutritiva se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Escuela de Zootecnia, Universidad de Oriente, Venezuela. Se colectaron muestras de los pastos suministrados, de la bora y el malojo de maíz utilizado en las fórmulas y de los bloques multinutricionales elaborados. Los análisis bromatológicos determinados fueron materia seca (MS), ceniza (Cnz), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y fibra cruda (FC) de acuerdo con normativas de la AOAC (2000); mientras que el extracto libre de nitrógeno (ELN) se calculó por diferencia mediante la fórmula $\% \text{ELN} = 100 - (\% \text{PC} + \% \text{FC} + \% \text{EE} + \% \text{Cnz})$.

El coeficiente de digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) se determinó por el método de dos etapas de Tilley y Terry (1963) y los nutrientes digestibles totales (NDT), según la fórmula descrita por Torres, Arbaiza, Fernando y Lucas (2008):

$$\% \text{NDT} = \text{ED} / 0.04409$$

$$\text{ED} = \text{DMS} * \text{EB}$$

donde

DMS: Digestibilidad de la MS (sustituida por DIVMS) y
EB: Energía bruta 4.4 Mcal/kg.

III. Manejo de los animales y recolección de datos

Alojamiento y manejo alimenticio de los animales.

Se utilizaron nueve mautes y seis mautas, mestizos Cebú-Carora recién destetados con promedio de peso inicial de 183.66 ± 24.49 kg, distribuidos en grupos de cinco animales (tres mautes y dos mautas) de peso grupal homogéneo. Estos se alojaron en locales de estabulación de 37.44 m^2 ($7.80 \text{ m} \times 4.80 \text{ m}$). Se instalaron en cada corral bebederos plásticos y portabloques para colocar los BMN al momento de la suplementación y evitar pérdidas por pisoteo. Se utilizaron en total tres locales con cinco animales por local.

Los animales se mantuvieron bajo estabulación durante 109 días, de los cuales 25 fueron de acostumbramiento. Su alimentación estuvo basada en pasto repicado ofrecido en comedero y agua limpia ad libitum; se utilizaron las especies de pasto maralfalfa (*Pennisetum purpureum*) los primeros 28 días de alimentación, king grass morado (*Pennisetum purpureum*) los siguientes 14, ambos a razón de 42 kgMS/día por corral. Para los últimos 42 días se utilizó pangola (*Digitaria decumbens*) henificado, a razón de 50 kg de MS/día por corral; la ración de pasto se dividió en dos, con suministro a las 7:00 h y a las 16:00 h.

Los animales fueron suplementados únicamente con BMN, distinguidos en tres dietas suplementarias: MM con 0% de bora; BORA-10 con 10% de bora y BORA-20 con 20% de bora. A cada grupo se le ofreció diariamente un BMN de 3 kg, con estimación de consumo diario por animal de 0.600 kg.

Consumo del BMN. Los BMN se suministraron a las 9:00 h previamente pesados en un peso reloj marca La precisa con capacidad de 10 kg; los animales tuvieron acceso al BMN durante todo el día y el residuo se recogió y pesó al día siguiente a la misma hora. Para calcular se utilizó la fórmula:

$$\text{Consumo de BMN} = \text{BMN ofrecido} - \text{BMN rechazado a las 24 h}$$

Variación diaria de peso en los animales. Los animales se pesaron al inicio del ensayo en una romana mecánica marca Pesacoa, con capacidad de 2,500 kg; se realizaron pesajes cada 14 días, en horas de la mañana, sin ayuno previo en los animales.

Para calcular la variación diaria de peso (VDP) se relacionaron los pesos sucesivos de cada animal. La fórmula utilizada para calcular esta variable fue:

$$\text{VDP} = \frac{\text{Peso Final} - \text{Peso Inicial}}{14 \text{ días}}$$

Variables zoométricas en los animales. La medición de las variables zoométricas en los animales se realizó al principio y al final del experimento, según metodología descrita por Gómez y Jiménez Rodríguez (2009) correspondiente a perímetro torácico (PT); longitud corporal (LC) y altura corporal (AC) (figura 3). La fórmula utilizada para calcular la variación fue Variación de la PT, LC y AC = Medida final – Medida inicial.



Figura 3. Medición de variables zoométricas (Perímetro torácico). Fotografía del equipo de investigación.

Diseño experimental y análisis estadístico. Debido a que el consumo de BMN no fue individualizado esta variable no contó con repeticiones por animal; para representarla se calculó promedio y desviación estándar en cada grupo experimental al dividir el consumo total por día obtenido por corral entre la cantidad de ejemplares alojados en cada uno.

Para el resto de las variables el experimento se condujo bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2, considerando factor A Fórmula de BMN, con tres niveles: MM; BORA-10 y BORA-20, y factor B Sexo del animal, con dos niveles: mautes y mautas; el número de repeticiones fue distinto por sexo, tres en mautes y dos en mautas (Montgomery, 2004), con el esquema [3 x 3 + 3 x 2] para un total de 15 unidades experimentales. Debido a que la evaluación de crecimiento fue realizada en cada animal de modo independiente, cada uno representó la unidad experimental. La VDP fue evaluada en seis periodos de observación cada 14 días, mientras que las variables zoométricas (perímetro torácico, longitud corporal y altura corporal) fueron medidas absolutas (inicio-final).

Los datos obtenidos en consumo de BMN se analizaron por estadística descriptiva. Los datos de VDP fueron transformados a función exponencial (inversa del Ln) para corregir homogeneidad y normalidad de varianzas, además de examinados, al igual que las variables zoométricas, por análisis de varianza con estructura factorial. Los efectos simples significativos fueron ponderados por prueba de Tukey y los efectos de interacción por desglosamiento. Todos los procedimientos se realizaron en el programa estadístico SPSS versión 22 con criterio de significancia a 5%.

RESULTADOS

Materia seca en la bora; valor nutritivo de la dieta base, la bora, el malajo de maíz y los BMN utilizados

El contenido porcentual de materia seca en la bora cosechada fue $7.58 \pm 0.69\%$. En la tabla 2 se presenta el valor nutritivo de las distintas dietas base utilizadas en el experimento. Se encontró similitud en el contenido mineral de los pastos, mientras que el gradiente proteico fue en descenso progresivo (de 7.39 a 3.61%) y el contenido de fibra fluctuó entre 36.54 y 44.58%. Los coeficientes de DIVMS fueron muy bajos en todas las dietas (<40%), resalta negativamente el king grass morado con digestibilidad por debajo de 21%.

Tabla 2

Valor nutritivo de la dieta base, la bora, el malojo de maíz y los BMN utilizados durante el experimento (en base seca)

Tipo de alimento	Promedios en base seca (%)					(%) DIVMS	(%) NDT
	CNZ	PC	EE	FC	ELN		
Maralfalfa	7.51	7.39	2.69	36.53	45.88	37.17	37.09
King grass morado	7.42	5.36	1.20	44.58	41.44	20.19	20.15
Pongola	7.89	3.61	1.46	37.79	49.24	31.19	31.13
Bora	19.38	10.00	1.38	25.91	43.32	41.82	41.73
Malojo de maíz	8.81	7.37	1.20	39.31	43.31	38.07	37.99
MM (0% bora)	34.23	21.41	0.93	10.58	32.86	65.72	65.58
BORA-10 (10% bora)	31.91	24.81	0.73	9.36	33.19	76.49	76.33
BORA-20 (20% bora)	35.31	25.81	0.79	9.01	29.08	75.91	75.75

Nota: Elaboración propia.

Consumo de BMN

El BMN BORA-10 (con 10% de bora) fue el más consumido por los animales durante el ensayo con promedio general de 0.575 ± 0.075 kg/animal/día, seguido del BMN MM (con 0% de bora) con 0.404 ± 0.132 kg/animal/día, mientras que el BMN BORA-20 (con 20% de bora) fue el menos comido, con promedio de 0.293 ± 0.126 kg/animal/día. Se observó efecto de restricción del consumo del suplemento con la incorporación de 20% de bora en el BMN.

Variación diaria de peso en los animales

En la tabla 3 se observa la inexistencia de efecto significativo sobre la VDP de los animales, de las proporciones de bora utilizadas en el BMN (PDBBMN) y la interacción PDBBMN*sexo del animal, en los seis periodos experimentales; se obtuvo efecto significativo del sexo del animal únicamente en el tercer periodo (42 días). El promedio de VDP en este periodo fue negativo para ambos sexos, con pérdida de peso más pronunciada en los mautes (-0.353 kg/animal/día), en comparación a las mautas (-0.07 kg/animal/día).

Tabla 3

Resumen del ANAVA para la VDP (kg) de los animales (función exponencial) en cada periodo experimental

Fuente de variación	Gl	Cuadrados medios por periodo de observación (días)					
		14	28	42	56	70	84
Proporción de bora en el BMN (PDBBMN)	2	0.49 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.46 ^{ns}	0.01 ^{ns}
Sexo	1	0.04 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.20**	0.02 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}
PDBBMN*Sexo	2	0.07 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.06 ^{ns}
Error	9	0.13	0.12	0.01	0.04	0.15	0.12
CV(%)		27.40	27.54	14.42	17.26	23.78	27.03

Nota: Elaboración propia.

Tabla 4

Resumen del análisis de varianza para las variables zoométricas, perímetro torácico (PT), longitud corporal (LC) y altura corporal (AC) en bovinos en crecimiento, con desglosamiento de la interacción significativa

Fuente de variación	Gl	Cuadrados medios		
		PT	LC	AC
PDBBMN	2	14.08 ^{ns}	8.54 ^{ns}	3.71 ^{ns}
Sexo	1	10.08 ^{ns}	38.76 ^{ns}	3.76 ^{ns}
PDBBMN*Sexo	2	18.58 [*]	0.54 ^{ns}	0.16 ^{ns}
PDBBMN/Sexo	2	19.17[*]	---	---
PDBBMN/Mautes	1	32.17^{**}	---	---
PDBBMN/Mautas	1	6.18 ^{ns}	---	---
Error	9	3.25	17.39	2.85
CV(%)		86.53	35.67	78.99

Nota: Elaboración propia.

Variables zoométricas en los animales

El análisis estadístico de las variables zoométricas solo detectó efecto significativo sobre la variación absoluta del PT de los animales, para la interacción entre los factores, proporción de bora en el BMN y sexo del animal, con efecto realmente significativo únicamente en la variación del PT de los mautes (tabla 4). Todas las variables zoométricas cuantificadas reportaron coeficientes de variación muy elevados (>30%). En la figura 4 se observa que a medida que aumentó la proporción de bora en el BMN disminuyó progresivamente el PT en los mautes, no así en las mautas.

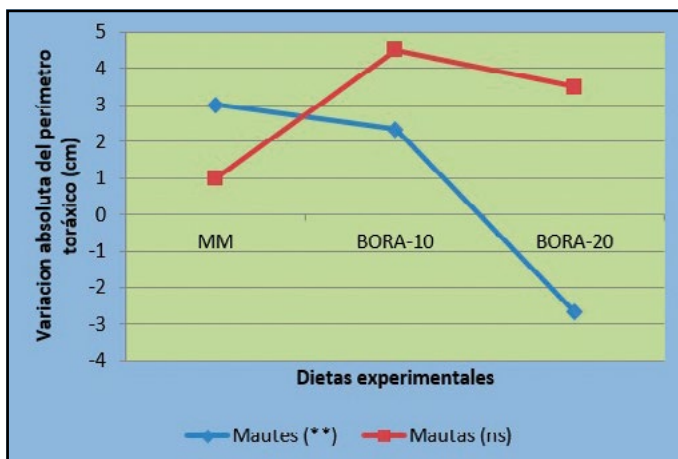


Figura 4. Variación absoluta del Perímetro torácico con respecto a la proporción de bora en el BMN y al sexo del animal. Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Materia seca en la bora; valor nutritivo de la dieta base, la bora, el malajo de maíz y los BMN utilizados

El porcentaje de MS obtenido en la bora durante el estudio concuerda con lo señalado por Chará (1994), quien indica que las plantas acuáticas exhiben alto contenido de humedad y su materia seca varía entre 5% y 15%. Febrero Toussaint et al. (2005) y Konyeme, Sogbesan y Ugwumba (2006) reportan contenidos de materia seca en la bora superiores a los obtenidos en el presente trabajo (7.80% y 10.50%, respectivamente).

Se observó deficiencia en la dieta base ofrecida debido a la oferta forrajera disponible en la finca, ya que los *Pennisetum* son pastos con avanzado estado de maduración al momento de la cosecha, con vástagos de más de 2 m y baja proporción hoja-tallo. El heno de pangola correspondió a un material con más de 3 meses en almacén. Los pastos frescos o conservados tienden naturalmente a perder calidad nutritiva al disminuir en proteína y carbohidratos solubles con el avance del tiempo, mientras aumenta la porción de fibra no digerible (Callejo-Ramos & Díaz-Barcos, 2004).

Como se observa en la tabla 2, la fracción proteica en el BMN se incrementó al aumentar

la proporción de bora en la fórmula debido a la superioridad en el contenido de PC de la bora con respecto al del malajo de maíz sustituido en las fórmulas. Los valores obtenidos para esta fracción nutritiva son inferiores al presentado por Rodríguez Reyes et al. (2005) (26.74%), quienes formularon un BMN con 23% de bora y 8% urea. El BMN BORA-10 fue el de mayor digestibilidad con 76.49%, seguido por el BORA-20 con 75.91% y el MM con 65.72%; esto puede atribuirse a la diferencia de más de 10% en el contenido de FC existente entre el malajo de maíz y la bora, que hace menos digerible los BMN que contengan mayores niveles de malajo.

Consumo de BMN

La restricción del consumo puede atribuirse a la diversidad de minerales que contiene la bora, absorbidos en su hábitat natural, los cuales pudieron presentar niveles elevados de uno o más elementos (Na, Cl, Ca, Mg, K, I, entre otros) y limitar el consumo del BMN (Araujo-Febres, 2005a). Los valores de consumo de BMN en literatura son muy variables, pero siempre inferiores a los reportados en este estudio (Herrera et al., 2001; Villagra, Botero, & Quiroga, 2006). La superioridad en consumo es atribuible a la baja resistencia de los BMN elaborados, que se distinguen en la categoría de bloques blandos (Becerra Martínez & Hinestroza, 1990).

Variación diaria de peso en los animales

Las pérdidas de peso observadas pueden asociarse a la calidad de la dieta base utilizada; la pobre condición de los pastos, probablemente el ritmo de adaptación de los animales a las dietas, con efecto limitativo en el crecimiento animal (Thornton & Minson, 1973). El macho presenta requerimientos nutricionales más altos que la hembra, por tanto bajo déficit nutricional o alimenticio puede verse más afectado y deprimido su crecimiento (Pálsson, 1959).

Se registraron bajos promedios generales de VDP (< 0.2 kg), atribuible principalmente al déficit nutricional observado; al analizar la dieta total (pasto + suplemento) el aporte promedio fue de 0.517 kg de PC/día y 9.85 Mcal de EM/día por animal (Mcal EM= kg NDT x 3.56 Mcal/kg NDT); donde los valores teóricos requeridos por los bovinos según Combellas Lares (1999), para ganancia son de 0.400 kg/día, 0.579 kg de PC y 9.98 Mcal de EM; lo que demuestra un déficit

nutritivo en el experimento de 0.062 kg de PC/día y 0.13 Mcal de EM/día.

Variables zoométricas en los animales

Obtener variación significativa del PT únicamente en los mautes (machos) puede estar asociado a la ventaja competitiva que presenta el macho estabulado al momento de acceder al comedero, con jerarquía dominante sobre la hembra (Del Mar-Rayess & Callejo-Ramos, 2005); esto supone una mayor participación en el consumo de BMN por parte de los mautes en el corral de estabulación, mientras las hembras pudieron quedar subordinadas a consumir mayormente forraje (González et al., 2009).

Ese comportamiento, y el efecto de restricción del consumo observado en los BMN BORA-20 permiten sustentar la presencia de algún factor negativo en la bora molida, que al ser detectado por los animales (machos) indujo el rechazo parcial del suplemento y directa o indirectamente provocó depresión del desarrollo. Las variables zoométricas son muy irregulares durante las diferentes fases de crecimiento del animal (Álvarez Díaz, 2008). Jaramillo y Jaramillo (1994) señalan que el animal presenta tres ondas de crecimiento corporal, donde la descendente (perímetro torácico) queda condicionada al tipo de alimentación que reciba el animal.

CONCLUSIONES

La bora presenta mejor balance nutricional que el malajo de maíz, pero su contenido de MS es muy bajo. En los animales, la inclusión de bora en el bloque multinutricional influye negativamente sobre el crecimiento corporal. La bora no puede sustituir al malajo de maíz como ingrediente en la alimentación de bovinos en crecimiento.

Dedicatoria especial

A la profesora Petra del Carmen Marcano López. Ser humano extraordinario, ejemplo de constancia, trabajo y alegría por la vida; gracias infinitas por ser tan excelente e inolvidable madre.

REFERENCIAS

- Álvarez Díaz, A. (2008). *Fisiología del crecimiento* [Documento en pdf]. Recuperado de <https://biblioteca.ihatuey.cu/link/libros/veterinaria/fc.pdf>
- Araujo-Febres, O. (2005a). Factores que afectan el consumo voluntario en bovinos a pastoreo en condiciones tropicales. IX Seminario de Pastos y Forrajes. Recuperado de http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Consumo_a_pastoreo_II.pdf
- _____ (2005b). Los bloques multinutricionales: Una estrategia para la época seca. En C. González y E. Soto (Eds.), *Manual de Ganadería Doble Propósito*. Maracaibo, Venezuela: Astra data. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/45-multinutricionales.pdf
- Arellano-Vicente, I., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., Reyes-Muro, L., Hernández-Sánchez, D., & Ley-De Coss, A. (2016). Caracterización del uso directo del rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) por bovinos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1117-1129.
- Arraque, C., & Cortes, R. (1998). *Bloques multinutricionales en la alimentación bovina. Elaboración y utilización* (Serie D N° 36, 16 pp.). Venezuela: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Táchira. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/25748858/Bloques-Multinutricionales#download>
- Arronis Díaz, V. (2003). *Recomendaciones sobre sistemas intensivos de producción de carne: Estabulación, semi estabulación y suplementación estratégica en pastoreo*. San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Recuperado de https://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_animal/estabulacion.pdf
- Association of Official Analytical Chemist. (2000). *Official Methods of Analysis Vol II* (17th ed., pp. 777-778). Washington, D. C., US: AOAC.
- Becerra Martínez, J., & Hinestroza, A. D. (1990). Observaciones sobre la elaboración y consumo de bloques de urea/melaza. *Livestock Research for Rural Development*, 2(2). Recuperado de <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/lrld/lrld2/2/becerra.htm>
- Callejo-Ramos, A., & Díaz-Barcos, A. (2004). Almacenamiento y suministro de heno. *Bovis*, 120, 65-76. Recuperado de http://oa.upm.es/34732/1/INVE_MEM_2004_186669.pdf
- Caravaca Rodríguez, F. P., Castel Genís, J. M., Guzmán Guerrero, J. L., Delgado Pertíñez, M., Mena Guerrero, Y., Alcalde Aldea, M. J., & González Redondo, P. (2003). *Bases de la producción animal*. España: Universidad de Sevilla y Universidad de Córdoba.
- Castellanos Alva, S. M. (2015). *Amonificación de la panca de maíz (Zea mays L.) con tres niveles de urea para mejorar su digestibilidad* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Chará, J. (1994). La acuicultura: Una alternativa para descontaminar y producir. En *Memorias del II Seminario Internacional: Desarrollo Sostenible y Sistemas Agrarios* (pp. 165-178). Cali, Colombia: MDSSA-CIPAV.
- Combella Lares, J. (1999). Alimentación de la vaca de doble propósito y de sus crías. *Zootecnia Tropical*, 17(2), 277-278.
- Del Mar-Rayess, M., & Callejo-Ramos, A. (2005). *Comederos* (16 pp.). Recuperado de http://oa.upm.es/34356/1/INVE_MEM_2005_186664.pdf
- Domínguez, P. L. (1996). Algunos aspectos del valor nutritivo del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes* Mart.) en cerdo. *AGRIS*, 3(3), 1-53. Recuperado de http://agris.fao.org/agris-search/search.do;jsessionid=5702A2E7A7E9FE44F747FFABAB1F8E7B?request_locale=es&recordID=CU2003A00614&sourceQuery=&query=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=¢erString=&enableField=
- Febrero Toussaint, I., Romero Cruz, O., Ruiz Ortiz, L., & Gonzáles Salas, R. (2005). Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) una alternativa para la alimentación de cerdos en ceba. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(5), 1-10.
- Gasque Gómez, R. (2008). Alimentación de bovinos. En *Enciclopedia Bovina* (pp. 7-28). México, D. F.: UNAM. Recuperado de http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/e_bovina/1AlimentaciondeBovinos.pdf
- Gómez, G., & Jiménez Rodríguez, A. (2009). *El biotipo funcional Brahman* [Monografía]. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/exterior/25-biotipo_Brahman.pdf
- González, L. A., Ferret, A., Manteca, X., Ruiz de la Torre, J. L., Calsamiglia, S., Devant, M., & Bach, A. (2009). *Efecto del número de terneros por cada espacio de comedero* [Documento en pdf]. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_coral_o_feedlot/84-comederos.pdf
- Guevara Hernández, F., Camacho Villa, T. C., Gómez Castro, H., Ocaña Grajales, M. J., Ovando Cruz, J., Rodríguez Larramendi, L.,...Hernández Rodríguez, M. (2013). Implicaciones socioeconómicas y energéticas del uso y manejo de rastrojo en la región Frailesca, Chiapas. En L.

- Reyes Muro, T. C. Camacho Villa, & F. Guevara Hernández (Eds.), *Rastrojos: Manejo, uso y mercado en el Centro y Sur de México*. México: INIFAP.
- Herrera, P., Barazarte, R., Birbe, B., Colmenares, O., Hernández, M., & Martínez, N. (2001). Bloques multinutricionales con urea fosfato 3. Prueba de aceptabilidad en becerros. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología, Esp.*, 18-22.
 - Jaramillo, D., & Jaramillo, F. (1994). Musculatura y grasa en ganado de carne. *El Cebú*, 275, 52-62.
 - Konyeme, J. E., Sogbesan, O., & Ugwumba, A. (2006). Nutritive value and utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) meal as plant protein supplement in the diet of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) (Pisces: Clariidae) fingerlings. *African Scientist*, 7(3), 127-133.
 - Lindsey, K., & Hirt, H. M. (1999). *Use of water hyacinth. A practical handbook of uses for the water hyacinth from across the world*. Deutschland: Anamed.
 - Malik, A. (2007). Environmental challenge vis a vis opportunity: The case of water hyacinth. *Environment International*, 33(1), 122-138.
 - Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Limusa Wiley.
 - Pálsson, H. (1959). Conformación y composición del cuerpo. En J. Hammond (Ed.), *Avances en Fisiología Zootécnica*. Zaragoza, España: Acribia.
 - Párraga-Alava, C., Barre-Zambrano, R., Dueñas-Rivadeneira, A., Muñoz-Murillo, J., & Zambrano-Vélez, M. (2018). Elaboración de harina a partir de *Eichhornia crassipes* utilizando diferentes métodos de deshidratación. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(7), 3-6. doi: 10.29018/issn.2588-1000vol2iss7.2018pp3-6
 - Parsi, J., Godio, L., Miazzi, R., Maffioli, R., Echevarría, A., & Provenzal, P. (2001). Valoración nutritiva de los alimentos y formulación de dietas. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/16-valoracion_nutritiva_de_los_alimentos.pdf
 - Preston, T. R., & Leng, R. A. (1989). *Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles. Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico*. Cali, Colombia: Condrit.
 - Rodríguez, J. C. (1997). Valor nutritivo de la bora *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms en relación a su utilización como forraje. *Zootecnia Tropical*, 15(1), 51-65.
 - Rodríguez Reyes, J. C., Marcano Cumana, A. E., & Salazar López, J. C. (2005). Efecto de la suplementación con bloques multinutricionales a base de *Eichhornia crassipes* sobre la producción de leche de vacas cebu x criollo. *PASTOS. Revista de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 35(2): 179-189.
 - Sánchez Acosta, E., Ortega Cerrilla, M. E., Mendoza Martínez, G. D., Montañez Valdez, O. D., & Buntinx Dios, S. E. (2012). Rastrojo de maíz tratado con urea y metionina protegida en dietas para ovinos en crecimiento. *Interiencia*, 3(5), 395-399.
 - Thâm, H. T. (2012). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)–Biomass production, ensilability and feeding value to growing cattle. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae*, 2012(90).
 - Thornton, R. F., & Minson, D. J. (1973). The relationship between apparent retention time in the rumen, voluntary intake and apparent digestibility of legume and grass diets in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 24, 889-898.
 - Tilley, J. M. A., & Terry, R. A. (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *The Journal of British Grassland Society*, 18(2), 104-111.
 - Torres, G., Arbaiza, T., Fernando, A., & Lucas, O. (2008). Comparación de las técnicas in situ, in vitro y enzimática (celulasa) para estimar la digestibilidad de forrajes en ovinos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 20(1), 5-9.
 - Velásquez, J. (1994). *Plantas acuáticas vasculares de Venezuela*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
 - Villagra, C., Botero, R., & Quiroga, V. (2006). Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EM) sobre la composición nutritiva y el consumo de los bloques multinutricionales (BMN). *Tierra Tropical*, 2(2), 99-106.
 - Yusti-Muñoz, A. P. (2012). *Uso del buchón de agua (Eichhornia crassipes) por la comunidad aviar de dos humedales del valle geográfico del Río Cauca, Colombia* (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Colombia.

Fertilización in vitro (FIV) de ovocitos obtenidos en ovejas mediante la técnica de recolección laparoscópica de óvulos

In vitro fertilization (IVF) of oocytes obtained from sheep using the laparoscopic ovum pick up technique

Julio Ramón-Ugalde*✉, Deneb Cervera-Paúl *, Álvaro Domínguez-Rebolledo**, Juan Baeza-Rodríguez**, Luis Pinzón-López*, Roberto Zamora-Bustillos*

Ramón-Ugalde, J., Cervera-Paúl, D., Domínguez-Rebolledo, A., Baeza-Rodríguez, J., Pinzón-López, L., & Zamora-Bustillos, R. (2020). Fertilización in vitro (FIV) de ovocitos obtenidos en ovejas mediante la técnica de recolección laparoscópica de óvulos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(81), 15-23.

RESUMEN

Con el objetivo de poner a punto la técnica de recolección laparoscópica de óvulos (LOPU) y desarrollar un protocolo de fertilización in vitro (FIV) dos grupos de ovejas; el primero, G1, con 3 prepúberes y G2, con 3 adultas, fueron sincronizadas (esponjas vaginales 14 días) y superovuladas (FSHp), iniciando 60 h antes de cada LOPU (tres sesiones). La aspiración folicular laparoscópica se realizó a las 12 h de la última dosis de FSHp. La tasa de recuperación global de los ovocitos en tres sesiones de LOPU en el G2 y G1, fue de 41.0 ± 2.5 y $24.0 \pm 2.4\%$ EEM, respectivamente, presentando diferencias ($P < 0.05$) a favor del G2. El cultivo in vitro de los ovocitos a las 48 h presenta una diferencia ($P < 0.05$) a favor del G1 (9.7%) respecto a

G2 (0.0). En conclusión, se logró sistematizar la técnica de LOPU e implementar un protocolo de fertilización in vitro a partir de ovocitos recuperados y fertilizados.

ABSTRACT

In order to fine-tune the laparoscopic ovum pick up (LOPU) technique and develop an in vitro fertilization (IVF) protocol, two groups of sheep were synchronized (vaginal sponges 14 days) and superovulated (FSHp), beginning 60 hours before each LOPU (3 sessions). Laparoscopic follicular aspiration was performed 12 hours after the last dose of FSHp. The overall recovery rate of oocytes in three LOPU sessions in G2 and G1 was 41.0 ± 2.5 and $24.0 \pm 2.4\%$ SEM, respectively, presenting differences ($P < 0.05$) in favor of G2. In vitro oocyte culture at 48 hours showed a difference ($P < 0.05$) in favor of G1 (9.7 %) with respect to G2 (0.0). In conclusion, it was possible to systematize the LOPU technique and implement an in vitro fertilization protocol from recovered and fertilized oocytes.

Palabras clave: ovinos; ovocitos; embriones; biotécnicas; maduración; laparoscopia.

Keywords: sheep; oocytes; embryos; biotech; maturation; laparoscopy.

Recibido: 27 de noviembre de 2019, Aceptado: 20 de octubre de 2020

INTRODUCCIÓN

Desde el primer registro comercial de inseminación artificial en 1908 (Thibier, 1990) la biotecnología reproductiva en animales domésticos ha tenido avances importantes, como la clonación y creación de animales transgénicos. Los pequeños rumiantes ofrecen un buen modelo para el desarrollo de estas tecnologías, de ahí que la producción in vitro de embriones constituye, junto con el sexado, la tercera generación biotecnológica de la reproducción. Las investigaciones sobre fertilización in vitro (FIV) se iniciaron al final

* Tecnológico Nacional de México campus Conkal. Antigua carretera Mérida-Motul km 16.3, Conkal, C. P. 97345, Yucatán, México. Correo electrónico: julio.ramon@itconkal.edu.mx; edencepa83@hotmail.com; wichorama@gmail.com; roberto.zamora@itconkal.edu.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9312-8438>; <http://orcid.org/0000-0002-4508-9462>; <http://orcid.org/0000-0002-8405-3948>; <http://orcid.org/0000-0002-4502-1492>

** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias campo experimental Mocochoá. Antigua carretera Mérida-Motul km 24.5, Mocochoá, C. P. 97454, Yucatán, México. Correo electrónico: alvaroedr@gmail.com; baeza.juanjose@inifap.gob.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1444-3844>; <http://orcid.org/0000-0001-9339-9695>

✉ Autor para correspondencia

de la década de 1950, cuando se produjo el nacimiento de conejos por esta técnica (Chang, 1959). Aunque la FIV progresó rápidamente en mamíferos de laboratorio su desarrollo fue más lento en las especies domésticas, ya que el nacimiento del primer becerro mediante FIV se logró en 1982 (Brackett et al., 1982). Estos años de retraso fueron consecuencia de problemas metodológicos, ya que las condiciones requeridas para la capacitación espermática, la MIV (maduración in vitro) de ovocitos y el desarrollo embrionario preimplantación difieren entre especies de embriones.

Para la aplicación de esta y otras técnicas de reproducción asistida ha sido necesaria la obtención de ovocitos de hembras vivas y postmortem, así como implementar la producción de embriones mediante la FIV. Estos procedimientos resultan cada vez más importantes para el ganado ovino, ya que ofrecen oportunidades para investigación, así como para su aplicación en programas de cría de ovinos. Sin embargo, el porcentaje de éxito es aún muy bajo (<40%) debido a factores intrínsecos y extrínsecos del ovocito, tales como la raza materna y el origen del semen para llevar a cabo la FIV; por tanto, su desarrollo en Medicina Veterinaria y especialmente en pequeños rumiantes resulta un área con potencial importante (Tibary, Anouassi, & Khatir, 2005). Por otro lado, sus limitaciones son también tecnológicas y se ven relacionadas con las interacciones entre el embrión y su ambiente durante el cultivo, las cuales a su vez guardan estrecha relación con el ambiente uterino de los embriones obtenidos in vivo, tales como la nutrición, el estado corporal y la sanidad (Palma, 2008). Resulta de gran valor la aplicación y estandarización de estas técnicas bajo la hipótesis de que el desarrollo de los ovocitos fertilizados in vitro está influenciado por la edad reproductiva, de tal modo que este trabajo tuvo como objetivo la estandarización de la técnica de LOPU y el desarrollo de un protocolo de fertilización in vitro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en primavera, las actividades se llevaron a cabo en el laboratorio de Biotecnología Reproductiva y Genética Molecular del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, localizado en la región centro norte del estado comprendido entre los paralelos 21° 02' y 21° 08' latitud norte y los meridianos 89° 29' y 89° 35' longitud oeste; posee una altura promedio de 8 m s. n. m., el

clima cálido es subhúmedo con lluvias regulares en verano (mayo-julio). Temperatura media anual de 26.6 °C y precipitación pluvial media anual de 469 mm y una humedad relativa promedio anual: marzo 66% - diciembre 89% (INAFED & Gobierno del estado de Yucatán, 2005). Todos los procedimientos con animales se llevaron a cabo dentro de las directrices de las técnicas oficiales de cuidado animal y salud en México (NOM-051-ZOOO-1995).

Animales, dietas y manejo

Se utilizaron dos grupos de ovejas de pelo, las cuales se distribuyeron según su edad reproductiva: tres hembras prepúberes (G1) y tres hembras adultas (G2). El manejo nutricional para ambos grupos fue de 5 h de pastoreo en estrella de África (*Cynodon nlenfuensis*) y un suplemento comercial con 14% de proteína cruda (300 g-d⁻¹) con acceso ad libitum a agua y sales minerales.

Tratamiento de sincronización y superovulación

Todos los animales (seis ovejas) fueron sincronizados mediante la inserción de esponjas vaginales impregnadas con 20 mg de acetato de fluorogestona micronizada (Chronogest; Intervet®) durante 14 días (primer bloque), posteriormente cada siete días se sustituyó la esponja por una nueva en tres periodos sucesivos. El tratamiento de estímulo superovulatorio se realizó mediante la aplicación de 5 dosis decrecientes de FSHp (Folltropin®) a intervalos de 12 h (12.5 mg en 0.62 ml, 12.5 mg en 0.62 ml, 9.3 mg en 0.46 ml, 9.3 mg en 0.46 ml y 6.25 mg en 0.31 ml) iniciando 60 h antes de cada LOPU y renovación de esponja (cada semana después de los primeros 14 días). Al primer bloque se le aplicó una dosis única de 2 ml de PGF_{2α} (Lutalyse®) coincidiendo con la primera aplicación de FSHp. A las 12 h de la última aplicación de FSHp se realizó la aspiración folicular por laparoscopia (LOPU).

Sementales

Se utilizaron de manera aleatoria cuatro machos de diferente raza (Dorper, Katahdin, Black Belly y Pelibuey) de fertilidad probada, de los cuales se obtuvo un eyaculado semanal, el cual fue empleado para las pruebas de fertilización in vitro.

Obtención de suero de oveja en celo (SOC)

Se utilizaron 10 ovejas para la obtención de suero de oveja en celo en dos etapas (cinco en cada

experimento). Los ejemplares fueron sincronizados e inducidos al estro a través de la aplicación de una esponja vaginal (día 0) impregnada con 20 mg de acetato de fluorogestona micronizada (Chronogest®, Intervet), remplazada al día 7 de la aplicación y en coincidencia con una dosis de 3 ml de PGF₂α (Lutalyse®). En ambos grupos después de haber sido detectado el celo se procedió a la obtención de una muestra de sangre en tubos sin heparina. Las muestras fueron centrifugadas a 2500 r. p. m. durante cinco minutos, posteriormente el suero (sobrenadante) fue retirado y filtrado en un filtro de 0.22 μm (Millipore®). El suero obtenido fue inactivado en un baño María a 56 °C por 30 min y finalmente alícuotas de 1 ml fueron almacenadas a -20 °C (Khodaei, Shahneh, Daliri, Kohram, & Gharagozlou, 2008).

Obtención de fluido folicular (FF)

Se utilizó el mismo grupo de ovejas, del cual fue obtenido el SOC, inducido y sincronizado mediante CIDR. Al día 4 de la aplicación del dispositivo se les aplicó 1000 UI de eCG (Folligon®) a cada una y el día 7 se llevó a cabo la aspiración folicular a través de una jeringa sin émbolo. Se aspiraron folículos > 3 mm, al fluido obtenido se le añadió heparina a una concentración final de 2 μl·ml⁻¹ y posteriormente se centrifugó a 2,500 r. p. m. durante 2 min, el sobrenadante obtenido fue recogido para hacer alícuotas de 1 ml que se almacenaron a -20 °C (Hammami, 2008).

Dinámica de recolección laparoscópica de óvulos (LOPU)

Todos los animales se mantuvieron a dieta sólida y líquida durante 24 h previas a la LOPU. Para llevar a cabo la aspiración folicular fueron sedados con una mezcla de 10 ml de ketamina 100® (10 mg/ml) con 1.25 ml de clorhidrato de xilacina® a 2% (23.3 mg/ml) aplicado por vía endovenosa a razón de 1.1 ml de la mezcla (11 mg de ketamina + 2.91 mg de clorhidrato de xilacina) por cada 50 kg de peso vivo (Ramón-Ugalde, Folch, Cocero, Piña-Aguilar, & Alabart, 2008). Se realizaron tres orificios con un trocar en la parte caudal del abdomen. El izquierdo fue empleado para introducir el endoscopio. En el central se fijó una sonda provista con una aguja de 21G y longitud de 1 cm para aspirar los folículos mayores de 2 mm, la parte externa de la sonda se conectó a un tubo que contenía medio de aspiración (previamente atemperado y equilibrado) y el otro

extremo se conectó a una bomba de aspiración (Meditec®) regulada a una presión de 20 a 40 ml por minuto (Palma, 2008). En el orificio derecho se colocó una pinza que permitió inmovilizar y fijar el ovario al momento de la aspiración. Finalmente, después de la intervención se irrigó el ovario con suero y heparina para reducir la formación de adherencias.

Maduración in vitro

Medio de maduración in vitro: TCM199 + FSHp (50 mg·ml⁻¹) + 10% fluido folicular (FF). El medio de maduración fue preparado el mismo día que se empleó, se suplementó con FSHp (Folltropin®) y 10% de FF y se procedió a esterilizar el medio con filtros de 0.22 μm (Millipore®) de baja retención de proteínas dentro de una campana de flujo laminar vertical. Finalmente se equilibró el medio en una incubadora (Binder®, mod CB-53) de atmósfera controlada a 5% de CO₂ en aire, 38.5 °C y humedad máxima, por lo menos 2 h antes de su uso. Los ovocitos provenientes del área de cirugía fueron aspirados con TCM199 + HEPES, 0.2% de BSA (*bovine serum albumin*) y heparina sódica y vertidos dentro de una placa Petri cuadrículada y aclarados con TCM199 + HEPES.

La recuperación de los ovocitos se llevó a cabo en el laboratorio in vitro con un microscopio estereoscópico. Los ovocitos recuperados por raza fueron depositados en una placa Petri con 2 ml de medio, los cuales recibieron un lavado en los cuatro pozos de la placa en un medio que contenía TCM199 sin HEPES. Los ovocitos recuperados fueron clasificados según su calidad en categorías 1, 2 y 3 por la apariencia del citoplasma y la cantidad de capas de células de la granulosa; sin embargo, debido al bajo número y calidad de los ovocitos obtenidos todos se maduraron durante 24 h. Se hicieron dos grupos: uno de ovocitos de hembras adultas y otro de hembras prepúberes.

Fertilización in vitro

Una vez concluidas las 24 h de maduración in vitro se procedió a denudar los ovocitos de las células de la granulosa con una pipeta a flujo constante y presión de 180 μl. Los ovocitos denudados recibieron dos lavados previos a ser colocados en medio fluido oviductal sintético (SOF) (stock salt, stock NaHCO₃, stock CaCl₂, Na piruvato, MEM aminoácidos no esenciales, BME aminoácidos esenciales, glutamina y gentamicina). Este medio se preparó el mismo día

a utilizar, se esterilizó con filtros de 0.22 μm y baja retención de proteínas (Millipore®) dentro de una campana de flujo laminar vertical. Finalmente, el medio se equilibró dentro de una incubadora de atmósfera controlada con 5% de CO_2 en aire, 38.5 °C y humedad máxima por lo menos 2 h antes de su uso. Después de los lavados, los ovocitos desnudos fueron colocados en SOF y finalmente fertilizados a una concentración final de 1×10^6 espermatozoides.

Colecta seminal

El semen fue colectado a través de vagina artificial. El eyaculado de los machos se almacenó a temperatura ambiente y completa oscuridad por 2 h, posteriormente se enrasó con medio SOF (v:v), el cual fue adicionado con BSA a 4% y centrifugado a 2,500 r. p. m. El sobrenadante fue retirado, con lo que se obtuvo una pequeña porción del material aglomerado donde se encontraban los espermatozoides. Para obtener la concentración del material aglomerado se empleó una cámara de Neubauer en un microscopio de contraste de fases. La muestra de semen fue colectada de machos de fertilidad probada escogidos aleatoriamente, se obtuvo un eyaculado por macho y por semana, cubriendo las cuatro sesiones.

Cultivo in vitro

Cumplidas las 24 h de incubación de los gametos fueron retirados de la estufa de cultivo para ser colocados dentro de la masa de espermatozoides. Cabe mencionar que debido al espesor del semen algunos ovocitos no se encontraron. Su búsqueda se llevó a cabo aplicando corrientes constantes del medio con una pipeta a una presión de 150 μl . Los ovocitos recuperados se colocaron en una placa con medio (SOF + BSA 8%) previamente equilibrado con la finalidad de limpiarlos de los espermatozoides que se encontraban adheridos a la zona pelúcida. Los posibles cigotos obtenidos a las 24 h después de la FIV fueron observados con un microscopio estereoscópico para determinar el número de fertilizados y su división a dos o más células. Los presuntos cigotos se cultivaron en una placa de cuatro pozos con medio SOF + BSA 8% + 10% FCS (*fetal calf serum*) y se recubrieron con aceite mineral para evitar la evaporación y cambio de pH del medio. A las 48 h de la FIV se valoró nuevamente el número de embriones divididos y el número de células, se mantuvieron durante siete días en cultivo para determinar si continuaba la división embrionaria hasta blastocisto.

Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar para ponderar variables dependientes como se describe a continuación.

1. Para la estandarización de la técnica de aspiración folicular por laparoscopia se llevó a cabo mediante un análisis de prueba de hipótesis con las variables correspondientes a las ovejas: *tasa de folículos aspirados y ovocitos recuperados*.

2. Para medir la variable tasa de recuperación se utilizaron para el análisis las siguientes variables independientes: *efecto de la edad reproductiva y sesión de LOPU*.

El modelo estadístico general utilizado para medir los efectos de los factores analizados fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + ER_i + L_j + EL_{(ij)} + e_{ijk}$$

El modelo se analizó con el procedimiento GLM del programa estadístico SAS 9.2. La ponderación de los datos se realizó mediante análisis de varianza y se evaluaron el modelo y sus efectos. La comparación de las medias de cuadrados mínimos se realizó a través de la diferencia mínima significativa al nivel de $P < 0.05$.

3. Para evaluar el efecto de la edad reproductiva (adultas-prepúberes) sobre la tasa de división a 48 h se utilizó la prueba de *t* de Student.

RESULTADOS

Para la estandarización de la técnica *laparoscopic ovum pick up* (LOPU) se realizó una prueba de hipótesis (tabla 1) para poder determinar la media mínima necesaria, la cual resultó $26.0 \pm 3.0\%$ de ovocitos recuperados en ovejas de diferente edad reproductiva (adultas y prepúberes), con lo que se determinó si la técnica empleada estaba estandarizada. En la LOPU 2 los resultados se encuentran ligeramente por debajo con un 25.0% de recuperación; sin embargo, los resultados de la

LOPU 1 y 3 presentan 30.0 y 36.3% de recuperación de ovocitos, respectivamente, lo cual indica que se encuentran dentro del rango de respuesta a la hipótesis realizada (tabla 2). La tasa de recuperación global para adultas y prepúberes fue de $24.0 \pm 2.4\%$ y $41.0 \pm 2.5\%$, respectivamente. En las tres sesiones se aspiraron un total de 198 folículos, de los cuales

fueron recuperados 59 ovocitos. De acuerdo con la edad reproductiva, 86 folículos fueron aspirados y 32 ovocitos recuperados en las ovejas adultas, mientras en las prepúberes 112 folículos fueron aspirados y 27 ovocitos recuperados.

La tabla 3 muestra la tasa de recuperación global de los ovocitos en las tres sesiones de LOPU en

Tabla 1
Estandarización de la técnica LOPU en ovejas prepúberes y adultas

No.	Media (%)	Error Estándar (%)	Prob > t
17	26.0	3.0	0.05

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2
Folículos aspirados aplicando la técnica LOPU sobre la tasa de eficiencia en la recuperación de ovocitos

Edad Reproductiva	LOPU 1			LOPU 2			LOPU 3		
	No.	AT	RT	No.	AT	RT	No.	AT	RT
Prepúber	3	35	10	3	40	8	3	37	9
Adulta	3	35	11	3	33	10	2	18	11
TOTAL	6	70	21	6	73	18	5	55	20

Nota: No.= Número de observaciones, AT= Folículos aspirados totales, RT= Ovocitos recuperados totales.
Elaboración propia.

adultas y prepúberes con 41.0 ± 2.5 y $24.0 \pm 2.4\%$, respectivamente, con diferencias ($P < 0.05$) a favor del grupo de las adultas. Para los resultados analizados individualmente en las sesiones de LOPU las tasas de recuperación de ovocitos en la sesión 1 y 2 no presentaron diferencias significativas, fueron

ligeramente mayores para las adultas; sin embargo, en la LOPU 3 la tasa de recuperación para estas ($61.0 \pm 5.0\%$ ovocitos recuperados) fue mayor ($P < 0.05$) que la observada en las prepúberes ($25.0 \pm 4.0\%$). La tasa de fertilización para las tres sesiones de LOPU se muestra en la tabla 4; la relación entre el número

de ovocitos fertilizados y el total de ovocitos cultivados fue de 9.0%. Estos valores corresponden exclusivamente a hembras prepúberes, ya que el valor de fertilidad para las adultas fue de 0.0%.

Tabla 3

Efecto de la edad reproductiva (prepúberes G1 - adultas G2) sobre la tasa de recuperación de ovocitos en las tres sesiones de LOPU

T	N	LOPU 1 (%)	LOPU 2 (%)	LOPU3 (%)	Media Global (%)
G1	9	28.0 ± 4.0 ^b	21.0 ± 4.0 ^b	25.0 ± 4.0 ^b	24.0 ± 2.4 ^b
G2	8	32.0 ± 4.0 ^b	32.0 ± 4.0 ^b	61.0 ± 5.0 ^{a*}	41.0 ± 2.5 ^{a*}

Nota: *Literales diferentes en la misma columna indican diferencia significativa a $P < 0.05$, Tukey.
 Elaboración propia.

Tabla 4

Tasa de fertilidad en las diferentes sesiones de LOPU en ovejas prepúberes

	TOC	TOF	TASA DE FERTILIDAD (%)
LOPU 1	21	0	0.0
LOPU 2	17	2	11.7
LOPU 3	17	3	17.6
TOTAL	55	5	9.7

Nota: * TOC= Total de ovocitos cultivados, TOF= Total de ovocitos fertilizados.
 Elaboración propia.

Los datos globales de ovocitos obtenidos en ovejas adultas y prepúberes arrojan 0.0 y 9.7%, respectivamente, para los datos de fertilidad obtenida durante las tres sesiones de LOPU. Los resultados productivos de fertilidad según la edad reproductiva de los ovocitos provenientes de ovejas prepúberes fueron los que se fertilizaron en las sesiones de LOPU 2 y 3 en contraste con el de las adultas, que fue 0.

Después de llevarse a cabo el cultivo in vitro de los ovocitos, a estos se les dio seguimiento para determinar la tasa de división obtenida (figura 1).

En cuanto a los resultados observados a las 48 h se presenta una diferencia ($P < 0.05$) a favor de las ovejas prepúberes con 9.7% y adultas con 0.0%.

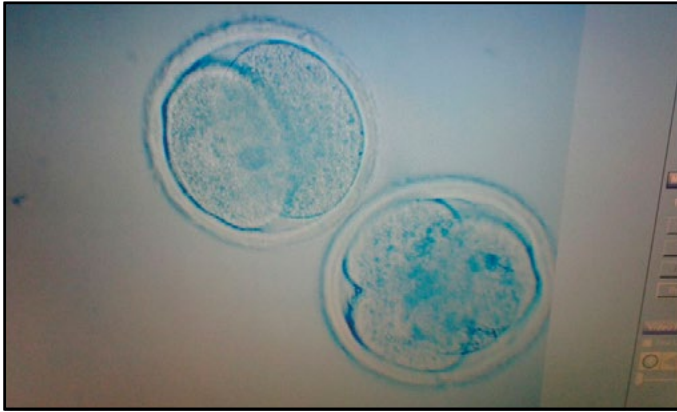


Figura 1. División celular de ovocitos cultivados a las 48 h postfertilización.

Fotografía tomada por Julio Ramón-Ugalde.

DISCUSIÓN

Los resultados en relación con el número de folículos aspirados indican que existe una mejor respuesta folicular en ovejas prepúberes (112) que en adultas (86). Según Baldassarre (2007) no se conoce el motivo de esta respuesta folicular en prepúberes. En adultas se ha observado una mayor atresia folicular en primavera que en otoño (Juárez-Pérez et al., 2018). Los resultados obtenidos en el presente trabajo coinciden con los de Koeman, Keefer, Baldassarre y Downey (2003) en cabras prepúberes (3-5 meses) y adultas (>1 año) y en época no reproductiva (junio-septiembre), los cuales obtuvieron $39 \pm 4.5\%$ y $19 \pm 1.4\%$, respectivamente; sin embargo, aun en cabras prepúberes existen diferencias entre rangos de edades. Baldassarre et al. (2004) mediante la técnica de LOPU obtuvieron 28.5 ± 5 folículos en cabras >180 días de edad, de las cuales obtuvieron 25.8 ± 6 en la recuperación, en cabras <100 días de edad se obtuvieron 57.0 ± 16.0 folículos aspirados y 41.0 ± 9 en la recuperación.

En un estudio realizado por Shirazi, Shams-Esfandabadi y Hosseini (2005) se realizó la recuperación de ovocitos de ovejas adultas y prepúberes con ovarios de matadero y en época no reproductiva por medio de dos técnicas (aspiración y corte). Los resultados para la recuperación fueron 8.1 y 6.3 ovocitos; 3.7 y 4 ovocitos para adultas y prepúberes, respectivamente, diferencias ($P < 0.001$) a favor de las ovejas adultas.

En cabras adultas y en plena estación sexual Romaguera et al. (2007) obtuvo 248 ovocitos aspirados mediante la técnica de LOPU, de los cuales se recuperaron 138, con 57% de ovocitos recuperados; sin embargo, cabe señalar que la eficacia de la recuperación según la bibliografía va desde 33.6% (Alberio, Olivera, Roche, Alabart, & Folch, 2002) hasta 90% (Pierson et al., 2004). Las diferencias encontradas en el presente trabajo podrían ser atribuidas al diámetro de los folículos de donde fueron aspirados, lo cual coincide con el trabajo de Cox & Alfaro (2007) en ovejas y cabras adultas, quienes obtuvieron un porcentaje de ovocitos recuperados significativamente inferior en los folículos más pequeños. Martino, Mogas, Palomo y Paramio (1994) establecen que en folículos de cabras adultas y prepúberes que alcanzaban una talla >3 mm el diámetro del ovocito no aumentaba significativamente. Por otra parte, en ovejas de pelo adultas existe correlación positiva entre el estatus ovárico previo a un tratamiento de estímulo superovulatorio y su nivel de respuesta (Domínguez Rebolledo et al., 2017).

Al contrario de lo que se obtuvo en este trabajo y de lo que la literatura reporta, en un estudio realizado por O'Brien, Catt, Ireland, Maxwell y Evans (1997) no encontraron diferencias en ovejas prepúberes y adultas de la raza Merino con ovocitos provenientes de ovarios de matadero obtenidos por aspiración con jeringa, madurados y fertilizados in vitro. Esto coincide con el estudio de Revel, Mermillod, Peynot, Renard y Heyman (1995) en terneras de tres meses (no tratadas y tratadas con FSH exógena) comparadas con vacas adultas. Sin embargo, los mismos autores respectivamente, tuvieron diferencias ($P < 0.001$) hasta la etapa de blastocisto, con 15.4 y 34.1% para ovejas prepúberes y adultas, respectivamente; para terneras con 9.1 y 11.1% (no tratadas y tratadas con FSH) y para vacas adultas arriba de 20% de desarrollo hasta blastocisto, respectivamente. Se ha demostrado que los ovocitos de ovejas prepúberes y adultas tienen una capacidad diferente para el desarrollo in vitro; sin embargo, una vez que se ha logrado el desarrollo hasta la etapa de blastocisto el desarrollo in vivo parece ser similar para ambas. Cabe mencionar que en este trabajo los ovocitos de prepúberes no alcanzaron la etapa de blastocisto.

CONCLUSIONES

Se logró sistematizar la técnica de LOPU e implementar un protocolo de fertilización in vitro a partir de los ovocitos recuperados y fertilizados. La edad reproductiva influye sobre el desarrollo de los ovocitos fertilizados in vitro.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el financiamiento de este trabajo a través del Proyecto 107996 FOMIX-CONACYT-Gobierno del estado de Yucatán.

REFERENCIAS

- Alberio, R., Olivera, J., Roche, A., Alabart, J., & Folch, J. (2002). Performance of a modified ovum pick-up system using three different FSH stimulation protocols in ewes. *Small Ruminant Research*, 46(2-3), 81-87.
- Baldassarre, H. (2007). Aplicaciones prácticas de la producción de embriones in vitro en la especie caprina. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 31(2), 261-267.
- Baldassarre, H., Wang, B., Pierson, J., Neveu, N., Sneek, L., Lapointe, J., ... Karatzas, C. N. (2004). Prepubertal propagation of transgenic cloned goats by laparoscopic ovum pick-up and in vitro embryo production. *Cloning and Stem Cells*, 6(1), 25-29. doi: 10.1089/15362300460743808
- Brackett, B. G., Bousquet, D., Boice, M. L., Donawick, W. J., Evans, J. F., & Dressel, M. A. (1982). Normal development following in vitro fertilization in the cow. *Biology of Reproduction*, 27(1), 147-158. doi: 10.1095/biolreprod27.1.147
- Chang, M. C. (1959). Fertilization of rabbit ova in vitro. *Nature*, 184, 466-467.
- Cox, J. F., & Alfaro, V. (2007). In vitro fertilization and development of OPU derived goat and sheep oocytes. *Reproduction in Domestic Animals*, 42(1), 83-87. doi: 10.1111/j.1439-0531.2006.00735.x
- Domínguez Rebolledo, A., Vargas Manzanero, G., Alcaraz Romero, A., Quintal Franco, J., Baeza Rodríguez, J., Rivera Lorca, J., & Ramón Ugalde, J. (2017). Follicular population at the onset of a superovulatory treatment and ovarian response in hair ewes. *Romanian Biotechnological Letters*, 22(2), 12427-12431.
- Hammami, S. (2008). *Producción de embriones ovinos in vitro con vistas a la selección genética* (Tesis de maestría). Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza, Zaragoza.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal & Gobierno del Estado de Yucatán. (2005). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Yucatán [Página electrónica]. Recuperado de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM31yucatan/index.html>
- Juárez-Pérez, A., Domínguez-Rebolledo, A., Pinzón-López, L., Aguilar-Urquiza, E., Rivera-Lorca, J., & Ramón-Ugalde, J. (2018). Estacionalidad reproductiva en ovejas tropicales superovuladas. *Agroproductividad*, 11(10), 133-135.
- Khodaei, M., Shahneh, A. Z., Daliri, M., Kohram, H., & Gharagozlou, F. (2008). In vitro maturation of sheep oocytes in different concentrations of mare serum. *African Journal of Biotechnology*, 7(18), 3380-3382.
- Koeman, J., Keefer, C. L., Baldassarre, H., & Downey, B. R. (2003). Developmental competence of prepubertal and adult goat oocytes cultured in semi-defined media following laparoscopic recovery. *Theriogenology*, 60(5), 879-889. doi: 10.1016/s0093-691x(03)00090-6
- Martino, A., Mogas, T., Palomo, M. J., & Paramio, M. T. (1994). Meiotic competence of prepubertal goat oocytes. *Theriogenology*, 41(4), 969-980.
- O'Brien, J. K., Catt, S. L., Ireland, K. A., Maxwell, W. M., & Evans, G. (1997). In vitro and in vivo developmental capacity of oocytes from prepubertal and adult sheep. *Theriogenology*, 47(7), 1433-1443. doi: 10.1016/S0093-691X(97)00134-9
- Palma, G. (2008). Producción in vitro de embriones. En *Biología de la reproducción* (cap. 16, pp. 3133-3175).
- Pierson, J., Wang, B., Neveu, N., Sneek, L., Côté, F., Karatzas, C. N., & Baldassarre, H. (2004). Effects of repetition, interval between treatments and season on the results from laparoscopic ovum pick-up in goats. *Reproduction Fertility and Development*, 16(8), 795-799. doi: 10.1071/rd04066
- Ramón-Ugalde, J. P., Folch, J., Cocero, M. J., Piña-Aguilar, R. E., & Alabart, J. L. (2008). Embryo recovery from the oviduct in superovulated ewes: a method to improve MOET systems. *Czech Journal of Animal Science*, 53(4), 145-151.
- Revel, F., Mermillod, P., Peynot, N., Renard, J. P., & Heyman, Y. (1995). Low developmental capacity of in vitro matured and fertilized oocytes from calves compared with that of cows. *Journal of Reproduction and Fertility*, 103(1), 115-120. doi: 10.1530/jrf.0.1030115

- Romaguera, R., Chacaltana, A., Fonseca, C., Anguita, B., Catalá, M., Casanovas, A., ...Paramio, M. T. (2007). Utilización de la LOPU en caprino: Valores foliculares y ovocitarios. *ITEA, Extra 28*(Tomo 1), 33-35.
- Shirazi, A., Shams-Esfandabadi, N. S., & Hosseini, S. M. (2005). A comparison of two recovery methods of ovine oocytes for in vitro maturation. *Small Ruminant Research, 58*(3), 283-286. doi: 10.1016/j.smallrumres.2004.11.002
- Thibier, M. (1990). New technologies in cattle reproduction. *Proceedings of the Regional Seminar held by the International Foundation for Science (IFS), Niamey, Niger* (pp. 247-262).
- Tibary, A., Anouassi, A., & Khatir, H. (2005). Update on reproductive biotechnologies in small ruminants and camelids. *Theriogenology, 64*(3), 618-638. doi: 10.1016/j.theriogenology.2005.05.016

Inhibición de bacterias patógenas por bacterias acidolácticas en quesos de cabra

Inhibition of pathogenic bacteria by lactic acid bacteria in goat cheeses

Dolores Gabriela Martínez-Vázquez*, Blanca Liliana Narvaéz-Guillén*,
Armando Robledo-Olivo*, Ana Verónica Charles-Rodríguez*, Alma
Leticia Martínez-Herrera*, Sarahí del Carmen Rangel-Ortega*✉

Martínez-Vázquez, D. G., Narvaéz-Guillén, B. L., Robledo-Olivo, A., Charles-Rodríguez, A. V., Martínez-Herrera, A. L., & Rangel-Ortega, S. C. (2020). Inhibición de bacterias patógenas por bacterias acidolácticas en quesos de cabra. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(81), 24-31.

RESUMEN

Los quesos artesanales son reconocidos en el mundo por sus nutrientes y características sensoriales. Son elaborados manualmente en la pequeña industria con leche no sometida a tratamiento térmico que disminuya la flora microbiana, carentes casi siempre de control de calidad. Durante la presente investigación se midió la capacidad de inhibición de dos cepas de bacterias acidolácticas (BAL) aisladas en un estudio previo, conocidas como QR y QJ sobre las bacterias patógenas *Escherichia coli* y *Salmonella*. Todos los microorganismos anteriores fueron inoculados en quesos elaborados con leche de cabra pasteurizada. Posteriormente los quesos pasaron por un periodo de maduración y al término de este se realizaron conteos de UFC/g. Se logró una disminución en el número de ambos patógenos. La cepa QJ presentó mayor

Palabras clave: quesos artesanales; patógenos; bacterias acidolácticas; inhibición; pasteurización; maduración.

Keywords: artisanal cheeses; pathogens; lactic acid bacteria; inhibition; pasteurization; ripening.

Recibido: 14 de diciembre de 2019, Aceptado: 24 de septiembre de 2020

* Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz. Antonio Narro 1923, Buenavista, C. P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. Correo electrónico: gabriela.martinez@uaaan.edu.mx; narvaez_lili@hotmail.com; armando.robledo@uaaan.edu.mx; ana.charles@uaaan.edu.mx; amarher@uaaan.edu.mx; sarahi.rangel@uaaan.edu.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1221-7699>; <http://orcid.org/0000-0002-9948-2219>; <http://orcid.org/0000-0002-6604-7771>; <http://orcid.org/0000-0002-3863-9075>; <http://orcid.org/0000-0002-7722-9925>; <http://orcid.org/0000-0003-2201-107X>

✉ Autora para correspondencia

inhibición contra *Escherichia coli*, mientras que la cepa QR contra *Salmonella*. Ambas cepas mostraron su mejor desempeño inhibitorio a los seis días de maduración.

ABSTRACT

Artisanal cheeses are recognized in the world for their nutrients and sensorial characteristics, made manually by the small industry with milk that has not been subjected to any thermal treatment that reduce microbial flora, always lacking in quality control. During this investigation the inhibition capacity of two strains of lactic acid bacteria (LAB) isolated in a previous study, known as QR and QJ on two pathogenic bacteria *Escherichia coli* and *Salmonella* was measured. All the previous microorganisms were inoculated in cheeses made with pasteurized goat's milk. Subsequently the cheeses were left ripening and at the end of this period CFU/g counts were made. A decrease in number of both pathogens was achieved. The QJ strain showed greater inhibition against *Escherichia coli*, while, QR strain against *Salmonella*, both LAB strains showed their best inhibition activity at 6 days of ripening.

INTRODUCCIÓN

Los quesos artesanales de cabra son productos que gozan de excelente calidad nutricional y particularmente sensorial como resultado del proceso y materia prima (leche sin pasteurizar) gracias a las BAL presentes; sin embargo, la calidad sanitaria de estos productos se encuentra comprometida por la presencia de bacterias patógenas que no son

eliminadas de la leche con la que se elaboran. Lo anterior desencadena enfermedades de transmisión alimentaria (ETA) en quienes los consumen (Alvarado Rivas, Chacón Rueda, Otoniel Rojas, Guerrero Cárdenas, & López Corcuera, 2007; Morales-Pablo, Ávalos de la Cruz, Leyva-Ruelas, & Ybarra-Moncada, 2012).

Los microorganismos patógenos asociados con la generación de ETA procedentes de quesos artesanales son *E. coli*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* y *Listeria Monocytogenes* principalmente; la presencia de estos obedece a un mal protocolo de higiene en el proceso de elaboración, así como al empleo de leche bronca (Fuentes Fanegas et al., 2017). En los últimos años las BAL han sido estudiadas por su potencial para formar cultivos iniciadores (Hayaloglu, Guven, Fox, & McSweeney, 2005), ya que algunas de sus propiedades tecnológicas son la actividad antimicrobiana, conservadora, probiótica; gracias a sus péptidos poseen propiedades metabólicas.

Morfológicamente las BAL son cocos o bacilos, positivos a la prueba de gram y negativas a las pruebas de oxidasa y catalasa, anaeróbicas, microaerófilas y productoras de ácido láctico como principal metabolito por la fermentación de la lactosa (Carr, Chill, & Maida, 2002; Vázquez, Suárez, & Zapata, 2009). Las BAL crecen en un rango de pH entre 3.2 y 9.6 y sobreviven en medios donde la actividad por los ácidos orgánicos no se lo permitiría a otras bacterias (Carr et al., 2002), con ello desarrollan la capacidad de inhibir microorganismos alterantes o patógenos. La capacidad de inhibición de las BAL se debe en primer instancia a la formación de ácidos orgánicos como el ácido láctico y el acético que hacen descender el pH, además de la competencia por el sustrato del medio; asimismo, forman tanto compuestos no proteicos como proteicos de síntesis ribosomal conocidos como bacteriosinas (Casaus Lara, Hernández Cruza, & Cintas Izarra, 2000).

Se ha demostrado que las BAL originarias de quesos artesanales tienen capacidad de controlar el crecimiento de bacterias patógenas. Fuentes Fanegas et al. (2017) estudiaron la capacidad de inhibición de cepas de BAL autóctonas del queso doble crema y quesillo frente al crecimiento in vitro de *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar *Typhimurium* ATCC 13311 y *Listeria monocytogenes* ATCC 7644 por el método de perforación de placa, con

mayores niveles de inhibición contra *Listeria monocytogenes* ATCC 7644.

Otro estudio similar realizado por Martín del Campo M., Gómez H. y Alaníz de la O. (2008) demostró la capacidad antagónica de cepas aisladas de quesos frescos artesanales (adobera y panela) contra *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes* y *Salmonella agona*; *Listeria monocytogenes* fue el patógeno que presentó mayor inhibición por las BAL usando la técnica de inoculación por picadura; el resto de los patógenos Gram positivos fueron inhibidos a excepción de *Salmonella agona* (Gram negativa).

La inoculación de BAL con propiedades antimicrobianas aisladas del propio queso artesanal de cabra se presenta como una posibilidad de disminuir la cantidad de bacterias patógenas al mejorar su calidad sanitaria y al resguardar los sabores propios del queso artesanal de cabra (Mago, Sanabria, Cova, Alvarado, & Durán, 2015). En un estudio previo realizado por Narvaéz Guillén et al. (2017) fueron aisladas en un medio selectivo (MRS) 21 cepas de BAL del queso artesanal de cabra elaborado por pequeños productores al Sur Este de Coahuila, México. Las cepas de BAL fueron caracterizadas morfológicamente, todas ellas fueron positivas a la tinción de Gram y catalasa negativa.

Las cepas fueron también sometidas a pruebas de producción de ácido láctico, producción de aromas con notas lácteas, producción de CO₂ y se probó la actividad inhibitoria in vitro de las 21 cepas frente a *E. coli*, *Salmonella* y *Staphylococcus aureus* por la técnica de difusión en hoyo. De las cepas con mayor inhibición frente a *Salmonella* y *E. coli* fueron QJ y QR, que adicionalmente presentaron aromas con notas lácticas. Las 21 cepas se comportaron estadísticamente similares al inhibir a *Staphylococcus aureus*.

El presente estudio se centró en evaluar la capacidad de las dos cepas de BAL, nombradas como QJ y QR en el estudio previo de Narvaéz Guillén et al. (2017), así como en su combinación para inhibir el número poblacional de *E. coli* y *Salmonella* en quesos de leche pasteurizada de cabra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Viabilización de las BAL y bacterias patógenas

Se utilizaron dos cepas de BAL de un estudio anterior (Narvaéz Guillén et al., 2017) identificadas como QJ y QR, así como cepas patógenas de *Salmonella* y *E. coli*. Las BAL se reactivaron en caldo MRS (Man, Rogosa y Sharpe); *Salmonella* y *E. coli* en caldo nutritivo, todas ellas en proporción de 1% v/v por triplicado y se incubaron a 32 °C de 24 a 32 h (Guerrero, Muset, & Pacheco, 1997).

Caracterización de BAL y bacterias patógenas

Después del crecimiento celular las cepas se sembraron en cajas Petri por el método de estría cruzada en agar MRS para BAL y en agar nutritivo para las bacterias patógenas. Se incubaron a 32 °C entre 24 y 32 h y se observó crecimiento colonial característico de cada cepa. Se utilizó tinción de Gram con cada cepa (López Jácome et al., 2014), así como prueba de la catalasa (Ruiz Ruiz, 2010).

Crecimiento de BAL y bacterias patógenas

La determinación de la curva de crecimiento de cada microorganismo empleado en esta investigación se realizó mediante densidad óptica de la masa celular presente en medio líquido. Se empleó caldo MRS para las BAL (QR y QJ) y caldo nutritivo para las bacterias patógenas (*Salmonella* y *E. coli*), ambos inoculados con el respectivo microorganismo a una proporción de 1% v/v por triplicado. Las condiciones de incubación fueron semejantes a las antes mencionadas.

Se tomaron lecturas en lapsos de 1h a 540 nm. La medición se detuvo hasta observar el inicio de la fase estacionaria para todos los microorganismos (Díaz, 2011). Cuando cada cepa alcanzó el punto medio de la fase exponencial se realizaron conteos coloniales en placa. Se siguió la metodología de la NOM-110-SSA1-1994 (SSA, 10 de mayo de 1995) para la preparación de las diluciones seriadas y para contabilizar las colonias en placa la metodología de la NOM-092-SSA1-1994 (SSA, 12 de diciembre de 1995), modificando los agares (para las BAL se empleó el agar MRS, para *Salmonella* agar *Salmonella Shigella* y para *E. coli* agar MacConkey). Las condiciones de incubación fueron las anteriormente establecidas.



Figura 1. Proceso de inoculación de la leche pasteurizada con BAL.

Fotografía del equipo de investigación

Elaboración de quesos de cabra inoculados con BAL y bacterias patógenas

La elaboración de quesos inoculados se llevó a cabo de acuerdo con la metodología descrita por Narvaéz Guillén et al. (2017). Se realizaron ocho tratamientos con diseño ortogonal Taguchi (tabla 1). La elaboración de quesos fue a pequeña escala. Para cada tratamiento se empleó 1l de leche y moldes de 6 cm de diámetro. El proceso inició con el colado de la leche usando mantas de cielo, seguido de una pasteurización rápida a 72 °C/1 min y posterior enfriamiento a 35 °C. Después la leche fue inoculada 5% v/v con la BAL correspondiente (en tratamientos con ambas cepas de BAL fueron inoculados con 2.5% v/v de cada bacteria para completar la proporción) y 2.5% v/v de la bacteria patógena correspondiente, como se muestra en la figura 1.

El cuajado de la leche se realizó con cuajo comercial Cuamex siguiendo las instrucciones del producto. La leche se reposó por 30 min. Transcurrido el tiempo se realizó el corte y desuerado, se añadió sal a una proporción de 3 g/l de leche, la cuajada fue moldeada en moldes previamente estériles, posteriormente los quesos se desenmoldaron y empacaron para llevarse a maduración de 3 y 6 días (tomando en cuenta el tiempo promedio en que se

consume un queso) a temperaturas de refrigeración (4 °C) según la tabla 1.

Tabla 1
Tratamientos de elaboración de quesos

Queso (Tratamiento)	BAL		Bacterias Patógenas	Días en maduración (4 °C)
	QR	QJ		
1	Sin	Sin	<i>E. coli</i>	3
2	Sin	Con	<i>E. coli</i>	6
3	Con	Sin	<i>E. coli</i>	6
4	Con	Con	<i>E. coli</i>	3
5	Sin	Sin	<i>Salmonella</i>	3
6	Sin	Con	<i>Salmonella</i>	6
7	Con	Sin	<i>Salmonella</i>	6
8	Con	con	<i>Salmonella</i>	3

Nota: Elaboración propia.

Conteo de BAL y bacterias patógenas en quesos inoculados después de la maduración

Transcurrido el tiempo de maduración se llevó acabo el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC/g) de BAL, así como de bacterias patógenas para cada tratamiento bajo la metodología de conteo colonial antes citada para cada grupo de bacterias.

Análisis de datos

Los valores de UFC/g de BAL, así como de patógenos contabilizados para cada tratamiento fueron sometidos a un análisis de varianza de una vía ($p \leq 0.05$) y las medias de los tratamientos fueron sometidas a una prueba de Tukey en el paquete estadístico JMP.

RESULTADOS

Caracterización de BAL y bacterias patógenas

La morfología colonial que presentaron ambas cepas de BAL fueron colonias redondas color blanco

cremoso. *Salmonella* presentó colonias redondas color rosa a rojo mientras que *E.coli* colonias redondas color rosa fucsia. QJ presentó morfología celular de bacilo gram positivo, QR cocobacilo gram positivo, mientras que *Salmonella* y *E.coli* presentaron una morfología celular de bacilo gram negativo. Ambas BAL reaccionaron negativamente a la prueba de la catalasa.

Crecimiento de BAL y bacterias patógenas

Los resultados obtenidos indican que para las bacterias ácido lácticas QJ y QR el inicio de la etapa de crecimiento exponencial se desarrolla a partir de las 3 y 4 h, respectivamente. A las 7 h de incubación para QJ se encuentra la etapa de crecimiento exponencial antes de llegar a la fase estacionaria; en este punto se presenta una absorbancia de 0.819 (figura 2); la mismas condiciones para QR se presentan en el mismo periodo de tiempo con una absorbancia de 0.519 (figura 3).

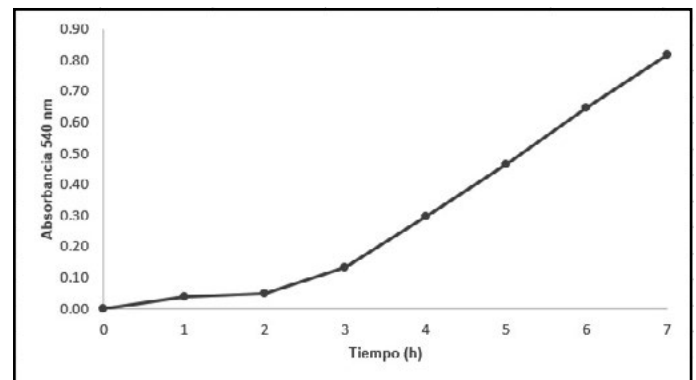


Figura 2. Curva de crecimiento de QJ.
Elaboración propia.

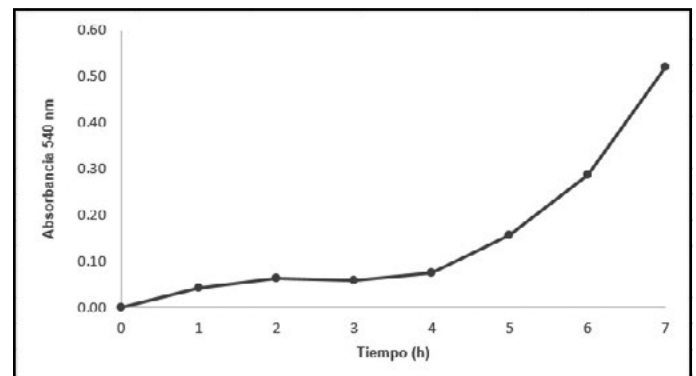


Figura 3. Curva de crecimiento de QR.
Elaboración propia.

Para *Salmonella* el crecimiento exponencial inicia en 3 h y a las 6 h de incubación (fase avanzada de crecimiento exponencial) presenta una absorbancia de 0.67 (figura 4). *E. coli* a las 5.5 h de incubación alcanza las mismas condiciones de crecimiento que las BAL y *Salmonella*, al registrar una absorbancia de 0.55 (figura 5).

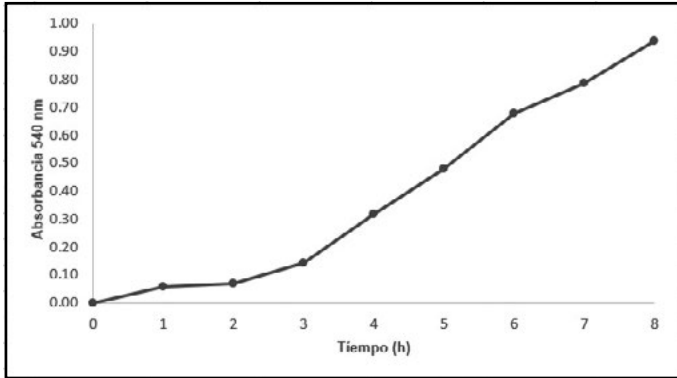


Figura 4. Curva de crecimiento de *Salmonella*.
Elaboración propia.

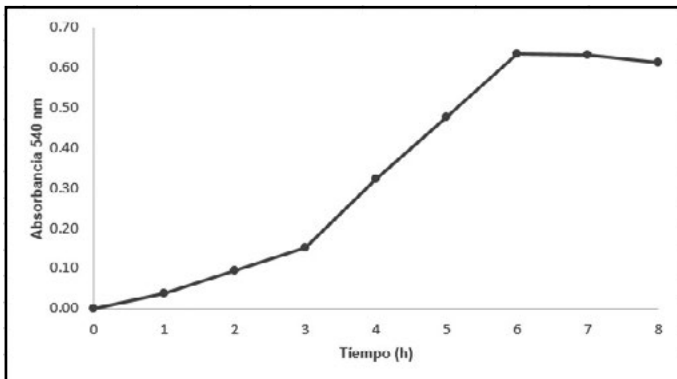


Figura 5. Curva de crecimiento de *E. coli*.
Elaboración propia.

Los resultados obtenidos expresados en UFC/ml en el tiempo de crecimiento exponencial de los microorganismos fueron para QJ a las 6 h 8.5 UFC Log₁₀/ml, para QR a las 7 h 9.3 UFC Log₁₀/ml. Las bacterias patógenas presentaron un crecimiento de 8.6 Log₁₀ UFC/ml para *Salmonella* y para *E.coli* de 8.4 Log₁₀ UFC/ml, en 6 h y 5.5 h, respectivamente (tabla 2).

Elaboración de quesos inoculados con BAL y bacterias patógenas

Se obtuvieron quesos de pasta uniforme de 6 cm de diámetro por 1.5 cm de alto, de color y olor característicos al queso de cabra (figura 6).



Figura 6. Queso de cabra inoculado con BAL y bacterias patógenas.
Fotografía del equipo de investigación.

Tabla 2
Cuento colonial de BAL y bacterias patógenas en fase de crecimiento exponencial

Microorganismo	Absorbancia (540 nm)/ tiempo (h)	UFC log ₁₀ /ml
QJ	0.64/ 6	9.3
QR	0.51/ 7	8.5
<i>E. coli</i>	5.46/ 5.5	8.4
<i>Salmonella</i>	0.69/ 6	8.6

Nota: Elaboración propia.

Recuento de BAL y bacterias patógenas en quesos después del periodo de maduración

Los resultados obtenidos del conteo de BAL y *E.coli* para los tratamientos 1-4 se presentan en la figura 7, donde se observó diferencia significativa respecto al número de BAL, así como de *E. coli*. El tratamiento 3 (inoculado con QJ) presentó la mayor cantidad de BAL, registrando 9.2 Log₁₀UFC/g, seguido de los tratamientos 1 y 2 que fueron estadísticamente semejantes con 8.7 y 8.1 Log₁₀UFC/g, respectivamente. Por último, el tratamiento 4 (inoculado con ambas cepas QJ y QR) presentó la menor cantidad de BAL, 7.9 Log₁₀UFC/g. Estos mismos tratamientos en relación con la cuenta de *E. coli*, el tratamiento 3, presentó mayor presencia del patógeno; 7.9 Log₁₀UFC/g, seguido de los tratamientos 1 y 4 (7.1 y 5.3 Log₁₀UFC/g, respectivamente) y finalmente el tratamiento 2 con 4.5 Log₁₀UFC/g. Fue en este último tratamiento donde se observó la mayor inhibición de *E.coli* a pesar de no ser el tratamiento con la mayor cuenta de BAL.

Del conteo de BAL para los tratamientos 5, 6, 7 y 8 inoculados con *Salmonella*, según se muestra en la figura 8, el tratamiento 5 obtuvo una cuenta celular de 8.6 Log₁₀UFC/g al presentar la mayor cantidad de BAL, seguido de los tratamientos 6 y 8 con 8.5 Log₁₀UFC/g en ambos tratamientos estadísticamente semejantes; por último, el tratamiento 7 (inoculado con QJ) registró la menor cantidad de BAL, 7.9 Log₁₀UFC/g. Respecto a la inhibición de *Salmonella* en los tratamientos 5, 6, 7 y 8 después de la maduración, la mejor actividad se presentó en el tratamiento 7 con 5 Log₁₀UFC/g, seguido de los tratamientos 5 y 8; por último el tratamiento 6 con 8, 8.1 y 9.1 Log₁₀UFC/g, respectivamente.

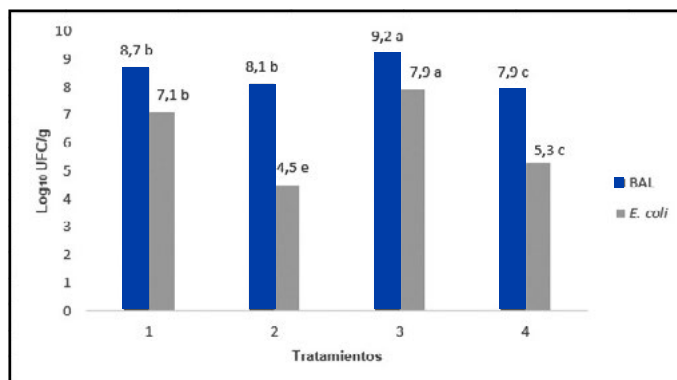


Figura 7. Conteo colonial de las BAL y *E. coli* en tratamientos 1-4. Elaboración propia.

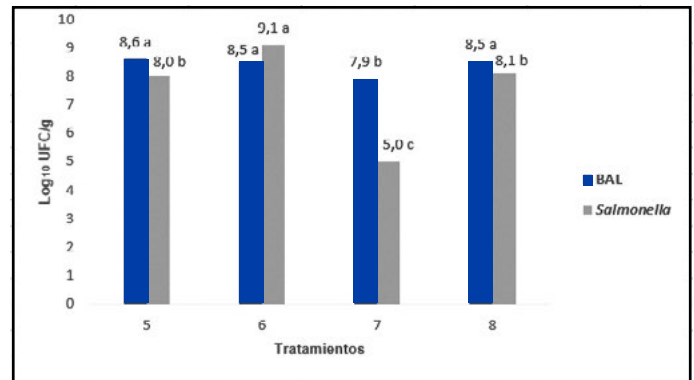


Figura 8. Conteo colonial de las BAL y *Salmonella* en tratamientos 5-8.

Elaboración propia.

DISCUSIÓN

La capacidad de inhibición de las BAL empleadas sobre bacterias patógenas mostró diferente comportamiento. QJ logró inhibir de manera significativa el crecimiento de *E.coli* a los 6 días de maduración en el tratamiento 2. Un desempeño similar mostró QR contra *Salmonella* en el mismo periodo de maduración del queso en el tratamiento 7. Narvaéz Guillén et al. (2017) estudiaron previamente tanto a QJ como a QR, entre otras cepas de BAL en su capacidad inhibitoria frente a *E.coli* y *Salmonella* mediante método in vitro por técnica de difusión en hoyo. Los valores reportados para la inhibición de *E.coli* fueron desde 1.5 hasta 1.85 cm de Ø de inhibición y QJ reportó 1.75 cm de Ø.

Respecto a *Salmonella* los valores de inhibición fueron entre 1.13 y 1.76 cm de Ø de inhibición y QR reportó 1.73 cm de Ø. Aun cuando las unidades de los resultados del previo y presente estudios en los que se probó la inhibición de QR y QJ no son compatibles, existe congruencia en el comportamiento inhibitorio de estas BAL. Asimismo, en el estudio de Narvaéz Guillén et al. (2017) se presentó para QJ una producción en incremento de ácido láctico de 0.36, 0.52 y 0.75% a las 12, 24 y 48 h, respectivamente. Según esta tendencia, podría explicarse la marcada inhibición en el tratamiento 2 inoculado con QJ y *E. coli* a seis días de maduración, ya que al elevarse la cantidad de ácido láctico y en consecuencia la disminución del pH se limita el crecimiento de *E.coli* (Heredia Castro, Hernández Mendoza, González Córdoba, & Vallejo Córdoba, 2017) pero favorece el desarrollo de BAL.

Los valores de ácido láctico que alcanzó QR a los mismos periodos fueron 0.28, 0.47 y 0.89%. De igual manera fueron valores en incremento que explican la conducta de la población, tanto de QR como de *Salmonella* en el tratamiento 7 (inoculado con QR y *Salmonella* a seis días de maduración) ante un medio con alta presencia de ácido láctico y como consecuencia bajo pH, las posibilidades de sobrevivencia de *Salmonella* se vieron superadas por las de QR a medida que pasó el tiempo de maduración del queso.

Un factor que pudiera dar explicación a la especificidad de inhibición de QJ para *E. coli* y de QR para *Salmonella* es probablemente el tipo de bacteriosinas producidas por cada cepa de BAL, ya que se ha reportado a la pediocina producida por *Lactococcus Lactis* presente en quesos como inhibidora de *E.coli* y *S. aureus* (Heredia Castro et al., 2017); esto podría también aplicar para el efecto inhibitorio que mostró la combinación de QJ y QR hacia *E. coli* por el tipo de bacteriocinas producidas por cada BAL.

Por otra parte, Curvas Limón, Cruz Hernández y Belmares Cerda (2019), reportaron actividad inhibitoria contra *E. coli* y *Salmonella Tiphy* de las bacteriocinas producidas por dos cepas de BAL aisladas de leche de cabra, reportadas como LC1 y LC2. Los resultados se reportaron en cm de halos de inhibición. El mayor efecto inhibitorio se reportó para *E. coli* seguido de *Salmonella Tiphy* con un ligera diferencia, 1.32 ± 0.03 y 1.12 ± 0.29 cm de \emptyset , respectivamente. En un estudio de Fuentes Fanegas et al. (2017) se probó el sobrenadante de BAL, aislados de queso doble crema y quesillo que se identificaron como *Lactococcus lactis subsp. lactis* y *Lactobacilos fermentum* con halos de inhibición de 0.29 ± 0.017 y 1.2 ± 0.1 , respectivamente.

Al contrastar los resultados del presente trabajo con los de Curvas Limón et al. (2019) y Fuentes Fanegas et al. (2017), se encontró que presentan tendencias similares. Aunque en el presente estudio se probó el efecto inhibitorio con células de BAL debido a que además del efecto inhibitorio contra patógenos producen sabores, aromas y propiedades reológicas que enriquecen las características sensoriales del queso y en los otros dos estudios se probó el mismo efecto con bacteriosinas in vitro. Esto abre la posibilidad de explorar el mismo efecto inhibitorio con las bacteriosinas de QJ y QR y una posible aplicación de estas hacia diversos productos alimenticios.

En quesos artesanales como el de cabra es importante conservar las BAL presentes de manera natural en la leche, dado que son parte indispensable para la obtención de las propiedades que dan identidad sensorial al producto; sin embargo, es importante eliminar o disminuir la presencia de bacterias patógenas que representan un riesgo para la salud del consumidor, por ello se requiere mejorar las condiciones de higiene en la elaboración del producto (Alvarado Rivas et al., 2007); este trabajo propone inocular la leche con la que se elaboran los quesos mediante cepas de BAL propias del producto para disminuir microorganismos patógenos en los quesos artesanales de cabra sin sacrificar las características sensoriales.

CONCLUSIONES

Ambas cepas de BAL, QR y QJ demostraron inhibir el crecimiento de los microorganismos patógenos. La mayor inhibición de crecimiento de *E. coli* se logró con QJ y la de *Salmonella* con QR. La inhibición por la combinación de las dos cepas QJ y QR fué mas efectiva frente a *E. coli*. Estos resultados pueden ayudar a la formación de cultivos iniciadores para la elaboración de quesos de cabra que permitan obtener productos de alta calidad sensorial y microbiológica.

REFERENCIAS

- Alvarado Rivas, C., Chacón Rueda, Z., Otoniel Rojas, J., Guerrero Cárdenas, B., & López Corcuera, G. (2007). Aislamiento, identificación y caracterización de bacterias ácido lácticas de un queso venezolano ahumado andino artesanal. Su uso como cultivo iniciador. *Revista Científica*, 17(3), 301-308.
- Carr, F. J., Chill, D., & Maida, N. (2002). The lactic acid bacteria: A literature survey. *Critical Reviews in Microbiology*, 28(4), 281-370. doi: 10.1080/1040-840291046759
- Casaus Lara, P., Hernández Cruza, P. E., & Cintas Izarra, L. M. (2000). Actividad antimicrobiana de las bacterias lácticas (I y II). *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 19(7), 109-124.
- Curvas Limón, R. B., Cruz Hernández, M., & Belmares Cerda, R. E. (2019). Aislamiento, caracterización y evaluación antimicrobiana de bacterias a partir de leche de cabra. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de*

Alimentos, 4, 142-146.

- Díaz, C. (2011). *Adherencia y colonización de Pseudomonas fluorescens sobre sustratos sólidos: Influencia de la topografía y composición química de la superficie* (Tesis doctoral, pp. 103, 104, 105.). Repositorio institucional de la UNLP. doi: 10.35537/10915/2685
- Fuentes Fanegas, M., Londoño Zapata, A., Durango Zuleta, M., Gutiérrez Buriticá, M., Ochoa Agudelo, S., & Sepúlveda Valencia, J. (2017). Capacidad antimicrobiana de bacterias ácido lácticas autóctonas aisladas de queso doble crema y quesillo colombiano. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(1), 45-55. Recuperado de <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/534/637>
- Guerrero, L., Muset, G., & Pacheco, L. (1997). Evaluación de las actividades enzimáticas de cultivos comerciales usados para la elaboración de quesos. *Revista Científica*, 7(3), 209-214.
- Hayaloglu, A. A., Guven, M., Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (2005). Influence of starters on chemical, biochemical, and sensory changes in turkish white-brined cheese during ripening. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3460-3474. doi: 10.3168/jds.s0022-0302(05)73030-7
- Heredia Castro, A., Hernández Mendoza, A., González Córdoba, A. F., & Vallejo Córdoba, B. (2017). Bacteriocinas de bacterias ácido lácticas: Mecanismos de acción y actividad antimicrobiana contra patógenos en quesos. *Interciencia*, 42(6), 340-346.
- López Jácome, L. E., Hernández Durán, M., Colín Castro, C. A., Ortega Peña, S., Cerón González, G., & Franco Cendejas, R. (2014). Las funciones básicas en el laboratorio de microbiología. *Investigación en Discapacidad*, 3(1), 10-18.
- Mago, Y., Sanabria, N., Cova, A., Alvarado, C., & Durán, L. (2015). Maduración de queso de cabra con cepa autóctona de *Leuconostoc mesenteroides* aislada de queso artesanal. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias UCV*, 56(1), 3-9.
- Martín del Campo M., C. I., Gómez H., H. E., & Alaníz de la O., R. (2008). Bacterias ácido lácticas con capacidad antagonica y actividad bacteriocinogénica aisladas de quesos frescos. *e-Gnosis*, 6(5), 1-17.
- Morales-Pablo, R., Ávalos de la Cruz, D. A., Leyva-Ruelas, G., & Ybarra-Moncada, M. C. (2012). Calidad bacteriológica de leche cruda de cabra producida en Miravalles, Puebla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1), 45-54.
- Narvaéz Guillén, B. L., Cruz Hernández, M. A., Hernández Centeno, F., Flores Verastegui, M. I. M., Martínez Vázquez, D. G., & Rangel Ortega, S. C. (2017). Selección de bacterias ácido lácticas del queso artesanal de leche de cabra de Coahuila para su uso como cultivos iniciadores. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 25(72), 45-52.
- Ruiz Ruiz, F. (2010). Pruebas bioquímicas: Catalasa. *Manual de Prácticas de Biología de Procariontes. Licenciatura en Biología* [Protocolo de práctica en pdf]. Recuperado de <https://biolprocariontes.files.wordpress.com/2010/03/pract-112.pdf>
- Secretaría de Salud. (10 de mayo de 1995). Norma Oficial Mexicana NOM-110-SSA1-1994, Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Recuperado de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/110ssa14.html>
- _____ (12 de diciembre de 1995). Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4886029&fecha=12/12/1995&cod_diario=209451
- Vázquez M., S. M., Suárez M., H., & Zapata B., S. (2009). Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por bacterias ácido lácticas en la conservación de la carne. *Revista Chilena de Nutrición*, 36(1), 64-71.

Evaluación de compuestos químicos de la variedad Típica de *Coffea arabica* durante el proceso del tostado artesanal

Evaluation of chemical compounds of the Typica variety of *Coffea arabica* during the artisan roasting process

María F. Salazar-Hernández*, Janet A. Lona-Ramírez*, Claudia Rivera-Domínguez*, Víctor M. Sánchez-Núñez**, Hugo Rosales-Bravo***, Norma A. Caudillo-Ortega*✉

Salazar-Hernández, M. F., Lona-Ramírez, J. A., Rivera-Domínguez, C., Sánchez-Núñez, V. M., Rosales-Bravo, H., & Caudillo-Ortega, N. A. (2020). Evaluación de compuestos químicos de la variedad Típica de *Coffea arabica* durante el proceso del tostado artesanal. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(81), 32-39.

RESUMEN

El café es una bebida y proviene de los granos de café (*Coffea arabica*), el cual contiene diferentes macromoléculas que durante el tostado sufren una transformación y generan atributos propios del café como sabor, color y otras características físicas. El objetivo es determinar el cumplimiento de los parámetros químicos establecidos en la normatividad vigente en el café arábica con diferentes grados de tueste a partir del tostado artesanal. De acuerdo con los resultados en el presente estudio la composición química cumple con los rangos establecidos en la NMX-

F-013-2000, y el color de cada grado de tueste se ubica en el espacio de color CIE Lab adecuado. Por otro lado, el café con tueste medio (1.146 g/l) presentó mayor contenido en ART, relacionado con las reacciones bioquímicas durante el tostado. Sin embargo, todos los grados de tueste cumplen con los parámetros establecidos.

ABSTRACT

Coffee is a drink and comes from coffee beans (*Coffea arabica*), which contains different macromolecules that undergo a transformation during roasting, generating attributes typical of coffee such as; flavor, color and other physical characteristics. The objective is to determine compliance with the chemical parameters established in the current regulations in Arabica coffee with different degrees of roasting from artisanal roasting. According to our results, the chemical composition complies with the ranges established in the NMX-F-013-2000, and the color of each degree of roast is located in the appropriate CIE Lab color space. On the other hand, medium roast coffee (1.146 g/l) presented higher ART content, related to biochemical reactions during roasting. However, all degrees of roast comply with the established parameters.

Palabras clave: análisis químico proximal; ART; *Coffea arabica*; CIE Lab; grado de tueste; sacarosa.

Keywords: proximal chemical analysis; ART; *Coffea arabica*; CIE Lab; roasting grade; sucrose.

Recibido: 20 de diciembre de 2019, aceptado: 29 de octubre de 2020

* Ingeniería en Industrias Alimentarias, Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato. Carretera Guanajuato a Puentecillas km 10.5, Puentecillas, C. P. 36262, Guanajuato, Gto., México. Correo electrónico: MFSH_salazar1025@hotmail.com; janet7154@gmail.com; crivera@itesg.edu.mx; ncaudillo@itesg.edu.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2711-7770>; <http://orcid.org/0000-0003-1067-8504>; <http://orcid.org/0000-0002-5538-4713>; <http://orcid.org/0000-0002-2895-0919>

** Ingeniería Agroindustrial, Universidad Politécnica de Pénjamo. Carretera Irapuato a La Piedad km 44, C. P. 36900, El Derramadero, Guanajuato, Gto., México. Correo electrónico: vmsanchez@uppenjamo.edu.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9401-5064>

*** Dirección Académica, Colegio de Estudios Superiores Científicos y Tecnológicos del Estado de Guanajuato. Mar de Timor 204, Jardines de la Pradera, C. P. 37536, León, Gto., México. Correo electrónico: hugo.rosalesb@cecyteg.edu.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3327-166X>

✉ Autora para correspondencia

INTRODUCCIÓN

El café es un cultivo estratégico en México. A nivel nacional Chiapas es el principal estado productor

de café con 39% del volumen nacional, seguido de Veracruz con 30%, mientras que el estado de Oaxaca representa 13% de la producción de café en México (CEDRASSA, 2018), además es una bebida de gran consumo. En 2018 el informe del mercado de café reportó dos especies que dominan el mercado y la producción: *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (Robusta).

La etapa del tostado es muy importante en la producción; comprende secado, desarrollo del aroma, descomposición química y tostado completo para adquirir características de color, aroma y sabor (De Luca et al., 2016; Gutiérrez Maydata, 2002). La composición química del grano cambia drásticamente durante el tostado y las altas temperaturas aceleran considerablemente estos cambios (Ajandouz, Tchiakpe, Dalle Ore, Benajiba, & Puigserver, 2001).

La reacción de Maillard y la caramelización son reacciones bioquímicas presentes en el grano de café verde durante el tostado, en las que intervienen principalmente los azúcares reductores y pueden seguir diversas rutas químicas dependiendo de la composición del grano, produciendo compuestos y cambios físicos que contribuyen a la calidad del café tostado (Cheong et al., 2013; Martins, Jongen, & Van Boekel, 2001).

El grado de tueste depende del proceso de tostado; dos cafés pueden tener mismas características físicas pero sabores diferentes. El mejor grado de tueste está directamente relacionado con los hábitos de cada país e incluso el paladar de los habitantes de cada zona en cada región. Estas diferencias han dado origen a la preferencia de ciertos grados de tueste basados en el color, sabor y aroma. El grado de tueste se puede clasificar de manera general en 3 tipos: claro, medio y oscuro; a nivel industrial se utilizan tostadoras por cargas y tostadoras en continuo de alto costo que permiten el manejo de variables de tiempo y temperatura mediante sistemas de control automático (Castillo Luzon, Muñoz Ordoñez, & Engler, 2016). Asimismo, en la calidad del café influye el proceso de tostado, misma que se encuentra regulada por la normatividad mexicana vigente, como la NMX-F-013-2000. Café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado.

La mayoría de los estudios han sido enfocados en la determinación de compuestos del café

colombiano (Chaves-Ardila, 2009; Díaz, Ormaza, & Rojano, 2018) y un estudio reciente caracterizó químicamente el grano verde y tostado de *Coffea arabica* de dos variedades cosechado en Veracruz, México. El tostado industrial tiene un gran impacto dentro de la industria del café, al tener los parámetros de tiempo y temperatura controlados, de gran impacto en las características organolépticas del café; sin embargo, para productores de pequeña escala está fuera de su alcance.

En el estado de Oaxaca algunos productores con procesos artesanales desarrollan la etapa de tueste para ofertar su producto, de suma importancia ya que en ella se adquieren características que influyen directamente en la calidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar compuestos químicos de la variedad Típica de *Coffea arabica* con diferentes grados de tueste a partir del tostado artesanal y se planteó la hipótesis; los parámetros de algunos compuestos químicos del café con tostado artesanal se mantienen dentro de las especificaciones de la normatividad mexicana vigente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de la muestra

Se partió de una muestra de café verde (*Coffea arabica*) recolectado en la sierra sur de Oaxaca, México. El lote de la muestra fue dividido en submuestras de 100 g cada una.

Tostado del café

Se realizó el método artesanal utilizando una cazuela de barro (26.5 cm de diámetro, 16.5 de altura y 1 cm de grosor) y se separaron muestras de café con diferentes grados de tueste correspondientes a claro, medio y oscuro.

Molienda del café

Los granos de café con diferentes grados de tueste se molieron por separado en un molino manual marca El Rey, después se tamizó en una malla no. 40.

Análisis químico proximal

Determinación de humedad. Se utilizó el protocolo descrito en la NMX-F-013- SCFI-200 (Secretaría de Economía, 2000): café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado. Se colocaron 10 g de muestra molida y tamizada en cajas de aluminio a peso constante. Las cajas con la muestra se colocaron dentro de un horno de convección forzada durante $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 2 h. Posteriormente se calculó el porcentaje de humedad con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{M1 - M2}{M1 - M0} \times 100$$

donde $M0$ es el peso de la caja vacía en g, $M1$ es el peso de la caja con la muestra húmeda en g y $M2$ es el peso de la caja con la muestra seca en g.

Determinación de cenizas. Se utilizó el protocolo descrito en la NMX- F-013-2000 (Secretaría de Economía, 2000): café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado. En un crisol a peso constante se adicionaron 3g de la muestra seca, se calcinó en el mechero de Bunsen y los crisoles se colocaron en una mufla a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 5 h. Los crisoles se enfriaron y el contenido de cenizas se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{P - p}{M} \times 100$$

donde P es el peso del crisol con cenizas, p es el peso del crisol vacío, M es el peso de la muestra seca.

Determinación de grasa como extracto etéreo. Esta determinación se realizó de acuerdo al protocolo establecido en la NMX- F-013-2000: café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado. Se pesaron 2 g de muestra seca y se depositaron en el interior del cartucho de celulosa a peso constante. El cartucho se colocó dentro del extractor Soxhlet, se adicionaron 100 ml de éter de petróleo y se conectó al refrigerante para circulación de agua fría. El

calentamiento fue regular y la extracción fue durante 6 h; el éter se evaporó del matraz y se secó a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante. Para la expresión de resultados se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ extracto etéreo} = \frac{Pf - P0}{Pm} \times 100$$

Pf es el peso en gramos del matraz con grasa después de la evaporación del solvente. $P0$ es la masa en gramos del matraz sin grasa a peso constante. Pm es el peso en gramos de la muestra seca.

Determinación de fibra cruda en digestión ácida y alcalina.

Digestión ácida.

-Se pesan 2 g de muestra desgrasada (residuo seco del extracto etéreo), se transfieren a un vaso de Berzellius de 600 ml. Es importante evitar la contaminación por el papel o el cepillo empleado para retirar la muestra del cartucho.

-Se adicionan 0.5 g de asbesto, 200 ml de ácido sulfúrico, unas gotas de antiespumante si es necesario.

-Se adapta el vaso a la tapa del condensador de aire y se somete el contenido a ebullición durante 30 min exactamente, rotando periódicamente los vasos para evitar que los sólidos se peguen en el vaso.

-Se filtra al vacío a través del lino sobre un embudo Büchner adaptado al matraz Kitasato.

-Se lava con agua caliente hasta pH neutro.

Digestión alcalina.

-El residuo se regresa cuantitativamente al vaso Berzellius y se adicionan 200 ml de NaOH hirviendo.

-Se conecta nuevamente el vaso al condensador y se calienta durante 30 min a ebullición.

-Se filtra nuevamente a través del lino.

-Se lava hasta la neutralidad y posteriormente con 25 ml de ácido sulfúrico diluido 1.2 M (1.25%) caliente (hasta ligera acidez) para eliminar cualquier sustancia que precipite con el álcali y se lava con tres porciones de 50 ml de agua caliente para eliminar el ácido.

-Posteriormente se lava con 25 ml de alcohol etílico y finalmente con éter.

-Se pasa cuantitativamente el residuo a un crisol (a masa constante), se seca a 110 °C hasta masa constante (aproximadamente 2 h), se enfría y se pesa. Se calcina (600 °C durante 30 min), se enfría en un desecador y se pesa. La pérdida en masa es la fibra.

La fórmula es la siguiente:

$$\% \text{ fibra cruda} = \frac{P_c - P_f}{P_n} \times 100$$

donde:

P_c es el peso del crisol a peso constante con la muestra seca en g. P_f es el peso del crisol después de la calcinación en g. P_n es el peso de la muestra seca en g.

Determinación del color en café molido con diferentes grados de tueste. Se utilizó un colorímetro (CROMINTEC CHROMATER), tomando como base las coordenadas en el espacio de color CIE L^* , a^* y b^* , para todas las muestras de café molido con diferentes grados de tueste.

Determinación de azúcares reductores totales (ART) en extractos de café molido con diferentes grados de tueste. Para esta determinación se utilizó glucosa como azúcar reductor y se realizó el protocolo descrito por Bello Gil, Carrera Bocourt y Díaz Maqueira (2006) para los extractos de café verde, tueste claro, medio y oscuro.

Análisis estadístico. Para el análisis estadístico se aplicó una comparación de medias con un nivel de significancia de 95%, $p < 0.05$. Se utilizó el paquete estadístico SPSS Statistics versión 25.

RESULTADOS

Tostado y molienda de los granos de café arábica

Los granos verdes *C. arabica* variedad Típica fueron originarios del estado de Oaxaca y mediante un tostado artesanal se obtuvieron tres grados de tueste: claro, medio y oscuro.



Figura 1. Grados de tueste del *C. arabica* variedad Típica. De izquierda a derecha: granos de café, granos de café claro, medio y oscuro después del tostado artesanal. Imagen del equipo de investigación.

Tabla 1
Composición química de granos de café arábica molido; verde, café con tueste claro, medio y oscuro en base

Componente	Grado de tueste del café				
	NMX-F- 013-2000	Verde	Claro	Medio	Oscuro
Humedad	6.0%	7.35 ± 0.278	2.47* ± 0.038	2.56* ± 0.077	2.01* ± 0.082
Cenizas	5.0% bs	6.10 ± 1.744	4.80 ± 0.195	4.75&&& ± 0.046	4.56* ± 0.122
Extracto etéreo	8.0% - 18% bs	9.73 ± 1.902	9.01& ± 0.870	8.24 ± 0.140	14.19*&& ± 0.924
Fibra cruda	----	13.79 ± 1.305	13.71& ± 2.135	13.43&&& ±2.502	22.07*&& ± 0.962

Nota: Los resultados expresan el valor promedio ± desviación estándar. Diferentes superíndices indican diferencia significativa en los valores promedio de café evaluada a $p < 0.05$. *Diferencia significativa; claro, medio, oscuro contra verde. &Diferencia significativa entre claro y medio. &&Diferencia significativa entre claro y oscuro. &&&Diferencia significativa entre medio y oscuro.

Elaboración propia.

Análisis químico proximal

La tabla 1 muestra el porcentaje de humedad, cenizas, extracto etéreo y fibra cruda del café molido con diferentes grados de tueste.

Determinación de color en el café arábica molido con diferentes grados de tueste

El color es una característica física de suma importancia, que influye directamente en la calidad del café. Para su valoración se utilizó la escala L, a y b; L representa luminosidad, a y b son coordenadas cromáticas. La tabla 2 muestra los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros.

Tabla 2
Parámetros de color CIE del café molido: verde, tueste claro, medio y oscuro

Grado de tueste	Parámetros de color		
	L*	a*	b*
Verde	13.46	21.62	21.66
Claro	29.57	26.14	29.18
Medio	16.62	16.38	16.57
Oscuro	7.86	7.44	7.85

Nota: Elaboración propia.

Determinación de azúcares reductores totales (ART) en extractos acuosos de café molido

A partir de extracciones acuosas de café molido con diferente grado de tueste se determinaron los ART mediante un método espectrofotométrico. Se obtuvo la curva patrón para cada determinación con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.991$.

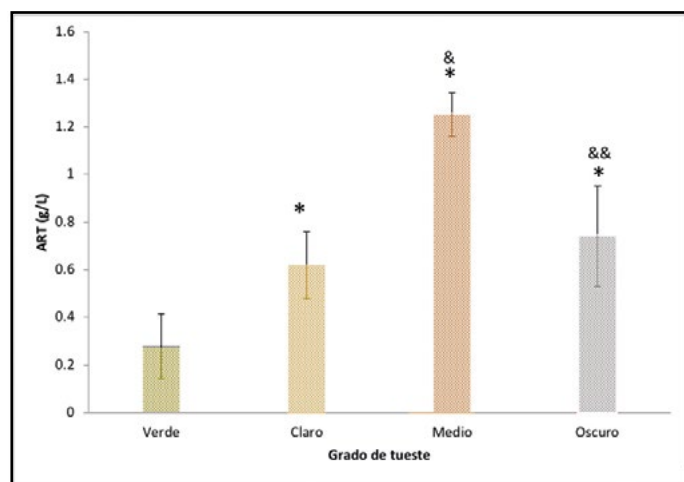


Figura 2. Contenido de ART en extractos acuosos de café con diferente grado de tueste. Los resultados expresan el valor promedio \pm desviación estándar. Diferentes superíndices indican diferencia significativa en los valores promedio de café evaluada a $p < 0.05$ *Diferencia significativa; claro, medio, oscuro contra verde. &Diferencia significativa entre claro y medio. &&Diferencia significativa entre claro y oscuro. &&&Diferencia significativa entre medio y oscuro.

Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Tostado y molienda de los granos de café arábica

A nivel mundial el café ha sido estudiado por sus características peculiares. El turco es especial por sus procesos de tostado, molienda, elaboración y almacenamiento; mismos que afectan su calidad y propiedades fisicoquímicas. El tostado en microondas a 350 W durante 30 min y la molienda con molino cortador son mejores condiciones para obtener las características deseadas en este tipo de café en comparación con los procesos de tostado tradicional en horno o con infrarrojo (Yüksel, Özkara Barut, & Bayram, 2020).

Los granos verdes *C. arabica* variedad Típica fueron originarios del estado de Oaxaca. A partir del tostado en cazuela las características físicas del café verde cambiaron conforme transcurría el tiempo adquiriendo tonos específicos, en donde se obtuvieron tres grados de tueste: claro, medio y oscuro (figura 1). Por tanto, el café adquiere las características adecuadas tanto con el tostado artesanal como con el industrial. Posteriormente se realizó la molienda en el tamiz No. 40 y se obtuvieron muestras de café molido fino, de acuerdo con los estándares establecidos en la NMX- F-013-2000 (Secretaría de Economía, 2000).

Análisis químico proximal

La composición química tiene gran importancia en los alimentos y puede modificarse durante su procesamiento. Los resultados obtenidos muestran el contenido de humedad y cenizas del café con tostado artesanal dentro de las especificaciones que establece la NMX-F-013-2000 (Secretaría de Economía, 2000); al comparar los resultados con el café verde la disminución es significativa. Este comportamiento es esperado, pues parte del agua contenida en los granos de café verde se pierde durante el tostado. En cuanto al contenido de ceniza hay diferencia significativa entre el tueste medio y oscuro; mientras el verde y oscuro presentan mayor y menor contenido, respectivamente; probablemente porque el verde conserva el contenido de celulosa sin modificaciones por el calor.

Por otra parte, el contenido de grasa se encuentra dentro de los parámetros de la normatividad mexicana, siendo el café negro (14.19 ± 0.924) el de mayor contenido de grasa; además existe una diferencia significativa en el café claro en comparación con el tueste medio y oscuro; estos resultados concuerdan con lo descrito por el grupo de trabajo de Bicho, Leitao, Ramalho y Cebola Lidon (2012) al evaluar granos de café arábica y robusta. Dicho contenido está por debajo de lo reportado por González-Ríos, Suárez-Quiroz, Winkler y Ramírez-Hernández (2018) en café tostado con 16.11% y 22.16% en las variedades de *C. arabica* Típica y Milenio, respectivamente. Por tanto, el contenido de grasa aumenta según el grado de tueste.

El contenido de fibra cruda aumentó sorpresivamente en el café oscuro, con diferencia significativa entre los tres grados de tueste, ello concuerda con los parámetros reportados por Puerta-Quintero (2011) para las variedades Caturra y Típica, repre-

sentativas de Colombia. Los resultados del análisis químico proximal se encuentran dentro de las especificaciones establecidas por la NMX-F-013-2000 (Secretaría de Economía, 2000), lo que da evidencia de que durante el tostado artesanal la composición química se encuentra dentro de los parámetros para ser comercializado.

Determinación de color en el café arábica molido con diferentes grados de tueste

Los resultados indican una mayor luminosidad (L^*) en el café claro; el café con tueste oscuro tuvo el menor valor en L^* y en las coordenadas cromáticas: $-a^*$ tiende al color verde y $-b^*$ al rojo. Los datos correspondientes a dichas coordenadas en las muestras analizadas colocan al tueste claro dentro del color con tendencia rojo-amarillo, el tueste medio color amarillo-rojo con tendencia a la oscuridad y el tueste oscuro presentó valores más bajos en las coordenadas cromáticas y en luminosidad. Estos parámetros confirman el color negro del café y la reducción durante el tostado.

Los datos del presente estudio concuerdan con trabajos previos, donde se observó que la L^* de las muestras de café disminuyó con el aumento del tiempo de tostado (Díaz et al., 2018). El cambio de coloración de verde-pardas-negras se genera por las melanoidinas durante las reacciones de caramelización, Maillard y polimerización (Lee, Cheong, Curran, Yu, & Liu, 2015; Moreira et al., 2017); además contribuyen a la formación del olor.

Determinación de azúcares reductores totales (ART) en extractos acuosos de café molido

El contenido de azúcares reductores en los extractos acuosos aumentó en el tueste claro y medio, con características de aroma agradables, siendo el medio el que presentó un olor característico al café comercial y dentro del 5.5% que establece la NMX-F-013-2000 (Secretaría de Economía, 2000). Los tres tuestes tienen diferencia significativa en

comparación con el café verde (figura 2). Asimismo, se presentó una diferencia significativa al comparar los tuestes claro vs. medio y claro vs. oscuro. Los ART se establecen en base seca de 0.1 y 0.3% para café verde y tostado, respectivamente (Puerta-Quintero, 2011).

CONCLUSIONES

Con el análisis químico proximal del café con tueste artesanal se verificó el cumplimiento de los parámetros determinados dentro de las especificaciones establecidas en la NMX-F-013-2000 (Secretaría de Economía, 2000). El contenido de azúcares presente en el café verde cambia respecto a la temperatura y tiempo, siendo el de tueste medio el de mayor contenido de ART.

El de tueste oscuro presentó menor contenido en ART, posiblemente por la degradación de los azúcares y formación de compuestos que potencian el sabor amargo. El color es fundamental en el café y es característico de cada grado de tueste, los resultados avalaron las coordenadas en el espacio de color correspondiente a cada grado de tueste.

A partir de estos resultados los pequeños productores de café pueden realizar la etapa de tostado de forma artesanal. Como perspectiva se puede realizar una carta de color para un método comparativo para productores a pequeña escala con el que puedan obtener un tueste en rango correcto.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Tecnológico Nacional de México por su financiamiento. Por su dedicación y compromiso a estudiantes del servicio social Sandra Paola Lona Luna, Luis Enrique Blancas Hernández y Arely Guadalupe Salas Amézquita; así como a la Universidad Politécnica de Pénjamo (UPP) en el estado de Guanajuato.

REFERENCIAS

- Ajandouz, E. H., Tchiakpe, L. S., Dalle Ore, F., Benajiba, A., & Puigserver, A. (2001). Effects of pH on caramelization and maillard reaction kinetics in fructose-lysine model systems. *Journal of Food Science*, 66(7), 926-931.
- Bello Gil, D., Carrera Bocourt, E., & Díaz Maqueira, Y. (2006). Determinación de azúcares reductores totales en jugos mezclados de caña de azúcar utilizando el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(2), 45-50.
- Bicho, N. C., Leitao, A. E., Ramalho, J. C., & Cebola Lidon, F. (2012). Use of colour parameters for roasted coffee assessment. *Food Science and Technology*, 32(3), 436-442.
- Castillo Luzon, M. A., Muñoz Ordoñez, M., & Engler, F. (2016). *Manual básico de buenas prácticas para el tostado del café* (pp. 7-25). Ecuador: Ministerio de Industrias y Productividad. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664006>
- Chaves-Ardila, L. G. (2009). El café tostado y molido: Caracterización de la industria torrefactora nacional. *Umbral Científico*, 14, 98-106. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/304/30415059009.pdf>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria & Cámara de Diputados LXIII Legislatura. (2018). *Reporte: El café en México. Diagnóstico y perspectiva*. México: Autor.
- Cheong, M. W., Tong, K. H., Ming-Ong, J. J., Liu, S. Q., Curran, P., & Yu, B. (2013). Volatile composition and antioxidant capacity of Arabica coffee. *Food Research International*, 51(1), 388-396.
- De Luca, S., De Filippis, M., Bucci, R., Magri, A. D., Magri, A. L., & Marini, F. (2016). Characterization of the effects of different roasting conditions on coffee samples of different geographical origins by HPLC-DAD, NIR and chemometrics. *Microchemichal Journal*, 129, 348-361.
- Díaz, F. O., Ormaza, A. M., & Rojano, B. A. (2018). Efecto de la tosti3n del café (*Coffea arabica* L. var. Castillo) sobre el perfil de taza, contenido de compuestos antioxidantes y la actividad antioxidante. *Información Tecnológica*, 29(4), 31-42.
- González-Ríos, O., Suárez-Quiroz, M. L., Winkler, R., & Ramírez-Hernández, A. K. (2018). Caracterización química en grano verde y tostado de una variedad de *Coffea arabica* L. cosechado en 2016 en Huatusco, Veracruz México. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(2), 86-97. doi: 10.23850/24220582.1596
- Gutiérrez Maydata, A. (2002). Café, antioxidantes y protección a la salud. *MEDISAN*, 6(4), 72-81. Recuperado de <https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=13580>
- Lee, L. W., Cheong, M. W., Curran, P., Yu, B., & Liu, S. Q. (2015). Coffee fermentation and flavor - An intricate and delicate relationship. *Food Chemistry*, 185, 182-191. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.03.124
- Martins, S. I. F. S., Jongen, W. M. F., & Van Boekel, M. A. J. S. (2001). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 11(9-10), 364-373.
- Moreira, A. S. P., Nunes, F. M., Simões, C., Maciel, E., Domingues, P., Domingues, M. R. M., & Coimbra, M. A. (2017). Transglycosylation reactions, a main mechanism of phenolics incorporation in coffee melanoidins: Inhibition by Maillard reaction. *Food Chemistry*, 227, 422-431.
- Puerta-Quintero, G. I. (2011). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos Cenicalfé*, 414, 1-12.
- Secretaría de Economía. (2000). Norma Mexicana NMX-F-013-2000. Café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado. Especificaciones y métodos de prueba. Recuperada de <https://www.colpos.mx/bancodennormas/nmexicanas/NMX-F-013-2000.PDF>
- Yüksel, A. N., Özkara Barut, K. T., & Bayram, M. (2020). The effects of roasting, milling, brewing and storage processes on the physicochemical properties of Turkish coffee. *LWT*, 131, 109711. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109711

Estimación de volumen forestal mediante imágenes de satélite Landsat 8 OLI en bosques templados mixtos

Stand volume estimation using Landsat 8 OLI satellite images in mixed temperate forests



Pedro García-Ramírez*, Pedro Antonio Domínguez-Calleros**✉, José Javier Corral-Rivas**, Marín Pompa-García**, Jorge Armando Chávez-Simental*, Pablito Marcelo López-Serrano*, Rodrigo Rodríguez-Laguna**, Jaime Roberto Padilla-Martínez**

García-Ramírez, P., Domínguez-Calleros, P. A., Corral-Rivas, J. J., Pompa-García, M., Chávez-Simental, J. A., López-Serrano, P. M., ... Padilla-Martínez, J. R. (2020). Estimación de volumen forestal mediante imágenes de satélite Landsat 8 OLI en bosques templados mixtos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(81), 40-49.

RESUMEN

El objetivo fue estimar el volumen forestal ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) mediante información obtenida del Sistema de Planeación Forestal (SiPlaFor) y datos espectrales de imágenes de satélite del sensor Landsat 8 OLI en el Ejido La Victoria Pueblo Nuevo, Durango, México. Se utilizó la técnica no paramétrica Random Forest para la estimación del volumen forestal. Los resultados mostraron que empleando un modelo con 400 árboles de decisión, la raíz

cuadrada del cuadrado medio del error (*RMSE*) se mantiene estable. La variable predictiva de mayor importancia fue el Índice de Vegetación de Área Foliar Específica (SLAVI), con una *RMSE* de 12.99%. El modelo de Random Forest presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.84 y un valor de *RMSE* de $28.8 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$. La información espectral de un sensor de media resolución en combinación con datos de campo es una alternativa viable para estimar volumen forestal en bosques templados mixtos.

ABSTRACT

Palabras clave: índices de vegetación; sensores remotos; Random Forest.

Keywords: vegetation indices; remote sensing; Random Forest.

Recibido: 4 de junio de 2019, aceptado: 27 de agosto de 2020

* Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan y Blvd. Durango S/N, Col. Valle del Sur, C. P. 34120, Durango, México. Correo electrónico: garp820203@gmail.com; jorge.chavez@ujed.mx; p_lopez@ujed.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2457-0695>; <http://orcid.org/0003-2666-8829>; <http://orcid.org/0000-0003-0640-0606>

** Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan y Blvd. Durango S/N, Col. Valle del Sur, C. P. 34120, Durango, México. Correo electrónico: pdomingc@hotmail.com; jcorral@ujed.mx; mpgarcia@ujed.mx; jaropa24@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9520-2817>; <http://orcid.org/0000-0002-2851-7517>; <http://orcid.org/0000-0001-7156-432X>; <http://orcid.org/0000-0003-3511-2478>

*** Área Académica de Ingeniería Forestal, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Rancho Universitario Ex-Hacienda Aquetzalpa, A. P. 32, C. P. 43600, Tulancingo, Hgo., México. Correo electrónico: rodris71@yahoo.com; rlaguna@uaeh.edu.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1014-8784>

✉ Autor para correspondencia

The objective was to estimate the forest volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) using information obtained from the Forest Planning System (SiPlaFor) and spectral satellite images data from the Landsat 8 OLI sensor in the Ejido La Victoria Pueblo Nuevo, Durango, Mexico. The non-parametric technique Random Forest was used for the forest volume estimate. The results showed that using a model with 400 decision trees, the Root Mean Square Error (*RMSE*) remains stable. The most important predictive variable was the Specific Leaf Area Vegetation Index (SLAVI), with an *RMSE* of 12.99%. The Random Forest model presented a coefficient of determination (R^2) of 0.84 and *RMSE* of $28.8 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$. Spectral information from a medium resolution sensor in combination with field data is a viable alternative for estimating stand volume in mixed temperate forests.

INTRODUCCIÓN

La utilización de nuevas plataformas satelitales se potencializa en el manejo forestal dadas las características de cada sensor de acuerdo con su resolución temporal y espacial en la obtención de la información. En México la utilización de imágenes satelitales ha aumentado en la última década (Hernández-Guzmán, Ruiz-Luna, & González, 2019). Sus aplicaciones son variadas, con una precisión confiable al monitorear los recursos forestales (Ogunbadewa, 2012), clasificación de la cobertura de los componentes de la superficie terrestre (Osaku et al., 2015), detección de cambios en los ecosistemas forestales (Fokeng, Forje, Meli, & Bodzemo, 2019), cambio de uso de suelo (Elagouz, Abou-Shleel, Belal, & El-Mohandes, 2020; Kangabam, Selvaraj, & Govindaraju, 2018) y en estimaciones de atributos forestales (Torres-Rojas, Romero-Sánchez, Velasco-Bautista, & González-Hernández, 2016).

Por otro lado, el inventario forestal realizado directamente en campo como herramienta silvícola es capaz de evaluar las condiciones del ecosistema forestal (Huerta-García, Ramírez-Serrato, Yépez-Rincón, & Lozano-García, 2018) y generalmente se realiza a pequeña escala, ya que a mayor eleva sustancialmente el costo y resulta inviable para el monitoreo permanente y en grandes superficies forestales (Hall, Skakun, Arsenault, & Case, 2006). El uso de imágenes de satélite es una alternativa porque permiten monitorear eficazmente y hacer estimaciones de atributos forestales mediante relaciones empíricas entre las imágenes del sensor y las mediciones de variables dasométricas derivadas del trabajo de campo como la densidad, altura (Staben, Lucieer, & Scarth, 2018) y volumen forestal (Chrysafis, Mallinis, Gitas, & Tsakiri-Strati, 2017).

En los inventarios forestales se utilizan con frecuencia modelos matemáticos que emplean a las variables de diámetro y altura como predictivas para la estimación del volumen de árboles individuales. Las metodologías utilizadas para estimar el volumen forestal se clasifican en dos grupos: i) métodos directos y ii) métodos indirectos (Aquino-Ramírez, Velázquez-Martínez, Castellanos-Bolaños, De los Santos-Posadas, & Etchevers-Barra, 2015). El método directo implica la destrucción del árbol para su medición en secciones (Ren et al., 2015). En el segundo se relacionan variables fácilmente medibles, pueden ser el diámetro normal y la altura

total. Ambos métodos son complementarios, ya que el primero permite obtener datos para entrenar modelos estadísticos que posteriormente pueden ser empleados para estimar el volumen forestal, sin destruir árbol alguno.

Una gran variedad de métodos estadísticos se han utilizado para encontrar relaciones eficaces entre las imágenes de satélite y los atributos forestales; entre estas se destacan los modelos de regresión lineal (Acosta Mireles, Pérez Miranda, Romero Sánchez, González Hernández, & Martínez Ángel, 2017), los modelos de regresión no lineal, modelos lineales generalizados (Donoghue et al., 2004), modelo de bosque aleatorio (Random Forest), modelo de regresión beta (Coulston et al., 2012), regresión armónica (Wilson, Knight, & McRoberts, 2018) y *multivariate adaptive regression splines* (MARS) (López-Sánchez et al., 2017).

El objetivo del presente estudio fue estimar el volumen forestal a partir de sitios de inventarios forestales obtenidos del SIPlaFor e imágenes de satélite Landsat 8 OLI, en el Ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango, México. La hipótesis es que los datos espectrales, mediante la técnica no paramétrica Random Forest, proveen una estimación del volumen forestal estadísticamente aceptable en comparación con estimaciones convencionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se localiza en la Sierra Madre Occidental en el Ejido La Victoria del Municipio de Pueblo Nuevo, al suroeste del estado de Durango, México (figura 1). Los tipos de clima presentes son templado subhúmedo y semifrío subhúmedo, según García de Miranda (2004). De acuerdo con el INEGI (2019) la temperatura mínima promedio anual es 6 °C y la máxima 24 °C y la precipitación media anual entre 700 y 900 mm. La altitud sobre el nivel del mar varía desde 2,245 m s. n. m. hasta 2,870 m s. n. m. Los tipos de vegetación son bosques de pino y bosques de pino-encino (González-Elizondo, González-Elizondo, Tena-Flores, Ruacho-González, & López-Enríquez, 2012).

Sistema de Planeación Forestal para bosques templados (SiPlaFor)

Se obtuvo el número de observaciones del SiPlaFor (CONAFOR, 2021) para bosques templados con fecha de 2015. Dichos datos cuentan con la autorización de los propietarios de los terrenos forestales del Ejido la Victoria, Pueblo Nuevo, Durango, México, con una superficie de 10,810 ha. La base de datos estuvo conformada con información dasométrica derivada de 4,440 sitios de inventario forestal de forma circular de 1000 m² (figura 1). Cabe mencionar que de dicho sistema se obtienen los cálculos de volumen forestal (m³ ha⁻¹).

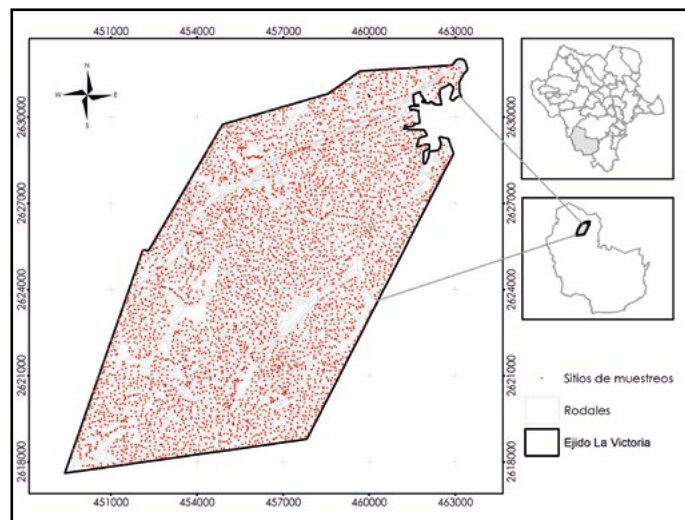


Figura 1. Área de estudio que muestra la capa de rodales bajo aprovechamiento forestal y la ubicación de los sitios de muestreo. Elaboración propia.

En la tabla 1 se observan los estadísticos descriptivos estimados a partir de los datos obtenidos del SiPlaFor.

Tabla 1
Estadística descriptiva de las variables obtenidas en el área de estudio

Variable	Promedio	Desviación Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
Vta	193.96	74.19	13.97	507.65
N	562.31	219.51	70.00	1,910.00
G	24.13	7.51	3.41	58.63
Dg	24.04	4.30	11.34	50.83
h	10.24	2.11	4.67	24.24

Nota: Vta= Volumen forestal (m³ ha⁻¹), N= Números de árboles (ha⁻¹), G= Área basal (m² ha⁻¹), Dg= Diámetro cuadrático (m² ha⁻¹) y h= Altura total (m ha⁻¹). Elaboración propia.

Variables espectrales

Se utilizó una escena de la plataforma satelital LANDSAT del sensor 8 OLI (path 31, row 44) libre de nubes, con fecha 26 de marzo de 2015 con un tamaño de pixel 30*30 m, proporcionadas a través de la página del Servicio Geológico de EE. UU. (USGS) ortorrectificadas y georreferenciadas a la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) Zona 13 Norte. Las bandas espectrales utilizadas de las imágenes Landsat 8 OLI en este estudio fueron: i) B2= azul (0.45 - 0.51 μm), ii) B3= verde (0.53 - 0.59 μm), iii) B4= rojo (0.64 - 0.67 μm); iv) B5= infrarrojo cercano (0.85 - 0.88 μm); v) B6= infrarrojo de onda ondas corta (1.57 - 1.65 μm) vi) B7= infrarrojo de ondas cortas (2.11 - 2.29 μm).

Procesamiento de la imagen

Una vez descargada la imagen, se llevó a cabo una corrección atmosférica conforme a los procedimientos establecidos en el módulo Semi-Automatic Classification Plugin implementado bajo el software QGIS (Congedo, 2016). En dicho procedimiento se transformaron los valores digitales crudos de cada una de las bandas a valores de reflectancia en superficie mediante el método de sustracción de objetos oscuros (DOS-por sus siglas en inglés) con el fin de reducir los efectos de la radiancia registrada en las bandas visibles (Paz Pellat et al., 2018) y así obtener información espectral corregidas atmosféricamente de cada una de las bandas (Brizuela, Aguirre, & Velasco, 2007).

Índices espectrales de vegetación

Se generaron índices de vegetación con el fin de contar con variables espectrales adicionales para evaluar la presencia de vegetación y suelo en la estimación de volumen forestal. Ren et al. (2015) sugieren utilizar varios índices de vegetación para predecir estructuras de los bosques, por lo que mediante transformaciones matemáticas se calcularon 15 índices de vegetación (tabla 2). Estos permiten evaluar cuantitativa y cualitativamente el nivel de desarrollo y estado fitosanitario de la vegetación (Jensen, 2005).

Tabla 2

Índice de vegetación utilizados como variables independientes a evaluar en el presente estudio

No.	Fórmula	Referencias
1	$RVI = \frac{\text{Rojo}}{\text{NIR}}$	Silleos, Alexandridis, Gitas y Perakis (2006)
2	$GVI = \frac{\text{NIR}}{\text{Verde}}$	Sripada, Heiniger, White y Meijer (2006)
3	$DVI = (\text{NIR} - \text{Rojo})$	Tucker (1979)
4	$LAI = (3.618 * \text{EVI} - 0.118)$	Atzberger et al. (2015)
5	$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$	Roujean y Breon (1995)
6	$SLAVI = \frac{\text{NIR}}{\text{Rojo} + \text{NIR}}$	Silleos, Alexandridis, Gitas y Perakis (2006)
7	$NDVI = \frac{\text{NIR} - \text{Rojo}}{\text{NIR} + \text{Rojo}}$	Zhu y Liu (2015)
8	$NLI = \frac{\text{NIR}^2 - \text{Rojo}}{\text{NIR}^2 + \text{Rojo}}$	Goel y Qin (1994)
9	$GNDVI = \frac{\text{NIR} - \text{Verde}}{\text{NIR} + \text{Verde}}$	Gitelson y Merzlyak (1998)
10	$NDBI = \frac{\text{SWIR} - \text{NIR}}{\text{SWIR} + \text{NIR}}$	Zha, Gao y Ni (2003)
11	$SAVI = \frac{(\text{NIR} - \text{Rojo})}{(\text{NIR} + \text{Rojo})} * (1 + L)$	Huete (1988)
12	$OSAVI = \frac{1.5 * (\text{NIR} - \text{Rojo})}{\text{NIR} + \text{Rojo} + 0.16}$	Rondeaux, Steven y Barret (1996)
13	$RDVI = \frac{(\text{NIR} - \text{Rojo})}{\sqrt{(\text{NIR} + \text{Rojo})}}$	Roujean y Breon (1995)
14	$TVI = \sqrt{\frac{\text{NIR} - \text{Rojo}}{\text{NIR} + \text{Rojo}}} + 0.5$	Deering y Rouse (1975)
15	$EVI = 2.5 * \frac{(\text{NIR} - \text{Rojo})}{(\text{NIR} + 6 * \text{Rojo} - 7.5 * \text{Azul} + 1)}$	Huete et al. (2002)

Nota: NIR= infrarrojo cercano, SWIR= infrarrojo de onda corta y L (línea de suelo) es un parámetro que varía según la densidad de la vegetación y que está relacionado con la reflectividad del suelo. Para densidades intermedias, como en el caso de las imágenes de satélite, se toma L= 0.5. Este índice se utiliza con el fin de conseguir corregir algunos efectos externos al valor del NDVI en lugares donde el aporte de la reflectividad del suelo es elevado (Huete, 1988).
Elaboración propia.

Para este estudio los índices que se estimaron fueron Índice de Cociente Simple (RVI), Índice de Vegetación Proporción Verde (GVI), Índice de Diferencia (DVI), Índice del Área Foliar (LAI), Índice de Cociente Simple Normalizado (NRVI), Índice de Vegetación de Área Foliar Específica (SLAVI), Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Índice No Lineal (NLI), Índice de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI), Índice Acumulado de Diferencia Normalizada (NDBI), Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Optimizado (OSAVI), Índice de Vegetación de Diferencias Renormalizadas (RDVI), Índice de Vegetación Transformado (TVI) e Índice de Vegetación Mejorada (EVI) (tabla 2).

Análisis estadístico

Para determinar la relación entre el volumen total ($m^3 ha^{-1}$) y cada una de las bandas espectrales e índices de vegetación se utilizó la técnica no paramétrica Random Forest (RF), algoritmo de aprendizaje supervisado que se deriva de un conjunto de árboles de decisión y los combina para obtener una predicción más precisa y estable (Breiman, 2001). Cada pronóstico se realiza promediando las predicciones individuales de cada uno de los árboles que forman el Forest (*ntree*); sin embargo, reducir el valor de número de variables m elegidas en cada una de las particiones nodales (*mtry*) también puede reducir el presagio de cada árbol individual (González-Campos, 2017).

El volumen forestal se utilizó como variable dependiente y los datos espectrales e índices de vegetación obtenidos por teledetección se usaron como posibles variables predictivas. Breiman (2001) y Liaw y Wiener (2002) mencionan que RF se basa en un conjunto de árboles de decisión; es decir, una muestra entra al árbol y es sometida a una serie de test binarios en cada número de árboles, llamados *split*, hasta llegar a una hoja en la que se encuentra la respuesta. Esta técnica puede ser utilizada para dividir un problema complejo en un conjunto de problemas simples.

El análisis estadístico de RF se realizó de acuerdo con la metodología de Liaw y Wiener (2002) utilizando la librería Random Forest (Liaw & Wiener, 2018) en el entorno de programación R (R Core Team, s. f.). Para este estudio el algoritmo de RF se evaluó en un inicio con 500 árboles individuales, con el fin de evaluar la minimización del error del modelo en función al número de árboles (*ntrees*) con base en las 21 variables elegidas en cada una de las particiones nodales. Posteriormente se realizó una validación cruzada (10-*fold*). Para ello se crearon al azar un conjunto de datos para entrenamiento (80%) y otro para validación (20%), este proceso se realizó mediante el paquete "caret" (Kuhn et al., 2020). Se evaluó el conjunto de validación a fin de reportar la precisión en la predicción, para ello se utilizaron los estadísticos de Coeficiente de Determinación (R^2) y la Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del Error (RMSE). Finalmente se aplicó el modelo de RF para obtención del mapa de volumen forestal en el área de estudio (figura 2).

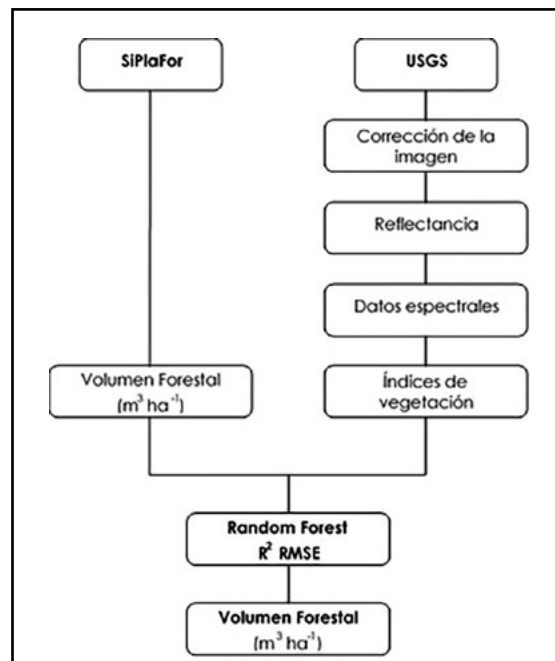


Figura 2. Diagrama de flujo en la estimación de volumen forestal. Elaboración propia.

RESULTADOS

La tasa de error estimada a partir de los datos independientes para clasificar a las variables predictoras fue estable a partir de los 400 árboles de decisión, lo cual significa que con ese número el error se minimiza y estabiliza, como se muestra en la figura 3.

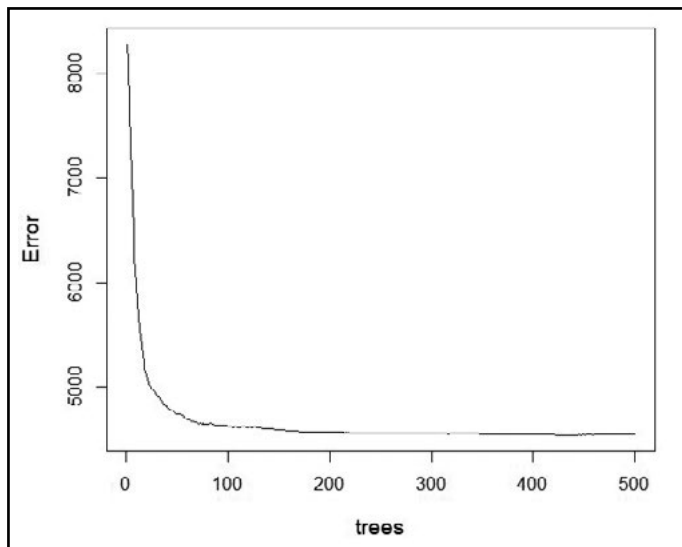


Figura 3. Iteraciones para el análisis de regresión de Random Forest. Elaboración propia.

De las variables independientes en el modelo, tres resultaron de mayor importancia para estimar el volumen total ($m^3 ha^{-1}$). Fueron el SLAVI, TVI y NRVI; el error medio cuadrático de cada variable fue de 12.99%, 13.82% y 15.36%. En contraste, el NDBI, B7 y B5 presentaron valor de error cuadrático más elevado, de 39.93%, 38.65% y 37.46%, respectivamente. En la figura 4 se puede observar también que el NLI, DVI, RVI, B3, y B4 muestran errores cuadráticos de 22.96%, 26.02%, 24.18%, 20.94% y 23.09%, respectivamente. Las variables no mencionadas anteriormente permanecieron en un rango intermedio del error cuadrático.

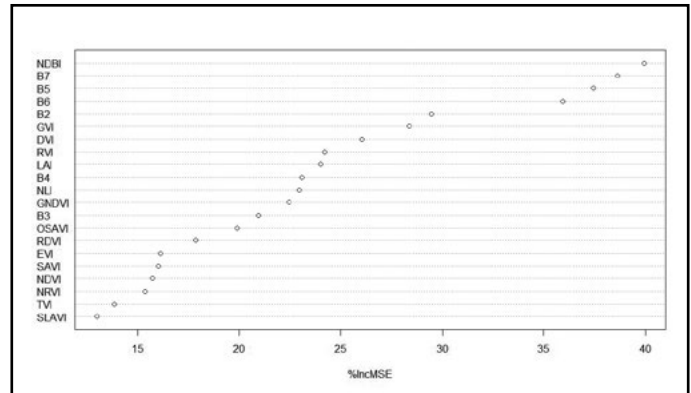


Figura 4. Raíz cuadrada media del error de las variables predictoras en el modelo. Elaboración propia.

En razón a los criterios de selección, después de la validación cruzada el modelo explicó 84% de la variabilidad observada del volumen total, con un RMSE de $28.8 m^3 ha^{-1}$ (figura 5).

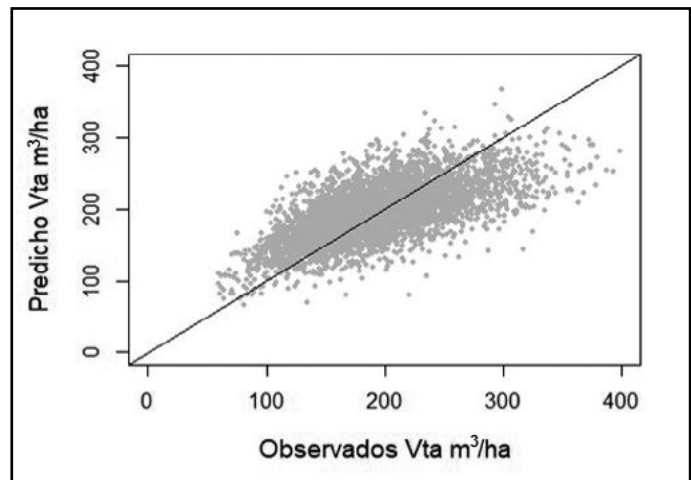


Figura 5. Diagrama de dispersión de volumen predicho para Y vs. volumen observado para X. Elaboración propia.

En la figura 6 se muestra el volumen total. La mayor superficie fue de 4,119.67 ha (38.11%) en la categoría de 150 a 200 $m^3 ha^{-1}$, seguido por 3,416.48 ha correspondiendo a 31.60% en la categoría de 200 a 250 $m^3 ha^{-1}$ y 1,329.88 ha (12.30 %) en el rango de 100 a 150 $m^3 ha^{-1}$. La clase de 300 a 342.85 $m^3 ha^{-1}$ fue la que menor volumen total presentó, con superficie de 31.26 ha (0.29%). El volumen total en el área de estudio para las categorías de 63.32 a 100 $m^3 ha^{-1}$ y de 250 a 300 $m^3 ha^{-1}$ fue una superficie de 95.26 ha (0.88 %) y 759.38 (7.02%) ha.

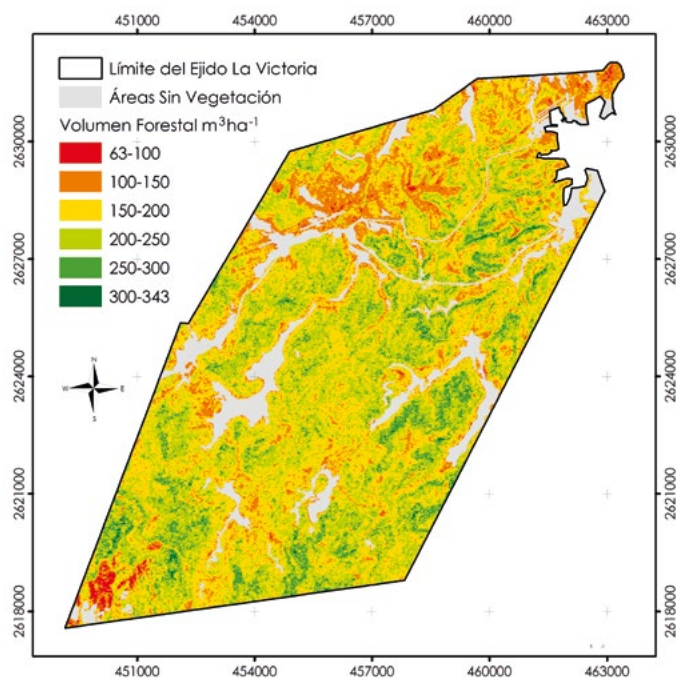


Figura 6. Distribución espacial del volumen forestal total ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) estimado.

Elaboración propia.

DISCUSIÓN

El número de árboles de decisión de 400 estimado en el modelo RF en este trabajo estuvo en el rango obtenido por Belgiu y Drăguț (2016) y Staben et al. (2018), quienes reportaron que el número de árboles de decisión utilizados oscilaba entre 70 y 5,000 y 512 y 4,096, respectivamente; estos autores mencionan que la precisión predictiva del algoritmo RF converge con el aumento del número de árboles de decisión.

En este trabajo las variables, índice de área foliar, Índice de vegetación, datos espectrales rojo (B4), verde (B3) e infrarrojo cercano (B5) poseen un nivel intermedio de importancia para predecir el volumen forestal en el modelo. Estos resultados concuerdan con los reportados por Acosta Mireles et al. (2017), Gemmell (1995), Martínez Barrón et al. (2016), Napolitano, Duriavig, Altobelli y Feoli (2004), Pérez Miranda, Romero Sánchez, González Hernández, Martínez Ángel y Arriola Padilla (2018) y Soria Ruiz y Granados Ramírez (2005).

Sin embargo, investigaciones de Kumar, Sharma, Bhardwaj y Thukral (2018) con imágenes de

satélite Landsat TM, mediante análisis de regresión lineal múltiple y regresión β , se encontró que la banda 3 (rojo) seguida de las bandas 2 (verde) y 4 (infrarrojo cercano) explican la máxima variabilidad en densidad y abundancia; mientras que en la biomasa fue la banda 2 (verde), bandas 3 (rojo) y 4 (infrarrojo cercano). Roy y Ravan (1996) con Landsat TM mediante análisis de regresión lineal reportaron que el infrarrojo visible (espectrales, azul (B2) y verde (B3)) están altamente correlacionadas con la biomasa y el porcentaje de variabilidad; esto se explica por los valores de R^2 , los cuales oscilaron entre 0.67 y 0.75 para $n=22$ y 61.7, 74.4% $n=20$.

Los resultados de ajuste en el presente estudio ($R^2=0.84$; $RMSE=28.88 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$) fueron mayores, en comparación con la investigación realizada por Pérez Miranda et al. (2018), quienes indican que la estimación del volumen $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ mediante el uso de imágenes de satélite del sensor Landsat 7 ETM en tres Unidades de Manejo Forestal (1005, 1006, 1008) en el estado de Durango, México, a través de la implementación de modelo de regresión lineal simple, encontraron un R^2 de 0.66 y un $RMSE$ de 30.19; por otro lado, Astola, Häme, Sirro, Molinier y Kilpi (2019), en un estudio realizado en bosque boreal en Finlandia con imágenes del sensor Sentinel-2 y Landsat 8 OLI, con métodos de red Perceptrón Multicapa (MPL) y árboles de regresión, los cuales obtuvieron un R^2 de 0.56 y 0.38 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ y $RMSE$ de 59.3% y 72.2%, respectivamente, en la estimación de volumen de fuste ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

La $RMSE$ en este estudio fue mayor que la reportada por Mura et al. (2018), donde la que mejor se ajustó para la determinación de volumen de madera en pie en ecosistemas forestales en dos áreas de estudio en Italia fue de 6.84% para el sensor Landsat y de 22.94% para Sentinel-2, ambos con un sistema k-NN basado en una matriz de distancia calculada con el algoritmo de RF y por Acosta Mireles et al. (2017), quienes reportan una R^2 de 0.47, 0.54 y $RMSE$ de 17.92 y 13.18 para la estimación de volumen por ha con imágenes de satélite del sensor Landsat 7 ETM+, al suroeste del Estado de México.

En el suroeste de Columbia Británica Gemmell (1995) estimó el volumen de madera en especies de coníferas mixtas con datos de Landsat (TM) y encontró que la clasificación de los polígonos de inventarios con datos espectrales tiene una precisión de 0.78 (R^2) dentro de 25% del volumen de inventario entre la clase de 130 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ y 300 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, en las

clases inferiores a $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ una precisión (R^2) de 0.44. Estos resultados son similares con la presente investigación, donde en la categoría de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ es de 0.76 (R^2) y en la categoría inferiores de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ la precisión fue 0.13 (R^2), por consiguiente, los datos espectrales con información de inventarios forestales ajustan bien en la predicción de volumen forestal en la categoría de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ a $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Los datos espectrales e índices de vegetación utilizados en este estudio difieren con Pérez Miranda et al. (2018), quienes sugieren probar imágenes de alta resolución para mejorar las estimaciones; sin embargo, al utilizar imágenes de media resolución como Landsat 8 se obtienen buenos resultados, como en el presente estudio. Por otro lado, Torres-Rojas et al. (2016) reportaron que el uso de detección remota de alta resolución espacial no mejora sustancialmente las estimaciones de atributos forestales. Por lo anterior es necesario seguir explorando nuevas metodologías (Ortiz-Reyes et al., 2015).

CONCLUSIONES

El índice de vegetación de área foliar específica (SLAVI), el de vegetación transformado (TVI) y el de cociente simple normalizado (NRVI) de la imagen de satélite son indicadores sensibles para estimar el volumen total ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Los datos de las imágenes de satélite Landsat 8 se pueden utilizar para estimar el volumen total ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) con 85% de precisión y pueden aplicarse en otros sitios que posean características similares a los sitios evaluados en este estudio. Los resultados mostraron que es posible estimar el volumen forestal total mediante el uso de tecnología Landsat 8 OLI, técnica no paramétrica de RF y datos derivados de la plataforma digital SiPlaFor, de tal manera que en un futuro se puedan utilizar como fuente de datos para este tipo de fines.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Dgo., México por facilitar los datos del inventario.

REFERENCIAS

- Acosta Mireles, M., Pérez Miranda, R., Romero Sánchez, M. E., González Hernández, A., & Martínez Ángel, L. (2017). Estimación de la densidad forestal mediante imágenes Landsat ETM+ en la región sur del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(41), 30-55.
- Aquino-Ramírez, M., Velázquez-Martínez, A., Castellanos-Bolaños, J. F., de los Santos-Posadas, H. M., & Etchevers-Barra, J. D. (2015). Partición de la biomasa aérea en tres especies arbóreas tropicales. *Agrociencia*, 49(3), 299-314.
- Astola, H., Häme, T., Sirro, L., Molinier, M., & Kilpi, J. (2019). Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 imagery for forest variable prediction in boreal region. *Remote Sensing of Environment*, 223, 257-273. doi: 10.1016/j.rse.2019.01.019
- Atzberger, C., Darvishzadeh, R., Immitzer, M., Schlerf, M., Skidmore, A., & Le Maire, G. (2015). Comparative analysis of different retrieval methods for mapping grassland leaf area index using airborne imaging spectroscopy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 43, 19-31. doi: 10.1016/j.jag.2015.01.009
- Belgiu, M., & Drăgut, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5-32. doi: 10.1023/A:1010933404324
- Brizuela, A. B., Aguirre, C. A., & Velasco, I. (2007). Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. En A. Grisotto, M. Sacido, & R. Rivas, *Teledetección. Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional* (pp. 207-214). Argentina: Martín.
- Chrysafis, I., Mallinis, G., Gitas, I., & Tsakiri-Strati, M. (2017). Estimating Mediterranean forest parameters using multi seasonal Landsat 8 OLI imagery and an ensemble learning method. *Remote Sensing of Environment*, 199, 154-166. doi: 10.1016/j.rse.2017.07.018
- Comisión Nacional Forestal. (2021). SiPlaFor. Sistema de Planeación Forestal para bosque templado [Base de datos]. Recuperada de <http://siplafor.cnf.gob.mx/siplafor/inicio/>
- Congedo, L. (2016). *Semi-automatic classification plugin documentation. Release 6.0.1.1* [Complemento de código abierto]. doi: 10.13140/RG.2.2.29474.02242/1
- Coulston, J. W., Moisen, G. G., Wilson, B. T., Finco, M. V., Cohen, W. B., & Brewer, C. K. (2012). Modeling percent tree canopy cover: A pilot study. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(7), 715-727. doi: 10.14358/PERS.78.7.715
- Deering, D. W., & Rouse, J. (1975). Measuring forage production of grazing units from Landsat MSS data. In J. J. Cook, *Proceedings of the Tenth International Symposium on Remote Sensing of Environment* (pp. 1169-1198). US: Environmental Research Institute of Michigan.
- Donoghue, D. N. M., Watt, P. J., Cox, N. J., Dunford, R. W., Wilson, J., Stables, S., & Smith, S. (2004). An evaluation of the use of satellite data for monitoring early development of young Sitka spruce plantation forest growth. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 77(5), 383-396. doi: 10.1093/forestry/77.5.383

- Elagouz, M. H., Abou-Shleel, S. M., Belal, A. A., & El-Mohandes, M. A. O. (2020). Detection of land use/cover change in Egyptian Nile Delta using remote sensing. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(1), 57-62. doi: 10.1016/j.ejrs.2018.10.004
- Fokeng, R. M., Forje, W. G., Meli, V. M., & Bodzemo, B. N. (2020). Multi-temporal forest cover change detection in the Metchie-Ngomou Protection Forest Reserve, West Region of Cameroon. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(1), 113-124. doi: 10.1016/j.ejrs.2018.12.002
- García de Miranda, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5a ed., 97 pp.). México, D. F., México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- Gemmell, F. M. (1995). Effects of forest cover, terrain, and scale on timber volume estimation with Thematic Mapper data in a rocky mountain site. *Remote Sensing of Environment*, 51(2), 291-305. doi: 10.1016/0034-4257(94)00056-5
- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1998). Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves. *Advances in Space Research*, 22(5), 689-692. doi: 10.1016/S0273-1177(97)01133-2
- Goel, N. S., & Qin, W. (1994). Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: A computer simulation. *Remote Sensing Reviews*, 10(4), 309-347. doi: 10.1080/02757259409532252
- González-Campos, V. P. (2017). *Modelado mediante random forests de las emisiones de autobuses urbanos en función de los ciclos cinemáticos* (Trabajo de fin de grado, 132 pp.). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, I. L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 351-403. doi: 10.21829/abm100.2012.40
- Hall, R. J., Skakun, R. S., Arsenault, E. J., & Case, B. S. (2006). Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of aboveground biomass and stand volume. *Forest Ecology and Management*, 225(1-3), 378-390. doi: 10.1016/j.foreco.2006.01.014
- Hernández-Guzmán, R., Ruiz-Luna, A., & González, C. (2019). Assessing and modeling the impact of land use and changes in land cover related to carbon storage in a western basin in Mexico. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 318-327. doi: 10.1016/j.rsase.2018.12.005
- Huerta-García, R. E., Ramírez-Serrato, N. L., Yépez-Rincón, F. D., & Lozano-García, D. F. (2018). Precision of remote sensors to estimate aerial biomass parameters: Portable LIDAR and optical sensors. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(2), 219-235. doi: 10.5154/r.rchscfa.2017.09.059
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309. doi: 10.1016/0034-4257(88)90106-X
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1), 195-213. doi: 10.1016/S0034-4257(02) 00096-2
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). Conjunto de datos vectoriales del continuo nacional de efectos climáticos regionales escala 1: 250 000, en formato digital [Mapa]. México. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/default.html>
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective* (3a ed., 526 pp.). New York: Pearson Prentice Hall.
- Kangabam, R. D., Selvaraj, M., & Govindaraju, M. (2019). Assessment of land use land cover changes in Loktak Lake in Indo-Burma Biodiversity Hotspot using geospatial techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(2), 137-143. doi: 10.1016/j.ejrs.2018.04.005
- Kuhn, M., Wing, J., Weston, S., Williams, A., Keefer, C., Engelhardt, A., ... Benesty, M. (2020). Package 'caret'. Classification and regression training. Version 6.0-86 [Documento en pdf]. Recuperado de <https://cran.r-project.org/web/packages/caret/caret.pdf>
- Kumar, V., Sharma, A., Bhardwaj, R., & Thukral, A. K. (2018). Comparison of different reflectance indices for vegetation analysis using Landsat-TM data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 70-77. doi: 10.1016/j.rsase.2018.10.013
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. *R news*, 2(3), 18-22. Recuperado de <https://cogms.northwestern.edu/cbmg/LiawAndWiener2002.pdf>
- _____ (2018). Package "randomForest". Breiman and Cutler's random forests for classification and regression. Version 4.6-14 [Documento en pdf]. Recuperado de <https://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/randomForest.pdf>
- López-Sánchez, C. A., García-Ramírez, P., Resl, R., Hernández-Díaz, J. C., López-Serrano, P. M., & Wehenkel, C. (2017). Modelling dasometric attributes of mixed and uneven-aged forests using Landsat-8 OLI spectral data in the Sierra Madre Occidental, Mexico. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 10(1), 288-295. doi: 10.3832/ifor1891-009
- Martínez Barrón, R. A., Aguirre Calderón, O. A., Vargas Larreta, B., Jiménez Pérez, J., Treviño Garza, E. J., & Yamallel, J. I. (2016). Modelación de biomasa y carbono arbóreo aéreo en bosques del estado de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(35), 91-106.
- Mura, M., Bottalico, F., Giannetti, F., Bertani, R., Giannini, R., Mancini, M., ... Chirici, G. (2018). Exploiting the capabilities of the Sentinel-2 multi spectral instrument for predicting growing stock volume in forest ecosystems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 66, 126-134. doi: 10.1016/j.jag.2017.11.013
- Napolitano, R., Duriavig, M., Altobelli, A., & Feoli, E. (2004). Data integration for leaf area index prediction in function of land cover change. En P. Prastacos, U. Cortés, J.L. Díaz de León, & M. Murillo (Eds.), *Series Research on Computing Science: Vol. 11. e-Environment: Progress and Challenge*. México, D. F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Ogunbadewa, E. Y. (2012). Developing natural resources database with Nigeriasat-1 satellite data and geographical information systems. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 15(2), 207-214. doi: 10.1016/j.ejrs.2012.04.002

- Ortiz-Reyes, A. D., Valdez-Lazalde, J. R., de los Santos-Posadas, H. M., Ángeles-Pérez, G., Paz-Pellat, F., & Martínez-Trinidad, T. (2015). Inventario y cartografía de variables del bosque con datos derivados de LiDAR: Comparación de métodos. *Madera y Bosques*, 21(3), 111-128. doi: 10.21829/myb.2015.213461
- Osaku, D., Nakamura, R. Y. M., Pereira, L. A. M., Pisani, R. J., Levada, A. L. M., Cappabianco, F. A. M., ... Papa, J. P. (2015). Improving land cover classification through contextual-based optimum-path forest. *Information Sciences*, 324, 60-87. doi: 10.1016/j.ins.2015.06.020
- Paz Pellat, F., Palacios Sánchez, L. A., Oropeza Mota, J. L., Figueroa Sandoval, B., Martínez Menez, M., Ortiz Solorio, C. A., & Exebio García, A. (2018). Corrector atmosférico en imágenes Landsat. *Terra Latinoamericana*, 36(4), 309-321. doi: 10.28940/terra.v36i4.232
- Pérez Miranda R., Romero Sánchez, M. E., González Hernández, A., Martínez Angel, L., & Arriola Padilla V. J. (2018). Estimación de atributos forestales mediante teledetección en bosques mixtos de Durango, México. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 4(2): 49-70. doi: 10.18242/anpscripta.2018.04.04.02.0003
- R Core Team (s. f.). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <https://www.R-project.org/>
- Ren, Z., Zheng, H., He, X., Zhang, D., Yu, X., & Shen, G. (2015). Spatial estimation of urban forest structures with Landsat TM data and field measurements. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(2), 336-344. doi: 10.1016/j.ufug.2015.03.008
- Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55(2), 95-107. doi: 10.1016/0034-4257(95)00186-7
- Roujean, J. L., & Breon, F. M. (1995). Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51(3), 375-384. doi: 10.1016/0034-4257(94)00114-3
- Roy, P. S., & Ravan, S. A. (1996). Biomass estimation using satellite remote sensing data—An investigation on possible approaches for natural forest. *Journal of Biosciences*, 21(4), 535-561. doi: 10.1007/BF02703218
- Silleos, N. G., Alexandridis, T. K., Gitas, I. Z., & Perakis, K. (2006). Vegetation indices: Advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. *Geocarto International*, 21(4), 21-28. doi: 10.1080/10106040608542399
- Soria Ruiz, J., & Granados Ramírez, R. (2005). Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AVHRR del satélite NOAA y TM del Landsat. *Ciencia ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 12(2), 167-174.
- Sripada, R. P., Heiniger, R. W., White, J. G., & Meijer, A. D. (2006). Aerial color infrared photography for determining early in-season nitrogen requirements in corn. *Agronomy Journal*, 98(4), 968-977. doi: 10.2134/agronj2005.0200
- Staben, G., Lucieer, A., & Scarth, P. (2018). Modelling LiDAR derived tree canopy height from Landsat TM, ETM+ and OLI satellite imagery—A machine learning approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 666-681. doi: 10.1016/j.jag.2018.08.013
- Torres-Rojas, G., Romero-Sánchez, M. E., Velasco-Bautista, E., & González-Hernández, A. (2016). Estimación de parámetros forestales en bosques de coníferas con técnicas de percepción remota. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(36), 7-24.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. doi: 10.1016/0034-4257(79)90013-0
- Wilson, B. T., Knight, J. F., & McRoberts, R. E. (2018). Harmonic regression of Landsat time series for modeling attributes from national forest inventory data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 137, 29-46. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2018.01.006
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594. doi: 10.1080/01431160304987
- Zhu, X., & Liu, D. (2015). Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 102, 222-231. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.08.014

Desgasificación con NaCl: Un método para incrementar las propiedades mecánicas de una aleación de aluminio A 319

Degassing with NaCl: A method for increasing the mechanical properties of an aluminum alloy A 319

Rubin Ortega-De la Rosa*✉, J. Edgardo Estrada-De la Torre*, Marco Alonso García-Romero*, Omar Rocha-Echavarría*, Pedro Antonio Bañuelos-Ruiz*

Ortega-De la Rosa, R., Estrada-De la Torre, J. E., García-Romero, M. A., Rocha-Echavarría, O., & Bañuelos-Ruiz, P. A. (2020). Desgasificación con NaCl: Un método para incrementar las propiedades mecánicas de una aleación de aluminio A 319. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(81), 50-57.

RESUMEN

Se analizó el efecto de desgasificación con NaCl tipo Halita sobre la morfología del Si eutéctico, la porosidad y las propiedades mecánicas de una aleación de Al A 319. La fusión del aluminio con la sal encapsulada se realizó en un horno eléctrico marca A/SS S. FREDERIKSEN a una temperatura de 760 °C durante 30 min, con el objetivo de lograr una homogeneización adecuada de la sal en la aleación de Al se hizo una agitación suave del metal líquido. Las cargas empleadas fueron trozos con dimensiones de 5 cm de largo por 8 cm de espesor para introducirlos en el crisol. Con los porcentajes de NaCl utilizados (1.2 y 3% del peso de la aleación) en el baño metálico la modificación más favorable se logró con 3% y un tamaño de partícula menor a 100 µm, la disociación del ion Cl permitió la eliminación del H, la porosidad

Palabras clave: desgasificación; morfología; porosidad; homogeneización; aleación; disociación.

Keywords: degassing; morphology; porosity; homogenization; alloy; dissociation.

Recibido: 14 de octubre de 2019, aceptado: 24 de septiembre de 2020

* Departamento de Metal-Mecánica, Instituto Tecnológico de Zacatecas, Tecnológico Nacional de México. Carretera Panamericana entronque a Guadalajara s/n, La escondida, C. P. 98000, Zacatecas, Zac., México. Correo electrónico: rubin.or@itz.edu.mx; edgardo.estrada@itz.edu.mx; marco.garcia@itz.edu.mx; rochaechavarría@hotmail.com; pedro_anbr@outlook.es ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9357-924X>; <http://orcid.org/0000-0002-9488-0736>; <http://orcid.org/0000-0002-9551-5204>; <http://orcid.org/0000-0003-4794-2727>; <http://orcid.org/0000-0002-4851-1198>

✉ Autor para correspondencia

disminuyó, produciendo una mejora en las principales propiedades mecánicas como dureza y resistencia a la tensión.

ABSTRACT

The effect of degassing with Halita-type NaCl on the morphology of the eutectic Si, the porosity and the mechanical properties of an A 319 Al alloy was analyzed. The fusion of the Al with the encapsulated salt was performed in an A/SS electric oven S. FREDERIKSEN at a temperature of 760 °C, for 30 minutes, in order to achieve an adequate homogenization of the salt in the Al alloy, gentle agitation of the liquid metal was made. The loads were pieces with dimensions of 5 cm long and 8 cm thick to introduce them into the melting pot.

With the percentages of NaCl used (1, 2 and 3% of the weight of the alloy) in the metal bath, the most favorable modification was achieved with 3% and a particle size of less than 100 µm, the dissociation of the chlorine ion allowed the removal of H, the porosity decreased, producing an improvement in the main mechanical properties such as hardness and tensile strength.

INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de Al (aluminio) son generalmente utilizadas en la industria automotriz y aeroespacial. Constituyen en términos de tonelaje el segundo grupo más grande de consumo de metales después de las

aleaciones de hierro vaciado (Chiesa & Baril, 2016) y, en particular, las tipo Al-Si son ampliamente utilizadas en la industria automotriz (Hirsch, 2014), estructuras aeroespaciales y aplicaciones militares debido a sus buenas propiedades mecánicas, bajo peso, buena soldabilidad, buena conductibilidad térmica, relativamente alta resistencia a alta temperatura, excelente resistencia a la corrosión, así como excelente fluidez al vaciado (Ravi, Pillai, Amaranathan, Pai, & Chakraborty, 2008). El H (hidrógeno) es el único gas que tiene una solubilidad apreciable en el Al y sus aleaciones, su solubilidad varía directamente con la temperatura y la raíz cuadrada de la presión.

En el punto de fusión del Al puro hay un incremento de solubilidad de H de 0.68 ml/100 g de Al (Miller et al., 2000), al transformar del estado sólido (0.02 ml/100 g de Al) al estado líquido (0.7 ml/100 g de Al). En el estado líquido también se observa una fuerte dependencia con la temperatura. En la solidificación (Mo, He, Hu, Liu, & Zhang, 2010) casi todo el H disuelto en el líquido es rechazado por el enfriamiento; también se ha reportado (Tenekedjiev, Mulazimoglu, Closset, & Gruzleski, 1995) que la porosidad se debe a dos factores: por el efecto de burbujas de H y por contracción (rechupes). Debido a la evolución de las microestructuras durante el proceso de solidificación la microestructura no solamente determina las propiedades mecánicas, también define los límites del diseño de vaciado, la colabilidad de la aleación y la susceptibilidad a la formación de defectos.

La forma del Si (silicio) eutéctico juega un papel muy importante en las propiedades mecánicas de las aleaciones Al-Si, particularmente en su resistencia a la elongación, lo que incrementa su ductilidad mediante el refinamiento estructural del Si eutéctico (Sun, Pang, Liu, Yang, & Sun, 2011), cuya fase es inherentemente frágil; sin embargo, su morfología se modifica de placas aciculares gruesas a una estructura fibrosa (similar a una alga marina) o laminar fina, mediante la adición de pequeñas cantidades de los elementos de la familia IA, IIA y tierras raras de la tabla periódica, o bien, con velocidades de enfriamiento altas (Martínez, Cisneros, Valtierra, & Lacaze, 2005). El Sr (estroncio), Na (sodio) y Sb (antimonio) son los tres elementos modificadores más utilizados comercialmente para tratar las aleaciones fundidas de Al-Si (Nampoothiri, Balasundar, Raj, Murty, & Ravi, 2018).

Han reportado la modificación del eutéctico Al-Si con Ba (bario), Ca (calcio), Y (itrio) e Yb (iterbio), proponiendo sus mecanismos de solidificación. Por ello es necesario manipular la morfología del eutéctico formado con elementos tales como Sr o el Na y, dado que el único gas susceptible a disolverse en estas aleaciones es el H, su eliminación (Uribe Pérez, Velosa Pacheco, & Zabala Capacho, 2011) se hace normalmente por tres medios con la inyección de gases inertes con la finalidad de disminuir la presión parcial del H en el baño metálico, por otro lado, también se han utilizado compuestos químicos base F (flúor) para eliminar el H mediante nitruración química, una práctica como es utilizar Cl en forma gaseosa; sin embargo, estas prácticas van en contra de las políticas del cuidado del medio ambiente. Martínez, Lacaze, Cisneros y Valtierra (2004) reportaron resultados favorables de desgasificación y modificación de aleaciones de Al utilizando sal común (o Halita), proponiendo este compuesto como nueva alternativa para esta finalidad; sin embargo, no presentan estudios de propiedades mecánicas.

Se encontró que el Na y el Sr reaccionan con el Sb formando una serie de precipitados en el material fundido. El efecto de la adición combinada del Na y el Sr es prácticamente el mismo que el del Na al inicio; es decir, el cambio morfológico obtenido en ambos casos (Sr-Na y Na) fue el mismo; no obstante, ellos encontraron que después de un tiempo de mantenimiento a 730 °C hay una interacción negativa entre estos dos modificadores, lo cual se debe a una pérdida por evaporación de estos elementos.

De todos los elementos modificadores el Na es el más poderoso, produce estructuras modificadas más uniformes a más bajas concentraciones que las que se producen con los demás; sin embargo, debido a que es un elemento muy reactivo se ha limitado su uso en la industria debido a que se ha reportado que esta fuerte reacción origina absorción de hidrógeno de atmósfera y daño estructural en los aceros (Onyia, Okorie, Neife, & Obayi, 2013). Bäck-erud, Chai y Tamminen (1990) reportan que después de dos fundiciones la acción modificadora del Na prácticamente desaparece, lo cual no ha sido observado respecto al Sr.

En este trabajo se pretendió demostrar que la incorporación del NaCl durante el proceso de fusión y su permanencia a temperatura de 760 °C durante 30 min favorece la disociación del NaCl y permite

que sus derivados actúen de manera individual; el Cl como agente desgasificador y el Na como modificador. Además, la disociación de NaCl en el metal líquido reducirá la porosidad y modificará el eutéctico Al-Si, lo que producirá una mejora en las propiedades mecánicas de la aleación Al-Si hipoeutéctica. Cabe mencionar que la sal que se utilizó en este trabajo fue obtenida en los yacimientos de la región, que se ubican en Salinas de Santo Domingo, Unidad Santa María, S. A. de C. V. en el km 73 de la carretera Zacatecas-Salttillo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación y análisis granulométrico de NaCl

La preparación de las materias primas, antes de su caracterización, comprendió las siguientes etapas:

- Homogeneización
- Cuarteo
- Muestreo

La homogeneización de aproximadamente 18 kg de la materia prima se realizó mecánicamente. El cuarteo se llevó a cabo hasta llegar a 2 kg de muestra. Se utilizó un mortero para reducir el tamaño de partícula, se hizo pasar el NaCl por una malla de apertura de $> 35 \mu\text{m}$. Una vez preparado el NaCl se tomó una muestra de 150 g y se realizó un análisis químico para determinar su pureza y granulometría. La pureza de la materia prima mineral fue determinada por difracción de rayos X, lo que dio como resultado 99.95% de pureza.

Cálculo de las cargas y preparación de las mismas para la fusión

El peso de la aleación A 319 fue de 1,400 gr y, de acuerdo con las tres condiciones experimentales de 1, 2 y 3% en peso del NaCl, corresponden a 14, 28 y 42 g de cada muestra. Para la preparación de las cargas se utilizó un lingote de Al de aleación A 319 con dimensiones de 80 cm de largo por 8 cm de espesor y se obtuvieron trozos del mismo con dimensiones de 5 cm de largo por 8 cm de espesor para ser introducidos en el crisol, se utilizó una segueta industrial para cortar los trozos. Estos se pesaron para introducir la carga de 1,400 g. En la figura 1 se encuentra un diagrama con el diseño experimental.

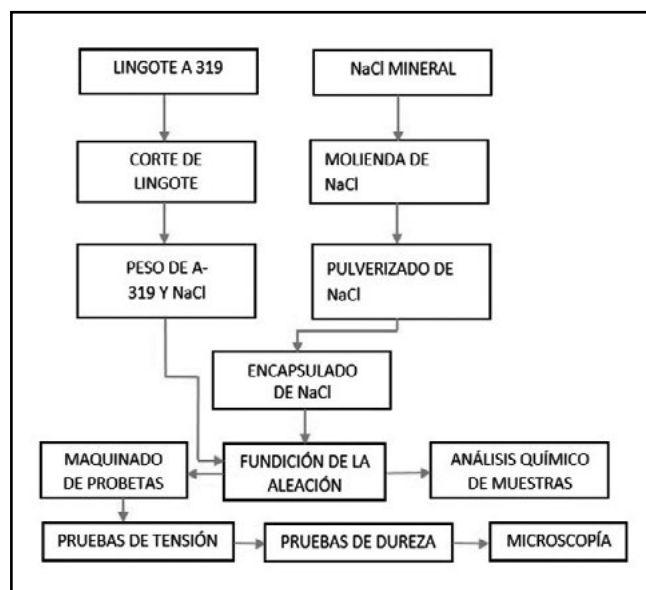


Figura 1. Diseño experimental.
Elaboración propia.

Encapsulado de la sal y fundición con Al

Los trozos de lingote y la sal se pesaron en una báscula analítica para la obtención de las cargas. Los fragmentos ya pesados fueron barrenados para la encapsulación de la sal con una broca de acero rápido de 31/64", se perforaron de uno a dos barrenos con un taladro de columna. La fusión del Al con la sal encapsulada se realizó en un horno eléctrico marca A/SS S. FREDERIKSEN OLGOD MODELO GPC 12/131 a 760 °C durante 30 min, con el objetivo de lograr una homogeneización adecuada de la sal en la aleación de Al y además de romper las cápsulas de sal con cubierta de Al que se forman se hizo una agitación suave del metal líquido.

Vaciado de la aleación

Una vez que se alcanzó la temperatura de fusión y el tiempo de homogeneización se descorificó la aleación de Al-Si y se vació en los moldes de grafito. Los moldes de grafito se precalentaron previamente a 150 °C para eliminar la humedad y permitir una solidificación adecuada. Una vez vaciado el Al en los moldes se dejó enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Preparación y maquinado de las probetas

Las probetas para ensayo de tensión se maquinaron en el torno ICA 120NRT de acuerdo con la norma estándar ASTM E8. Los radios y cuellos se pulieron para eliminar ralladuras y, con ello, las posibles concentraciones de esfuerzos; esto se logró utilizando papel de SiC de granulometría 240, 320, 400, 480, 500 y 600.

Análisis químico de las condiciones tratadas con NaCl

El análisis químico de las condiciones MB, C1, C2 y C3 (metal base, espécimen con 1% en peso de NaCl, 2% en peso de NaCl y 3% en peso de NaCl) se llevó a cabo por medio de análisis de chispa en el laboratorio de la empresa fundición JV, S. A. de C. V. en Ramos Arizpe, Coahuila. Las muestras fueron careadas para posteriormente desbastar con papel de SiC de granulometría 240 (tabla 1).

Pruebas de tensión y dureza

Las pruebas de tensión se realizaron en una máquina universal SHIMADZU MG-1, de 100KN de capacidad, con un avance 1mm/min. Las pruebas de dureza se realizaron en un durómetro O.M.A.G Brevetti AFFRI 206 RT con un penetrador de bola 1/16", carga de 100 Kgf y 980 Newton en la escala de Rockwell B. Las probetas utilizadas se carearon y desbastaron utilizando papel de SiC con granulometría 400.

Microscopía metalográfica

Las muestras obtenidas se analizaron por microscopía óptica con el fin de observar los cambios microestructurales presentes en las diferentes composiciones. Los resultados obtenidos se muestran posteriormente.

RESULTADOS

Análisis granulométrico del NaCl

El objetivo de esta prueba fue encontrar la distribución de tamaño de grano de sal para determinar el tamaño de partícula más factible para el ensayo.

Análisis espectrométrico

Se realizó un análisis químico por el método de espectrometría de emisión de arco eléctrico (chispa).

Tabla 1
Composición química de las aleaciones

Nº Lote	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Fe	Cr	Ni	Na	Al
MB	6.37	2.54	0.405	0.327	0.548	0.550	-----	0.02	-----	87.03
C1	6.39	2.5	0.303	0.358	0.537	0.449	0.033	0.022	0.0009	87.27
C2	6.51	2.43	0.579	0.238	0.495	0.460	0.093	0.025	0.0018	86.67
C3	6.61	2.26	0.278	0.319	0.449	0.453	0.039	0.03	0.0027	87.42

Nota: Elaboración propia.

La cantidad de Na disociado en el metal líquido proveniente de NaCl en diferentes porcentajes observó un aumento lineal en su concentración conforme se añade sal.

Microscopía

En el inciso a de la figura 2 se presentan las microfotografías de las composiciones analizadas por microscopía óptica, donde se observa la modificación de la microestructura.

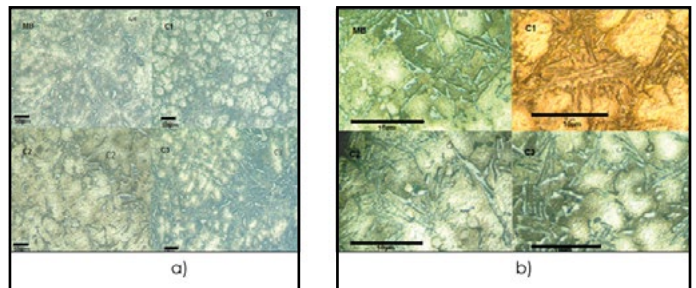


Figura 2. Fotomicrografías a 500X y 1000X de las composiciones MB sin adición y, C1, C2 y C3 modificadas con adición de Na. Imágenes del equipo de investigación.

En el inciso b de la figura 2 se presentan las microfotografías de las composiciones, donde se puede observar con mayor detalle la modificación de las agujas de Si eutéctico.

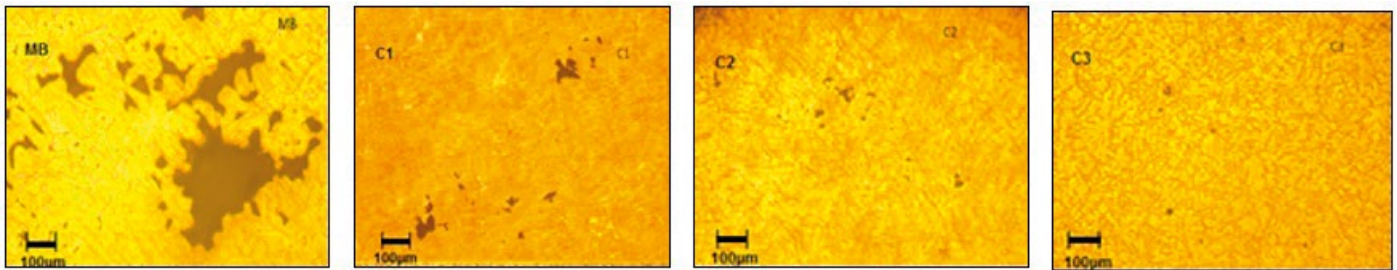


Figura 3. Fotomicrográficas a 10X de las composiciones MB, C1, C2 y C3 donde se muestra la presencia de porosidad. Imágenes del equipo de investigación.

Porosidad

Se realizó un mapeo superficial para detectar las zonas críticas con mayor porosidad, las cuales se ilustran en la figura 3.

Medición de la microestructura

Para evaluar la variación de tamaño de la microestructura se realizó una medición mediante

un analizador de imágenes con el software ImageJ, los resultados obtenidos se muestran en la figura 4. Se realizó una medición del Espacio Dendrítico primario, cuyos resultados se reportan en el inciso c de la figura 4, en donde se pudo notar una tendencia a la disminución de dicho parámetro conforme aumentó la sal disociada.

Finalmente se realizó una medición de la longitud de las agujas de eutéctico con el analizador de imágenes ImageJ, cuyos resultados se muestran en el inciso d de la figura 4.

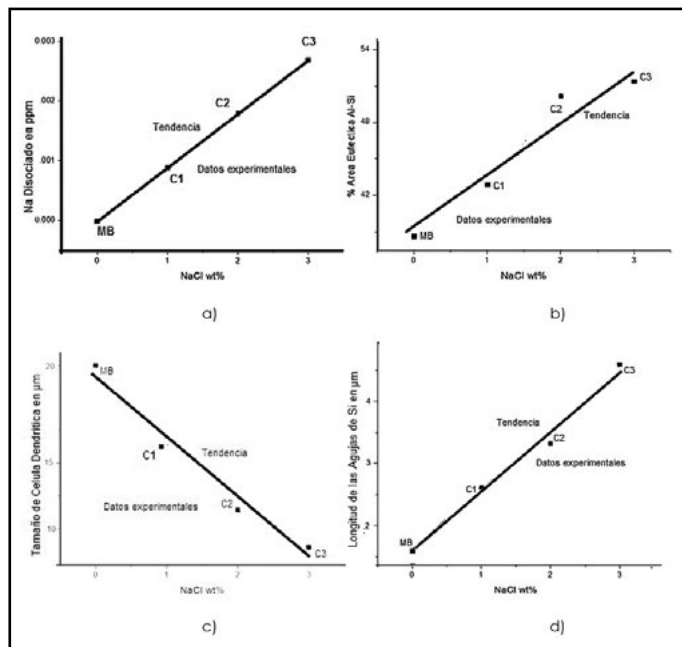


Figura 4. Pruebas mecánicas. a) Porcentajes de Na presentes en las aleaciones como función de la disociación. b) Resultados de la medición del porcentaje de área eutéctica Al-Si en función del contenido de sal. c) Resultados de la medición del tamaño de espacio dendrítico secundario en función del contenido de sal. d) Resultados de la medición de longitud de agujas de eutéctico Al-Si en función del contenido de sal. Elaboración propia.

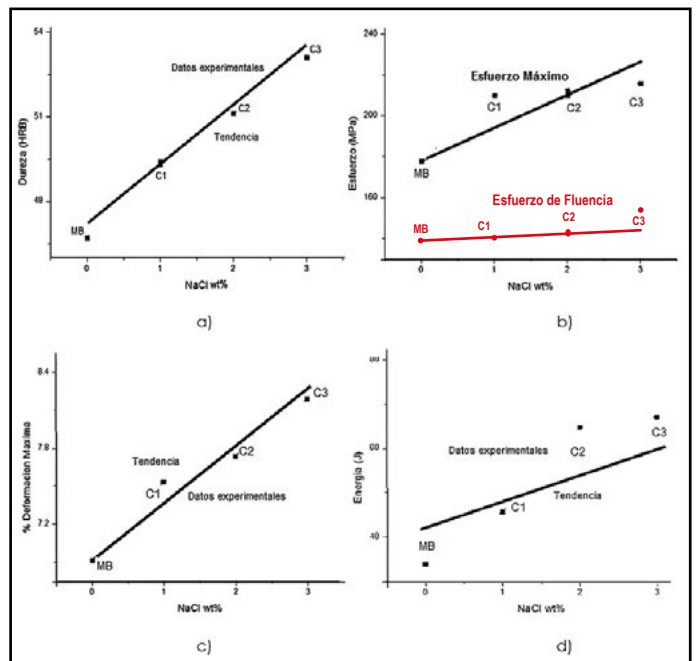


Figura 5. Pruebas mecánicas (continuación). a) Resultados de la prueba de dureza de las muestras analizadas en función del contenido de NaCl. b) Resultados de las pruebas de esfuerzo máximo en función del porcentaje de NaCl. c) Resultados de la prueba de deformación máxima de las muestras analizadas en función del contenido de NaCl. d) Resultados de la prueba de energía de ruptura de las muestras analizadas en función del contenido de NaCl. Elaboración propia.

Medición de las propiedades mecánicas: Dureza, esfuerzo máximo y de fluencia, porcentaje de deformación y energía

En el inciso a de la figura 5 pueden observarse los resultados obtenidos en cuanto a los ensayos de dureza. En el inciso b de la figura 5 se reportan los resultados de las pruebas de esfuerzo máximo en función del porcentaje de NaCl. Para este caso se consideró analizar 20 muestras, cinco por cada concentración de porcentaje de NaCl más el metal

base. En cuanto a deformación máxima, en el inciso c de la figura 5 se presentan los resultados de la prueba. Al añadir mayor cantidad de NaCl se tiene una mayor cantidad de deformación, puesto que el esfuerzo soportado es mayor. Otro de los efectos de la modificación microestructural es un aumento en la energía de ruptura, la cual se observa en el inciso d de la figura 5. Los resultados de la medición de las propiedades mecánicas, así como la medición de la microestructura se concentran en la tabla 2.

Tabla 2
Resultados de las pruebas mecánicas realizadas en las muestras analizadas

Condición	% de Área de Eutéctico	EDS (μm)	Dureza (HRB)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Energía (J)
MB	39.45	21.69	46.7	177.74	138.58	42.13
C1	43.7	17.02	49.4	193.87	140.24	48.04
C2	47.95	12.35	52.1	210	141.90	53.95
C3	52.2	7.68	54.8	226.13	143.56	59.86

Nota: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Análisis Granulométrico del NaCl

En el proceso de molienda 99.99% de la sal sufrió una reducción de la granulometría por debajo de las 100 μm , lo cual resulta favorable en el sentido de que, según la literatura, conforme disminuye el tamaño de grano las partículas se vuelven más reactivas al aumentar su área de contacto, con lo cual se puede predecir una mayor disociación de la sal. Para el caso del análisis químico por el método de espectrometría de emisión de arco eléctrico puede observarse en la tabla 2 la cantidad de Na que permanece en la aleación presenta un aumento al incrementar el porcentaje de sal, lo cual indica que efectivamente se ha producido una disociación de NaCl.

En el análisis de la microestructura del inciso a de la figura 2 se aprecia una reducción del tamaño de las agujas al haber mayor disociación, también reducción del espacio dendrítico secundario (EDS) y una distribución más uniforme del eutéctico sobre la matriz; así como la reducción del espacio interdendrítico. Del mismo modo, en el inciso b de la figura 2 se muestra que disminuyeron su longitud al lograr una morfología de hojuelas; también se observa una reducción del espaciamiento entre ellas, lo cual da el efecto de la disminución de los espaciamientos dendríticos primarios.

En el caso de la porosidad se produjo una disminución significativa en la cantidad y tamaño de los poros presentes y concuerda con Martínez et al. (2004), quienes reportan que es debido a la disociación del NaCl y posterior reacción del cloro con el hidrógeno del baño metálico formando HCl en forma gaseosa.

Para la medición de la microestructura representada en el inciso b de la figura 4 se observa una tendencia lineal de aumento del porcentaje de área eutéctica conforme aumenta el porcentaje de sal añadido, consecuentemente se presenta una disminución del área ocupada por la matriz. En el inciso c de la figura 4 se observa una disminución del espacio dendrítico primario; esto se debe a un proceso de inoculación, la sal actúa como superficie de baja energía que favorece la solidificación a una velocidad más elevada y produce refinamiento del grano; con ello se espera un aumento en las propiedades mecánicas de la aleación. En el inciso d de la figura 4 se pudo observar una tendencia lineal de aumento de longitud de las agujas al añadir mayor porcentaje de NaCl. En el inciso a de la figura 5 se observa que al aumentar la cantidad de sal se incrementa linealmente la dureza como consecuencia del refinamiento de grano.

En cuanto al esfuerzo máximo y esfuerzo de fluencia se observa que al evaluar el esfuerzo máximo soportado por la aleación se produce un aumento de este conforme aumenta la cantidad

de sodio presente, lo cual indica (Haro-Rodríguez et al., 2011) que la modificación microestructural sí está relacionada al aumento de las propiedades mecánicas. Durante la fluencia la modificación de la microestructura reforzada por el eutéctico y refinada por la disminución del EDS trae como consecuencia un aumento en la resistencia mecánica. Al igual que en el esfuerzo máximo, la resistencia a la fluencia se ve aumentada con el incremento en la cantidad de sodio.

En el aumento de la energía de ruptura la disociación de sal favorece la modificación microestructural y, por consecuencia, se produce un aumento de la energía de ruptura mediante la refinación de la microestructura y aumento del eutéctico. Dado lo anterior es factible decir que una mayor cantidad de sal añadida implica una mayor disociación de la misma y, por tanto, un mayor porcentaje de eutéctico presente, así como una disminución del EDS, los cuales están acompañados de un aumento general de las propiedades mecánicas de la aleación.

CONCLUSIONES

Además de incrementar el porcentaje de sal en el baño metálico se requiere un tamaño de partícula pequeño para favorecer la disociación del NaCl; de este modo, al analizar el efecto de una adición de 1, 2 y 3% de NaCl la modificación más favorable se logró con 3% y un tamaño de partícula menor a 100 μm , con lo que se obtienen 270 p. p. m. de Na dentro de la aleación.

La disociación del ion Cl permitió la eliminación del H disuelto en el baño metálico, la porosidad disminuyó de forma considerable, por lo que se afirma que la desgasificación con NaCl en todas las muestras fue muy favorable; con lo cual también se aumentaron las propiedades mecánicas. Los mejores resultados se obtuvieron con 3% de NaCl.

El Si eutéctico sufrió un cambio de tamaño en todos los porcentajes añadidos de NaCl, debido al efecto del ion Na. Además del cambio morfológico se logró la disminución del tamaño del espacio dendrítico primario y el mejor efecto de modificación se obtuvo con 3% de NaCl.

En todos los casos la modificación con 3% de NaCl coincidió con el valor máximo alcanzado por las propiedades mecánicas, así como con el mejor refinamiento de la microestructura de la aleación.

El NaCl actúa simultáneamente sobre la aleación de Al A-319 como desgasificante al interactuar el ion Cl disociado con el H, modificador al interactuar el ion Na disociado con el Si eutéctico, refinador.

La modificación microestructural del Si eutéctico condujo a un aumento de las propiedades mecánicas como dureza, esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia, porcentaje de deformación y energía de ruptura, en donde se obtuvieron los valores máximos en la adición de 3% de NaCl según la tendencia.

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, con el uso de 2 a 3% de NaCl es posible desgasificar y modificar el silicio eutéctico de la aleación A 319, dichos efectos quedan de manifiesto al valorar el índice de calidad de la aleación, con lo que se nota una mejora significativa.

La disociación del ion Cl permitió la eliminación del H disuelto en el baño metálico, la porosidad disminuyó de forma considerable por lo que se afirma que la desgasificación con NaCl en todas las muestras fue muy favorable, con lo cual también se aumentaron las propiedades mecánicas. De igual manera los mejores resultados se obtuvieron con 3% de NaCl.

El NaCl actúa simultáneamente sobre la aleación de Al A-319 como desgasificante al interactuar el ion Cl disociado con el H, modificador

al interactuar el ion Na disociado con el Si eutéctico, refinador.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatecas por el apoyo proporcionado para la realización de esta investigación; así como a la Unidad Académica de Ingeniería, Maestría en Ciencia e Ingeniería de los Materiales de la Universidad Autónoma de Zacatecas por el apoyo a nuestros alumnos en la asesoría y experimentación en sus laboratorios.

REFERENCIAS

- Bäckerud, L., Chai, G., & Tamminen, J. (1990). Foundry alloys. En *Solidification characteristics of aluminum alloys* (Vol. 2, 266 pp.). Norway: Skanaluminium.
- Chiesa, F., & Baril, J. (2016). A case for low pressure sand casting of aluminum. *Metal Casting Design & Purchasing*, 18(1), 36-40. Recuperado de <http://content.yudu.com/web/y5b2/0A1snzj/MCDP.JanFeb.2016/html/index.html?page=38>
- Haro-Rodríguez, S., Goytia-Reyes, R. E., Dwivedi, D. K., Baltazar-Hernández, V. H., Flores-Zúñiga, H., & Pérez-López, M. J. (2011). On influence of Ti and Sr on microstructure, mechanical properties and quality index of cast eutectic Al-Si-Mg alloy. *Materials & Design*, 32(4), 1865-1871. doi: 10.1016/j.matdes.2010.12.012
- Hirsch, J. (2014). Recent development in aluminium for automotive applications. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24(7), 1995-2002. doi: 10.1016/S1003-6326(14)63305-7
- Martínez D., E. J., Cisneros G., M. A., Valtierra, S., & Lacaze, J. (2005). Effect of strontium and cooling rate upon eutectic temperatures of A319 aluminum alloy. *Scripta Materialia*, 52(6), 439-443. doi: 10.1016/j.scriptamat.2004.11.012
- Martínez, E., Lacaze, J., Cisneros, M., & Valtierra, S. (2004). Efecto del estroncio en las temperaturas de reacción eutécticas y microestructuras de solidificación de una aleación Al-Si tipo A319. *Revista Facultad de Ingeniería - Universidad de Tarapacá*, 12(2), 21-26. doi: 10.4067/s0718-13372004000200004
- Miller, W. S., Zhuang, L., Bottema, J., Wittebrood, A. J., De Smet, P., Haszler, A., & Vierendege, A. (2000). Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. *Materials Science and Engineering: A*, 280(1), 37-49. doi: 10.1016/s0921-5093(99)00653-x
- Mo, D.-F., He, G.-Q., Hu, Z.-F., Liu, X.-S., & Zhang, W.-H. (2010). Effect of microstructural features on fatigue behavior in A319-T6 aluminum alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 527(15), 3420-3426. doi: 10.1016/j.msea.2010.02.055
- Nampoothiri, J., Balasundar, I., Raj, B., Murty, B. S., & Ravi, K. R. (2018). Porosity alleviation and mechanical property improvement of strontium modified A356 alloy by ultrasonic treatment. *Materials Science and Engineering: A*, 724, 586-593. doi: 10.1016/j.msea.2018.03.069
- Onyia, C. W., Okorie, B. A., Neife, S. I., & Obayi, C. S. (2013). Structural modification of sand cast eutectic Al-Si alloys with sulfur/sodium and its effect on mechanical properties. *World Journal of Engineering and Technology*, 1(2), 9-16. doi: 10.4236/wjet.2013.12002
- Ravi, K. R., Pillai, R. M., Amaranathan, K. R., Pai, B. C., & Chakraborty, M. (2008). Fluidity of aluminum alloys and composites: A review. *Journal of Alloys and Compounds*, 456(1-2), 201-210. doi: 10.1016/j.jallcom.2007.02.038
- Sun, Y., Pang, S., Liu, X., Yang, Z., & Sun, G. (2011). Nucleation and growth of eutectic cell in hypoeutectic Al-Si alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21(10), 2186-2191. doi: 10.1016/s1003-6326(11)60993-x
- Tenekedjiev, N., Mulazimoglu, H., Closset, B., & Gruzleski, J. (1995). *Microstructures and thermal analysis of strontium-treated aluminum-silicon alloys*. US: American Foundrymen's Society.
- Uribe Pérez, I., Velosa Pacheco, A. B., & Zabala Capacho, L. E. (2011). Fundamentos del daño por hidrógeno en los aceros. *El hombre y la Máquina*, 36, 123-142.

Pulpotomía utilizando extracto de orégano como alternativa en el tratamiento de dientes temporales

Pulpotomy using oregan extract as an alternative in the treatment of temporary teeth

José Eduardo Orellana-Centeno*✉, Darío Gaytán-Hernández**,
Jaime Francisco Nava-Calvillo***

Orellana-Centeno, J. E., Gaytán-Hernández, D., & Nava-Calvillo, J. F. (2020). Pulpotomía utilizando extracto de orégano como alternativa en el tratamiento de dientes temporales. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(81), 58-65.

RESUMEN

El formocresol es uno de las sustancias más empleadas para la terapia dental de la pulpotomía en la Odontopediatría debido a sus efectos tóxicos, genotóxicos y mutagénicos; por dicha razón es que se está constantemente buscando nuevas alternativas para dicho tratamiento con el uso de distintas sustancias o medicamentos. Este es un estudio experimental básico en donde se recolectaron 20 muestras de órganos dentarios de pacientes con edades que oscilaban entre los tres y nueve años de la Clínica de Odontopediatría de Pregrado de la Facultad de Estomatología de la U. A. S. L. P. que cumplieron con los criterios de inclusión para el tratamiento de

Palabras clave: pulpotomía; lesión cariosa; pulpa dental; cámara pulpar.

Keywords: pulpotomy; carious lesion; dental pulp; pulp chamber.

Recibido: 6 de agosto de 2019, aceptado: 28 de agosto de 2020

* Instituto de Investigación Sobre la Salud Pública, Universidad de la Sierra Sur. Guillermo Rojas Mijangos s/n, esq. Av. Universidad, C. P. 70800, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, México. Correo electrónico: jeorellano@unsis.edu.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9518-7319>

** Maestría en Salud Pública, Facultad de Enfermería y Nutrición, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Niño Artillero No. 130, Zona Universitaria, C. P. 78240, San Luis Potosí, S. L. P., México. Correo electrónico: dgaytan@uaslp.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0545-076X>

*** Clínica de Odontología Pediátrica Nivel Licenciatura, Facultad de Estomatología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Niño Artillero No. 130, Zona Universitaria, C. P. 78240, San Luis Potosí, S. L. P., México. Correo electrónico: jnava@fest.uaslp

✉ Autor para correspondencia

pulpotomías. El tratamiento se realizó de acuerdo con los lineamientos de la AAPD, con excepción de que se utilizó extracto hidroalcohólico 70:30 de orégano y se midió en el laboratorio su capacidad para eliminar microorganismos.

ABSTRACT

Formocresol is one of the most widely used drugs for the treatment of pulpotomy for the reason in Pediatric Dentistry; due to its toxic, genotoxic and mutagenic effects, it is constantly searching for alternatives with other substances or drugs. This is a basic experimental study in twenty samples collected from dental organs of patients with ages ranging from three to nine years of the Pediatric Dentistry Clinic of the Faculty of Stomatology of the UASLP met the inclusion criteria for the treatment of pulpotomies. The treatment was performed according to those established by AAPD with the exception that hydroalcoholic extract 70:30 of oregano was used and its ability to eliminate microorganisms was measured in the laboratory.

INTRODUCCIÓN

La caries es una enfermedad bucodental infecciosa transmisible que aparece desde etapas pediátricas y tiene gran prevalencia. Provoca desmineralización en el tejido dental y con ello la exposición de las capas de tejido más profundas de los órganos dentarios hasta llegar a la pulpa, que afecta dicho tejido y por ello requiere de algún tratamiento pulpar (Vij, Coll, Shelton, & Farooq, 2004).

La Odontopediatría en su progreso ha buscado más opciones de sustancias, medicamentos o técnicas para ofrecer mejores tratamientos, pero a pesar de ello y a que se ha idealizado el medicamento o la técnica perfecta para el tratamiento pulpar (pulpotomía o pulpectomía), en dientes temporales aún no se ha reportado (Fuks, 2008). La pulpotomía es uno de los tratamientos pulpares que más se utiliza en Odontología pediátrica para mantener los dientes temporales en la cavidad bucal. Tiene como objetivos preservar la pulpa de los conductos radiculares para garantizar vitalidad del órgano dental de manera parcial, eliminar el dolor y molestia, evitar la inflamación y el avance de la caries que provocó en la pulpa cameral y puede seguir avanzando hasta nivel periapical, así como mantener el diente en la cavidad bucal para ser un mantenedor de espacio natural. Es importante para la salud bucal que los dientes temporales se conserven, ya que una extracción o exfoliación prematura puede provocar maloclusiones y/o problemas funcionales (alimentarios, fonéticos), transitorios o permanentes. La pérdida de dientes también puede afectar la autoestima del niño debido al impacto estético (Waterhouse, 2008).

El formocresol es una de las primeras sustancias y una de las más recomendadas para su uso en pulpotomías (Ranly, 1994). La International Agency for Research on Cancer y la World Health Organization (IARC-WHO, 2004) clasificaron a uno de los componentes del formocresol, el formaldehído, como sustancia química considerada cancerígena para los humanos; por tal motivo es que se continúa en la búsqueda de alternativas que presenten una mayor biocompatibilidad para evitar el uso de sustancias que pueden afectar al organismo. El presente estudio tuvo la finalidad de evaluar el extracto de orégano como alternativa al formocresol en pulpotomías de dientes temporales, comprobando la acción antimicrobiana que causa en las caries de los dientes temporales.

Antecedentes

Existe diversidad en tratamientos endodónticos de órganos dentales temporales y permanentes. Se consideran tratamientos conservadores en dientes permanentes con respecto a los dientes temporales, pero esto se debe a la rápida recuperación de los tejidos de los dientes temporales y permanentes jóvenes y principalmente del tejido pulpar con respecto a los dientes permanentes en el adulto (Anderson, 2000).

Histológicamente la pulpa está conformada por odontoblastos que se encuentran en la periferia y se extienden a los túbulos dentinarios. Los odontoblastos tienen varias comunicaciones intercelulares y son encargados de formar dentina (Fuchino, 1980). Existe una zona acelular debajo de la capa odontoblástica que contiene nervios no mielinizados y capilares sanguíneos. Los odontoblastos forman parte del complejo pulpa-dentina, mismo que al presentar daño debido a una enfermedad que provoque inflamación o algún traumatismo puede provocar en el tejido pulpar una reacción de protección (Fox & Heeley, 1980).

La caries es una enfermedad multifactorial e infectocontagiosa provocada por microorganismos cariogénicos. Al avanzar la caries por los tejidos dentarios (esmalte, dentina y pulpa) se llega a formar la dentina esclerótica por aposición de minerales, produciendo odontoblastos; estas células se encargan de liberar dentina de reparación. Los órganos dentales temporales son más susceptibles a la exposición pulpar por caries, ya que el grosor de la dentina es menor en comparación con los dientes permanentes (Torabinejad, Kutsenko, Machnick, Ismail, & Newton, 2005).

Si la caries permanece sin tratamiento produce exposición pulpar, lo que da como resultado un proceso inflamatorio de la pulpa que se conoce como pulpitis. Al inicio este se presenta en forma aguda, que puede ser reversible; cuando continúa se convierte en crónica y se llama pulpitis irreversible. Por su parte, Miller (1883) describió cómo las bacterias cariogénicas invaden el tejido dentinario. Los microorganismos formadores de caries dental son de diversas especies: estreptococos, lactobacilos y actinomicetos. Estos se encuentran organizados en colonias adheridas a la superficie dental, formando lo que se conoce como biofilm (Miller, 1884).

El metabolismo bacteriano se relaciona con factores como el pH, oxígeno y nutrientes. El biofilm es resultado de la formación de la película adquirida, donde se encuentran reunidas proteínas de la saliva y fluido crevicular que se adhiere a la superficie dental y colabora en la colonización de los microorganismos mediante los procesos que son depósito, adhesión y el crecimiento y reproducción.

La pulpotomía consiste en la eliminación de la pulpa cameral de los dientes temporales sin eliminar

la pulpa radicular con la finalidad de eliminar el tejido pulpar infectado y mantener el sano en el conducto radicular (Fuks, 2002). La sustancia más utilizada es el formocresol, ya que una de sus propiedades es fijar el tejido pulpar remanente. Fue introducido para su uso en esta terapia pulpar por Buckey en 1904, la composición del formocresol es formaldehído (19%), cresol (35%), glicerina 1% y agua. Si bien esta sustancia ha demostrado características tóxicas para los tejidos que entran en contacto, ha demostrado gran éxito para el tratamiento de dientes temporales con inflamación en tejido pulpar cameral. Los efectos tóxicos y mutagénicos que produce en el ser humano han generado controversia, razón por la cual se han propuesto otras sustancias, medicamentos y técnicas mecánicas para su sustitución (Milnes, 2002).

El orégano es una planta conocida en todo el mundo y presenta una diversidad de más de 60 especies conocidas, es empleada principalmente en el campo de la gastronomía como condimento. Las especies más comunes son el orégano mediterráneo o europeo proveniente de diversas especies del género *Origanum vulgare subs. hirtum* (orégano griego) y *O. vulgare subs. Gracite* (orégano turco) y el orégano mexicano que proviene de dos especies de la Familia Verbenaceae: *Lippia palmeri* y principalmente de *Lippia graveolens* (Kelmanson, 2000). La mayoría de las especies de orégano poseen propiedades medicinales, estas se explican gracias a la caracterización química que tienen y presentan algunas propiedades adicionales como son actividad antimicrobiana, antiparasítica, estrogénica, antineoplásica, insecticida y antioxidante (Al Dhareri et al., 2013).

Los aceites esenciales son metabolitos secundarios de las plantas, pueden encontrarse compuestos como hidrocarburos alicíclicos y aromáticos, derivados oxigenados (alcoholes, aldehídos, cetonas y ésteres), sustancias azufradas y nitrogenadas. Los compuestos más frecuentes se derivan del ácido mevalónico que se clasifica como monoterpénoides y sesquiterpénoides (Soto-Domínguez, García-Garza, Ramírez-Casas, Morán-Martínez, & Serrano-Gallardo, 2012).

Existen múltiples estudios sobre la actividad antimicrobiana de los extractos de diferentes tipos de orégano. Aceites esenciales de especies del género *Origanum* presentan actividad contra bacterias gram negativas como *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Yersinia en-*

terocolitica y *Enterobacter cloacae*; y las gram positivas como *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Listeria monocytogenes* y *Bacillus subtilis*. Los fenoles carvacrol y timol poseen los niveles más altos de actividad contra microorganismos gram negativos, excepto para *P. aeruginosa*, siendo el timol más activo (García-Pérez, Noratto, García-Lara, Gutiérrez-Uribe, & Mertens-Talcott, 2013).

Schovelin y Muñoz (2018) reporta el efecto antibacteriano de la infusión de orégano (*Origanum vulgare*) sobre el crecimiento in vitro de *Streptococcus mutans* al presentar el efecto antibacteriano contra uno de los microorganismos productores de caries. Pimentel Ramírez et al. (2015) presentaron los efectos antibacterianos de extracto etanólico de plantas utilizadas en las tradiciones culinarias andinas y su efecto sobre los microorganismos de la cavidad oral; una de las plantas utilizadas fue el orégano al evaluar la actividad antimicrobiana mediante mínima concentración inhibitoria y método de difusión de agar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio cuantitativo y cuasiexperimental realizado en seis meses en dos fases: básica y clínica. Fueron tratados 20 órganos dentarios en pacientes de ambos sexos que acudieron a la Clínica de Odontopediatría de Pregrado de la Facultad de Estomatología de la U. A. S. L. P. (tabla 2); los pacientes participantes reunieron los criterios de inclusión para el tratamiento, dentro de los cuales se consideró que no presentara infección (presencia del absceso clínica y radiográficamente) (tabla 1). Mediante consentimiento informado diseñado conforme a los lineamientos establecidos por la Ley General de Salud, los padres de familia de los pacientes firmaron de aceptación para que sus hijos participaran en este estudio.

Tabla 1

Criterios de inclusión

- Estado de salud del paciente sistémicamente sano
- Dientes temporales superiores o inferiores, anteriores o posteriores
- Caries profunda sin exposición pulpar cercanas a la cámara pulpar
- Ausencia de infección dental
- Ausencia de lesión en furca
- Ausencia de reabsorción interna y/o externa
- Ausencia de degeneración pulpar
- Conservación de longitud radicular en más de 2/3 mínimo
- Con posibilidad de restauración
- No teniendo terapia antibiótica previa
- Aceptación por escrito y con autorización del padre y/o tutor a participar en el estudio

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2
Estadística Descriptiva

VARIABLE	MEDIA +/- D.E.	RANGO (MAX-MIN)	FRECUENCIA (%)
<i>Edad</i>	5.65+/-1.53	(3-9)	
Sexo			
Femenino			09 (45)
Masculino			11 (55)
<i>Índice ceo</i>	5.10+/-2.20	(2-9)	
Cariados	4.30+/-2.29	(0-9)	
Obturados	3.70+/-1.49	(1-6)	
Extraídos	2.20+/-1.19	(0-5)	

Nota: n= 20.
Elaboración propia.

Fase clínica

Se evaluaron 20 órganos dentarios con los criterios anteriormente señalados, se les realizó pulpotomía (eliminación de la pulpa de la cámara pulpar preservando la pulpa radicular) de acuerdo con la técnica descrita por la AAOP, exceptuando que previo a la colocación del medicamento o sustancia se tomó una muestra (colocando una punta de papel en la cámara pulpar, dicha punta de papel normalmente se utiliza para secado de conductos en endodoncia) y posteriormente se colocó extracto de orégano a una concentración de 400 mg/ml en una suspensión hidroalcohólica 70:30. La cantidad de líquido colocada fue suficiente para cubrir el piso de la cámara, posteriormente se repitió el proceso de muestra mediante una punta de papel y se llevó a analizar a laboratorio con técnicas de sepsia y antisepsia y para su transporte se empleó el método de Stuart (tubo de ensayo como transporte de tioglicolato). La figura 1 ilustra el tema del presente trabajo.

Fase experimental

Se llevó a cabo el protocolo de desinfección del campo operatorio a los órganos dentarios que se les realizó la pulpotomía y se tomó la primera muestra microbiológica (T1) en la cavidad con tres puntas de papel estériles calibre # 60 en las caras mesial, distal y vestibular, respectivamente.

En el laboratorio, las muestras T1 y T2 se colocaron en el medio de cultivo de tioglicolato, primero fue evaluado y registrado su desarrollo bacteriano inmediato en unidades McFarland (Mc) mediante un densitómetro (Biomérieux DENSIMAT) en un $t = \text{inicial}$ no mayor a dos horas después de la lectura de la muestra, inmediatamente se tomaron de cada tubo 100 μl y se realizó una siembra en placa de agar sangre; las cuales fueron rotuladas y colocadas en ambiente aeróbico en una estufa incubadora a 37 °C (FELISA ®, Modelo FE-132) para ser evaluadas a las 24 h para contabilizar las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) con el fin de observar la disminución bacteriana causada por el efecto inmediato del orégano.

Después de realizar la siembra los tubos de las muestras T1 y T2 fueron incubados por 24 h, después se determinó nuevamente el desarrollo bacteriano por turbidez medido por unidades de McFarland, muestras (T1a) y (T2a), debido a su alto desarrollo microbiano se realizaron diluciones seriadas de la siguiente manera: En series de cuatro tubos por muestra se vertieron en cada uno 1.8 ml de agua destilada estéril, al primer tubo se le añadieron 0.2 ml de suspensión bacteriana para realizar una dilución 10^{-1} . Se repitió la misma operación a partir de esta primera dilución para conseguir la 10^{-2} y así sucesivamente hasta llegar a 10^{-4} para cada una de las muestras.

Cada inóculo se extendió de forma homogénea por toda la superficie de la placa con la varilla

de vidrio acodada y esterilizada, inmediatamente las placas de agar sangre fueron llevadas a la estufa incubadora a 37 °C durante 24 h para dar oportunidad de crecimiento a microorganismos de lento desarrollo. Se registraron valores en UFC a cada tiempo con el objetivo de contabilizar el número de las mismas por medio de un negatoscopio al que se le adaptó una cuadrícula de 10 x 10 cm, dividida en cuadrantes de 1 cm cada uno, y mediante el uso de un contador de colonias en forma de lápiz, con pantalla digital (Scienceware).

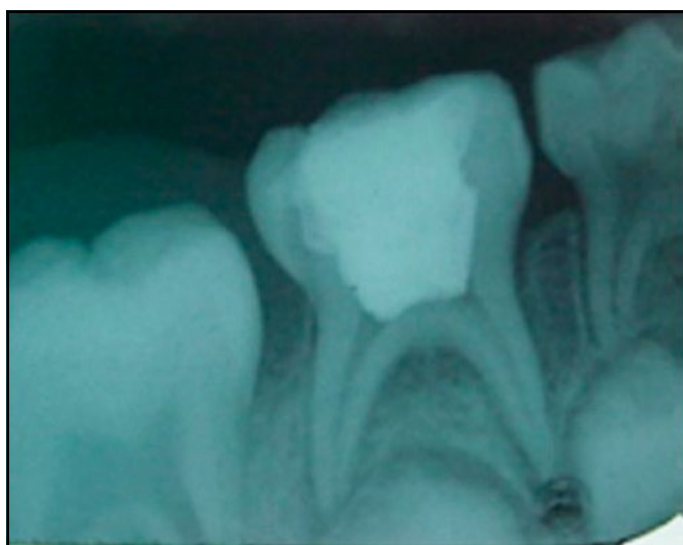


Figura 1. Se estudia el extracto de orégano como alternativa al formocresol en pulpotomías infantiles. Fotografía de Orellana-Centeno et al. (2010).

RESULTADOS

Se realizó una revisión clínica y radiográfica en cada uno de los órganos dentarios a los seis meses, se registraron los resultados de acuerdo al instrumento clínico y radiográfico de la Asociación Americana de Odontología Pediátrica (AAPD), esto puede observarse en la tabla 3 y en la tabla 4. Se presentó clínicamente en uno de los casos inflamación de la encía y radiográficamente se observó en el mismo caso reabsorción externa e interna del órgano dental tratado. En la parte experimental básica se observa un crecimiento bacteriano en las placas de agar sangre con una medida de halo en promedio de 4 mm en T1a y 2 mm en dichos discos, se observó una disminución bacteriana al colocar el extracto de orégano (tabla 5).

Tabla 3
Resultados clínicos

Criterios clínicos	Pulpotomía
Absceso	0 (0%)
Trayecto fistuloso	0 (0%)
Movilidad	0 (0%)
Dolor a la percusión	0 (0%)
Dolor constante	0 (0%)
Cambio de coloración	0 (0%)
Inflamación de la encía	1 (5%)

Nota: Elaboración propia utilizando instrumento Clínico Radiográfico AAPD (Escala Zurn-Seale).

Tabla 4
Resultados radiográficos

Criterios radiográficos	Pulpotomía
Lesión periapical	0 (0%)
Lesión de furca	0 (0%)
Ensanchamiento de ligamento	0 (0%)
Reabsorción interna	1 (5%)
Reabsorción externa	1 (5%)
Degeneración pulpar	0 (0%)
Longitud radicular	0 (0%)
Rarefacción ósea	0 (0%)
Osteorarefacción interradicular	0 (0%)
Calcificación pulpar	0 (0%)

Nota: Elaboración propia utilizando instrumento Clínico Radiográfico AAPD (Escala Zurn-Seale).

Tabla 5
Crecimiento bacteriano (Diámetro del halo)

Muestra ID	T1a (mm)	T2a (mm)
1	4	2
2	6	1
3	4	1
4	3	1
5	4	1
6	6	1
7	3	1
8	2	2
9	2	1
10	4	2
11	4	1
12	6	0
13	8	1
14	4	1
15	2	0
16	4	1
17	4	2
18	4	1
19	4	0
20	2	0

Nota: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Actualmente continúa presentándose polémica sobre el uso del formocresol, ha sido muy cuestionado por presentar reacciones adversas; entre ellas ser material cancerígeno y mutagénico; pero a pesar de esto sigue siendo la sustancia o medicamento más empleado en la pulpotomía.

Los tratamientos endodónticos parciales se indican en la mayoría de los casos de dientes vitales fundamentalmente; sin embargo, el principal objetivo de las pulpotomías con formocresol en dientes temporales ha sido mantener asintomático al diente hasta su normal exfoliación, para evitar las pulpotomías totales que siempre son más complicadas debido a la morfología característica de los dientes temporales y la cooperación siempre comprometida de los pacientes infantiles, así como el tratamiento más

radical: la extracción dental (Samra de Quintero, Rivera Fuenmayor, Bernardoni de Socorro, Arteaga de Vizcaíno, & Finol Bravo, 2008).

Uno de los tratamientos más populares en los dientes temporales cuando se produce exposición pulpar por caries en ausencia de signos y síntomas de patología pulpar es la pulpotomía con formocresol (Fuks, 2002), al saber los odontólogos la inconveniencia de continuar utilizándolo se comenzaron a buscar alternativas.

El hidróxido de calcio fue uno de los primeros medicamentos que se utilizaron para el tratamiento de pulpotomía. Es uno de los más utilizados dentro de la odontología por su biocompatibilidad y cumple los requerimientos para ser utilizado en los recubrimientos pulpares que colaboran en el desarrollo de un puente de dentina, con el único inconveniente es que dicha sustancia puede desarrollar reabsorción

en los conductos radiculares (Calatayud, Casado, & Álvarez, 2006).

Otra de las sustancias es el cloruro de aluminio, considerado hemostático, ya que reduce rápidamente la hemorragia pulpar al entrar en contacto con la sangre, formar un complejo proteínico y la membrana en este complejo sella los vasos; además presenta características bactericidas y permite tener una cavidad completamente limpia y estéril, una pulpa radicular remanente completamente intacta y permite que la pulpa haga sus funciones normales de defensa y formación (Orellana-Centeno et al., 2012).

Casas, Kenny, Johnston, Judd y Layug (2004) mencionan que en un esfuerzo de utilizar una técnica de terapia pulpar diferente al uso de formocresol utilizaron sulfato férrico que, al igual que el cloruro de aluminio, provoca hemostasia al contacto con la sangre, su actividad bactericida es moderada y no es fijador o momificante de la pulpa.

CONCLUSIONES

En este estudio se pudo analizar que el extracto de orégano obtuvo resultados satisfactorios, por lo que se propone aumentar el número de tratamientos, con diferentes concentraciones, usar otras especies de la planta y así comprobar que se puede utilizar como alternativa al formocresol en terapias pulpares como la referida en el presente trabajo.

REFERENCIAS

- Al Dhareer, Y., Eid, A., AbuQamar, S., Attoub, S., Khasawneh, M., Aiche, G., ... Itratni, R. (2013). Mitotic arrest and apoptosis in breast cancer cells induced by *Origanum majorana* extract: Upregulation of TNF- α and downregulation of survivin and mutant p53. *PLoS ONE*, 8(2), e56649. doi: 10.1371/journal.pone.0056649
- Anderson, J. D. (2000). Need for evidence-based practice in prosthodontics. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 83(1), 58-65.
- Calatayud, J., Casado, I., & Álvarez, C. (2006). Análisis de los estudios clínicos sobre la eficacia de las técnicas alternativas al formocresol en las pulpotomías de dientes temporales. *Avances en Odontoestomatología*, 22(4), 229-239.
- Casas, M. J., Kenny, D. J., Johnston, D. H., Judd, P. L., & Layug, M. A. (2004). Outcomes of vital primary incisor ferric sulfate pulpotomy and root canal therapy. *Journal (Canadian Dental Association)*, 70(1), 34-38.
- Fox, A. G., & Heeley, J. D. (1980). Histological study of pulps of human primary teeth. *Archives of Oral Biology*, 25(2), 103-110.
- Fuchino, T. (1980). [Clinical and histopathological studies of pulpectomy in deciduous teeth (author's transl)]. *Shikwa Gakuho Dental Science Reports*, 80(7), 971-1017.
- Fuks, A. B. (2002). Current concepts in vital primary pulp therapy. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 3(3), 115-120.
- Fuks, A. B. (2008). Vital pulp therapy with new materials for primary teeth: New directions and treatment perspectives. *Pediatric Dentistry*, 30(3), 211-219(9).
- García-Perez, E., Noratto, G. D., García-Lara, S., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Mertens-Talcott, S. U. (2013). Micropropagation effect on the anticarcinogenic activity of polyphenolics from Mexican oregano (*Poliomintha glabrescens* gray) in human colon cancer cells HT-29. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(2), 155-162. doi: 10.1007/s11130-013-0344-2
- International Agency for Research on Cancer & World Health Organization. (2004). IARC classifies formaldehyde as carcinogenic. *Oncology Times*, 26(13), 72. doi: 10.1097/01.COT.0000292246.11180.99
- Kelmanson, J. E. (2000). Zulu medicinal plants with antibacterial activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 69(3), 241-246. doi: 10.1016/s0378-8741(99)00147-6
- Miller, W. D. (1883). Dental caries. *American Journal of Dental Science*, 17(3), 126-130.
- Miller, W. D. (1884). Micro-organisms and dental caries. *The American Journal of Dental Science*, 18(4), 164-173.
- Milnes, A. R. (2002). Is formocresol obsolete: A fresh look at the evidence. *Pediatric Dentistry*, 30(3), 237-246.
- Orellana-Centeno, J. E., González-Quintero, J. S., Nava-Calvillo, J. F., Nava-Zárate, N., Olvera-Gutiérrez, N., Orellana-Centeno, M., & Ponce-Palomares, M. (2012). Cloruro de aluminio una alternativa en pulpotomías de dientes temporales. *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatría Ortodoncia.ws* edición electrónica. Recuperado de <https://www.ortodoncia.ws/publicaciones/2012/art-7/>
- Orellana-Centeno, J. E., González-Quintero, J. S., Nava-Calvillo, J. F., Olvera, N., Orellana-Centeno, M., & Ponce-Palomares, S. (2010). Pulpotomía infantil utilizando ungüento oftálmico como método alternativo al uso de formocresol. *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatría*

Ortodoncia.ws edición electrónica. Recuperado de www.ortodoncia.ws

- Pimentel Ramírez, E., Castillo Andamayo, D., Quintana del Solar, M., Maurtua Torres, D., Villegas Vílchez, L., Díaz Santisteban, C. (2015). Efecto antibacteriano de extractos etánicos de plantas utilizadas en las tradiciones culinarias andinas sobre microorganismos de la cavidad bucal. *Revista de Estomatología Herediana*, 25(3), 268-277.
- Ranly, D. M. (1994). Pulpotomy therapy in primary teeth: New modalities for old rationales. *Pediatric Dentistry*, 16(6), 403-409.
- Samra de Quintero, P. A., Rivera Fuenmayor, N., Bernardoni de Socorro, C., Arteaga de Vizcaíno, M., & Finol Bravo, A. (2008). Epidemiología de las urgencias odontológicas en niños atendidos en la Facultad de Odontología de la Universidad del Zulia. *Ciencia Odontológica*, 5(2), 134-144.
- Schovelin, H. A., & Muñoz C., M. (2018). Efecto antibacteriano de la infusión de orégano (*Origanum vulgare*) sobre el crecimiento in vitro de *Streptococcus mutans*. *International Journal of Odontostomatology*, 12(4), 337-342.
- Soto-Domínguez, A., García-Garza, R., Ramírez-Casas, Y., Morán-Martínez, J., & Serrano-Gallardo, L. B. (2012). El extracto acuoso de orégano (*Lippia graveolens* HBK) del norte de México tiene actividad antioxidante sin mostrar un efecto tóxico in vitro e in vivo. *International Journal of Morphology*, 30(3), 937-944.
- Torabinejad, M., Kutsenko, D., Machnick, T. K., Ismail, A., & Newton, C. W. (2005). Levels of evidence for the outcome of nonsurgical endodontic treatment. *Journal of Endodontics*, 31(9), 637-646.
- Vij, R., Coll, J. A., Shelton, P., & Farooq, N. S. (2004) Caries control and other variables associated with success of primary molar vital pulp therapy. *Pediatric Dentistry*, 26(3), 214-220.
- Waterhouse, P. J. (2008). "New age" pulp therapy: Personal thoughts on a hot debate. *Pediatric Dentistry*, 30(3), 247-252.

Evaluación del estado nutricional del adulto mayor asilado en la ciudad de Aguascalientes, México

Evaluation of the nutritional status of the older adults living in nursing homes in the city of Aguascalientes, Mexico

Abril Alejandra Rivera-Flores*, Valeria Díaz-Posada*, Jessica Díaz-López*, Judith Martín del Campo-Cervantes***✉

Rivera-Flores, A. A., Díaz-Posada, V., Díaz-López, J., & Martín del Campo-Cervantes, J. (2020). Evaluación del estado nutricional del adulto mayor asilado en la ciudad de Aguascalientes, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(81), 66-73.

RESUMEN

El adulto mayor (AM) institucionalizado está en riesgo de padecer desnutrición, la cual aumenta el riesgo de desarrollar comorbilidades que la convierten en un problema de salud pública. En el presente trabajo se evaluó el estado nutricional del AM mediante la Evaluación mini nutricional (por sus siglas en inglés MNA), un recordatorio dietético de 24 h y la toma de medidas antropométricas. Los resultados mostraron que 56.7% de la población estudiada presentó riesgo de malnutrición de acuerdo al MNA. Se encontró dependencia funcional en 86.6% de los participantes al presentar una fuerza muscular baja, además de una glucemia capilar alterada con un promedio de 145.66 mg/dl y un índice de masa corporal promedio de 24.62 kg/m². La dieta del AM fue deficiente en energía, proteínas y fibra, lo que podría explicar la pérdida de masa magra y funcionalidad.

Palabras clave: adulto mayor; estado nutricional; MNA; asilo.

Keywords: older adult; nutritional status; MNA; nursing home.

Recibido: 18 de mayo de 2020, **aceptado:** 22 de octubre de 2020

* Licenciatura en Nutrición, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad # 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Correo electrónico: abrilflores51@gmail.com; valeria.posada44@gmail.com; jesua.diaz.5l@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6640-0523>; <http://orcid.org/0000-0003-0176-3942>; <http://orcid.org/0000-0002-0561-7371>

** Departamento de Nutrición, Centro de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad # 940, Ciudad Universitaria, Edificio 107 planta baja, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Correo electrónico: jmaric@correo.uaa.mx DOI: <http://orcid.org/0000-0003-1855-6309>

✉ Autora para correspondencia

ABSTRACT

The institutionalized elderly's are at risk of malnutrition, which increases the risk of developing comorbidities making it a public health problem. In this paper, we evaluated the nutritional status of the older adults with the Mini Nutritional Assessment (MNA), a 24-h dietary recall and anthropometric measurements. 56.7% of the participants showed nutritional risk according to the MNA. Dependence was found in 86.6% of the participants by presenting a low muscular strength, in addition to an altered capillary glycemia with an average of 145.66 mg/dl and an average body mass index of 24.62 kg/m². The elderly's diet was energy, protein and fiber deficient; which consequently can cause loss of lean mass and functionality.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con las estimaciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO) realizadas con base en los resultados de la encuesta intercensal de 2015 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el estado de Aguascalientes tenía una población de 119,691 habitantes de 60 años o más. Para el segundo semestre de 2017 los adultos mayores de 60 años representaban 9% de la población; las proyecciones poblacionales contemplan que para 2030 el porcentaje aumentará a 13.5%, sumando más de 200,000 adultos mayores (Alarcón Sánchez, Pinto López, & Benalcázar Game, 2018).

El adulto mayor (AM) es un grupo etario en riesgo de padecer desnutrición a causa de factores sociales y psicológicos, alteraciones metabólicas, enfermedades crónico-degenerativas, polifarmacia

y deterioro de la capacidad funcional. La desnutrición desencadena múltiples efectos en el cuerpo, como la disminución del funcionamiento del tracto gastrointestinal, deterioro del sistema inmune, entre otros efectos que aumentan el riesgo de presentar o descontrolar comorbilidades, lo que la convierte en un problema de salud pública (Alvarado-García, Lamprea-Reyes, & Murcia-Tabares, 2017).

En el área geriátrica el manejo nutricional debe individualizarse tomando en cuenta aspectos propios del envejecimiento, con el objetivo de proporcionar a través de la dieta los nutrimentos necesarios en las cantidades adecuadas para mantener un buen estado nutricional; por ello es necesaria la participación de los profesionales para evaluar el estado de nutrición del adulto mayor, apoyándose con herramientas de tamizaje específicas e indicadores nutricionales y elaborar el plan de intervención en beneficio de la salud del adulto mayor (Burgos Vélez, González Solís, & Castro Posligua, 2018).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el estado de nutrición de adultos mayores asilados en el estado de Aguascalientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio descriptivo, observacional y analítico donde se evaluó a adultos mayores de 60 años de ambos géneros residentes de asilos en la ciudad de Aguascalientes; por la naturaleza observacional del estudio no se generó hipótesis de investigación. Se excluyeron AM con marcapasos, demencia senil o Alzheimer, o que no permitieron la toma capilar de glucosa ni de tensión arterial, así como aquellos a quienes se les dificultó permanecer de pie para la toma de medidas antropométricas. La muestra se obtuvo de forma no probabilística por cuota. Se utilizó el sistema software NutriKcal@VO para ingresar los datos del recordatorio de 24 h y obtener la cantidad consumida de energía, proteína, lípidos, hidratos de carbono y micronutrimentos, como calcio y fibra.

Se aplicó la Evaluación mini nutricional (MNA, por sus siglas en inglés), un recordatorio de 24 h del consumo de alimentos, un cuestionario para la obtención de datos personales; se tomaron medidas antropométricas (peso, talla, circunferencia media de brazo, circunferencia de pantorrilla y fuerza de

presión de mano), la glucosa capilar y la tensión arterial.

Para evaluar el estado nutricional se hizo uso del MNA, herramienta de tamizaje para identificar malnutrición en el adulto mayor con tres clasificaciones: normal, riesgo de desnutrición y desnutrición; para valorar la fuerza muscular se utilizó la prueba de fuerza de presión de mano a través de un dinamómetro mecánico marca TAKEI Smedley III T-18A precisión 1 kg, y la masa muscular se determinó a través de la bioimpedancia eléctrica con una báscula de bioimpedancia marca TANITA BC-558 Ironman Segmental; para la determinación de glucosa capilar se utilizó un glucómetro marca SDcheck Gold y para la medición de la tensión arterial un baumanómetro automático de brazalete digital Omron HEM-7121. Para la medición de estatura se utilizó un estadímetro marca SECA 213 precisión 1 mm y para la toma de la circunferencia media de brazo y pantorrilla una cinta métrica de fibra de vidrio marca Lufkin precisión 1 mm.

El análisis estadístico se realizó con el software IBM SPSS Statistics versión 25.0, para realizar la estadística descriptiva (media, desviación estándar) e inferencial (prueba *t* no pareada y prueba U Mann-Whitney); considerando un nivel de significancia con valor de $p < 0.05$.

RESULTADOS

Características demográficas

Se evaluaron 30 adultos mayores, 73% fueron mujeres ($n = 22$) y 27% fueron hombres ($n = 8$), residentes de cinco asilos privados de la ciudad de Aguascalientes: Asilo José Guadalupe Alcalá, A. C. (siete adultos), Casa hogar San José (cuatro adultos), El hogar del anciano (10 adultos), Estancia de vida de nuestra señora de Guadalupe, A. C. (cinco adultos) y Casa hogar Cuicacalli (cuatro adultos); con una edad promedio de 80 años (hombres: 78.75 ± 6.84 años de edad, mujeres: 81 ± 6.88 años de edad) con edades fluctuando entre los 67 a 94 años de edad.

Estado nutricional y características antropométricas

En porcentaje, 36.7% de la población presentó estado nutricional normal, mientras que 63.3% presentó riesgo o desnutrición de acuerdo con el MNA (tabla

1). El índice de masa corporal tuvo una media de 24.62 kg/m² (DE ± 4.60 kg/m²); al clasificarlo usando los puntos de corte para adulto mayor se encontró a 11 adultos mayores (36.7%) con estado normal de nutrición, siete con sobrepeso (23.3%), dos con obesidad (6.7%) y 10 con desnutrición (33.3%).

El promedio poblacional de peso corporal fue 57.57 kg (DE ± 12.903 kg) y de talla fue 1.52 m (DE ± 0.09 m); se encontró que los hombres tuvieron un mayor peso corporal ($p= 0.023$) y talla ($p= 0.000$) en comparación con las mujeres. La fuerza muscular fue mayor en hombres que en mujeres ($p= 0.008$); los demás parámetros no presentaron una diferencia entre géneros estadísticamente significativa (tabla 2).

Tabla 1
Clasificación de la evaluación mini nutricional (MNA)

PUNTAJE	CLASIFICACIÓN	FRECUENCIA (PORCENTAJE)
24 – 30	Estado de nutrición normal	11 (36.7%)
17 – 23.5	Riesgo de desnutrición	17 (56.7%)
≤ 16.5	Desnutrición	2 (6.6%)

Nota: n= 30 adultos mayores.
Elaboración propia.

Tabla 2
Características antropométricas poblacionales y por género

Parámetro	Poblacional MEDIA (DE)	HOMBRES MEDIA (DE)	MUJERES MEDIA (DE)	p
Peso (kg)	57.57 (12.9)	66.33 (13.83)	54.37 (11.36)	0.023*
Talla (m)	1.52 (0.09)	1.64 (.075)	1.48 (0.54)	0.000*
IMC (kg/m ²)	24.62 (4.60)	24.34 (3.28)	24.72 (5.05)	0.963**
Circunferencia media de brazo (cm)	26.95 (4.29)	26.31 (2.78)	27.19 (4.75)	0.796**
Circunferencia media de pantorrilla (cm)	32.04 (3.75)	31.81 (2.61)	32.12 (4.14)	0.888**
Fuerza de prensión de mano (kg)	13.27 (5.13)	17.25 (5.75)	11.82 (4.13)	0.008*
Puntaje MNA (puntos)	22.23 (2.99)	22.94 (2.69)	21.98 (3.1)	0.410**

Nota: n= 30 adultos mayores (22 mujeres, 8 hombres). DE: Desviación estándar. Valores de p usando *Prueba t no pareada o **Prueba U de Mann-Whitney para comparar diferencias entre hombres y mujeres.
Elaboración propia.

Composición corporal

Al comparar la masa muscular se encontró que los hombres presentaron 10.64 kg más de músculo que las mujeres ($p= 0.000$). Por otro lado, las mujeres presentaron 13.1% más de porcentaje de grasa corporal que los hombres (tabla 3). La glucosa capilar tuvo un promedio de 145.66 mg/dl ($DE \pm 60.52$ mg/dl).

Dependencia

La mns del adulto mayor se valoró mediante la fuerza de presión de mano, la cual fue estadísticamente mayor ($t= -2.864$, $p= 0.008$) para los hombres que para las mujeres (tabla 2), al presentar 5.43 kg más de fuerza muscular. La dependencia funcional evaluada por este parámetro se encontró en 86.7% ($n= 26$) de los participantes, lo que indica que 13.3% ($n= 4$) fueron independientes.

Tabla 3
Composición corporal poblacional y por género

Parámetro	Poblacional MEDIA (DE)	HOMBRES MEDIA (DE)	MUJERES MEDIA (DE)	p
Porcentaje de grasa (%)	31.62 (7.20)	27.81 (5.27)	33 (7.41)	0.081*
Masa magra (kg)	37.17 (6.79)	44.97 (6.94)	34.33 (3.99)	0.000**
Hueso (kg)	2.01 (0.35)	2.42 (0.32)	1.85 (0.21)	0.000**
Porcentaje de agua (%)	46.85 (9.36)	45.45 (16.58)	47.36 (5.33)	0.174**
Glucosa capilar (mg/dl)	145.66 (60.52)	146.38 (72.01)	145.41 (57.69)	0.250**

Nota: $n= 30$ adultos mayores (22 mujeres, 8 hombres). DE: Desviación estándar. Valores de p usando *Prueba t no pareada o **Prueba U de Mann-Whitney para comparar diferencias entre hombres y mujeres.
Elaboración propia.

Consumo dietético

El promedio del consumo energético ingerido referido por los participantes (figura 1) fue 1017.7 ± 374.05 calorías por día, con una diferencia mínima entre hombres y mujeres (hombres: 949.63 calorías, $DE \pm 363.55$ calorías; mujeres: 1042 calorías, $DE \pm 383$ calorías). El consumo de proteínas fue mayor en las mujeres (41.40 g, $DE \pm 5.05$ g) que en los hombres (39.93 g, $DE \pm 11.16$ g); mientras que poblacionalmente presentaron una media de 41.01 g por día ($DE \pm 4.39$ g por día).

Para el consumo de calcio se obtuvo un promedio poblacional de 364.56 mg por día ($DE \pm 168.23$ mg por día); este micronutriente tuvo un consumo parecido en hombres (351.12 mg por día, $DE \pm 196.41$ mg por día) y en mujeres (369.45 mg por día, $DE \pm 161.65$ mg por día). Para la fibra el promedio de consumo en la población fue de 20.10 g por día ($DE \pm 12.20$ g al día), misma que tuvo una media de consumo en hombres de 21.23 g al día ($DE \pm 10.84$ g al día) y en mujeres fue de 19.69 g al día ($DE \pm 12.88$ g al día). No se encontraron diferencias significativas entre hombres y mujeres para ninguno de los valores antes mencionados, lo que implica que el consumo fue igual entre géneros.

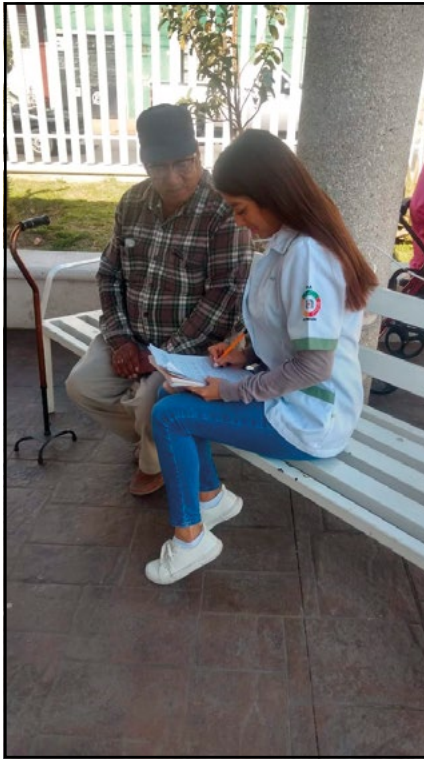


Figura 1. Aplicación de encuestas nutricionales y recordatorio de 24 h.

Fotografía proporcionada por Abril Alejandra Rivera-Flores.

DISCUSIÓN

Al comparar los datos obtenidos por el MNA y el IMC en la población evaluada en relación con la clasificación del estado nutricional se encontró que 6.6% de la población estudiada presentó desnutrición, cifra que fue mayor con el IMC al encontrarse en 33.33% de los participantes; lo anterior puede deberse a que el MNA tiene una clasificación de riesgo de desnutrición (encontrada en 56.7% de la población), en donde se incluye a personas con desnutrición leve y con probabilidad de generarla. Estas diferencias en la clasificación del estado nutricional se deben a la especificidad y sensibilidad del MNA al ser un instrumento creado específicamente para adultos mayores (Calleja Fernández, Vidal Casariego, Cano Rodríguez, & Ballesteros Pomar, 2016); mientras que el IMC es un indicador poblacional general que no considera la edad de la persona evaluada, los cambios fisiológicos, las comorbilidades, las fracturas, la desmineralización ósea o cualquier otro factor que pudiese sobreestimar el índice de masa corporal y dar como resultado un diagnóstico nutricional erróneo (Calero Saa & Chaves García, 2016).

Osuna-Padilla, Verdugo-Hernández, Leal-Escobar y Osuna-Ramírez (2015) informaron porcentajes parecidos a los de nuestra población al utilizar el MNA para clasificar el estado nutricional; en su investigación 32.1% de adultos mayores presentaron desnutrición, 57.1% riesgo de desnutrición y 10.7% un estado de nutrición normal. Este estudio presentó mayor cantidad de individuos con desnutrición en comparación con la población evaluada en el presente artículo; este resultado se puede deber a que en el estudio de Osuna-Padilla et al. (2015) los AM eran ambulatorios, lo que implica que la alimentación en esta población es muy diferente a la de las personas asiladas en virtud de que tienen mayor libertad al momento de elegir alimentos, además se tienen que considerar las diferencias sociodemográficas que influyen en el entorno de cada AM debido a que los participantes de Osuna-Padilla et al. (2015) son habitantes de una ciudad del norte de México y Aguascalientes tiene condiciones económicas y demográficas muy diferentes a los estados ubicados en el norte del país; otro aspecto a considerar es que la mayoría de los participantes del estudio de Osuna-Padilla et al. (2015) eran hombres, mientras que en la población estudiada en esta investigación predominan las mujeres.

Por otro lado, el estudio de Méndez Estévez et al. (2013) muestra a 44% de la población con riesgo de desnutrición; de igual manera Interiano Rodas y Valdez (2017) lo identificaron en 56.9% de sus participantes. Los datos obtenidos por este autor son semejantes a lo encontrado en nuestra población, lo cual puede deberse a que se evaluó a población asilada y no ambulatoria. Lo anterior muestra que la desnutrición es una patología que se encuentra comúnmente en los AM, misma que debe ser identificada y atendida precozmente. La población que participó en el presente estudio mostró una masa muscular deficiente; sin embargo, los hombres presentaron mayor masa magra en comparación con las mujeres, persistiendo la distribución usual de la composición corporal del adulto joven (García Rodríguez, García Vilau, & Odio Collazo, 2017).

Con relación a la grasa corporal en el adulto mayor, no existe un criterio de corte para el porcentaje adecuado que deben tener hombres y mujeres. Estudios en México han informado un intervalo de entre 37% y 50% de grasa corporal en mujeres (González-Pérez, Raya-Giorguli, Botello-Pacheco, & Rangel-Peniche, 2013). El porcentaje de masa grasa en los AM estudiados fue mayor en 5.19% para las

mujeres en comparación con el porcentaje presentado por los hombres, lo que muestra que en edades avanzadas se sigue manteniendo el dimorfismo sexual esperado para cada género.

En el estudio de Peña-Ordóñez, Bustamante-Montes, Ramírez-Durán, Halley-Castillo y García-Cáceres (2016) la población de AM fue clasificada en dos grupos con base en pruebas de consumo dietético, presencia de sarcopenia y fuerza; obtuvieron una media poblacional del porcentaje de masa grasa de 30.3% y 40.2% para cada grupo. El promedio del porcentaje de masa grasa en el presente estudio fue de 31.6%, resultandos similares a los descritos en el estudio anterior; lo cual puede deberse a que en ambos estudios la cantidad de mujeres fue mayor en comparación con los hombres.

La sarcopenia se presenta en la mayoría de los adultos mayores y tiene consecuencias como disminución de las capacidades físicas, esto favorece una mala calidad de vida y predispone a la muerte (Peña-Ordóñez et al., 2016). La circunferencia de pantorrilla es utilizada para detectar sarcopenia, debido a que presenta una buena relación entre la fuerza muscular y la masa libre de grasa (Cuervo et al., 2009).

Zayas Somoza, Fundora Álvarez y Santana Porbén (2018) aseguran que la circunferencia de pantorrilla es un método de medición antropométrica útil en la detección de sarcopenia. En su investigación el punto de corte utilizado para la circunferencia de pantorrilla fue menor a 31 cm; 46.6% de la población estudiada presentó menos de 31 cm en dicho parámetro, lo que puede ayudar a identificar la sarcopenia en los participantes de la presente investigación.

El estudio de Landi, Loperoti y Onder (2013) recomienda estimar la masa muscular a través de indicadores antropométricos como la circunferencia de pantorrilla cuando no se tiene disponible un equipo de composición corporal. En este estudio se identificó una asociación entre la masa muscular y la circunferencia de la pantorrilla, es decir que mientras la masa muscular es menor la circunferencia de pantorrilla también lo es.

El porcentaje de adultos mayores clasificados como dependientes en el presente estudio que necesitaban ayuda para realizar las actividades cotidianas fue de 86.6%. Interiano Rodas y Valdez (2017)

clasificaron a 40% de los AM estudiados como dependientes y a 59.7% como independientes; como se puede observar en la población estudiada en esta investigación la cantidad de AM dependientes fue mayor, probablemente por el método utilizado debido a que en el estudio de Interiano Rodas y Valdez (2017) utilizaron la escala de Barthel donde se categoriza al AM con independencia, dependencia leve, moderada, severa o total; mientras que en la presente investigación se utilizó la fuerza de prensión de mano obtenida por dinamometría para clasificarlos como dependiente o independiente.

Rodríguez Quintana et al. (2019) clasificó la capacidad funcional con base en las actividades básicas e instrumentales de la vida diaria como trabajar, alimentarse, bañarse, vestirse, etc., de acuerdo con ello identificó a 93.1% de los AM como dependientes en relación con actividades instrumentales y a 73.5% como dependientes en actividades básicas. Herazo-Beltrán et al. (2017) encontró un grado de dependencia funcional entre moderado y severo para las mujeres y en el género masculino la dependencia fue severa.

Estos resultados son parecidos a los observados en la investigación realizada en los asilos de la ciudad de Aguascalientes, donde se encontró a la mayoría de los adultos mayores con dependencia. Con lo anterior es posible inferir que, a pesar de la diversidad en los métodos para identificar dependencia, esta es una condición que se presenta en la mayoría de los AM, por lo que se deben de generar estrategias para su prevención y tratamiento oportuno.

La fuerza muscular está directamente relacionada con la cantidad de masa muscular, al perder esta en el envejecimiento se reduce la fuerza y, por ende, la funcionalidad. Este proceso es progresivo, el músculo presenta cambios anatómicos con el paso del tiempo que pueden ser influenciados por los hábitos alimenticios, factores endocrinos como la disminución en la producción de insulina y el aumento de la resistencia periférica de dicha hormona, además de la disminución en la biodisponibilidad de estrógenos o testosterona (Deossa-Restrepo, Restrepo-Betancur, Velásquez-Vargas, & Varela-Álvarez, 2016). La fuerza muscular se puede mantener o aumentar con diversos esquemas de ejercicio, mismos que pueden ser específicos para la condición física de cada AM.

De acuerdo con los hábitos alimenticios referidos por la población estudiada el consumo energético para hombres y mujeres no presentó una diferencia significativa, lo que indica que el género no es un factor para tener una mayor o menor ingesta energética; es importante señalar que el consumo ideal de proteína para AM debería ser de 1 gramo por kg de peso (Calero Saa & Chaves García, 2016); al ser la media de peso en esta población de 57.57 kg y el consumo de proteínas de 41.0 g, indica que el aporte es de aproximadamente 0.7 g de proteína por kg de peso corporal; con este déficit se puede generar una disminución en la masa magra del AM y desencadenar sarcopenia, dependencia y desnutrición.

La población de AM de asilados de la ciudad de Aguascalientes presentó una media de glucosa capilar de 146.66 mg/dl, concentraciones que se mantuvieron parecidas en ambos sexos. Cabe mencionar que únicamente 30% de esta población tenía un diagnóstico de diabetes previo a la intervención del estudio. Merodio Pérez, Rivas Acuña y Martínez Serrano (2015) evaluaron la glucosa de una población de AM, respecto al género se apreció que 64.7% de los hombres y 60.8% de las mujeres presentaron descontrol en la concentración de glucosa sanguínea.

En la población estudiada llama la atención que la mayoría de los participantes presentó un descontrol en la concentración de glucosa, son pocos los AM que mantienen concentraciones óptimas de este parámetro bioquímico; el descontrol puede ser consecuencia de una dieta inadecuada, la disminución de la producción de insulina y la resistencia periférica a dicha hormona provocada por el envejecimiento (García Salcedo, Serrano Gallardo, Recio Vega, & Calderón Salinas, 2011).

Con los resultados obtenidos se hace evidente la necesidad de identificar oportunamente al AM en riesgo nutricional; así como de desarrollar programas nutricionales específicos para AM que permitan cubrir el aporte proteico-energético de la población con la finalidad de disminuir el riesgo o presencia de desnutrición. Asimismo, se deben considerar algunas variables de predicción para la pérdida de peso, como: inapetencia, polifarmacia, falta de piezas dentales, síndromes de malabsorción, sedentarismo, alteraciones en el sentido del olfato y gusto, etc.; mismas que pueden identificarse fácilmente y tratarse de forma oportuna para mejorar el estado nutricional del AM.

CONCLUSIONES

El 63.3% de la población de AM de la ciudad de Aguascalientes que vive en asilos presentó riesgo de desnutrición o desnutrición y 86.7% se identificó con dependencia.

El adulto mayor requiere un cuidado específico y un tratamiento integral e individualizado para corregir las deficiencias nutrimentales que pueda presentar; prevenir o tratar la desnutrición, el descontrol de las comorbilidades y la aparición de nuevas enfermedades.

Es necesario generar en el estado de Aguascalientes programas sociales que se enfoquen en la atención multidisciplinaria de este grupo etario y promover la creación de lugares donde se pueda brindar en conjunto la parte sociocultural (clubes del abuelo) y de salud multidisciplinaria (medicina, nutrición, terapia física, psicológica, etcétera) al mismo tiempo.

REFERENCIAS

- Alarcón Sánchez, M. N., Pinto López, L. P., & Benalcázar Game, J. (2018). Implementar técnicas nutricionales para adultos mayores desnutridos. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 2(esp.), 435-463. doi: 10.26820/recimundo/2.esp.2018.435-463
- Alvarado-García, A., Lamprea-Reyes, L., & Murcia-Tabares, K. (2017). La nutrición en el adulto mayor: Una oportunidad para el cuidado de enfermería. *Enfermería Universitaria*, 14(3), 199-206. doi: 10.1016/j.reu.2017.05.003
- Burgos Vélez, M. J., González Solís, M. M., & Castro Posligua, A. (2018). *Evaluación del estado nutricional de adultos mayores del asilo Carlos Luis Plaza Dañín de Guayaquil* (Tesis de pregrado). Recuperada de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/35310>
- Calero Saa, P. A., & Chaves García, M. A. (2016). Cambios fisiológicos de la aptitud física en el envejecimiento. *Revista Investigación en Salud Universidad de Boyacá*, 3(2), 176-194. doi: 10.24267/23897325.178
- Calleja Fernández, A., Vidal Casariego, A., Cano Rodríguez, I., & Ballesteros Pomar, M. D. (2016). Cuestionario semicuantitativo para la valoración de la ingesta dietética del paciente hospitalizado: Una herramienta sencilla para la práctica clínica. *Nutrición Hospitalaria*, 33(2), 199-511. doi: 10.20960/nh.112

- Cuervo, M., Ansorena, D., García, A., González Martínez, M. A., Astiasarán, I., & Martínez, J. A. (2009). Valoración de la circunferencia de la pantorrilla como indicador de riesgo de desnutrición en personas mayores. *Nutrición Hospitalaria*, 24(1), 63-67. Recuperado de <http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v24n1/original8.pdf>
- Deossa-Restrepo, G. C., Restrepo-Betancur, L. F., Velásquez-Vargas, J. E., & Varela-Álvarez, D. (2016). Evaluación nutricional de adultos mayores con el Mini Nutritional Assessment: MNA. *Universidad y Salud*, 18(3), 494-504. doi: 10.22267/rus.161803.54
- García Rodríguez, M., García Vilau, O., & Odio Collazo, A. (2017). Metodología para el diagnóstico de la seguridad alimentaria y nutricional desde los gobiernos locales en un municipio. *Retos de la Dirección*, 11(2), 22-37. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rdir/v11n2/rdir03217.pdf>
- García Salcedo, J. J., Serrano Gallardo, L. B., Recio Vega, R. B., & Calderón Salinas, J. V. (2011). Tolerancia a la glucosa en personas mayores de 60 años. *REB*, 30(1), 3-11. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/pdfs/revedubio/reb-2011/reb111b.pdf>
- González-Pérez, S. P., Raya-Giorguli, G., Botello-Pacheco, R., & Rangel-Peniche, D. B. (2013). Composición corporal y dieta de mujeres adultas mayores sanas del municipio de Querétaro. *Ciencia UAQ*, 1-8.
- Herazo-Beltrán, Y., Quintero-Cruz, M. V., Pinillos-Patiño, Y., García-Puello, F., Núñez-Bravo, N., & Suarez-Palacio, D. (2017). Calidad de vida, funcionalidad y condición física en adultos mayores institucionalizados y no institucionalizados. *Revista Latinoamericana de Hipertensión*, 12(5), 174-181. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1702/170254309009.pdf>
- Interiano Rodas, E. A., & Valdez, R. (2017). *Asociación entre desnutrición y dependencia en el adulto mayor que asiste a consulta en el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social del departamento de Escuintla* (Tesis de maestría). Recuperada de <http://biblioteca.galileo.edu/tesario/handle/123456789/796>
- Landi, F., Liperoti, R., & Onder, G. (2013). *The usefulness of anthropometric measures*. *European Journal of Nutrition*, 52, 1683. doi: 10.1007/s00394-013-0550-6
- Méndez Estévez, E., Romero Pita, J., Fernández Domínguez, J., Troitiño Álvarez, P., García Dopazo, S., Jardón Blanco, M., ... Menéndez, M. (2013). ¿Tienen nuestros ancianos un adecuado estado nutricional? ¿Influye su institucionalización? *Nutrición Hospitalaria*, 28(3), 903-913. doi: 10.3305/nh.2013.28.3.6349
- Merodio Pérez, Z., Rivas Acuña, V., & Martínez Serrano, A. (2015). Percepción del apoyo familiar y dificultades relacionadas con la diabetes en el adulto mayor. *Horizonte Sanitario*, 14(1), 14-20. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457844964003>
- Osuna-Padilla, I. A., Verdugo-Hernández, S., Leal-Escobar, G., & Osuna-Ramírez, I. (2015). Estado nutricional en adultos mayores mexicanos: Estudio comparativo entre grupos con distinta asistencia social. *Revista Española de Nutrición y Dietética*, 19(1), 12-20. doi: 10.14306/renhyd.19.1.119
- Peña-Ordóñez, G. G., Bustamante-Montes, L. P., Ramírez-Durán, N., Halley-Castillo, E., & García-Cáceres, L. (2016). Evaluación de la ingesta proteica y la actividad física asociadas con la sarcopenia del adulto mayor. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(1), 16-22. doi: 10.14306/renhyd.20.1.178
- Rodríguez Quintana, T., Ayala Chauvin, M. A., Ortiz Rosero, M. F., Ordoñez Paccha, M. B., Fabelo Roche, J. R., & Iglesias Moré, S. (2019). Caracterización de las condiciones de salud de los adultos mayores en centros geriátricos de la ciudad de Loja, Ecuador, 2017. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 18(1), 138-149. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2019000100138&lng=es&tlng=es.
- Zayas Somoza, E., Fundora Álvarez, V., & Santana Porbén, S. (2018). Sobre las interrelaciones entre la sarcopenia, el envejecimiento y la nutrición. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 28(1), 152-176. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubalnut/can-2018/can1811.pdf>

Una revisión al uniformitarismo, sus aplicaciones en paleontología y las particularidades del registro fósil de animales terrestres mexicanos

A review of uniformitarianism, its applications in paleontology and the particularities of the fossil record of Mexican land animals

Rosalía Guerrero-Arenas*✉, Eduardo Jiménez-Hidalgo*, Víctor Manuel Bravo-Cuevas**

Guerrero-Arenas, R., Jiménez-Hidalgo, E., & Bravo-Cuevas, V. M. (2020). Una revisión al uniformitarismo, sus aplicaciones en paleontología y las particularidades del registro fósil de animales terrestres mexicanos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(81), 74-81.

RESUMEN

El estudio del registro fósil permite formular hipótesis sobre los ambientes del pasado. Las comparaciones con análogos actuales se basan en el estudio de diversos indicadores. El objetivo del artículo es discutir la validez de dichas hipótesis sobre las condiciones ambientales del pasado. También se argumenta por qué el uniformitarismo, como concepto, puede ser malentendido y mal aplicado en varios estudios, originando interpretaciones débiles. Se discuten las razones de la falta de interpretaciones válidas de los ambientes del pasado del territorio mexicano, principalmente la carencia de análogos modernos. A partir de ejemplos con organismos terrestres fósiles se argumenta la singularidad del registro mexicano y las limitaciones existentes para la interpretación de sus ambientes del pasado y su biocronología.

Palabras clave: fósiles; actualismo; paleoambientes; paleobiología; mamíferos fósiles; neontología.

Keywords: fossils; actualism; paleoenvironments; paleobiology; fossil mammals; neontology.

Recibido: 11 de diciembre de 2019, aceptado: 22 de septiembre de 2020

* Laboratorio de Paleobiología, Universidad del Mar campus Puerto Escondido, Oaxaca, México. Ciudad Universitaria, Carretera Vía Sola de Vega, Puerto Escondido, San Pedro Mixtepec, C. P. 71980, Juquila, Oax., México. Correo electrónico: rosaliaga@zicatela.umar.mx; eduardojh@zicatela.umar.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5763-806X>; <http://orcid.org/0000-0002-6372-0625>

** Museo de Paleontología, Área Académica de Biología, Ciudad del Conocimiento, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Kilómetro 4.5 carretera Pachuca-Tulancingo, Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, C. P. 42184, Hidalgo, México. Correo electrónico: vbravo@uaeh.edu.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6395-7147>

✉ Autora para correspondencia

ABSTRACT

The study of fossil record allows the proposal of hypotheses about past environments. Comparisons with recent analogues are based on the study of several proxies. The aim of the article is to discuss examples the reliability of those hypotheses about past environmental conditions. Also, is discussed why the concept of uniformitarianism could be misunderstood and wrongly applied in several studies, leading weak interpretations. Several causes of lack of valid interpretations of ancient environments in Mexican territory are discussed, mainly the absence of modern analogues. Based on fossil terrestrial organisms examples, the singularity of the Mexican fossil record is discussed, as well as the limitations in the interpretation of past environments and biochronology.

INTRODUCCIÓN

La información derivada del estudio del registro fósil ha demostrado ser una fuente confiable para inferir las condiciones ambientales del pasado, así como la historia evolutiva de taxones desaparecidos. La formulación de las hipótesis se rige por el *uniformitarismo*, principio que en las geociencias indica que los procesos actuales operaron en el pasado y que son clave para interpretar eventos pasados (Cronin, 2010). Sin embargo, a veces las interpretaciones no son objetivas.

Con el fin de que futuros profesionales de las ciencias de la Tierra se familiaricen con el uso del uniformitarismo en interpretaciones paleobiológicas, este texto aborda cuatro objetivos: a) revisar el uso de

este concepto en las ciencias de la Tierra, b) explicar por qué el registro fósil mexicano puede ser particular y sin análogos, c) mencionar algunos ejemplos de la paleobiota mexicana terrestre y su falta de analogía con biotas sincrónicas en América del Norte, y d) demostrar que el avance en el conocimiento de los paleoambientes depende del avance conjunto de la neontología y la paleontología.

El uniformitarismo: Un concepto mal entendido

El análisis de la evidencia fósil parte de que el conocimiento de factores que influyen en la abundancia y distribución de los organismos modernos permite realizar inferencias sobre los controles ambientales dominantes en las poblaciones del pasado. Si se aplica este enfoque a los conjuntos de fósiles, si se contara con equivalentes actuales permitiría reconstruir las condiciones ambientales del pasado con un grado razonable de confianza (Lowe & Walker, 2015). La frase "El presente es la llave del pasado" se repite incansablemente en diversos libros y en artículos indizados. Sin embargo, las interpretaciones de cómo vivían las biotas pasadas -a partir de comparaciones con actuales— no son tan simples.

Uno de los errores más comunes es la comprensión del concepto del uniformitarismo. El término fue acuñado en 1832 por William Whewell (Romano, 2015; Shea, 1982) y ha sido modificado consecuentemente. Desde el punto de vista filosófico varios autores lo consideran problemático, ya que la acepción original ha variado a lo largo del tiempo (Baker, 2014; García-Cruz, 1999; Gould, 1965; Gould, 1987; Knight & Harrison, 2014; Romano, 2015; Shea, 1982). De acuerdo con Gould (1965) y Romano (2015) el uniformitarismo sustantivo (*substantive uniformitarianism*, en su acepción original) considera que los procesos naturales operan y siempre han operado en tasas uniformes, produciendo cambios lentos y acumulables. Por otro lado, el uniformitarismo metodológico (*methodological uniformitarianism*) considera a priori que las leyes naturales son invariantes en tiempo y en espacio.

En cuanto a la uniformidad de los procesos del pasado y su permanencia en el presente, Balashov (1994) identificó al uniformitarismo débil y al fuerte. En el uniformitarismo débil (*weak uniformitarianism*) se requiere que los tipos de procesos que funcionan en el pasado geológico sean los mismos que en el presente, lo cual implica una temporalidad uniforme

en las leyes naturales; el uniformitarismo fuerte (*strong uniformitarianism*) va más allá y demanda que no solamente los tipos de procesos, sino las intensidades sean las mismas en el pasado y en el presente (Balashov, 1994).

Como resultado de estas revisiones se recomienda que el enfoque del actualismo se use con cautela (Harrison, 2012). Aunque el registro fósil es la evidencia más fehaciente de la historia de la vida de nuestro planeta, también representa una versión imperfecta de dicho pasado (Louys, Wilkinson, & Bishop, 2012), ya que no todo lo que alguna vez vivió se encuentra preservado en el registro geológico. Debido a que la Tierra es un sistema en constante cambio, el principio del uniformitarismo no puede emplearse indistintamente.

Knight & Harrison (2014) discuten ampliamente que es imposible aplicar este principio en el presente y futuro, debido a que el Antropoceno -intervalo de tiempo en la historia de la Tierra en que vivimos actualmente, en el que muchos procesos elementales de la superficie terrestre son dominados por la influencia humana (Lluch-Cota, Saldívar-Lucio, & Aranceta-Garza, 2017)— carece de análogos en el pasado geológico. La actividad humana actualmente dirige la dinámica de varios sistemas contemporáneos de la Tierra y modifica su comportamiento más allá de los límites de su variabilidad natural, por ello el Antropoceno debe considerarse como una singularidad en la que hay incertidumbre (es decir, hay escasa predictibilidad) y no es posible presagiar cómo funcionarán los sistemas del planeta -como el clima— debido a las acciones antropogénicas.

En ocasiones no es posible usar el principio del uniformitarismo debido a la falta de analogía con grupos fósiles y recientes. Se ha enfatizado que aun cuando las comunidades de plantas fósiles mexicanas presentan una semejanza taxonómica con alguna comunidad actual, siempre hay diferencias (Cevallos-Ferriz, González-Torres, & Calvillo-Canadell, 2012). Caballero-Rodríguez, Lozano-García y Correa-Metrio (2017) mencionan que la vegetación del centro de México durante el Pleistoceno carece de análogos con respecto a ecosistemas locales recientes. Con relación a la fauna, las asociaciones disarmónicas del Pleistoceno (conjuntos de especies con representantes de regiones templadas y tropicales) ejemplifican esta

falta de analogía, como las faunas pleistocénicas de la cueva de San Josecito, Nuevo León, y de Valsequillo, Puebla (Ceballos, Arroyo-Cabrales, & Ponce, 2010).

Otra limitación de la aplicación del uniformitarismo depende de la información biológica sobre los diversos taxones, tanto fósiles como recientes. Por ejemplo, De Francesco (2013) observó que el uniformitarismo tiene limitaciones con moluscos dulceacuícolas debido a los problemas de identificación de sus especies, la escasa información ecológica disponible y los amplios rangos de tolerancia ecológica que tienen especies recientes.

Las particularidades del registro fósil mexicano

La biota fósil de México, al igual que la reciente, se caracteriza por una vasta biodiversidad. Las razones ecológicas y geológicas de dicha biodiversidad han sido revisadas ampliamente por varios autores (Cevallos-Ferriz & González-Torres, 2005; Flores-Villela & Martínez-Salazar, 2009; Ramírez-Barahona & Eguiarte, 2013). La historia geológica de México es distinta a la del resto de América del Norte; Ferrari (2017) señala que los procesos tectónicos regionales —orógenos y rupturas continentales—, el vulcanismo y los movimientos en masa que ha sufrido el planeta han influido en la construcción de barreras físicas y subdivisiones geomórficas continentales; así como nuevas vías de comunicación atmosférica, como en el clima, al producir cambios en la circulación atmosférica.

Las numerosas orogenias de nuestro territorio han creado diversos microhábitats, en los cuales las poblaciones se han desarrollado de manera distinta. Asumir que la evolución de las biotas de EE. UU. y México es muy semejante —y en algunos casos igual— como se postuló desde finales del siglo pasado, originó varios supuestos erróneos de que algunas poblaciones y comunidades estaban dentro de un continuo temporal y espacial. En la siguiente sección se mostrará, con casos particulares del centro y sur de México, cómo las biotas mexicanas difieren del resto de las de América del Norte.

No todo en América del Norte es “norteamericano”

Además de los estudios de índole paleobiológica, los mamíferos también han sido utilizados para correlacionar estratos y circunscribir dichos estratos a la escala del tiempo geológico, mediante las

Edades de Mamíferos Terrestres (Lindsay, 2003; Woodburne, 2004). Éstas se definen como un intervalo relativamente corto de tiempo geológico que puede ser reconocido de otro intervalo temporal anterior o posterior, con base en un conjunto característico de taxa de mamíferos en una región específica (Lindsay, 2003). Las regiones geográficas de las edades de mamíferos más utilizados son muy amplias, por lo que existen distintos conjuntos de edades de mamíferos para América del Norte, América del Sur y Asia, por ejemplo (Hulbert, 2015).

En México, tradicionalmente se han utilizado las NALMA (*North American Land Mammals Ages*; Edades de Mamíferos Terrestres de Norteamérica) porque se considera que las faunas de México son equivalentes a las de EE. UU. Esto significa que las especies de los conjuntos de mamíferos mexicanos de una edad geológica determinada son las mismas que se pueden reconocer en el país vecino. Sin embargo, los estudios paleontológicos recientes donde se realiza un riguroso control estratigráfico de los ejemplares, donde se muestrea macro- y microfauna—, así como los fechamientos radiométricos y magnetoestratigráficos de las capas fosilíferas comienzan a mostrar que esta generalización no es del todo acertada.

Los conjuntos mexicanos de mamíferos fósiles no siempre son equivalentes a los de EE. UU. ni las asociaciones identificadas son de la misma edad geológica. Por ejemplo, los antilocápridos *Cosoryx* y *Plioceros* se extinguen al final del Clarendoniano (9 Ma) en las faunas locales de aquel país (Tedford et al., 2004); mientras que en México se han registrado en la porción temprana del Henfiliano tardío (Hh2) (6.95-5.59 Ma) de Zacatecas (Carranza-Castañeda, Aranda-Gómez, Wang, & Iriondo, 2013). En EE. UU. el équido *Dinohippus mexicanus* se conoce sólo en el Henfiliano más tardío (Hh4) (ca. 5.0 Ma), mientras que en México se registra desde el Hh2 y hasta el Hh4 (6.95-4.8 Ma) (Carranza-Castañeda et al., 2013).

El camélido *Alforjas* y el antilocáprido *Texoceros* han sido registrados en el Hh4 de Guanajuato (4.8 Ma) (Jiménez-Hidalgo, 2005); mientras que en las localidades estadounidenses ambos se extinguen durante el Hh3 (ca. 6.0 Ma) (Tedford et al., 2004); asimismo, los camélidos *Blancocamelus meadei* y *Hemiauchenia gracilis* están presentes en sedimentos del Blancano III de Guanajuato (4.7-3.3 Ma), mientras que en las faunas locales de EE. UU. aparecen en el Blancano V (2.5-1.9 Ma) (Jiménez-Hidalgo & Carranza-Castañeda, 2010).

Por su parte, los fechamientos radiométricos y los estudios paleomagnéticos realizados en algunas localidades mexicanas reflejan que el límite temporal entre las NALMA en México no es sincrónico con las edades geológicas establecidas en EE. UU. En Nevada se estableció un límite para el Henfiliano/Blancano en 4.98-5.0 Ma (Lindsay et al., 2002), mientras que en Chihuahua este límite se identificó cerca de los 4.97 Ma (Lindsay et al., 2006), muy cercano al anterior; dicho límite se estableció en Guanajuato entre los 4.7 y 4.8 Ma (Flynn et al., 2005).

La diferencia de intervalos geocronológicos de varios taxones presentes en México y EE. UU. sugiere que ya no deben ser utilizados como marcadores de esas edades de mamíferos tan a la ligera (Flynn et al., 2005); es mejor realizar dataciones absolutas con isótopos radioactivos como U-Pb o Ar-Ar. Incluso en EE. UU., el muestreo continuo de sus faunas locales ha extendido el alcance geocronológico de algunos taxa, como por ejemplo el úrsido *Agriotherium*, el cual era marcador del Henfiliano y que posteriormente fue descubierto en sedimentos del Blancano de Idaho (Samuels, Meachen-Samuels, & Gensler, 2009).

Afortunadamente, en México existen mamíferos que continúan siendo buenos marcadores de edad, como los bisontes o los équidos (Bell et al., 2004; Carranza-Castañeda et al., 2013); empero, los recientes trabajos taxonómicos, en diferentes épocas geológicas y regiones geográficas del país (Carranza-Castañeda, 2016; McDonald & Carranza-Castañeda, 2017; Rincón, Czaplewski, Montellano-Ballesteros, & Benammi 2016; Stinnesbeck et al., 2017; Wang y Carranza-Castañeda, 2008) están mostrando que el grado de disimilitud taxonómica y temporal entre los conjuntos de mamíferos estadounidenses y mexicanos es considerablemente mayor a lo que se pensó en un inicio.

El bison americano en pastizales y zonas de vegetación abiertas

Uno de los supuestos más extendidos en los estudios paleobiológicos era considerar que una especie herbívora se alimentaba del mismo recurso alimentario, independientemente de la zona geográfica en que habitara. En estudios recientes se ha visto que esto no siempre se cumple. El género *Bison* es de origen eurasiático y arribó a América del Norte a través del estrecho de Bering hace aproximadamente 200,000 años (Lange, 2002; McDonald, 1981). La única especie sobreviviente del Pleistoceno, el bison

americano (*Bison bison*), es uno de los mamíferos terrestres más grandes de América del Norte, se alimenta primordialmente de pasto y es una especie clave de las praderas norteamericanas (Lange, 2002; Meagher, 1986) (figura 1 inciso A).

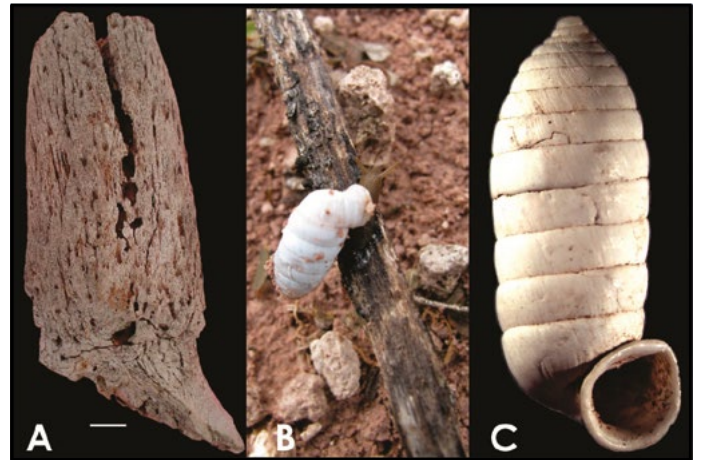


Figura 1. A) Núcleo de cuerno de *Bison*. B) Un caracol terrestre *Holospira (Bostichocentrum) goldmani*. C) Concha de la misma especie de caracol. Fotografías del equipo de investigación.

La condición especialista que distingue a los bisontes americanos actuales (pasedores y habitantes comunes de las praderas) generó la propuesta de que la presencia de fósiles de *Bison* sería indicativa de ambientes abiertos, cubiertos por pastos. Sin embargo, este planteamiento es inconsistente con información reciente sobre hábito alimentario mediante la caracterización de patrones de desgaste dental y composición isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) en esmalte dental y/o hueso.

La evaluación microscópica y macroscópica del daño producido por el contacto diente/diente (conocido como atrición) y diente/alimento (conocido como abrasión) en ejemplares de bisontes del Pleistoceno tardío de Alaska (*Bison priscus*), Nuevo México (*Bison antiquus*), así como de Texas y Florida (*Bison* sp.), y el centro y sur de México (*B. antiquus*) indica una dieta menos abrasiva que la reportada en los bisontes modernos, semejante a la de los herbívoros típicos con hábitos mixtos (Díaz-Sibaja, Jiménez-Hidalgo, Ponce-Saavedra, & García Zepeda, 2018; Rivals, Solounias, & Muhlbachler, 2007).

Por otra parte, la composición isotópica de carbono en muestras de *Bison* del Pleistoceno tardío

de la costa de California, las Grandes Planicies, la Planicie Costera del Golfo y el centro de México presenta valores de $\delta^{13}\text{C}$, que varían de -2.0‰ a -7.0‰, indicando una dieta variable consistente en plantas C3 y C4 (Bravo-Cuevas, Rivals, & Priego-Vargas, 2017). Ello refleja un cambio de un comportamiento alimentario flexible a una dieta restringida de los bisontes extintos a los bisontes modernos. Es probable que esto se relacione con las modificaciones climáticas ocurridas en el Pleistoceno tardío y principios del Holoceno (Rivals et al., 2007). El amplio espectro alimentario observado en los bisontes pleistocénicos permitió a estos bóvidos ocupar diversos hábitats, incluso zonas de vegetación abierta; ambientes mixtos de zonas abiertas y arboladas, así como zonas arboladas (Bravo-Cuevas et al., 2017; Díaz-Sibaja et al., 2018).

Un presente incompleto no puede ser (una) llave del pasado

La forma en la que en el presente estudio se proponen las hipótesis de las condiciones de los ambientes antiguos es inductivo. Mientras mayor sea el conocimiento de las especies actuales conforme a su historia de vida las hipótesis tendrán mayor soporte y las aproximaciones estarán mejor sustentadas e incluso obliga a la revisión de paradigmas usados en la interpretación de condiciones del pasado. Por ejemplo, los gasterópodos terrestres han sido usados como indicadores (*proxies*) ecológicos debido a su aparente restricción a ciertas condiciones ambientales, como vegetación o suelo. Los caracoles urocóptidos son referidos como "obligados" de suelos con carbonato de calcio (Thomson & Mihalcik, 2005). Sin embargo, recientemente se reconocieron ejemplares de urocóptidos vivos (*Holospira (Bostrichocentrum) goldmani*) en suelos derivados de sedimentos volcánicos (Guerrero-Arenas, Jiménez-Hidalgo, & Sandoval-García, 2018) (figura 1 inciso B y figura 1 inciso C).

En los últimos años el conocimiento de la fisiología de los organismos y de su capacidad para adaptarse a diferentes ambientes ha aumentado considerablemente. Las interpretaciones de los hábitos dietarios en herbívoros (y, por ende, de la vegetación presente cuando el animal vivía) no consideran a la fisiología como un factor que determine el espectro de recursos alimentarios que pueda explotar. De manera general, la microbiota de los mamíferos está ligada a los cambios de hábito

dietario a lo largo del tiempo (Ley et al., 2008).

Con base en diversas especies de rumiantes actuales (bovinos, ovejas, cabras, cérvidos y camellos) Henderson et al. (2015) demostraron que las diferencias en las comunidades microbianas del rumen pueden atribuirse a la dieta y, en menor medida, al huésped; la flexibilidad de la estructura de la comunidad microbiana del rumen puede conferirle a los rumiantes la habilidad de explotar una variedad de plantas como recursos alimenticios (Henderson et al., 2015), lo cual debe considerarse si se plantea que las especies recientes sean homólogas a las fósiles.

CONCLUSIONES

Es importante recalcar que las interpretaciones del pasado geológico deben realizarse con mayor rigor. El registro fósil es irremplazable en el conocimiento de la historia de la biota de nuestro planeta; las deficientes interpretaciones de estudios de biotas fósiles no invalida su importancia como fuente de información. Es imperativo que los paleontólogos no pasen por alto las investigaciones biológicas contemporáneas. Aunque la neontología y la paleontología se consideraron antaño como ciencias divorciadas (González Medrano, 1998), si ambas se integran la información generada será más robusta e integral (Hlusko, Schmitt, Monson, Brasil, & Mahaney 2016; Feduccia, Lingham-Soliar, & Hinhliffe, 2005; Sánchez-Villagra, 2010; Sarzetti, Dinghi, Genise, Bedatou, & Verde, 2013).

El registro fósil mexicano destaca por su singularidad. Existen cada vez más evidencias de que los conjuntos de vegetación del pasado carecen de análogos modernos en varios periodos, incluso en aquellos relativamente cercanos, como el Pleistoceno tardío o el Holoceno (Caballero-Rodríguez et al., 2017; Correa-Metrio et al., 2012; Cruz, Arroyo-Cabrales, & Reynoso, 2016). Es deseable que las generaciones futuras de paleontólogos y estudiosos de las ciencias de la Tierra opten por una postura crítica con respecto a las hipótesis propuestas, en referencia a las condiciones ambientales del pasado en territorio mexicano y a los procedimientos utilizados para generarlas.

REFERENCIAS

- Baker, V. R. (2014). Uniformitarianism, earth system science, and geology. *Anthropocene*, 5, 76-79. doi: 10.1016/j.ancene.2014.09.001
- Balashov, Y. (1994). Uniformitarianism in Cosmology: Background and philosophical implications of the steady-state theory. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 25(6), 933-958. doi: 10.1016/0039-3681(94)90069-8
- Bell, C. J., Lundelius Jr., E. L., Barnosky, A. D., Graham, R.W., Lindsay, E. H., Ruez, D. R., ... Zakrzewski, R. J. (2004). The Blancan, Irvingtonian, and Rancholabrean mammal ages. En M. O. Woodburne (Ed.), *Late Cretaceous and Cenozoic mammals of North America* (pp. 232-314). New York: Columbia University Press.
- Bravo-Cuevas, V. M., Rivals, F., & Priego-Vargas, J. (2017). Paleoeecology ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ stable isotopes analysis) of a mammalian assemblage from the late Pleistocene of Hidalgo, central Mexico and implications for a better understanding of environmental conditions in temperate North America (18°–36°N Lat.). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 485, 632-643. doi: 10.1016/j.palaeo.2017.07.018
- Caballero-Rodríguez, D., Lozano-García, S., & Correa-Metrio, A. (2017). Vegetation assemblages of central Mexico through the late Quaternary: Modern analogs and composition turnover. *Journal of Vegetation Science*, 28(3), 504-514. doi: 10.1111/jvs.12515
- Carranza-Castañeda, O. (2016). Roedores caviomorfos (Rodentia: Hydrochoeridae) del Blancano temprano-tardío-Irvingtoniano de los estados de Guanajuato, Jalisco y Sonora, México: Relación con *Phugatherium dichroplax*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33(3), 297-315. doi: 10.22201/cgeo.20072902e.2016.3.445
- Carranza-Castañeda, O., Aranda-Gómez, J. J., Wang, X., & Iriondo, A. (2013). The early-late Hemphillian (Hh2) faunal assemblage from Juchipila Basin, state of Zacatecas, Mexico, and its biochronologic correlation with other hemphillian faunas in central Mexico. *Contributions in Science*, 521, 13-49.
- Ceballos, G., Arroyo-Cabrales, J., & Ponce, E. (2010). Effects of Pleistocene environmental changes on the distribution and community structure of the mammalian fauna of Mexico. *Quaternary Research*, 73(3), 464-473. doi: 10.1016/j.yqres.2010.02.006
- Cevallos-Ferriz, S. R. S., & González-Torres, E. A. (2005). Geological setting and phytodiversity in Mexico. En F. J. Vega et al. (Eds.), *Studies on Mexican Paleontology* (pp. 1-18). Dordrecht: Springer.
- Cevallos-Ferriz, S. R. S., González-Torres, E. A., & Calvillo-Canadell, L. (2012). Perspectiva paleobotánica y geológica de la biodiversidad en México. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 317-350.
- Correa-Metrio, A., Bush, M. B., Cabrera, K. R., Sully, S., Brenner, M., Hodell, D. A., ... Guilderson, T. (2012). Rapid climate change and no-analog vegetation in lowland Central America during the last 86,000 years. *Quaternary Science Review*, 38, 63-75. doi: 10.1016/j.quascirev.2012.01.025
- Cronin, T. M. (2010). *Paleoclimates. Understanding climate change past and present*. US: Columbia University Press.
- Cruz, J. A., Arroyo-Cabrales, J., & Reynoso, V. H. (2016). Reconstructing the paleoenvironment of Ioltún Cave, Yucatán, México, with Pleistocene amphibians and reptiles and their paleobiogeographic implications. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33(3), 342-354. doi: 10.22201/cgeo.20072902e.2016.3.441
- De Francesco, C. G. (2013). PALEOLIMNOLOGY. Freshwater mollusks. En S. A. Elías, & C. J. Mock (Eds.), *Encyclopedia of Quaternary Science* (pp. 281-291). United Kingdom: Elsevier.
- Díaz-Sibaja, R., Jiménez-Hidalgo, E., Ponce-Saavedra, J., & García Zepeda, M. A. (2018). A combined mesowear analysis of Mexican *Bison antiquus* shows a generalist diet with geographical variation. *Journal of Paleontology*, 92(6), 1130-1139. doi: 10.1017/jpa.2018.19
- Feduccia, A., Lingham-Soliar, T. & Hinliffe, J. R. (2005). Do feathered dinosaurs exist? Testing the hypothesis on neontological and paleontological evidence. *Journal of Morphology*, 266(2), 125-166. doi: 10.1002/jmor.10382
- Ferrari, L. (2017). Geología y biodiversidad: Una evolución paralela. En S. R. S. Cevallos-Ferriz, & A. R. Huerta-Vergara (Eds.), *Paleobiología. Interpretando procesos de la vida pasada* (pp. 237-256). México: UNAM.
- Flynn, J. J., Kowallis, B. J., Nuñez, C., Carranza-Castañeda, O., Miller, W. E., Swisher, C. C., & Lindsay, E. (2005). Geochronology of Hemphillian-Blancan aged strata, Guanajuato, Mexico, and implications for timing of the Great American Biotic Interchange. *The Journal of Geology*, 113(3), 287-307. doi: 10.1086/428806
- Flores-Villela, O., & Martínez-Salazar, E. A. (2009). Historical explanation of the origin of the herpetofauna of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(3), 817-833.
- García-Cruz, C. M. (1999). El principio de Uniformidad (II). Un obstáculo epistemológico entre el pasado y el presente. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7.1, 16-20.
- González Medrano, F. (1998). La paleontología y la distribución de los organismos. *Ciencias*, 52, 72-82.

- Gould, S. J. (1965). Is uniformitarianism necessary? *American Journal of Science*, 263(3), 223-228. doi: 10.2475/ajs.263.3.223
- _____ (1987). *Time's arrow, time's cycle. Myth and metaphor in the discovery of geological time*. Cambridge: Harvard University Press.
- Guerrero-Arenas, R., Jiménez-Hidalgo, E., & Sandoval-García, C. (2018). New occurrences of *Holospira (Bostrichocentrum) goldmani* Bartsch, 1906 (Gastropoda: Urocoptidae) in northwestern Oaxaca, southern Mexico. *Check List*, 14(1), 107-112. doi: 10.15560/14.1.107
- Harrison, S. (2012). Philosophical and methodological perspectives on the science of environmental change. En J. A Matthews et al. (Eds.), *The SAGE Handbook of Environmental Change* (pp. 37-52). United Kingdom: SAGE. doi: 10.4135/9781446253045.n2
- Henderson, G., Cox, F., Ganesh, S., Jonker, A., Young, W., Global Rumen Census Collaborators, & Janssen, P. H. (2015). Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Scientific Reports*, 5, 14567. doi: 10.1038/srep14567
- Hlusko, L. J., Schmitt, C. A., Monson, T. A., Brasil, M. F., & Mahaney, M. C. (2016). The integration of quantitative genetics, paleontology, and neontology reveals genetic underpinnings of primate dental evolution. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(33), 9262-9267. doi: 10.1073/pnas.1605901113
- Hulbert, R. C. (2015). En *Encyclopedia of Florida Vertebrate Paleontology Land Mammal Ages*. Gainesville, FL: Florida Museum of Natural History/University of Florida. Recuperado de <https://www.floridamuseum.ufl.edu/florida-vertebrate-fossils/land-mammal-ages/>
- Jiménez-Hidalgo, E. (2005). *Bioestratigrafía de los artiodáctilos (Tylopoda y Ruminantia) de las faunas del Terciario tardío de la Faja Volcánica Transmexicana* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperada de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/63006>
- Jiménez-Hidalgo, E., & Carranza-Castañeda, O. (2010). Blancan camelids from San Miguel de Allende, Guanajuato, Central México. *Journal of Paleontology*, 84(1), 51-65. doi: 10.1666/08-154.1
- Knight, J., & Harrison, S. (2014). Limitations of uniformitarianism in the Anthropocene. *Anthropocene*, 5, 71-75. doi: 10.1016/j.ancene.2014.06.001
- Lange, I. M. (2002). *Ice Age mammals of North America*. Montana: Mountain Press Publishing Company.
- Ley, R. E., Hamady, M., Lozupone, C., Turnbaugh, P. J., Ramey, R. R., Bircher, S., ... Gordon, J. I. (2008). Evolution of mammals and their gut microbes. *Science*, 320(5883), 1647-1651. doi: 10.1126/science.1155725
- Lindsay, E. H. (2003). Chronostratigraphy, Biochronology, Datum Events, Land Mammal Ages, Stage of Evolution, and Appearance Event Ordination. *Bulletin American Museum of Natural History*, 279, 212-230.
- Lindsay, E. H., Mou, Y., Downs, W., Pederson, J., Kelly, T. S., Henry, C., & Trexler, J. (2002). Recognition of the Hemphillian/Blancan boundary in Nevada. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 22(2), 429-442. doi: 10.1671/0272-4634(2002)022[0429:ROTHBB]2.0.CO;2
- Lluch-Cota, S., Saldívar-Lucio, R., & Aranceta-Garza, F. (2017). El Antropoceno: ¿Una nueva era del planeta? *Ciencias*, 125, 4-9.
- Louys, J., Wilkinson, D. M., & Bishop, L. C. (2012). Ecology needs a paleontological perspective. En J. Louys (Ed.), *Paleontology in Ecology and Conservation* (pp. 23-38). Berlin-Heidelberg: Springer. doi: 10.007/978-3-642-25038-5_3
- Lowe, J. J., & Walker, M. J. C. (2015). *Reconstructing Quaternary environments*. India: Routledge-Taylor and Francis Group.
- McDonald, J. N. (1981). *North American Bison: Their Classification and Evolution*. Berkeley: University of California Press.
- McDonald, H. G., & Carranza-Castañeda, O. (2017). Increased xenarthran diversity of the Great American Biotic Interchange: A new genus and species of ground sloth (Mammalia, Xenarthra, Megalonychidae) from the Hemphillian (late Miocene) of Jalisco, Mexico. *Journal of Paleontology*, 91(5), 1069-1082. doi: 10.1017/jpa.2017.45
- Meagher, M. (1986). *Bison bison*. *Mammalian species*, 266, 1-8.
- Ramírez-Barahona, S., & Eguiarte, L. E. (2013). The role of glacial cycles in promoting genetic diversity in the Neotropics: The case of cloud forests during the Last Glacial Maximum. *Ecology and Evolution*, 3(3), 725-738. doi: 10.1002/ece3.483
- Rincón, A. D., Czaplowski, N. J., Montellano-Ballesteros, M., & Benammi, M. (2016). New species of *Postcopemys* (Cricetidae: Rodentia) from the early Pliocene of Lago de Chapala, Jalisco, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 61(2), 108-118. doi: 10.1894/15-00082R2.1
- Rivals, F., Solounias, N., & Mithlbackler, M. C. (2007). Evidence for geographic variation in the diets of late Pleistocene and early Holocene *Bison* in North America, and differences from the diets of recent *Bison*. *Quaternary Research*, 68(3), 338-346. doi: 10.1016/j.yqres.2007.07.012
- Romano, M. (2015). Reviewing the term uniformitarianism in

modern Earth sciences. *Earth-Science Reviews*, 148, 65-76. doi: 10.1016/j.earscirev.2015.05.010

- Samuels, J. X., Meachen-Samuels, J. A., & Gensler, P. A. (2009). The first mid-Blancan occurrence of *Agriotherium* (Ursidae) in North America: A record from Hagerman Fossil Beds National Monument, Idaho. *Journal of Paleontology*, 83(4), 597-603. doi: 10.1666/08-112R.1
- Sánchez-Villagra, M. R. (2010). Suture closure as a paradigm to study late growth in recent and fossil mammals: A case study with giant deer and dwarf deer skulls. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30, 1895-1898. doi: 10.1080/02724634.2010.521218
- Sarzetti, L. C., Dinghi, P. A., Genise, J. F., Bedatou, E., & Verde, M. (2013). Curved fossil bee cells as tools for reconstructing the evolutionary history and palaeogeographical distribution of Diphaglossinae (Apoidea, Colletidae). *Palaeontology*, 57(2), 447-455. doi: 10.1111/pala.12074
- Shea, J.H. (1982). Twelve fallacies of uniformitarianism. *Geology*, 10(9), 455-460. doi: 10.1130/0091-7613(1982)10<455:TFOU>2.0.CO;2
- Stinnesbeck, S. R., Frey, E., Aviles Olguín, J., Stinnesbeck, W., Zell, P., Mallison, H., ... & Rojas Sandoval, C. (2017). *Xibalbaonyx oviceps*, a new megalonychid ground sloth (Folivora, Xenarthra) from the Late Pleistocene of the Yucatán Peninsula, Mexico, and its paleobiogeographic significance. *PalZ*, 91, 245-271. doi: 10.1007/s12542-017-0349-5
- Tedford, R. H., Albright, L. B., Barnosky, A. D., Ferrusquía-Villafranca, I., Hunt, R. M., Storer, J. E., ... Whistler, D. P. (2004). Mammalian biochronology of the Arikareean through Hemphillian intervals (late Oligocene through early Pliocene epochs). En M. O. Woodburne (Ed.), *Late Cretaceous and Cenozoic mammals in North America: Biostratigraphy and geochronology* (pp. 169-231). New York: Columbia University Press.
- Thompson, F. G., & Mihalcik, E. L. (2005). Urocoptid landsnails of the genus *Holospira* from southern Mexico. *Bulletin of the Florida Museum of Natural History* (pp. 63-124). Gainesville, FL: University of Florida.
- Wang, X., & Carranza-Castañeda, O. (2008). Earliest hog-nosed skunk, *Conepatus* (Mephitidae, Carnivora), from the early Pliocene of Guanajuato, Mexico and origin of South American skunks. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 154(2), 386-407. doi: 10.1111/j.1096-3642.2008.00411.x
- Woodburne, M. O. (2004). *Late Cretaceous and Cenozoic mammals of North America: Biostratigraphy and Geochronology*. US: Columbia University Press.

El sendero del cambio estructural en el Baj6o: Terciarizaci6n econ6mica y digitalizaci6n

The path of structural change in the Baj6o: Economic tertiarization and digitalization



Jordy Micheli-Thiri6n*✉, Jos6 Eduardo Valle-Z6rate**

Micheli-Thiri6n, J., & Valle-Z6rate, J. E. (2020). El sendero del cambio estructural en el Baj6o: Terciarizaci6n econ6mica y digitalizaci6n. *Investigaci6n y Ciencia de la Universidad Aut6noma de Aguascalientes*, 28(81), 82-93.

RESUMEN

El cambio estructural que est6 teniendo lugar en las econom6as regionales industrializadas consiste en la creciente importancia que adquiere la terciarizaci6n basada en actividades de contenido tecnol6gico digital. En este art6culo se propone una l6nea de an6lisis conjunto de la terciarizaci6n avanzada y de la brecha digital en los estados de Aguascalientes, Guanajuato y Quer6taro, que conforman la regi6n socioecon6mica del Baj6o. La aportaci6n del texto es caracterizar y comparar el cambio estructural en los tres estados mediante indicadores trabajados con las estad6sticas existentes, lo cual permite sugerir un modo de abordaje del fen6meno para otros estados del pa6s.

Palabras clave: brecha digital; TIC; terciarizaci6n; cambio estructural; el Baj6o.

Keywords: digital gap; CIT; tertiarization; structural change; the Baj6o.

Recibido: 6 de agosto de 2019, aceptado: 28 de agosto de 2020

* Departamento de Econom6a, Universidad Aut6noma Metropolitana-Azcapotzalco. Av. San Pablo 180, col. Reynosa Tamaulipas, C. P. 02200, Azcapotzalco, Ciudad de M6xico, M6xico. Correo electr6nico: jordy.micheli@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7654-0842>

** Programa Econom6a 4.0, Universidad Aut6noma Metropolitana-Azcapotzalco. Av. San Pablo 180, col. Reynosa Tamaulipas, C. P. 02200, Azcapotzalco, Ciudad de M6xico, M6xico. Correo electr6nico: edu_valle3@hotmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4402-3496>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

The structural change taking place in the regional industrialized economies is due to the growing importance of tertiarization based on technological digital activities. In this article we propose a line of joint analysis of both processes for the cases of three Mexican states: Aguascalientes, Guanajuato and Queretaro, that belong to the Baj6o socioeconomic region. The contribution of this article is to characterize and compare structural changes in the three states through indicators worked with existing statistics, which suggest a way of approaching the phenomenon for other states of the country.

INTRODUCCI6N

Los cambios estructurales que suelen identificar a la modernizaci6n de la econom6a est6n vinculados a la expansi6n de las tecnolog6as de informaci6n y comunicaci6n (TIC) en las actividades econ6micas y sociales en general y junto con ello a la expansi6n de las labores de servicios que perfilan nuevos sectores productivos en la gama de actividades econ6micas. La sociedad de la informaci6n es un proceso convergente con la reestructuraci6n econ6mica basada en terciarizaci6n.

Como vislumbr6 en su momento Bell (1973) y analiz6 posteriormente Esping-Andersen (1999), dando entrada al concepto de posindustrializaci6n como caracter6stica del capitalismo contempor6neo. La historia del concepto de sociedad de la

información como instrumento geopolítico se encuentra en Mattelart (2009). En ese sentido, la digitalización y terciarización de la economía a escala nacional y regional conforman un proceso integrado cuyo análisis puede orientar el estudio moderno de las economías regionales.

La forma más común de caracterizar la digitalización es mediante índices que recogen diversas dimensiones de la apropiación y potencialidades de apropiación de las TIC por parte de poblaciones en determinados territorios. La comparación interregional del valor de estos índices da paso a la idea de *brecha digital*, la cual expresa la distancia entre las propias regiones analizadas en materia de digitalización. Por su parte, la terciarización de las economías regionales puede ser dimensionada mediante los datos de la estructura productiva y sus tendencias, tal como hace por ejemplo Garza (2006) para el caso mexicano. Bajo esta premisa es posible generar la información y el análisis que den cuenta de los procesos modernos de cambio estructural.

En este trabajo se propone una línea de abordaje de la reestructuración económica regional bajo la unión de la digitalización y la terciarización, observadas empíricamente con datos que provienen de distintas fuentes del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). El Bajío es una región social y económicamente conformada en México históricamente (Bataillon, 1969) y aunque la configuración política de esta región abarca a 209 municipios de ocho entidades federativas, hay tres estados que modo integral son parte constitutiva de la región y son el eje económico de la misma: Aguascalientes, Guanajuato y Querétaro.

La escala regional está compuesta por los tres estados del Bajío: Aguascalientes, Guanajuato y Querétaro, mismos que conforman un eje económico de gran dinamismo en México por su integración al modelo industrial-exportador condicionado por el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) desde la década de los 90 del siglo pasado.

En una primera parte de este trabajo se muestra el contexto bajo el cual se desarrollan en México la digitalización y la terciarización avanzada. A continuación se brinda una visión estructural de la terciarización de los estados del Bajío, señalando sus semejanzas y diferencias. Finalmente, se explica la

metodología y resultados para identificar la brecha digital en México y su caracterización en los estados que nos interesan. El cuerpo de este texto se acompaña de un anexo metodológico en el cual se detalla la forma de calcular el Índice de Desarrollo Tecnológico para México (IDT Mex), con el cual se calcula la brecha digital estatal y municipal.

Terciarización y digitalización de las economías regionales

En la estructura económica actual, el sector terciario ocupa ya un papel dominante (OECD, 2000) y, en consecuencia, para analizar las condiciones del desarrollo local contemporáneo es relevante comprender la emergencia y papel de estos servicios asociados a mayor productividad y uso intensivo y especializado de TIC dentro de la estructura económica regional. Se trata de los servicios avanzados. En el plano cualitativo, resulta conveniente trazar una comparación entre tales servicios y la manufactura, tal como se hace con el caso de México y cuyos resultados más llamativos son los siguientes:

El crecimiento del sector terciario avanzado en México ha sido significativo, pasando de 12% del PIB terciario en 2003 a 19 % en 2013. Los servicios agrupados y definidos como avanzados se clasificaron como se detalla a continuación. 51: información en medios masivos; 52: servicios financieros y de seguros; 54: servicios profesionales, científicos y técnicos; 55: dirección de corporativos y empresas; 56: servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación (INEGI, 2007).

Debe tomarse en cuenta que si bien la manufactura es de amplia difusión en la geografía nacional (14 entidades representan 85% de la producción manufacturera), en los servicios avanzados tan solo Ciudad de México representa 67.3% y si agrega Nuevo León, Coahuila y Jalisco se tiene 85% de representatividad nacional. Sin embargo, en perspectiva temporal ha habido un importante crecimiento del sector de servicios avanzados en los distintos estados; así, a pesar del contexto de desarrollo concentrado de la terciarización en la Ciudad de México se ha producido una expansión de estas actividades a nivel regional y si se compara con la manufactura a escala regional puede decirse que los servicios avanzados han sido más dinámicos.

En cuanto a la digitalizaci6n de las economías, conviene recordar que Brynjolfsson y McAfee (2014) definen como *exponencial y combinatoria* el avance de la revoluci6n digital en la era actual, y con ello denotan la gran velocidad de los cambios y el car6cter convergente de las diversas tecnologías bajo el paradigma del internet de las cosas y de las nuevas capacidades de info-acumulaci6n. Para la CEPAL (2016), la habilidad y posibilidades de adaptaci6n de las naciones a la revoluci6n digital es un nuevo factor de desarrollo que debe ser tomado en cuenta.

La forma m6s com6n de observar la digitalizaci6n de la economía es la de dimensionar la apropiaci6n de las TIC y comparar los resultados en unidades espaciales significativas: países y regiones. Este ejercicio de conmensurabilidad arroja el concepto de brecha digital, el cual expresa una inequidad social y econ6mica entre la poblaci6n; en este caso entre la conectada y la no conectada a Internet y, por ende, la usuaria (o potencialmente usuaria) y la no usuaria de las TIC. Toudert (2013) advierte que la brecha digital constituye un nuevo marco intrínseco de relaciones sociales a escala territorial.

La Asociaci6n Mexicana de Internet (AMIPCI, 2016) afirma que en M6xico existen 65 millones de usuarios, con 59% de penetraci6n y que con esa cifra de usuarios M6xico es el d6cimo país a nivel mundial. Sin embargo, es un dato que puede tener valor para fines comerciales, pues finalmente el tiempo de consumo de redes es el factor de ganancias para las empresas de telecomunicaciones, pero en realidad tiene una capacidad explicativa menor para asociar digitalizaci6n con desarrollo regional. En la figura 1 se ejemplifica la convergencia entre manufactura y digitalizaci6n con un auto.

Marco geoecon6mico: los tres estados analizados

Los tres estados contiguos son bastante disímboles en su extensi6n territorial. El mayor es Guanajuato con 30,600 km² y sigue el estado de Quer6taro con 11,600 km², mientras que Aguascalientes abarca tan solo 5,615 km² (INEGI, 2015). En cuanto al tamaño de su economía, medida a trav6s del PIB per cápita, se encuentra en primer lugar Quer6taro, quien es sexto lugar nacional, con \$234,980; en segundo lugar Aguascalientes con \$214,212, octavo lugar nacional y en la última posici6n Guanajuato, con \$154,745, 17 a nivel nacional, debajo de la media nacional.

En el indicador de menor pobreza relativa est6 Aguascalientes con 28.2% de la poblaci6n en condici6n de pobreza, seguido de Quer6taro con 31.1% y Guanajuato con 42.4%, pr6cticamente idéntico a la media nacional (El Observatorio Econ6mico M6xico C6mo Vamos, A. C., 2019). En cada estado existe una importante aglomeraci6n urbana con características de zona metropolitana. Con datos de 2015, la mayor es la de Le6n de los Aldamas, en Guanajuato, con 1,714,000 habitantes, en la sexta posici6n nacional sigue Quer6taro con 1,214,000 personas y en tercer lugar Aguascalientes con 1,017,000 habitantes (Secretaría de Gobernaci6n & Secretaría de Desarrollo Territorial y Urbano, 2018).

Cada uno de los estados entra a la fase de globalizaci6n a partir de condiciones diferentes en su proceso de industrializaci6n, pero con importantes rasgos comunes, ya que desde la d6cada de los sesenta del siglo pasado eran entidades que habían iniciado una incipiente industrializaci6n basada tanto en manufacturas tradicionales como en grandes empresas que deslocalizaban su producci6n desde la regi6n metropolitana de la capital del país.

La base industrial moderna de estos tres estados se conform6 a fines de la d6cada de los sesenta bajo el impulso de políticasy locales y en el marco de la última fase del modelo de desarrollo estabilizador, transitando de modo continuo hacia la exportaci6n en el marco de la globalizaci6n mediante nuevas inversiones de empresas multinacionales. Esta modernizaci6n industrial del Bajío est6 documentada e interpretada desde una literatura de economía regional que incluye, entre otros autores, a Daville-Landero (2012), Guti6rrez Castorena y Guti6rrez Castorena (2006), Micheli Thiri6n (2019), Salmer6n Castro (1998) y Unger-Rubín (2011).

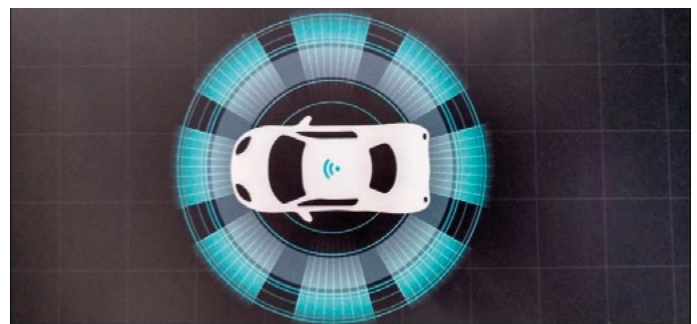


Figura 1. Pictograma. El auto conectado a Internet representa la convergencia entre manufactura y digitalizaci6n. Su producci6n y uso en la regi6n del Bajío ser6 realidad en un futuro cercano. Fotografía de los autores sobre bocetos.

Terciarizaci6n avanzada en las economías del Bajío

La inversi6n extranjera directa (IED) ha sido sin duda el motor de la industrializaci6n orientada a la exportaci6n en los tres estados del Bajío desde fines del siglo pasado. En conjunto, dichos estados han sido receptores de 8.4% de la IED recibida por M6xico en el sector de manufacturas durante el periodo 1999-2017 y 22.8% de la IED en la rama automotriz. Sin embargo, la regi6n no ha mostrado cambios

relevantes en su participaci6n nacional como productora de manufacturas, aunque se pueden advertir modificaciones importantes en la producci6n de servicios avanzados en los casos de Guanajuato y Quer6taro, los cuales multiplican su participaci6n nacional, como se muestra en la tabla 1. Esto indica una evoluci6n econ6mica regional en dos tiempos: lenta en lo industrial y de mayor velocidad en los servicios avanzados, como se ve en la tabla 2.

Tabla 1

Participaci6n de cada estado del Bajío en la producci6n de manufactura y servicios avanzados nacionales (1999-2013)

Entidad	Manufactura				Servicios Avanzados			
	1998	2003	2008	2013	1998	2003	2008	2013
Aguascalientes	1.6	1.8	1.8	1.5	0.3	0.2	0.4	0.3
Guanajuato	5.6	5.8	5.1	5.8	0.8	1.0	2.1	2.2
Quer6taro	3.5	2.6	3.3	3.0	0.4	0.7	1.1	1.0

Nota: Elaboraci6n propia con datos del INEGI (1999, 2004, 2009, 2014).

Tabla 2

Dinamismo de la producci6n sectorial en cada estado del Bajío (tasa media de crecimiento 1998-2013)

Entidad	Manufactura	Servicios	Servicios no avanzados	Servicios Avanzados
Nacional	1.74	3.56	1.28	6.82
Aguascalientes	1.33	3.02	2.67	4.77
Guanajuato	2.01	4.76	2.52	13.85
Quer6taro	0.70	6.26	4.51	13.06

Nota: Elaboraci6n propia con datos del INEGI (1999, 2014).

La mirada a la evoluci6n del peso en la economía nacional que tienen los tres estados se complementa con la de su estructura interna de producci6n. Como se ilustra en la figura 2, los tres estados mantienen trayectorias convergentes y con tenden-

cia a la baja en su componente de manufactura y aumento de los servicios, tanto avanzados como tradicionales; en el caso de los primeros Aguascalientes es el menos dinámico de los tres estados.

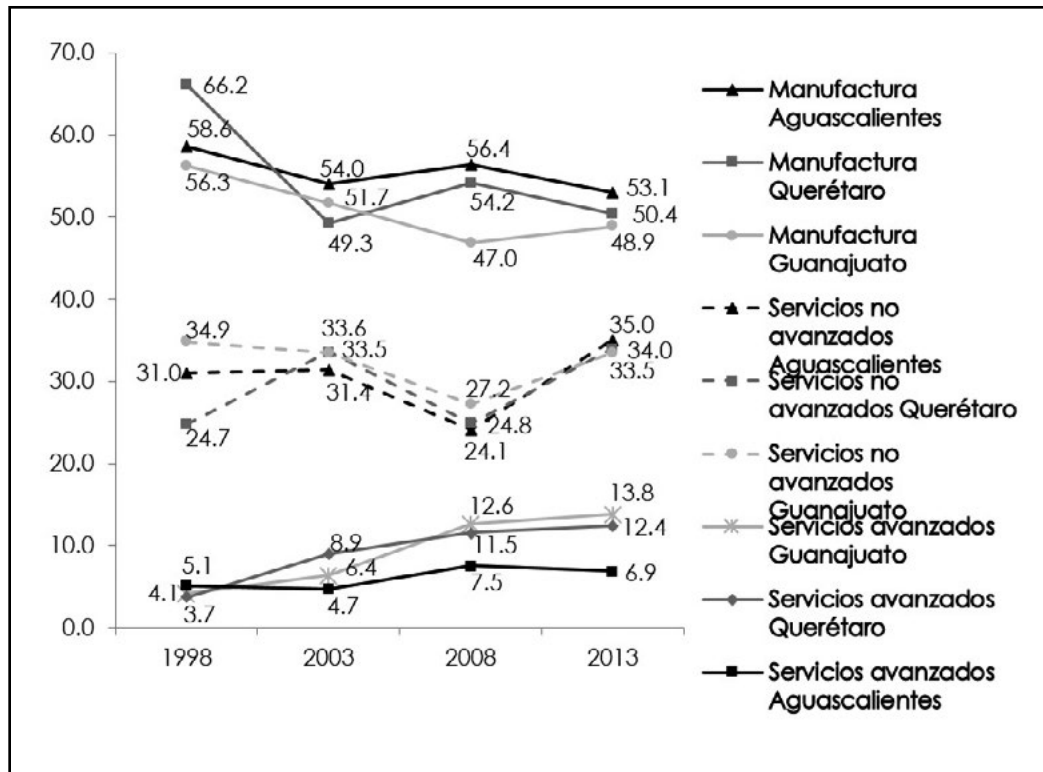


Figura 2. La participaci6n sectorial dentro de cada estado del Baj6o (1998-2013).
 Elaboraci6n propia con datos del INEGI (1999, 2004, 2009, 2014).

En suma, el sendero de la terciarizaci6n avanzada es compartido por los tres estados, aunque con una velocidad notoriamente menor en Aguascalientes y con mayor dinamismo en Quer6taro. Llama la atenci6n que a pesar del crecimiento de IED en el sector de manufacturas, 6nicamente en Guanajuato se registre un dinamismo del producto manufacturero superior al nacional. Si observamos la participaci6n de cada sector dentro de sus respectivos estados, el patr6n evolutivo es semejante: baja la manufactura, si bien se mantiene como el sector dominante; suben los servicios avanzados aunque son los de menor peso, y los servicios tradicionales pr6cticamente mantienen su peso. Esas son las caracter6sticas generales del cambio estructural en los tres estados.

Digitalizaci6n en las econom6as del Baj6o

El nivel de apropiaci6n social de las TIC puede ser evaluado mediante tres dimensiones: acceso a, utilizaci6n de y capacidades de uso, seg6n la Uni6n Internacional de Telecomunicaciones (UIT, 2014). Cada dimensi6n se forma, a su vez, por distintas caracter6sticas mensurables (ver Anexo). Mayores

valores de cada dimensi6n particular arrojan un 6ndice agregado de apropiaci6n de TIC superior y ello denota un mayor grado de informatizaci6n social.

Se aplic6 a escala de los estados de M6xico esta metodolog6a, utilizando datos de la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnolog6as de la Informaci6n en los Hogares (ENDUTIH) del INEGI (2016). Se proces6 la base de microdatos de 80,125 hogares y 292,055 personas que los habitan, por municipio y estado; a fin de contar con los 6ndices equivalentes a los que utiliza la UIT en sus comparaciones internacionales. Se obtienen as6 resultados para 843 municipios y 32 estados en los tres componentes: acceso, utilizaci6n y capacidades. El primero de ellos hace referencia a la infraestructura para el acceso digital tomando a los hogares como unidad de muestreo, en tanto que los dos 6ltimos se refieren al acceso y capacidades de las personas muestreadas. Se ha llamado al 6ndice as6 construido IDT Mex y la tabla 3 da cuenta de la distribuci6n por estados de dicho 6ndice.

El foco de atenci6n del presente trabajo se encuentra en la emergencia de los servicios avanzados como argumentos de una nueva fase del desarrollo

local. Las capacidades en materia de TIC (pr6cticas digitales de las personas y la infraestructura digital disponible para las mismas) tal como las mide este indicador deben ser corroboradas con el aporte de los servicios avanzados al perfil productivo local. Es en este grupo de actividades laborales en el cual las

En l6nea con el planteamiento central de este trabajo, consistente en visibilizar las tendencias de cambio estructural articuladas en digitalizaci6n y terciarizaci6n a nivel regional, cabe apuntar que el 6ndice previo muestra una relaci6n positiva con el sector de servicios avanzados, el de mayor

Tabla 3
Brecha digital en M6xico (2015)

Alto		Medio alto		Medio bajo		Bajo	
Estado	Rango	Estado	Rango	Estado	Rango	Estado	Rango
Ciudad de M6xico		Sinaloa		Guanajuato		Tabasco	
Baja California		Quintana Roo		Nayarit		Michoac6n	
Sonora		Tamaulipas		Yucat6n		San Luis Potos6	
Nuevo Le6n	5.78-3.90	Coahuila		Zacatecas		Oaxaca	
B. California Sur		Morelos	3.69-3.44	Chihuahua	3.28-3.12	Puebla	2.97-2.17
Jalisco		Campeche		Hidalgo		Quer6taro	
Colima		Aguascalientes		Veracruz		Durango	
		Promedio Nacional (3.42)		Tlaxcala		Guerrero	
				M6xico		Chiapas	

Nota: Los cuatro rangos se definen con base en el promedio nacional y ayudan a una caracterizaci6n general de la brecha digital nacional.

Elaboraci6n propia con datos del INEGI (2016).

calificaciones digitales generales de las personas se ponen en acci6n como parte de su quehacer espec6fico. A falta de estudios de trayectorias formativas y laborales que confirmen y dimensionen esta relaci6n entre competencias digitales y trabajo de servicios avanzados, nuestra propuesta consiste en comparar las curvas de regresi6n (ajustes por m6nimos cuadrados) entre la colecci6n de datos del IDT Mex por estado y la participaci6n de manufactura, servicios y servicios avanzados en la poblaci6n ocupada total en cada estado, en b6squeda de consistencias entre las variables en lugar de causalidades. Los resultados gr6ficos se muestran a continuaci6n en la figura 3 y se6alan lo siguiente acerca del nivel de apropiaci6n social de las TIC:

- No guarda relaci6n con la manufactura
- Est6 positivamente relacionada con los servicios avanzados
- Est6 negativamente relacionada con los servicios no avanzados

importancia en t6rminos de productividad y de habilidades de trabajo basado en tecnolog6as digitales. En otras palabras, en M6xico la configuraci6n regional de la brecha digital muestra una relaci6n con el peso de los servicios avanzados en los empleos locales. Por ello, la distribuci6n de los estados que se muestra en la tabla 3 es coincidente en sus posiciones extremas con el peso y el desarrollo socioecon6mico de las entidades involucradas (Ciudad de M6xico en un caso, Chiapas y en el otro), pero en el espacio medio es importante tener en cuenta que si bien hay estados de relevancia por su crecimiento reciente, tambi6n son relativamente d6biles en materia de sociedad de la informaci6n.

Como se ha mencionado, el susodicho 6ndice est6 compuesto a su vez por tres dimensiones: acceso, utilizaci6n y capacidades, por lo cual es necesario mostrar esta composici6n para lanzar una mirada de mayor capacidad explicativa sobre las caracter6sticas de la digitalizaci6n regional en

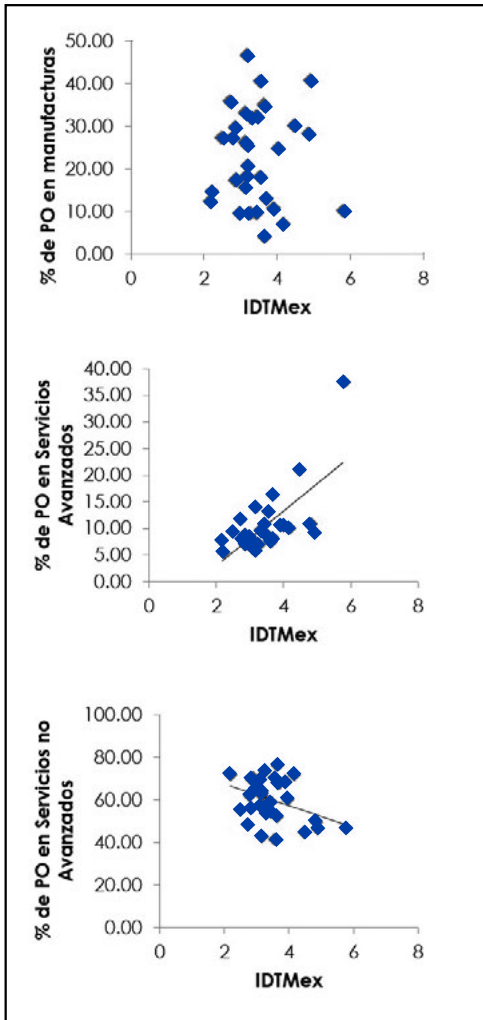


Figura 3. Relaci6n del IDT Mex con la estructura laboral en manufactura, servicios avanzados y servicios no avanzados. PO es poblaci6n ocupada. Elaboraci6n propia con datos del INEGI (2016).

el Baj6o. Ello tiene lugar en la tabla 4, el cual se6ala el dato de cada componente para cada estado, agregando un comentario sobre el sitio que ocupa cada estado en una lista nacional. Como puede verse, esta desagregaci6n del IDT Mex para cada estado confirma que Aguascalientes sobresale de los otros dos estados y Quer6taro tiene bajo desempe6o en las tres dimensiones.

A continuaci6n se muestra la distribuci6n del 6ndice al nivel de municipios para cada estado. Como se advierte, la distribuci6n geogr6fica en Quer6taro puede brindar una explicaci6n de la aparente contradicci6n entre ser el estado de mayor dinamismo en servicios avanzados pero el de menores desempe6os en digitalizaci6n: en efecto, en un solo municipio del estado se localiza una digitalizaci6n alta, de modo que la figura 4 muestra un estado de gran polarizaci6n territorial, situaci6n que no se presenta en los otros dos estados. En la figura 5 se muestra la estaci6n del ferrocarril de Aguascalientes, clave en la econom6a del estado hasta inicios de la 6ltima d6cada del siglo XX.

Tabla 4
 Dimensiones del IDT Mex por cada estado del Baj6o (2015)

DIMENSI6N	Aguascalientes	Guanajuato	Quer6taro
Acceso a las TIC, Nacional 3.57	3.54, cerca del nacional	3.54, cerca del nacional	2.77, debajo del nacional
Utilizaci6n de TIC, Nacional 2.76	2.68, cerca del nacional	2.61, debajo del nacional	2.01, debajo del nacional
Capacidades de uso de TIC, Nacional 4.45	4.74, superior al nacional	4.15, debajo del nacional	4.00, debajo del nacional

Nota: Elaboraci6n propia con datos del INEGI (2016).

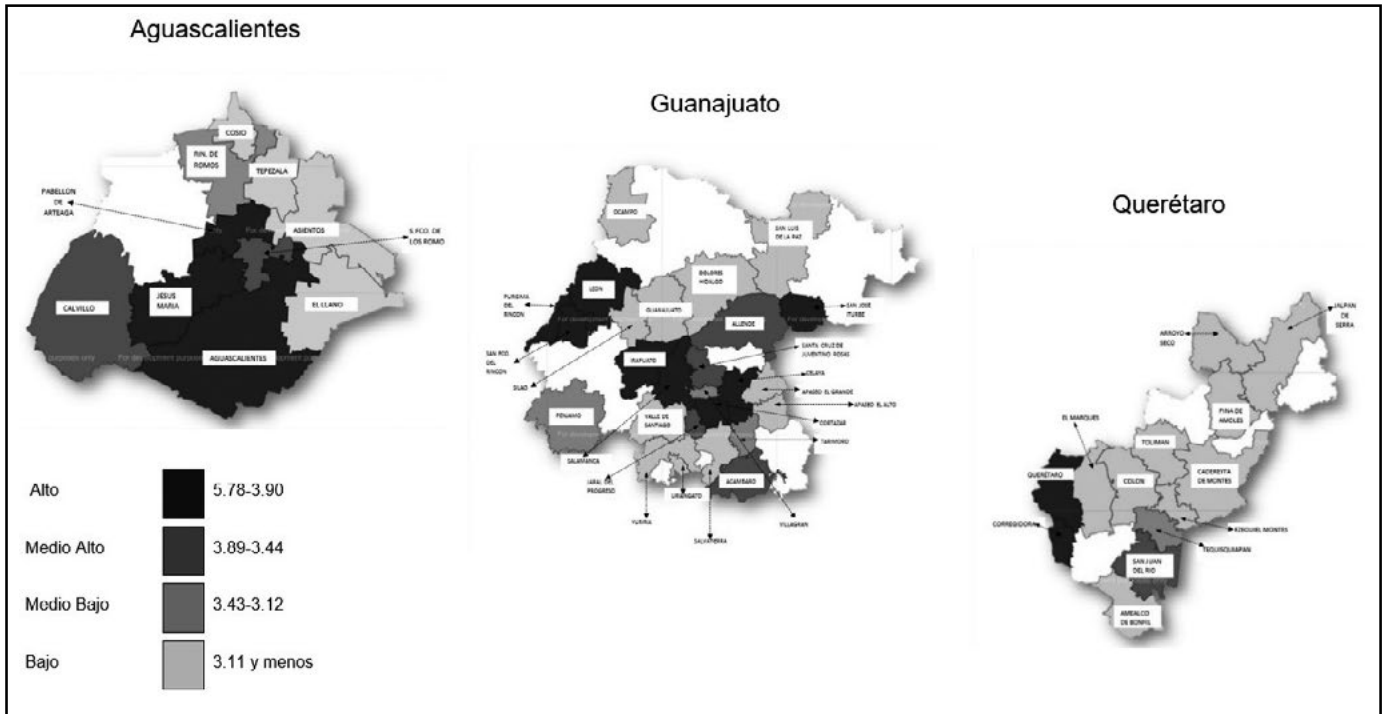


Figura 4. La brecha digital por municipios de los estados del Baj6o (valor del IDT Mex, 2015). Elaboraci6n propia con datos del INEGI (2016).



Figura 5. Estaci6n del ferrocarril de Aguascalientes. Fotograf6a tomada de villasanacarlos (17 de enero de 2012).

CONCLUSIONES

Este trabajo es esencialmente un ejercicio de construcci6n de indicadores y an6lisis de los mismos que cubre un objetivo de medici6n de la brecha digital en los estados y municipios del Baj6o, en el marco de las transformaciones estructurales de su econom6a. Pretende brindar una base para posteriores ejercicios de investigaci6n que expliquen las condiciones meso y microecon6micas de la digitalizaci6n y el cambio estructural en los estados considerados. Es la v6a de an6lisis de la modernizaci6n econ6mica regional y del conocimiento de la nueva geograf6a econ6mica mexicana, construida durante la fase del modelo neoliberal de los 6ltimos 30 a6os.

Los tres estados del Baj6o son ciertamente ejemplos del 6xito en la atracci6n de IED; sin embargo, el despliegue de las caracter6sticas de su econom6a regional muestra resultados que son inferiores en algunos casos a los valores medios nacionales. En este caso, hemos visto una digitalizaci6n que no sobresale del nivel medio nacional y que incluso es m6s baja en el caso de Quer6taro. En materia de crecimiento manufacturero los tres estados muestran una estabilidad que los sit6a sin cambios en el comparativo nacional.

En cambio, es en los servicios avanzados en donde Guanajuato y Quer6taro muestran dinamismo superior al nacional y Aguascalientes tiene un pobre desempe6o. En los tres estados la estructura de su producto ha variado con un descenso de la manufactura (que sigue siendo dominante) y un ascenso de servicios avanzados. El nivel medio de desarrollo del cambio estructural que muestran los estados parece brindar coherencia con el propio nivel de la digitalizaci6n que les corresponde, tal como es esperado dada la relaci6n positiva entre el IDT Mex y el peso de los servicios avanzados en las econom6as regionales. La excepcionalidad que representa Quer6taro, que tiene un bajo nivel de digitalizaci6n a pesar de su alto crecimiento de servicios avanzados, puede deberse al patr6n de densidad de su digitalizaci6n en una parte del estado, la que contiene a la zona metropolitana de la capital; fen6meno que a su vez denota la polarizaci6n de su desarrollo urbano y econ6mico en una clara diferencia con los otros estados analizados. Estas observaciones tienen car6cter deductivo y en todo caso el valor de la informaci6n construida bajo la metodolog6a mostrada y la caracterizaci6n del

proceso de cambio estructural en el Baj6o constituyen las aportaciones centrales del art6culo.

REFERENCIAS

- AMPCI (2016). Estudio sobre los h6bitos de internet en M6xico 2016 [Presentaci6n de Power Point]. Recuperada de <https://blog.elogia.net/estudio-sobre-los-habitos-de-los-usuarios-de-internet-en-mexico-2016>
- Bataillon, C. (1969). *Las regiones geogr6ficas en M6xico*. M6xico: Siglo XXI.
- Bell, D. (1973). *The coming of post-industrial society*. New York: Basic Books.
- Brynjolfsson, E., & McAffe, A. (2014). *The second machine Age*. Boston: WW Norton & Company.
- CEPAL (2016). *La nueva revoluci6n digital. De la internet del consumo a la internet de la producci6n*. Santiago de Chile: Autor. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/38604-la-nueva-revolucion-digital-la-internet-consumo-la-internet-la-produccion>
- Daville-Landero, S. (2012). La evoluci6n de la industria de autopartes en Quer6taro, 1993-2008. *Econom6a, sociedad y territorio*, 12(40), 689-727.
- Esping-Andersen, G. (1999). *Fundamentos sociales de las econom6as postindustriales*. Barcelona: Ariel.
- El Observatorio Econ6mico M6xico C6mo Vamos, A. C. (2020). *En cifras, 6c6mo vamos?* M6xico: Autor. Recuperado de <https://mexicocomovamos.mx/encifrascomovamos.pdf>
- Garza, G. (Coordinador) (2006). *La organizaci6n espacial del sector servicios en M6xico*. M6xico, D. F.: El Colegio de M6xico.
- Guti6rrez Castorena, D., & Guti6rrez Castorena, P. (2006). Din6mica industrial de Aguascalientes (1995-2000). *Investigaci6n y Ciencia de la Universidad Aut6noma de Aguascalientes*, 14(34), 42-50.
- Instituto Nacional de Estad6stica y Geograf6a. (1999). *Censos Econ6micos 1999*. M6xico: Autor. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/1999/>
- _____ (2004). *Censos Econ6micos 2004*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2004/>
- _____ (2007). Sistema de clasificaci6n industrial de Am6rica del Norte (SCIAN). Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/1/download/1411>

- _____ (2009). *Censos Econ6micos 2009*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2009/>
- _____ (2014). *Censos Econ6micos 2014*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2014/>
- _____ (2015). *Panorama sociodemogr6fico de M6xico 2015*. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825078065.pdf
- _____ (2016). *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Informaci6n en los Hogares 2015*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2015/>
- Uni6n Internacional de Telecomunicaciones. (2014). *Informe sobre medici6n de la sociedad de la informaci6n 2014. Resumen ejecutivo*. Ginebra, Suiza: Autor.
- Mattelart, A. (2009). *Histoire de la soci6t6 de l'information*. Paris: La D6couverte.
- Micheli-Thiri6n, J. (2019). Cambio estructural en los estados especializados en producci6n automotriz de M6xico, 1998-2013. *Regi6n y Sociedad*, 31, e1110. doi: 10.22198/rys2019/31/1110
- Micheli-Thiri6n, J., & Valle-Z6rate, J. E. (2018). La brecha digital y la importancia de las tecnologías de la informaci6n y la comunicaci6n en las economías regionales de M6xico. *Realidad, datos y espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 9(2), 38-53. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/rde/2018/11/07/la-brecha-digital-la-importancia-las-tecnologias-la-informacion-la-comunicacion-en-las-economias-regionales-mexico/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2000). *The Service Economy*. En *Business and Industry Policy Forum Series*. Paris: OECD.
- Salmer6n Castro, F. I. (1998). *Intermediarios del progreso. Polític a y crecimiento econ6mico en Aguascalientes* (282 pp.). M6xico: CIESAS.
- Secretarí a de Gobernaci6n-Secretarí a de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2018). *Sistema Urbano Nacional 2018*. M6xico: Autor. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400771/SUN_2018.pdf
- Toudert, D. (2013). La brecha digital en los contextos de marginaci6n socioterritorial en localidades mexicanas: Exploraci6n y discusi6n. *Comunicaci6n y sociedad*, 19, 153-180. Recuperado de <http://www.comunicacionysociedad.cucsh.udg.mx/index.php/comsoc/article/view/207/242>
- Unger-Rubín, K. F. (2011). Competitividad y especializaci6n de la economía de Guanajuato: Un acercamiento municipal, 1993-2003. *Economía, Sociedad y Territorio*, 11(36), 403-454. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/est/v11n36/v11n36a6.pdf>
- villasanacarlos. (17 de enero de 2012). Estaci6n del ferrocarril de Aguascalientes [Fotografía en M6xicoEnFotos]. Recuperada de <https://www.mexicoenfotos.com/antiguas/aguascalientes/aguascalientes/estacion-del-ferrocarril-de-aguascalientes-MX13229838200581>

Anexo

El IDT Mex es un 6ndice que se compone de diez factores agrupados en tres dimensiones (Micheli-

Thiri6n, & Valle-Z6rate, 2018), como se muestra en el listado siguiente:

Listado de dimensiones y factores para el c6lculo de IDT Mex

Dimensi6n	Factor
Acceso a TIC	% de hogares con telefon6a fija
	% de hogares con acceso a tel6fono inteligente
	% de hogares con computadora de escritorio o port6til
	% de hogares con acceso a Internet
Utilizaci6n de TIC	% de poblaci6n que utiliza Internet
	% de poblaci6n con conexi6n al6mbrica
	% de poblaci6n con conexi6n inal6mbrica
Capacidades de uso de TIC	% de adultos alfabetizados
	% de poblaci6n mayor a 18 a6os con estudios de bachillerato
	5 de poblaci6n mayor a 23 a6os con estudios de nivel superior

Para operacionalizar estos factores y calcular el IDT Mex se utilizaron las siguientes ecuaciones:

-La ecuaci6n 1 fue utilizada para los primeros cuatro (Acceso) y la ecuaci6n 2 para los otros seis (Utilizaci6n y Capacidades).

$$sf_m^k = \frac{\sum_1^n H_n^k * FE_n^H | k = 1}{\sum_1^n H_n * FE_n^H} ; \forall H_n \in m \quad (1)$$

$$sf_m^k = \frac{\sum_1^n P_n^k * FE_n^P | k = 1}{\sum_1^n P_n * FE_n^P} ; \forall P_n \in m \quad (2)$$

en donde:

sf_m^k : sub factor de caracteristica k en el municipio m

k: Variable dicot6mica con 1 como respuesta afirmativa.

H_n^k : Hogar de la muestra n que presenta la caracteristica k

FE_n^H : Factor de expansi6n correspondiente al hogar encuestado n

H_n : Hogar encuestado de la muestra n

P_n^k : Habitante de la muestra n que presenta la caracteristica k

FE_n^P : Factor de expansi6n correspondiente al habitante encuestado n

P_n : Habitante encuestado de la muestra n

Con los valores obtenidos de los subfactores se calcularon los factores para cada municipio m mediante la expresi6n 3.

$$F_m^K = \sum_1^k \left(\frac{sf_m^k * w_k}{1000} \right) \quad (3)$$

en donde:

F_m^K : Factor del conjunto de caracteristicas k en el municipio m

K: Conjunto de caracteristicas evaluadas: Acceso, Utilizaci6n y Capacidades

w_k : Peso de cada cacteristica k en F^K

A partir de los factores, se obtuvo el IDTMex para cada municipio, de la siguiente manera:

$$IDTMex_m = \sum_1^K F_m^K * \frac{W_K}{10} \quad (4)$$

en donde:

W_K : Peso del factor K en el IDTMex

Finalmente, se calcula el indicador para cada una de las entidades del pa6s (e) usando la expresi6n 5.

$$IDTMex_e = \frac{1}{m} \sum_1^m IDTMex_m \mid m \in e \quad (5)$$

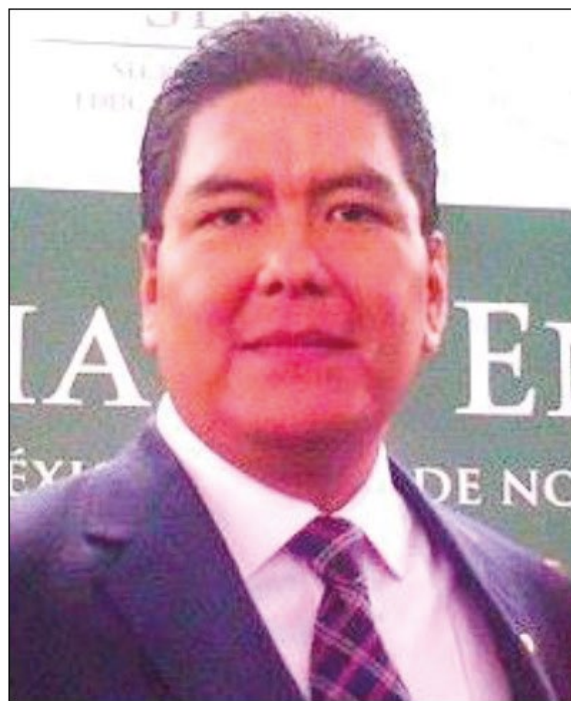
César Martínez. In memoriam

David Alfonso Páez*✉, Lilia P. Aké**

Páez, D. A., & Aké, L. P. (2020). César Martínez. *In memoriam* [Obituario]. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(81), 94-95.

César Martínez Hernández nació en la ciudad de Morelia, Michoacán, México el 23 de febrero de 1981, hijo de purépechas. Estudió la Licenciatura en Matemáticas en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Matemático de profesión, decidió dedicarse a la investigación en educación matemática. Con el apoyo del Conacyt cursó la maestría y el doctorado en el Departamento de Educación Matemática del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), México. Durante sus estudios de posgrado realizó diversas estancias en la Université du Québec à Montréal.

En su periodo formativo como investigador se especializó en el desarrollo del conocimiento algebraico en ambientes como CAS (Computer Algebra System) y geometría dinámica (e.g. Martínez, 2008, 2013), teniendo como mentores al Dr. José Guzmán Hernández† del CINVESTAV-IPN y a la Dra. Carolyn Kieran de la Université du Québec à Montréal. Tiempo después de sus estudios de doctorado realizó una estancia posdoctoral en la Universidad de Guadalajara (UdeG) en la Maestría en Enseñanza de las Matemáticas, bajo el seno del Cuerpo Académico de Matemática Educativa Avanzada. En su estancia posdoctoral trabajó con el Dr. Ricardo Ulloa Azpeitia (investigador del Departamento de Matemáticas de la UdeG) temas relacionados con el conocimiento algebraico y geometría dinámica (e.g. Martínez & Ulloa-Azpeitia, 2015, 2017).



El investigador César Martínez.
Imagen proporcionada por los autores.

En 2015 se integró a la Universidad de Colima como profesor de tiempo completo a través de una convocatoria a concurso abierto a nivel nacional. Desde entonces como académico se caracterizó por su responsabilidad y participación enérgica en las diferentes actividades universitarias: formación de recursos humanos, dirección de tesis de licenciatura y posgrado y vinculación con otras instituciones de educación superior nacionales y extranjeras. A partir de 2016 participó como integrante en diversos comités tutoriales en la Maestría y el Doctorado en Investigación Educativa de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, y actualmente estaba colaborando en un proyecto de investigación del Departamento de Educación de esta universidad.

* Cátedras Conacyt, Departamento de Educación, Centro de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Aguascalientes, México. Correo electrónico: david.paez@edu.uaa.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4499-4452>

** Departamento de Didáctica de la Matemática, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas s/n, C. P. 76010, Centro Universitario, Santiago de Querétaro, Querétaro, México. Correo electrónico: lake86@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4303-4895>

✉ Autor para correspondencia

Como investigador se encontraba comprometido con la generación y aplicación del conocimiento a través de la publicación de artículos, desarrollo de proyectos de investigación y la divulgación de sus estudios en diferentes congresos especializados en Matemática Educativa. Algunos de sus trabajos están publicados en los *Proceedings* del Congreso Anual del Grupo Internacional de *Psychology of Mathematics Education* (PME y PMENA) (e.g. Martínez & Kieran, 2019, 2020a y b). Sus últimos trabajos relacionaban la formación de profesores con el desarrollo del pensamiento algebraico en edades tempranas (e.g. Martínez & Kieran, 2020a y b). Los avances en sus investigaciones y la trayectoria que entretejió le hicieron merecedor del Nivel 1 en el Sistema Nacional de Investigadores en México, así como de otros reconocimientos.

César se caracterizaba por su espíritu espontáneo e ingenioso, quienes le conocimos conservamos en nuestra memoria las incontables alegrías y risas motivadas por su perspicaz personalidad, siempre motivado a ser mejor en lo personal y profesionalmente. Sus estudiantes lo percibían como un profesor comprometido con la educación, entregado a enseñar matemáticas. Su inesperada ausencia deja un vacío irreparable en aquellas personas que tuvimos la oportunidad de coincidir con él y quienes ahora abrazamos su recuerdo.

for the *Psychology of Mathematics Education* (pp. 305-313). México: Cinvestav. doi: 10.51272/pmna.42.2020

- _____ (2020b). From computational strategies to a kind of relational thinking Based on structure sense. En S. Otten, A. G. Candela, Z. de Araujo, C. Haines, & C. Munter (Eds.), *Proceedings of the forty-first annual meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (pp. 167-176). St Louis, MO, US: University of Missouri.
- Martínez, C., & Ulloa-Azpeitia (2015). Dynamic Geometry software and tracing tangents in the context of the mean value theorem. En T. G. Bartell, K. N. Bieda, R. T. Putman, K. Bradfield, & H. Dominguez (Eds.), *Thirty Seventh Annual Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (pp. 1210-1217). East Lansing, MI, US: Michigan State University.
- _____ (2017). Dynamic geometry software and tracing tangents in the context of the mean value theorem: Technique and theory production. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, 24(2), 75-82. doi: 10.1564/tme_v24.2.04

REFERENCIAS

- Martínez, C. (2008). *Exploración del obstáculo epistemológico algebraico de linealidad usando tecnología* (Tesis de maestría). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
- _____ (2013). *El desarrollo del conocimiento algebraico de estudiantes en un ambiente CAS con tareas diseñadas desde un enfoque técnico-teórico: un estudio sobre la simplificación de expresiones racionales* (Tesis doctoral). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
- Martínez, C., & Kieran, C. (2020a). Decomposing, composing, and recomposing numbers in numerical equalities: algebraic thinking based on structure sense. En A. I. Sacristán, J. C. Cortés-Zavala, & P. M. Ruiz-Arias (Eds.), *Mathematics Education Across Cultures: Proceedings of the 42nd Meeting of the North American Chapter of the International Group*

La gramática en la diacronía: La evolución de las perífrasis verbales modales en español

Garachana-Camarero, M. (Ed.) (2017). *La gramática en la diacronía: La evolución de las perífrasis verbales modales en español* (Colec. Lingüística Iberoamericana n° 69, 400 pp., ISBN 978- 84-1692-257-4). Madrid: Iberoamericana Vervuert.

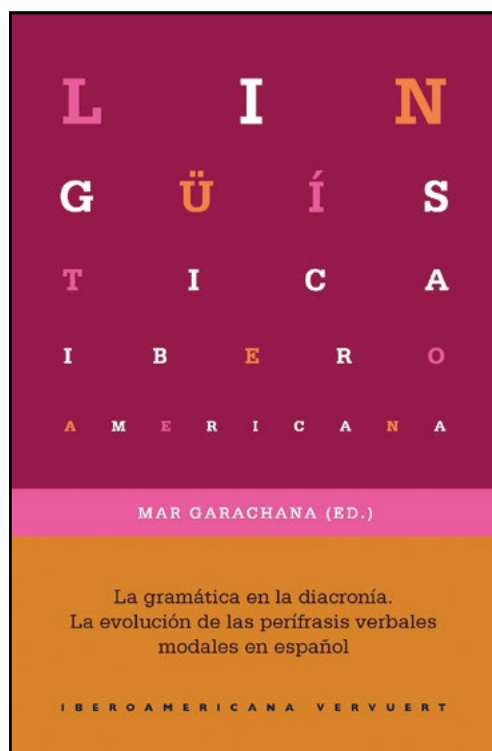
Cristina Eslava-Heredia*✉

Eslava-Heredia, C. (2020). *La gramática en la diacronía: La evolución de las perífrasis verbales modales en español* [Reseña de libro]. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(81), 96-97.

El estudio de las perífrasis verbales modales del español ha sido un campo poco abordado desde una perspectiva histórica, y mucho menos se conocen trabajos que reflejen un estudio amplio y concentrado de estas estructuras. Los trabajos conocidos hasta ahora casi siempre son de corte muy general o didácticos o suelen tratar una estructura particular por separado.

El libro que se reseña aquí tiene la virtud de ser un compendio de trabajos que armonizan en el estudio diacrónico de las perífrasis modales más representativas de la lengua española. Se trata de una obra que presenta consistencia teórica y metodológica, ya que los autores participantes comparten los mismos marcos teóricos (teoría de la gramaticalización y teoría de las construcciones), además de compartir los mismos métodos de tratamiento documental y rigor estadístico que permiten apoyar sus conclusiones con evidencia empírica significativa.

La obra ofrece una introducción que contextualiza el lugar que toma esta monografía dentro del estudio de las perífrasis en español, además de ocho capítulos escritos por distintos investigadores. Los dos primeros capítulos dedican sus páginas en presentar las herramientas teóricas y aspectos metodológicos para el estudio de las perífrasis verbales. El resto de los trabajos se ordenan según la frecuencia de uso de cada una de las



Portada del libro *La gramática en la diacronía: La evolución de las perífrasis verbales modales en español*.

perífrasis estudiadas. A continuación se resume el contenido de cada capítulo:

El capítulo primero: "Los límites de una categoría híbrida. Las perífrasis verbales" (p. 35), escrito por Mar Garachana-Camarero, está dedicado a la noción de perífrasis verbal y a las dificultades de establecer una nómina básica de las perífrasis en español.

El capítulo segundo: "Modalidad, cambio lingüístico y construcciones perifrásticas" (p. 81), elaborado por Maria Josep Jarque, está dedicado

* Departamento de Letras, Centro de las Artes y la Cultura, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Aguascalientes, México. Correo electrónico: cristina.eslava@edu.uaa.mx ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0170-4838>

✉ Autora para correspondencia

al concepto de *modalidad* con el fin de trazar las posibles rutas diacrónicas que sigue la modalidad en los procesos de conformación de las perífrasis modales.

Esther Artigas y Laura Cabré elaboran el tercer capítulo: "Saber no es 'soler' en latín. A propósito del origen de la perífrasis *saber + infinitivo*" (p. 117). Se trata de un estudio que se apoya en documentación tanto latina como hispánica y cuyos hallazgos les permite concluir a las autoras que el valor aspectual de la perífrasis *saber + infinitivo* no tiene su origen en la lengua latina.

El cuarto capítulo: "La historia de las perífrasis *deber / deber de + infinitivo*: Variación, norma y géneros textuales" (p. 147) de Malte Rosemeyer estudia la historia de dos perífrasis que expresan valores deónticos y epistémicos. El autor ubica el origen de la perífrasis *deber + infinitivo* en el latín, mientras que la forma con preposición *deber de + infinitivo* surge durante la época medieval. El capítulo describe los diferentes momentos de competencia entre ambas perífrasis en la historia del español. El autor propone que la inclusión de la preposición de podría estar dada por influencia de otras perífrasis modales con la misma preposición.

En el quinto capítulo: "Las perífrasis con el verbo *haber + infinitivo*. De los valores expresados por estas formas" (p. 197), Axel Hernández Díaz muestra que el significado original de *haber + infinitivo* no es de carácter deóntico tal como se afirma en la tradición, sino que existen ciertos contextos que pudieron favorecer un sentido de baja carga deóntica, contextos más próximos a los valores epistémicos y de futuridad.

Mar Garachana-Camarero, en el capítulo 6: "Perífrasis formadas en torno a *tener* en español: *Ser tenido/tenido ø/a/de + infinitivo*, *tener a/de + infinitivo*, *tener que + infinitivo*" (p. 229), elabora su trabajo alrededor de aquellas perífrasis formadas con el verbo auxiliar *tener*. Plantea una dinámica de entrada y salida de estas estructuras en la lengua sin que esto sugiera que haya existido una sustitución de unas formas por otras. La estructura más antigua *Ser tenido/tenido ø/a/de + infinitivo* se especializaba en la expresión de una necesidad externa hasta el siglo XV. Por otra parte, la perífrasis *tener a/de + infinitivo* es una construcción documentada desde el siglo XIII, pero cuya frecuencia de uso vio su mayor

pico a finales de la época medieval; su desaparición parece estar fuertemente relacionada con su baja frecuencia, una baja especialización y al hecho de que existían ya otras perífrasis deónticas, como *tener que* y *deber de* que podrían ocupar su lugar.

En el capítulo 7: "Parece ser perífrasis: categorización y evolución diacrónica de *parecer + infinitivo*" (p. 287), Dorien Nieuwenhuijsen dedica el trabajo a demostrar que la estructura de *parecer + infinitivo* puede ser considerada en la nómina de perífrasis del español. Los datos utilizados le permiten demostrar que la perífrasis no viene del desplazamiento a la izquierda del sujeto de la oración subordinada dependiente de *parecer* (parece que *Suj*→*Suj* parece que), sino que pudiera ser una extensión que parte de la estructura *parecer ser + adjetivo*.

Por último, cierra esta monografía el capítulo 8: "¿La obligación por pasiva? Historia y uso de la construcción *ser de + infinitivo*" (p. 329) elaborado por Álvaro S. Octavio de Toledo y Huerta. En este estudio se muestra que la construcción *ser de + infinitivo* poseía valores deónticos durante el periodo medieval y renacentista, los cuales posteriormente se pierden ante el avance de otras perífrasis deónticas como *haber que + infinitivo*.

Considero que se trata de una obra que aporta información valiosa sobre las perífrasis verbales del español. Es una obra que muestra originalidad temática, consistencia teórica y metodológica y rigurosidad estadística. Predigo que será una obra de consulta obligada para futuros estudios sobre las perífrasis verbales en general.

Política editorial de la revista

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes es una revista arbitrada, científica y multidisciplinaria; editada y distribuida cuatrimestralmente por el Departamento de Apoyo a la Investigación, de la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Se editan tres números por año en versión impresa y electrónica (enero-abril, mayo-agosto, septiembre-diciembre).

La revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* contribuye con la difusión del conocimiento científico y tecnológico generado por investigadores de la región, nacionales y extranjeros mediante la publicación de artículos de investigación, revisiones científicas, notas científicas, reseñas de libros y obituarios, para fomentar la colaboración multidisciplinaria e interinstitucional que favorezca el desarrollo de la investigación, promueva la publicación de sus resultados y la formación de una cultura científica en la población lectora.

Tiene como objetivo principal difundir, comunicar y divulgar el conocimiento científico y tecnológico, así como promover el desarrollo de la investigación y la producción científica con estándares de calidad en el ámbito local, nacional e internacional a través de la publicación de artículos originales y de difusión.

Está dirigida a estudiantes de licenciatura, ingenierías y posgrados, profesionistas de las diversas disciplinas, profesores e investigadores y público interesado en la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Se distribuye en instituciones de educación superior, centros de investigación, bibliotecas, y organismos del sector público. Cuenta con convenios de intercambio bibliotecario, como: México-USA, COMPAB, REBCO y REMBA. A nivel internacional la revista se difunde por medio de los índices en los que está citada: Índice de Revistas de Divulgación Científica y Tecnológica del Conacyt, Actualidad Iberoamericana, IRESIE, LATINDEX, PERIÓDICA y REDALYC, y en las bases de datos: DIALNET, EBSCO, HELA, ULRICH'S Periodicals Directory e Informe Académico.

El primer número se publicó en el año de 1990 y hasta el momento se han editado más de 70. En su estructura considera tres secciones: 1) Editorial, que incluye el Directorio, un Consejo Editor, un Comité Editorial de distinguida trayectoria y el grupo editor. 2) Artículos científicos, inéditos y originales. 3) Reseñas de libros y obituarios, todos relacionados con las Ciencias Agropecuarias, Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias de la Salud, Ingenierías y Tecnologías, así como las Ciencias Económicas, Sociales y Humanidades.

La revista participa en la Declaración del Movimiento Internacional "Open Acces" con el fin de contribuir al aumento de la visibilidad, el acceso y la difusión de la producción científica, por ello, los autores y colaboradores de los artículos ceden a título gratuito a la revista los derechos de edición, reproducción, distribución y comunicación pública en el país y en el extranjero por medios impresos, electrónicos, óptico u otra tecnología incluyendo internet. Asimismo, aceptan que el trabajo que se presenta sea distribuido en acceso abierto, resguardando los derechos de autor bajo una licencia "Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-CompartirIgual 4.0 Internacional" (CC BY NC-SA).

Criterios para publicar

Los manuscritos propuestos a publicación, deberán ser textos científicos que no hayan sido publicados ni enviados simultáneamente a otra revista para su publicación y de esta manera, sean una contribución original e inédita a la literatura científica. Solo se aceptan artículos escritos en idioma español y deberán contener todas las secciones estipuladas en esta guía, formateados correctamente. Deben seguir las reglas gramaticales y ortográficas de la lengua española. Todos los manuscritos serán evaluados por al menos dos especialistas o investigadores expertos de las diferentes áreas, pertenecientes a diversas instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional.

Tipos de publicaciones

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes acepta artículos originales: de investigación, revisiones científicas y notas científicas; asimismo, reseñas de libros y obituarios; sin embargo, se da prioridad al primer género, de tal manera que integrará el 75% del contenido de cada número y el 25% corresponderá al segundo género.

Artículo de investigación: Informa los resultados de una investigación, cuyo tema queda comprendido en alguna de las áreas del conocimiento anteriormente indicadas y es de interés científico por su relevancia.

Artículo de revisión científica: Resume y analiza un tema científico de importancia, es una revisión de la literatura y del estado actual de un campo de investigación, que ofrece una evaluación crítica del tema.

Nota científica: Es un artículo corto de un tema relevante, novedoso y actual, de ciencia y tecnología que describe o explica un hallazgo y por su mérito científico ameritan una rápida publicación. Pueden incluirse resultados relevantes

que se quieren difundir de forma rápida y no detallada, con información concluyente, pero insuficiente para su análisis en extenso.

Reseña de libro: Narra o describe de manera breve y clara la evaluación o crítica constructiva de una obra literaria o científica que se ha publicado en los tres años anteriores a la fecha de publicación de la reseña.

Obituario: Describe la vida y obra de una persona fallecida con aportaciones relevantes a la ciencia.

Estructura del contenido

Artículo de investigación

No deberá ser menor de cinco ni mayor de 20 cuartillas incluyendo las ilustraciones. En algunos casos se podrá acordar con el editor una extensión mayor, no sin antes valorar la importancia de dicha ampliación. Los manuscritos deberán incluir los siguientes elementos (si de acuerdo a la temática no es posible cumplirlo se deberá justificar, en su caso podrán aceptarse ensayos con una aportación crítica, analítica y documentada):

Título. Deberá ser breve y claro que refleje el contenido del trabajo. No exceder de 20 palabras, escrito en español y en renglón aparte, el título en inglés.

Nombre(s) del/los autor(es). Se presentará en primer orden el nombre completo del autor principal y posteriormente de los coautores (sin grado académico), agregando al pie de primer página para cada uno su adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y número de ORCID. Indicar quién es el autor para correspondencia.

Resumen. Deberá ser un sólo párrafo que sintetice el propósito del trabajo y reúna las principales aportaciones del artículo en un máximo de 150 palabras, sin subdivisiones y sin citas bibliográficas. Esta sección se iniciará con la palabra **Resumen** al margen izquierdo, con letras negritas y sin punto. Todo manuscrito debe incluir una versión en inglés del resumen (*abstract*).

Palabras clave. Incluir seis palabras clave relacionadas con el contenido del trabajo, separadas con punto y coma, escritas en español y su versión en inglés (*keywords*).

Introducción. Señalar en qué consiste el trabajo completo, objetivos, antecedentes, estado actual del problema e hipótesis.

Materiales y Métodos. Describir en forma precisa el procedimiento realizado para comprobar la hipótesis y los recursos empleados en ello.

Resultados. Describir los resultados de la investigación. Se podrán presentar datos de medición o cuantificación.

Discusión. Presentar la interpretación de los resultados de acuerdo con estudios similares, es decir, correlacionando el estudio con otros realizados, enunciando sus ventajas y aportaciones, evitando adjetivos de elogio.

Conclusiones. Precisar qué resultados se obtuvieron y si permitieron verificar la hipótesis; asimismo, plantear perspectivas del estudio y de su aplicación.

Agradecimientos. Mencionar fuente de financiamiento o gratitud que el autor considere necesario.

Referencias. Todas las referencias citadas en el texto deberán aparecer en esta sección y viceversa. Se enlistarán las fuentes bibliográficas y páginas electrónicas consultadas en riguroso orden alfabético sin enumeración ni viñetas, con sangría francesa e interlineado doble.

Todos los artículos deberán apegarse al Manual de Publicaciones de la *American Psychological Association* (APA) 6^{ta.} edición.

Para libro. Iniciar con el apellido del primer autor con mayúsculas y minúsculas, separándolo de la(s) inicial(es) del nombre con una coma. Si son varias iniciales, éstas se separan entre sí con un punto y un espacio. Se coloca un punto después de la última inicial de cada autor y una coma para separar el nombre del siguiente autor. Después del último autor se abre un paréntesis donde se coloca el año de la referencia citada, se cierra el paréntesis y se coloca un punto. Se escribe el título del libro con mayúsculas y minúsculas y cursivas. Se coloca entre paréntesis la edición usando número ordinal con la abreviatura *ed* y un punto al cierre del paréntesis. En caso de ser la primera edición se omitirá. A continuación la ciudad (si la ciudad en la que se encuentra la editorial no es muy conocida, se colocará el país también), dos puntos, espacio y el nombre de la editorial con mayúsculas y minúsculas, y punto final. Aquí se presenta el formato de diversas publicaciones con diferente número de autores.

Formato de libro con un autor:

Apellido1 Apellido2 de autor, X. (Año). *Título de libro*. Ciudad: Editorial.

Formato de libro con número de edición y con un autor:

Apellido1 Apellido2 de autor, X. (Año). *Título de libro* (0^{a.} ed.). Ciudad: Editorial.

Formato de libro con dos autores:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, X., & Apellido1 Apellido2 de Autor2, Y. (Año). *Título de libro* (0^{a.} ed.). Ciudad: Editorial.

Formato de libro con tres a siete autores:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, V., Apellido1 Apellido2 de Autor2, W., Apellido1 Apellido2 de Autor3, X., Apellido1 Apellido2 de Autor4, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor5, Z. (Año). *Título de libro* (0^{a.} ed.). Ciudad: Editorial.

En caso de haber un libro con ocho o más autores, se colocan los primeros seis autores igual que en los libros con siete o menos autores, inmediatamente puntos suspensivos, coma, y el último autor. El año, título, ciudad y editorial se colocan igual que en libro con menos de ocho autores.

En referencias de origen anglosajón es usual que autores tengan su nombre normalizado con un solo apellido, lo cual facilita su búsqueda en índices. Algunos autores de origen latino, por otra parte, en ocasiones colocan su nombre con ambos apellidos unidos por un guion, con el mismo motivo. Se tratará de respetar este aspecto dentro de lo posible.

Formato de libro editado:

Apellido1 Apellido2 de Editor1, X., & Apellido1 Apellido2 de Editor2, Y. (Eds.). (Año). Título de libro editado. Ciudad: Editorial.

Formato de capítulo en libro editado:

Apellido1 Apellido2 de autor de capítulo, X. (Año). Título de capítulo de libro editado. En X. Apellido1 Apellido2 de Editor (Ed.), Título de libro editado (pp. 000-111). Ciudad: Editorial.

Para artículo científico en publicación periódica. Para autores y año de publicación es igual que para libro; de ser revista mensual, se incluirá el mes antes del año. Después se coloca el título del artículo empleando mayúsculas y minúsculas y redondas. Punto. Nombre de la revista o publicación con mayúsculas y minúsculas y cursivas, coma, volumen con cursivas, número de publicación entre paréntesis, coma, espacio y número de primera y última página del artículo separadas por guion y punto final.

Formato de artículo en publicación periódica:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, W., Apellido1 Apellido2 de Autor2, X., Apellido1 Apellido2 de Autor3, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor4, Z. (Año). Título del artículo. Nombre de revista, 0(1), 000-111.

Formato para artículo de periódico:

Apellido1 Apellido2 de Autor, X. (día de mes de año). Título de artículo o nota. *Nombre de periódico*, pp. X0, X1.

Para sitio de Internet. Este tipo de referencias deben ir en orden alfabético en la misma lista que las referencias consultadas para realizar el documento. Se sigue el mismo proceso que para las versiones impresas, pero en las referencias electrónicas se incluye la clave conocida como DOI (digital object identifier, por sus siglas en inglés), que significa identificador digital de objetos, aunque no todas las publicaciones electrónicas cuentan con uno. De contar con DOI, es suficiente con colocarlo después de la editorial, en caso de ser libro; o después de las páginas Recuperado de, en caso de publicación periódica, para

una adecuada recuperación de los datos. Si no se tiene DOI, se coloca el URL (uniform resource locator, por sus siglas en inglés) o localizador uniforme de recursos, al que se conoce como enlace electrónico.

Ejemplo de URL:

<http://www.crossref.org/02publishers/glossary.html>

Al trabajar con un enlace electrónico en un documento de texto, es importante tener la casilla de guiones inactiva en el procesador. También lo es copiar el URL de la ventana de dirección del navegador y pegarlo en el documento para una correcta recuperación de los datos. Tanto el DOI como el URL deben colocarse sin agregar ningún punto final, aunque sean la parte última de la referencia, ya que ello puede dar lugar a confusión en el rastreo de los datos.

Ejemplo de DOI:

10.1037/0278-6133.27.3.379

Formato de libro electrónico con DOI:

Apellido1 Apellido2 de Autor, X. (Año). Título de libro. doi: 00.0000/0-000-00000-0

Formato de libro electrónico sin DOI:

Apellido1 Apellido2 de Autor, X. (Año). Título de libro. Recuperado de <http://www.xxxxx.xxx.xxx/xxxx/XXXX.xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx0xxxx0xxxx00000>

Formato para publicación periódica electrónica con DOI:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, X., Apellido1 Apellido2 de Autor2, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor3, Z. (Año). Título del artículo. Nombre de la revista electrónica, 0(1), 000-111. doi: xx.xxxxxxxxxx

Formato para publicación periódica electrónica sin DOI:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, X., Apellido1 Apellido2 de Autor2, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor3, Z. (Año). Título del artículo. Nombre de la revista electrónica, 0(1), 000-111. Recuperado de <http://www.xxxxxxx>

Periódico en línea:

Además de la información para periódico impreso mencionada en esta guía, agregar Recuperado de y el enlace electrónico.

Formato para una película:

Apellido1 Apellido2 de Productor, X. (Productor), & Apellido1 Apellido2 de Director, Y. (Director). (Año). Título de la película [Película]. País de origen: Estudio.

Formato para una fotografía recuperada en línea:

Apellido1 Apellido2 de Fotógrafo, X. (Año). *Título de fotografía* [Fotografía]. Recuperado de <http://www.www>

Si no se tiene el autor:

Título de la fotografía [Fotografía]. (Año). Recuperado de <http://www.www.www>

Si no se tienen tampoco título ni fecha:

[Imagen de xxxx]. Recuperado de <http://www.www.www>

Para mayor detalle se recomienda consultar los lineamientos del manual de publicaciones de la APA (*American Psychological Association*). Se pueden revisar en

Tovar Sosa, M. A. (Dir. ed.). (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association*. Versión abreviada (2ª. ed., trad. de la 6ª. en inglés M. Guerra Frías). México: Editorial El Manual Moderno.

Para las citas a lo largo del documento se recomienda la siguiente guía.

Cuando el o los nombres de los autores forman parte de la redacción; es decir, están incluidos en la acción, se colocan los autores unidos con la conjunción "y", posteriormente se coloca el año entre paréntesis. Ejemplo: Domínguez Márquez y Johns (2009) descubrieron que las partículas se movían hexagonalmente. En la siguiente tabla se encuentra el formato para este tipo de cita.

Número de autores	Primer mención de autor(es) dentro de la redacción	Siguientes menciones dentro de la redacción
Un autor	Apellido(s) de Autor (año)	Apellido(s) de Autor (año)
Dos autores	Apellido(s) de Autor1 y Apellido(s) de Autor2 (año)	Apellido(s) de Autor1 y Apellido(s) de Autor2 (año)
Tres a cinco autores	Apellido(s) de Autor1, Apellido(s) de Autor2, de Autor3, de Autor4 y de Autor5 (año)	Apellido(s) de Autor1 et al. (año)
Seis autores en adelante	Apellido(s) de Autor1 et al. (año)	Apellido(s) de Autor1 et al. (año)

Por otra parte, cuando el o los nombres de los autores no forman parte de la redacción; es decir, están excluidos de la acción, se colocan tanto los autores como el año dentro del paréntesis, separados por una coma. Ejemplo: Otros autores han descubierto que las partículas se movían hexagonalmente (Domínguez Márquez, & Johns, 2009). En la siguiente tabla se encuentra el formato para este tipo de cita.

Número de autores	Primer mención de autor(es) fuera de la redacción	Siguientes menciones fuera de la redacción
Un autor	(Apellido[s] de Autor, año)	(Apellido[s] de Autor, año)
Dos autores	(Apellido[s] de Autor1 & Apellido[s] de Autor2, año)	(Apellido[s] de Autor1 & Apellido[s] de Autor2, año)
Tres a cinco autores	(Apellido[s] de Autor1, Apellido[s] de Autor2, de Autor3, de Autor4, & de Autor5, año)	(Apellido[s] de Autor1 et al., año)
Seis autores en adelante	(Apellido[s] de Autor1 et al., año)	(Apellido[s] de Autor1 et al., año)

Tablas y Figuras. Deberán encontrarse insertadas en el lugar que les corresponde a lo largo del artículo, se identificarán consecutivamente con números arábigos y cada una deberá ser mencionada pertinentemente dentro del texto.

En cuanto a las tablas, su orientación será vertical. Deberán tener título breve pero explicativo en la parte superior utilizando mayúsculas y minúsculas, así como la fuente de donde se obtuvieron al pie de las mismas. Se suprimirán los filetes verticales. Cada tabla deberá, además de estar incluida en el documento, ser enviada aparte en el formato original en el que fue creada (Word, Excel, por ejemplo). Se evitará enviar tablas creadas en formato de imagen o pdf.

Con respecto a las figuras, se consideran como tales tanto gráficas, como fotografías, mapas, planos, dibujos, etc., se utilizarán mayúsculas y minúsculas con tipografía Century Gothic 8-10 pts. en su elaboración. Se deberá explicar en un texto al pie de la imagen, claro pero breve, el contenido de cada una, así como la fuente de donde se obtuvo. El tamaño máximo de cada figura incluyendo texto al pie será de 12 cm de longitud y 16 cm de ancho, el mínimo permitido será de 6 cm de longitud y 8 cm de ancho. Los dibujos o esquemas deberán estar en original y tener una calidad mínima de 300 ppp. o al menos 5 megapíxeles con formato tiff, eps o jpg.

Además de las gráficas, mapas, planos, etc., que pueda contener, el artículo deberá incluir por lo menos una fotografía con texto al pie breve pero explicativo, e incluir todas las características referidas en esta guía.

Para especificar la fuente tanto en tablas como figuras, en caso de ser de su autoría, se colocará la leyenda "Elaboración propia" al pie de cada tabla o figura. De no ser así, es responsabilidad del autor contar con el permiso para tomar o adaptar información, así como colocar la fuente de donde se tomó o adaptó la misma con la leyenda "Tomada de..." o "Adaptada de...", según corresponda, e incluir dicha referencia en el apartado correspondiente, para tener un cruce de referencias completo.

Ecuaciones o símbolos matemáticos. En caso de que el artículo contenga ecuaciones o símbolos matemáticos que pudiesen perderse en el proceso de edición, se enviarán, además del archivo en Word, el mismo documento en formato pdf con cada ecuación o símbolo señalados y otro archivo también en pdf, que contenga únicamente las ecuaciones.

Identificación de archivos de imagen para envío:

Para el envío de archivos de figuras, el o los archivos deberán estar nombrados con la expresión Fig, sin espacio el número consecutivo y sin espacio una o máximo dos palabras identificatorias del artículo, sin acentos, puntos ni guiones, con la finalidad de lograr una mayor fluidez en el proceso de edición.

Ejemplo:

Fig1Nanotubos

Fig2EspecieMarina

Artículo de revisión científica

No deberá ser menor de cinco ni mayor a 20 cuartillas, considerando figuras y tablas insertadas dentro del documento. Debe incluir título en español y en inglés; Nombre(s) del/los autor(es). Se presentará en primer orden el nombre completo del autor principal y posteriormente de los coautores (sin grado académico), agregando al pie de primer página para cada uno su adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y No. ORCID. Indicar quién es el autor para correspondencia; resumen en español y en inglés (abstract) y palabras clave en español y en inglés (keywords); texto del artículo considerando: introducción al tema (incluyendo por qué el problema es de interés), desarrollo del trabajo con una discusión académica, conclusión y un apartado de referencias. El contenido del artículo puede estar subdividido cuidando que exista una conexión entre los apartados. Las referencias, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos de investigación.

Nota científica

No deberá ser mayor a cinco cuartillas. Debe incluir título en español y en inglés; Nombre(s) del/los autor(es). Se presentará en primer orden el nombre completo del autor principal y posteriormente de los coautores (sin grado académico), agregando al pie de primer página para cada uno su adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y No. ORCID. Indicar quién es el autor para correspondencia; resumen en español y en inglés (abstract) y palabras clave en español y en inglés (keywords). El texto deberá escribirse de continuo y sin espacio extra entre los párrafos. Las referencias, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos de investigación.

Reseña de libro

No deberá ser mayor a dos cuartillas, con la imagen de la portada ya insertada. Debe incluir identificación del autor y su obra: nombre del autor, título de la obra, lugar de publicación, editorial, fecha de edición, ISBN y número de páginas; resumen o descripción del texto o contenido, señalando las partes en que está integrado, crítica y conclusión, literatura, fotografías, ilustraciones o gráficas y otros recursos o datos relevantes que lo particularizan como exponente y autoridad en la materia. Se enviará, aparte del archivo de texto, los datos del autor (nombre completo), adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y No. ORCID, así como, un archivo JPG con la portada del libro en la edición reseñada.

Obituario

No deberá ser mayor a dos cuartillas, considerando ya la fotografía ilustrativa dentro del texto. Deberá incluir los datos del autor (nombre completo), adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y No. ORCID; texto del artículo con una introducción que incluya nombre de la persona recordada, fecha y lugar de nacimiento y muerte, una breve biografía, aportaciones científicas y académicas relevantes en la ciencia y una reflexión. También es importante que el autor envíe aparte el archivo jpg con buena resolución de la fotografía en donde aparezca solamente el científico aludido para ilustrar el documento. Deberá colocar la autoría de dicha imagen o la fuente de donde se obtuvo.

Características de la revisión de artículos

1. El editor se reserva el derecho de devolver a los autores los artículos que no cumplan con los criterios para su publicación.
2. El proceso de dictamen se llevará a cabo siguiendo un orden, de acuerdo con la fecha de recepción. El tiempo estimado del proceso de evaluación y aceptación es de 6 meses.
3. La revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, utiliza el software TURNITIN para detectar coincidencias y similitudes entre los textos sometidos a evaluación en la revista y los publicados previamente en otras fuentes. Los resultados son enviados al autor.
4. Todos los trabajos son sometidos a un proceso de dictamen por pares académicos (especialistas) a doble ciego a cargo de la Cartera de Árbitros que integra la revista, la cual está compuesta por miembros del SNI o investigadores expertos en el área pertenecientes a instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional. Cada trabajo es revisado por al menos dos evaluadores, especificando en el dicta

1. Si se acepta el artículo intacto, con modificaciones o si definitivamente se rechaza. En caso de contar con resultados discrepantes, se enviará el trabajo a un tercer evaluador, cuyo resultado será definitivo.
2. El editor dará a conocer al autor contacto el resultado del arbitraje a través del formato "Observaciones"; si el trabajo es aceptado con modificaciones, el autor deberá atenderlas en un plazo no mayor a 10 días hábiles y enviará nuevamente al editor el original y el archivo electrónico del artículo junto con un **archivo de respuesta a dichas observaciones** en formato Word. El archivo consiste en una explicación detallada de las modificaciones realizadas tomando en cuenta todas y cada una de las observaciones señaladas por los evaluadores. Se deberá incluir el comentario del evaluador y correspondiente acción o respuesta del autor. No es necesario incluir en este archivo las anotaciones realizadas por los evaluadores sobre el artículo.
3. Cuando el autor demore más de 30 días en responder a las sugerencias de los evaluadores, el artículo no será considerado para publicarse en el siguiente número de la revista.
4. El editor informará al autor contacto, en su caso, el avance de su trabajo en el proceso de dictaminación, el rechazo, o la fecha de publicación del mismo.
5. La revista se reserva el derecho de adelantar o posponer los artículos aceptados con el fin de dar una mejor estructura a cada número de acuerdo a la política editorial.
6. Una vez que el artículo haya sido aceptado, pasará a una revisión de estilo y formato, para su versión definitiva. Se enviarán pruebas de impresión en formato Word al autor para correspondencia y serán devueltas al editor dos días después de haber sido recibidas. Si las pruebas no se entregan a tiempo, el artículo se publicará sin las correcciones correspondientes.
7. Los artículos presentados son responsabilidad total del autor (o los autores) y no reflejan necesariamente el criterio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, a menos que se especifique lo contrario.
6. Abreviaturas: Escribir el término completo la primera vez que se usa y seguirlo con la abreviatura entre paréntesis.
7. Las expresiones matemáticas deben estar escritas claramente y se debe utilizar el Sistema Internacional de Unidades. Asimismo, los conceptos y términos científicos y técnicos deberán escribirse de forma clara y precisa.
8. Es importante que la información se condense dentro del texto principal y utilizar alguna nota al pie solo para fortalecer los planteamientos del artículo. La nota debe transmitir solo una idea evitando ecuaciones o párrafos complejos.
9. Sugerir por lo menos tres posibles evaluadores para la revisión de su trabajo. La selección final de revisores será responsabilidad del editor.
10. Los autores tendrán derecho a recibir cinco ejemplares de la versión impresa. No se tienen costos por publicación.

Especificaciones de envío

Para enviar un artículo es necesario que el documento cumpla estrictamente con los lineamientos de formato y de contenido que anteriormente se han especificado.

El envío del artículo puede realizarse mediante dos vías:

- a) **Mensajería o entrega personal** en la Dirección General de Investigación y Posgrado, en un sobre cerrado dirigido a Elizabeth Casillas Casillas, editora de la revista, el cual deberá contener artículo impreso, archivos del artículo e ilustraciones, resumen curricular del primer autor y datos del autor para correspondencia.
- b) **Correo electrónico** dirigido a la editora de la revista, a través de revistaiyc@correo.uaa.mx que contenga archivos adjuntos (*attachment*) con el artículo, las ilustraciones, resumen curricular del primer autor y datos del autor para correspondencia.

Es importante que el autor conserve una copia de los archivos y de la impresión enviada.

Colaboración e informes

Revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*

Universidad Autónoma de Aguascalientes
 Dirección General de Investigación y Posgrado
 Departamento de Apoyo a la Investigación
 Av. Universidad núm. 940, C.U.,
 Edificio Académico-Administrativo, piso 5
 C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México
 Teléfono (449) 910 74 00 Ext. 34113
 Correo electrónico: revistaiyc@correo.uaa.mx
investigacion.uaa.mx/RevistalyC

Indicaciones para los autores

1. El escrito se enviará en formato Word y en formato pdf en hoja tamaño carta.
2. Tipografía para texto: Arial en 12 pts. Tipografía para figuras: Century Gothic 10 pts.
3. Justificación: Completa, no utilizar sangría al inicio de párrafos.
4. Márgenes: Superior e inferior 2.5 cm.; izquierdo y derecho de 3 cm.
5. Espacio: Doble.

