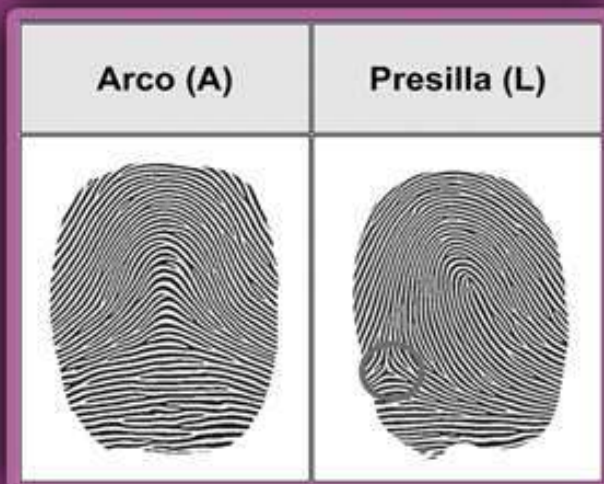


TECNOCIENCIA Chihuahua

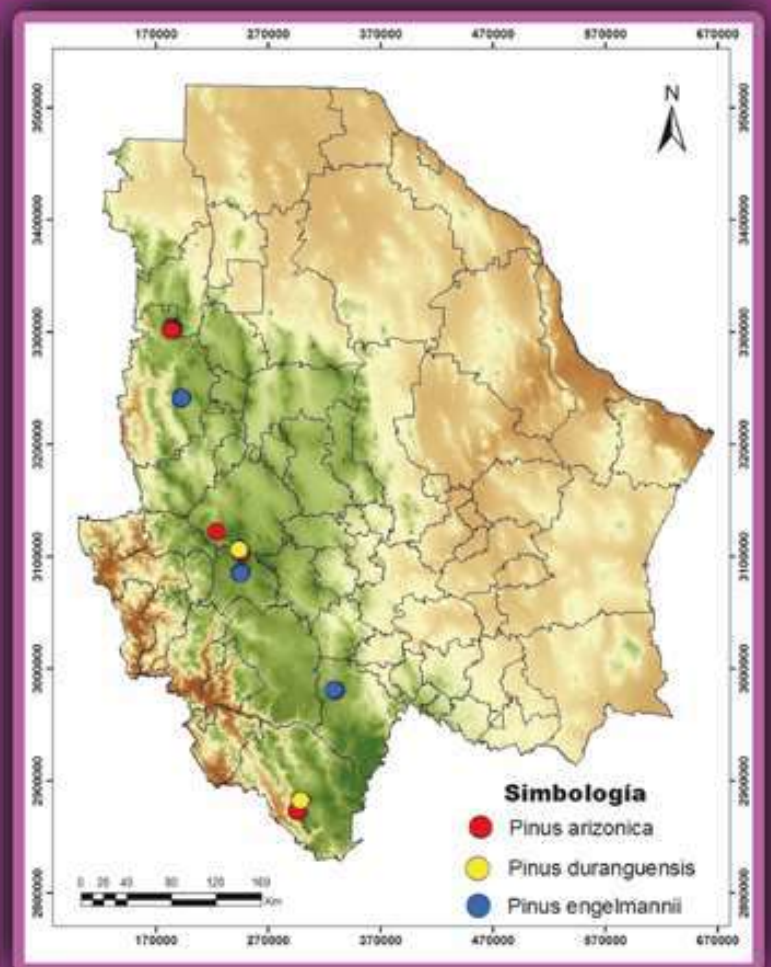
Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades
Universidad Autónoma de Chihuahua



Indicadores de riesgo del rendimiento escolar en niños



La dermatoglifa en las ciencias del deporte y la salud



Variabilidad morfológica de poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en el estado de Chihuahua



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

M.E. LUIS ALBERTO FIERRO RAMÍREZ
Rector

M.C. JAVIER MARTÍNEZ NEVÁREZ
Secretario General

M.E. ALFREDO RAMÓN URBINA VALENZUELA
Director de Investigación y Posgrado

M.C. FRANCISCO MÁRQUEZ SALCIDO
Director Administrativo

M.A.V. RAÚL SÁNCHEZ TRILLO
Director de Extensión y Difusión Cultural

M.A. HERIK GERMÁN VALLES BACA
Director Académico

M.I. RICARDO RAMÓN TORRES KNIGHT
*Director de Planeación y Desarrollo
Institucional*



DR. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA
Editor en Jefe

DR. ÓSCAR ALEJANDRO VIRAMONTES OLIVAS
Editor adjunto

M.E.S. NANCY KARINA VENEGAS HERNÁNDEZ
Procesos Editoriales

PEDRO AMAYA ITURRALDE
Procesos Técnicos

MTRO. IVÁN DAVID PICAZO ZAMARRIPA
Cuidado de la Edición

EDITORES ASOCIADOS

DR. FELIPE ALONSO RODRÍGUEZ ALMEIDA

DRA. MARÍA ELENA FUENTES MONTERO

DRA. LAURA CRISTINA PIÑÓN HOWLET

DR. JAVIER TARANGO ORTIZ

DRA. GUADALUPE VIRGINIA
NEVÁREZ MOORILLÓN

DR. FRANCISCO ALBERTO PÉREZ PIÑÓN

DR. IGNACIO CAMARGO GONZÁLEZ

DRA. MARGARITA LEVARIO CARRILLO

TECNOCENCIA Chihuahua

Consejo Editorial Internacional

DR. GUILLERMO FUENTES DÁVILA

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

DR. VÍCTOR ARTURO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

Colegio de Posgraduados, México

DR. JOHN G. MEXAL

New Mexico State University, Estados Unidos de América

DR. ULISES DE JESÚS GALLARDO PÉREZ

Instituto de Angiología y Cirugía Vascular, La Habana, Cuba

DR. HUMBERTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

Universidad Autónoma de Nuevo León, México

DRA. ELIZABETH CARVAJAL MILLÁN

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., México

DR. ALBERTO J. SÁNCHEZ MARTÍNEZ

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

DR. LUIS RAÚL TOVAR GÁLVEZ

Instituto Politécnico Nacional, México

DR. LUIS FERNANDO PLENGE TELLECHEA

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

DR. HÉCTOR OSBALDO RUBIO ARIAS

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

DRA. ANGELA BEESLEY

University of Manchester, Reino Unido

DR. LUIS ALBERTO MONTERO CABRERA

Universidad de La Habana, Cuba

DR. RICARD GARCÍA VALLS

Universitat Rovira I Virgili, España

DR. LUIZ CLOVIS BELARMINO

Faculdade Atlantico Sul, Brasil

TECNOCENCIA-Chihuahua. Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades. Volumen XI, Número 3. Septiembre-Diciembre 2017. Publicación cuatrimestral de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Editor en Jefe: Dr. César Humberto Rivera Figueroa. ISSN: 1870-6606. ISSN Difusión Vía Red de Cómputo: En trámite. Número de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2018-070312595700-203. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 11441. Clave de registro postal PP08-0010. Domicilio de la publicación: Edificio de la Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria s/n, Campus Universitario I. C.P. 31170, Chihuahua, Chihuahua, México. Oficina responsable de la circulación: Dirección de Investigación y posgrado, Ciudad Universitaria, Campus Universitario I. C.P. 31170. Imprenta: Carmona Impresores. Tiraje: 1,000 ejemplares. Precio por ejemplar en Chihuahua: \$60.00 Costo de la suscripción anual: México, \$200 (pesos); EUA y América Latina, \$35 (dólares); Europa y otros continentes, \$40 (dólares). La responsabilidad del contenido de los artículos firmados es de sus autores y colaboradores. Puede reproducirse total o parcialmente cada artículo citando la fuente y cuando no sea con fines de lucro.

Teléfono: (614) 439-1500 (extensión 2209), e-mail: tecnociencia.chihuahua@uach.mx Página web: <http://tecnociencia.uach.mx> Nuevo portal: vocero.uach.mx

Contenido

Definición de la revista	I		
Editorial	II		
El científico frente a la sociedad			
Potencial de la dermatoglifia en las ciencias del deporte y la salud en México			
<i>Gabriel Gastélum-Cuadras, Julio César Guedea-Delgado</i>			
	108		
Educación y Humanidades			
Indicadores de riesgo del rendimiento escolar en niños de 3 a 6 años			
<i>David Arnoldo García-Fernández, Gabriela Velázquez-Saucedo, Julio César Guedea-Delgado, Martín Sías-Casas, Martha Zubiaur-González</i>			
	115		
Ingeniería y Tecnología			
Comparación de métodos de extracción de proteínas de cerebro y linfocitos de rata			
<i>Karen Maldonado-Moreno, Rocío Martell-Gaytán, Bonifacio Alvarado-Tenorio, José Valero-Galván, Alejandro Martínez-Martínez, Ángel Gabriel Díaz-Sánchez, Raquel González-Fernández</i>			
	127		
		Medio ambiente y Desarrollo sustentable	
		Variabilidad morfológica de poblaciones de <i>Pinus durangensis</i> , <i>P. engelmannii</i> y <i>P. arizonica</i> en el estado de Chihuahua	
		<i>Minerva Siqueiros-Candia, Carlos R. Morales-Nieto, Eduardo Santellano-Estrada, Alicia Melgoza-Castillo, Manuel Alarcón-Bustamante, Martín Martínez-Salvador</i>	
			138
		Enzimas y organismos importantes dentro del proceso de compostaje	
		<i>Xenia Mena-Espino, María Esther Mena-Espino, María Elena Tavera-Cortés</i>	
			147
		Statistical model for the analysis of temperature: case study the 1895 - 2014 serie for Florida state	
		<i>Héctor Quevedo-Urías, Felipe Adrián Vázquez-Gálvez, Ernestor Esparza, Óscar Ibáñez, Servio Tulio De la Cruz-Chaidez</i>	
			155

Definición de la Revista *TECNOCIENCIA* Chihuahua

TECNOCIENCIA Chihuahua es una publicación científica arbitrada de la Universidad Autónoma de Chihuahua, fundada en el año 2007 y editada de forma cuatrimestral. Está incluida en los siguientes índices y directorios:

- LATINDEX, Catálogo de revistas científicas de México e Iberoamérica que cumplen con criterios internacionales de calidad editorial.
- PERIÓDICA, la base de datos bibliográfica de la UNAM de revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.
- CLASE, la base de datos bibliográfica de la UNAM de revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencias sociales y humanidades.

Objetivos

Servir como un medio para la publicación de los resultados de la investigación, ya sea en forma de escritos científicos o bien como informes sobre productos generados y patentes, manuales sobre desarrollo tecnológico, descubrimientos y todo aquello que pueda ser de interés para la comunidad científica y la sociedad en general. También pretende establecer una relación más estrecha con su entorno social, para atender a la demanda de los problemas que afectan a la sociedad, expresando su opinión y ofreciendo soluciones ante dicha problemática. La revista *TECNOCIENCIA* Chihuahua se publica cuatrimestralmente para divulgar los resultados de la investigación en forma de avances científicos,

desarrollo tecnológico e información sobre nuevos productos y patentes. La publicación cubre las siguientes áreas temáticas: Alimentos, Salud y deporte, Ingeniería y Tecnología, Educación y Humanidades, Economía y Administración, Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, Creatividad y Desarrollo Tecnológico.

Visión

Mejorar de manera continua la calidad del arbitraje de los artículos publicados en la revista, proceso que se realiza en forma anónima bajo el sistema de doble ciego. Conformar el Consejo Editorial Internacional y cada Comité Editorial por área del conocimiento de la revista, incorporando como revisores a investigadores del país y del extranjero adscritos a instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación, que son reconocidos como académicos y científicos especializados en su campo.

Tipos de escritos científicos

En la revista se publican las siguientes clases de escritos originales: artículos científicos en extenso, notas científicas, ensayos científicos y artículos de revisión.

A quién se dirige

A académicos, científicos, tecnólogos, profesionistas, estudiantes y empresarios

Editorial

La dermatoglifia es el estudio de las huellas dactilares, palmares y plantares. Esta metodología surgió en el siglo pasado y se ha venido perfeccionando y diversificando su uso en los últimos años. En el artículo "Potencial de la dermatoglifia en las ciencias del deporte y la salud en México", los autores resaltan la utilización de esta técnica en ciencias de la actividad física y de la salud, por su capacidad para pronosticar potencialidades físicas como fuerza, velocidad, potencia, agilidad y resistencia; así como propensión para el alto rendimiento, información de gran valía para la detección, selección y orientación de talento deportivo.

El desarrollo de los niños durante la etapa de 3 a 6 años de edad resulta trascendental para su futuro rendimiento académico. En el artículo "Indicadores de riesgo del rendimiento escolar en niños de 3 a 6 años" se determinaron indicadores de riesgo del desarrollo neuropsicológico, cognitivo, motriz, matemático, lenguaje, composición corporal, parto, lactancia y locomoción en 81 escolares de León, España. El 68% de los niños detectados con desarrollo atípico resultaron ser los más deficientes académicamente. Los autores concluyen que los niños que tienen afección en dos o más áreas del desarrollo son lo que presentan bajo rendimiento académico

En el trabajo "Comparación de métodos de extracción de proteínas de cerebro y linfocitos de rata", se compararon tres técnicas de extracción de proteínas actualmente empleadas en proteómica, para determinar la más eficiente para realizar electroforesis bidimensional (2-DE) en tejido cerebral y linfocitos de sangre periférica de rata. El mejor método de extracción de proteínas resultó ser TCA/acetona-DTT, siendo además más rápido y sencillo de realizar que el método de TCA/acetona-fenol. Los resultados aportan un mayor conocimiento sobre estos métodos, especialmente cuando se trata de tejidos como el cerebro y linfocitos de sangre periférica.

Para establecer programas de mejoramiento genético en variedades de pino, es fundamental conocer la diversidad de sus recursos genéticos. En el estudio "Variabilidad morfológica de poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en el estado de Chihuahua", los autores establecieron como objetivo realizar un análisis de variabilidad morfológica en especies

de pinos importantes en Chihuahua. Se obtuvieron datos de edad, circunferencia, altura del árbol, coordenadas y altitud. Información importante para evaluar la variación fenotípica de especies en la región templada, y que podría ser útil para regionalizar unidades de manejo en función de la morfología de especies

Muchos nutrientes esenciales que están en la materia orgánica presente en la naturaleza experimentan transformaciones por medio de microorganismos, y las enzimas que poseen les permiten mejorar la biodisponibilidad de sus nutrientes. Conocer a profundidad estos procesos de biotransformación enzimática es importante para un manejo y aprovechamiento adecuado de los residuos orgánicos. El objetivo de la revisión "Enzimas y organismos importantes dentro del proceso de compostaje" fue detallar los principales componentes de los residuos lignocelulósicos y las enzimas que participan en su degradación para poder conocer la actividad metabólica que se lleva a cabo durante el compostaje.

En el trabajo titulado: "Statistical model for the analysis of temperature: case study the 1895 – 2014 serie for Florida State", se aplicó un diseño experimental a las temperaturas promedio anuales, medias máximas y medias mínimas del estado de Florida, EUA. Además de obtener los datos descriptivos y la distribución adecuada para analizar las tendencias de temperatura, los resultados demostraron una tendencia alcista en las temperaturas, información que puede ser usada por investigadores en meteorología, ingeniería ambiental, hidrología, ingeniería civil y agricultura en los Estados Unidos.

PH. D. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA
EDITOR EN JEFE

Potencial de la dermatoglifia en las ciencias del deporte y la salud en México

Potential of dermatoglifia in sports and health sciences in Mexico

GABRIEL GASTÉLUM CUADRAS¹ Y JULIO CESAR GUEDEA DELGADO^{1,2}

Resumen

Es innegable la contribución de la ciencia y la tecnología en el estudio de casi todas las actividades humanas, pero es necesario reconocer que mucho de lo que hoy tenemos ha sido gracias al trabajo de hombres y mujeres de otro tiempo, ya que su capacidad de creatividad e innovación aún impacta en el trabajo científico de la actualidad. Una metodología que surgió en el siglo pasado y que se ha venido perfeccionando y diversificando en su uso con el paso de los años es la dermatoglifia, que es el estudio de las huellas dactilares, palmares y plantares. En sus inicios, esta metodología se suscribía al campo de la genética para detectar anomalías cromosómicas que dan como resultado síndromes, así como en la antropología forense. En la actualidad, su utilización ha llegado a las ciencias de la actividad física y de la salud, por su capacidad para pronosticar potencialidades físicas como: fuerza, velocidad, coordinación motora, potencia, agilidad, hipertrofia, resistencia; así como propensión para el alto rendimiento, de suma importancia para la detección, selección y orientación de talento deportivo; de igual manera es un predictor de propensión a enfermedades como: obesidad infantil, de hipertensión arterial, diabetes mellitus tipo 2 y cáncer de mama, entre otros. En México, dicha técnica ha sido poco usada en el terreno de la investigación, no se diga en su uso práctico, donde no existe evidencia alguna de esto. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es dar a conocer el estado del arte de la dermatoglifia en México, así como el potencial de esta en el área de actividad física y la salud en nuestro país.

Palabras clave: ciencia, dermatoglifia, deporte, salud.

Abstract

The contribution of science and technology in the study of almost all human activities is undeniable, but it is necessary to recognize that much of what we have today has been to the work of men and women on another time, their capacity for creativity and innovation still impacts in the scientific work of today. A methodology that emerged in the last century has been refined and diversified, in its use, over the years, is the dermatoglyphics, which is the study of fingerprints both palmar and plantar. In the beginning, this methodology subscribed to the field of genetics to detect chromosomal anomalies resulting in syndromes, as well as in forensic anthropology. Currently, its use has reached the sciences of physical activity and health for its ability to predict physical potentials such as: strength, speed, motor coordination, potency, agility, hypertrophy and resistance; as well as propensity for high performance, very important for the detection, selection and orientation of sports talent. At the same time, it is a predictor of propensity such as: childhood obesity, hypertension, diabetes mellitus type 2 and breast cancer; among others. In Mexico, this technique has not been widely used, and in the practical field there is no evidence. Therefore, the objective of this work is to present the state of art from dermatoglyphics in Mexico, as well as the potential of this in the area of physical activity and health in our country.

Keywords: Science, dermatoglyphics, sport, health.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. Facultad de Ciencias de la Cultura Física. Periférico de la Juventud y Circuito Universitario S/N. Fracc. Campo Bello, C.P. 31124, Chihuahua, Chih. Tel. +52(614) 158.9900.

⁴ Dirección electrónica del autor de correspondencia: jcuedea@uach.mx.

Introducción

La palabra dermatoglifia es un neologismo que no aparece en la Real Academia Española; fue acuñado por el dermatólogo norteamericano Harold Cummins (1894-1976). Lo hizo a partir de dos elementos provenientes del griego *derma*, que significa piel y *glypho*, relacionado con estructura: línea, surco (Morizon y Aspillaga, 1977). Por lo que, los dermatoglifos son patrones de líneas que forman los pliegues de la piel: de los dedos, de las palmas de las manos y de las plantas de los pies.

En sus inicios, la dermatoglifia se ha relacionado con el estudio genético de anomalías cromosómicas que dan como resultado síndromes, así como con la antropología forense (Morizon y Aspillaga, 1977; Hernández, 2017). Hoy en día se ha diversificado su campo de acción como un predictor de propensión a enfermedades como obesidad infantil, hipertensión arterial, diabetes mellitus tipo 2 y cáncer de mama, entre otros (Nodari y Heberle, 2014). Y de forma más contundente en el terreno de la actividad física y deportiva, donde ha tenido buena acogida por su innegable contribución al detectar perfiles de actuación deportiva o como base científica para el entrenamiento físico, como se describirá más adelante.

Es importante resaltar los principios sobre los que se basa la dermatoglifia que son perennidad, inmutabilidad, diversidad e individualidad. La *perennidad*, los dermatoglifos presentan esta propiedad, pues desde su formación en el desarrollo embrionario no sufren modificación alguna a lo largo de la vida. La *inmutabilidad*, corresponde a que sus diseños no varían en sus características individuales, estas líneas no se ven alteradas por enfermedades ni cuando existe algún desgaste, es decir, el tejido epidérmico no es afectado por quemaduras o golpes superficiales. La *diversidad* se basa en el hecho de que existen un sin número de diagramas de dermatoglifos, pues no es posible encontrar dos huellas digitales iguales, pues poseen distintas crestas, deltas y núcleos que tienen distribuciones específicas distintas entre las personas, lo que las hace únicas. Por si lo anterior no bastara, la *individualidad* dermatoglífica que se logra con la suma de los diez dactilogramas, y que da una identificación única e irrepetible, por las combinaciones logradas a partir de las huellas de ambas manos (Morales, 2014).

A continuación se describirán, de acuerdo con Del Vecchio y Goncalves (2011), los diseños digitales (Figura 1) más comunes: arco (A), presilla (L) y verticilo (W); así como el verticilo (Diseño S). Diseños que constituyen la característica cualitativa de la dermatoglifia deportiva, y su clasificación en relación con el tipo de potencialidad física de cada uno de ellos.

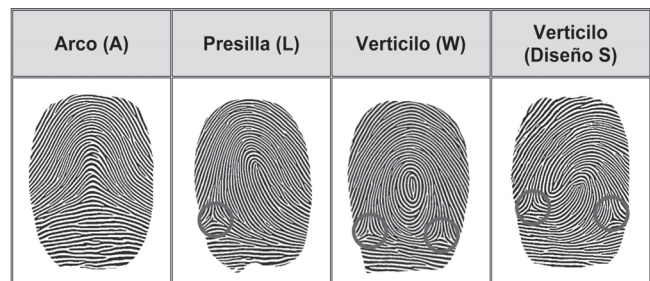
- Arco A (diseño sin deltas): se caracteriza por la ausencia de deltas y se forma de crestas papilares, se relaciona con la cualidad física de fuerza.

- Presilla L: está compuesta de tres zonas, la marginal, basilar y nuclear. En este tipo de huella se tiene un solo delta, representa la cualidad física de velocidad.

- Verticilo W: son diseños de dos deltas, a ambos lados, y corresponde a una figura cerrada, relacionada con la coordinación motora.

- Verticilo Diseño S: son diseños de dos deltas, a ambos lados, a diferencia del anterior, presenta dos núcleos que forman un «s», es un diseño digital poco común.

Figura 1. Clasificación de patrones dermatoglíficos.



Antecedentes de la dermatoglyphia

Las primeras referencias sobre el uso de las huellas digitales con fines de identificación y de funcionalidad (crestas de fricción) las podemos encontrar referidas en la obra «El Libro de Referencia de las Huellas Dactilares», editado por el Departamento de Justicia de los Estados Unidos, específicamente por la Oficina de Programas de Justicia. Un antecedente de la dermatoglyphia es la dactiloscopia, que significa «descripción del dedo». En la obra antes referida se da a conocer «una cronología de primeros logros en dactiloscopia», con base en lo que se conoce como línea del tiempo y que se resumen a continuación.

Se reconoce a la china como la primera cultura en haber utilizado impresiones digitales como medio de identificación, aproximadamente entre los años 221 AC a 220 DC. En 1687, al fisiólogo italiano Marcello Malpighi se le atribuye ser el primero en utilizar el microscopio, recién inventado, para estudiar la piel. Nehemiah Grew (1864) es reconocido como el primero en publicar que las crestas de fricción son únicas en cada persona. En 1858, Herschel hace la primera impresión espontánea de la mano de un hombre como prueba de identidad, y sienta el precedente del primer uso oficial de la piel como firma, hecha por un europeo. A finales del siglo 17 y el siglo 18 son muchas las referencias del uso de las huellas dactilares en antropología forense.

Ya más cercano a nuestro tiempo y al tema que nos compete, como primer antecedente del estudio científico de la dermatoglyphia propiamente dicha, se hace referencia a la obra clásica de los autores Cummins y Midlo (1961), con su libro titulado *Huellas dactilares palmares y plantares: una introducción a la dermatoglyphia (Finger prints palm and soles: an introduction to dermatoglyphics)*. Donde se describen los principios o bases teóricas sobre los que descansa lo que hoy conocemos como dermatoglyphia, a partir de sus trabajos de investigación en este terreno, cimentando lo que existe hasta hoy.

Aunque en la actualidad la dermatoglyphia se desarrolla con la ayuda de la tecnología, no siempre fue así. Para que tengamos una idea de cómo era en sus inicios esta técnica o metodología científica,

citamos a Morizon y Aspillaga (1977, p. 219) que nos dicen: «El método más sencillo es el examen directo (a ojo desnudo) con una lupa y buena luz. Sin embargo, es indispensable tener impresiones en papel, para poder hacer un análisis más completo y conservar un documento. Se han propuesto varios métodos, siendo los más usados los que emplean una tinta hidrosoluble que se extiende en la superficie palmar con un rodillo; luego la mano es aplicada sobre una hoja de papel blanco, consiguiéndose así las impresiones dermatoglyphicas. También se usa, especialmente en lactantes, un papel adhesivo ancho que se pega, primero en la mano impregnada con tinta, y luego se fija a una hoja de papel.».

Los primeros antecedentes del uso de la dermatoglyphia en el deporte se les atribuyen a los científicos del deporte de Rusia, dicha metodología ha sido utilizada por ellos en el ámbito de la detección y selección de talentos deportivos. Es en los años 60, en la antigua URSS, donde se inicia con investigaciones en este terreno con el fin de mejorar el perfeccionamiento deportivo de la juventud, a partir de esta información que les permitía determinar las potencialidades neuromotoras propicias para el rendimiento físico-deportivo (Morales, 2014).

En la actualidad tenemos a Brasil como un país que está liderando fuertemente en este campo, aunque existen varios autores en este ámbito, se resalta en esta ocasión el trabajo del Dr. Rudy Nodari con su Lector Dermatoglyphico (Nodari y Heberle, 2014), software que ofrece un informe individual (o grupal para fines de investigación) de potencialidades físicas como: fuerza, velocidad, coordinación motora, potencia, agilidad, hipertrofia, resistencia; además de un informe sobre propensión al alto rendimiento. Lo anterior, a partir de un gráfico de fácil lectura e interpretación, por medio de barras que van de 0 a 100, entre más cercanos a cien los valores, mayor será el potencial. En lo que respecta a la opinión de los autores de este trabajo, esta herramienta cuenta con un valor incalculable en su uso para la detección y selección de talento deportivo, así como para el diseño de programas de entrenamiento físico-deportivo o para la prescripción de ejercicio con fines de salud.

Investigaciones sobre dermatoglifia en el deporte y la salud

A partir de aquí se mostrarán investigaciones en el campo del deporte y la salud donde se ha utilizado la dermatoglifia. Por ejemplo, en cuanto a la orientación deportiva, Borin, Padovani, Aragon y Gonçalves (2012) consideran que debería notarse que algunos aspectos se pueden estudiar mejor al comparar indicadores de huellas dactilares entre los dermatoglifos y la función fisiológica de deportes que usan las manos para analizar las diferentes posiciones. Como se podrá constatar, su uso está más extendido en las ciencias del deporte que en los de las ciencias de la salud, ya que es menos frecuente encontrar publicación de resultados en este campo.

En un estudio realizado por Hernández *et al.* (2013) cuyo objetivo fue identificar el perfil dermatoglífico de jugadores de fútbol del Club Deportivo Ñublense de la ciudad de Chillan. Se evaluaron 16 jugadores en la que usaron la metodología de Cummins y Midlo (1961); ellos encontraron valores de diseño digital como se muestra a continuación: Arco (A) 19.0%, Presilla (L) 57.0%, Verticilo (W) 24.0%. Así como Índice de Deltas (D10) $9.6 + 0.83$, sumatoria de la cantidad total de líneas papilares (SQTL) $117.7 + 16.15$. Por lo que se muestra un mayor predominio en los niveles somáticos funcionales de velocidad y fuerza explosiva, minimizando los de coordinación, resistencia y agilidad. Ellos concluyen que se demuestra la aplicabilidad práctica de la dermatoglifia como un marcador de desarrollo fetal, en la optimización de estrategias de selección y orientación deportiva, pero ellos recomiendan más investigaciones, con más variables físicas en este y otros deportes.

Por otro lado, Val'kovich y Oleinik (2013) realizaron un estudio para analizar el rendimiento morfo genético de 31 mujeres de esgrima de entre 18 y 23 años. A partir de características cualitativas y cuantitativas de los dermatoglifos digitales, los atletas presentaron altos valores del índice delta, en el recuento total de la cresta, una mayor proporción de patrones complejos, que se relaciona con deportistas con predisposición al alto rendimiento y una cantidad mínima de patrones simples.

En Brasil, De Oliveira *et al.* (2018), en una investigación donde buscaban, entre otras cosas, estudiar las características dermatoglíficas del equipo de 13 atletas que participaron en los Juegos Paralímpicos de Río 2016, utilizaron el protocolo propuesto por Cummins y Midlo (1961). El estudio mostró, en general, una frecuencia alta de patrón de bucle (L) (66.2%), bajos TRC (97.4 ± 28.6) y promedios D10 (10.0 ± 2.5), con una predisposición para el desarrollo de la velocidad y la fuerza.

En otra investigación de ese mismo país a cargo de Sena *et al.* (2012), realizaron un estudio que consistió en analizar la dermatoglifia, el somatotipo y la composición corporal del equipo de balonmano de playa femenino brasileño. La muestra consistió en 32 atletas; un equipo de alto rendimiento, bicampeones mundiales ($n = 10$); otro de rendimiento intermedio, que compitieron en campeonatos nacionales ($n = 11$), y un tercer equipo de bajo rendimiento ($n = 11$). La velocidad, que se relaciona con la presilla (L), ha sido la capacidad física con mayor predisposición en alto rendimiento y bajo rendimiento respectivamente; seguida de verticilo (W), con una reducción de los valores del dibujo (A). El rendimiento deportivo fue caracterizado por la coordinación, la resistencia, la velocidad y la fuerza explosiva, los atletas de alto rendimiento presentaron mejores valores que los demás.

En Colombia, Rodríguez y Buitrago (2017) describieron la determinación de las características dermatoglíficas dactilares, la composición corporal y el nivel de potencia en atletas bogotanos de atletismo. La muestra fue compuesta por 27 deportistas de nivel distrital, nacional e internacional; el estudio se efectuó con el protocolo de Cummins – Midhlo. Dicho análisis permitió clasificar y orientar el nivel de potencia para las especialidades del atletismo.

En opinión de los autores Linhares *et al.* (2013), la identificación de deportistas con talento es una de las situaciones más difíciles y más mal trabajadas en Brasil, por lo que consideran importante la aportación de la dermatoglifia en este campo. Ponen como ejemplo un estudio que realizaron para identificar el perfil dermatoglífico de jóvenes considerados talentosos por una institución deportiva del gobierno.

De acuerdo con los datos obtenidos, se observó que los niños y adolescentes poseen un bajo porcentaje de diseños tipo arco y altos niveles de deltas y de líneas en los diez dedos de las manos; características similares a los que se tiene con deportistas de alto rendimiento.

En el estudio de De Almeida *et al.* (2005), el objetivo fue establecer la relación entre los índices de dermatoglíficos, la isocinética y la ergoespirometría en jugadores del fútbol profesional del «Fluminense F.C.». Para la dermatoglifia se realizó el protocolo de Cummins y Midlo (1942); la isocinética se evaluó con pruebas de velocidad, y para la ergoespirometría se usó el protocolo de rampa hasta el agotamiento. Se encontraron resultados significativos entre la resistencia anaeróbica y los índices dermatoglíficos. Ellos concluyen que este tipo de trabajos podría darnos un panorama más amplio, pues se tendría atletas mejor aprovechados, tanto en el rendimiento como en longevidad deportiva.

Otro estudio reportado por Cabral (2004) consistió en identificar las características dermatoglíficas, somatotípicas y las capacidades físicas de atletas de voleibol de la selección juvenil del Estado do Rio Grande do Norte, donde se utilizó método dermatoglífico de Cummins y Midlo (1942). El grupo de deportistas presentó una predisposición para las capacidades físicas de fuerza explosiva y velocidad, sin embargo, existe una necesidad de mejorar las habilidades coordinativas y de agilidad.

En un trabajo en el área de la salud, también en Brasil, a cargo de Nodari *et al.* (2016), se analizaron a 268 adultos, 134 con hipertensión y 134 del grupo control (sanos), donde se utilizó el método dermatoglifo computarizado. Los autores encontraron una diferencia significativa en el número de líneas en el quinto dedo de la mano derecha a favor del grupo con hipertensión. Además de la diferencia estadísticamente significativa en el patrón de bucle cubital en el quinto dedo de la mano izquierda, cuarto y quinto de la mano derecha. Por lo que ellos comentan que las huellas dactilares son un marcador de desarrollo fetal de gran relevancia en los deportes y en la salud para el pronóstico de enfermedades, sobre todo si se descubre un patrón o marcador raro para ciertas enfermedades, como es la hipertensión.

Autores como Łopuszanska y Jankowska (2001) consideran que el polimorfismo dermatoglífico es causado por factores genéticos y ambientales durante las primeras etapas de la ontogénesis. Describen que algunas situaciones que le pase a la madre durante el embarazo, como las radiaciones, el consumo de alcohol, las drogas, algunos medicamentos e infecciones, pueden alterar esencialmente la formación de los dermatoglifos, si solo se actúa antes de la semana 19 de embarazo. El estudio de la dermatoglifia contribuye a tener un diagnóstico de algunas enfermedades y síndromes determinados genéticamente (por ejemplo, síndromes de Down, Turner o Klinefelter). Describen que, en estas situaciones, se presenta que las nuevas figuras de dermatoglifos nunca se forman, sino que se revela la prevalencia alterada de formas particulares de rasgos de cresta y/o la dirección cambiada de los dermatoglifos; en esta situación, se puede presentar la falta de desarrollo de un organismo.

Por último, Hiru y Kumar (2017) aseguran que el asma bronquial está influenciada por factores genéticos, para ello, realizaron un estudio comparativo en 50 niños con asma y 50 niños sanos, de edades entre 5 y 18 años tomando como base la dermatoglifia, analizando patrones de huellas digitales (espirales, radiales). En este estudio, se observó un número significativamente mayor de bucle de ulnar (cubital) en el grupo de asma bronquial, y se vio que la presencia de arcos era significativamente menor que el grupo control.

Investigaciones sobre dermatoglifia en México

En un trabajo de Juárez-Toledo *et al.* (2017) realizaron un estudio con futbolistas profesionales mexicanos ($n = 49$) con las variables somatotipo y capacidades físicas, estas últimas a partir de la metodología de dermatoglifia dactilar. La frecuencia de clase de somatotipo y clase de capacidad física fueron comparadas entre subgrupos de futbolistas. Una mayor proporción de futbolistas se caracterizó por un somatotipo mesomorfo balanceado con dermatoglifia tipo 2 y 3 correspondiente a fuerza, fuerza explosiva y velocidad, independientemente de la posición de juego. Estos resultados son consistentes con hallazgos previos en futbolistas chilenos y brasileños (latinoamericanos).

Por su parte, Corona-Rivera *et al.* (2016) reportaron un estudio en nuestro país donde evaluaron si existían diferencias entre los patrones digitales de niños con síndrome nefrótico idiopático en dos grupos: uno resistente a esteroides y otro con sensibilidad a esteroides. Entre otros resultados, los pacientes con resistencia a esteroides tuvieron una mayor frecuencia de rizados en comparación con pacientes con sensibilidad esteroidea (46.7% frente a 30.7%, $p = 0.005$).

Como se puede apreciar, es realmente pobre el trabajo sobre dermatoglia en nuestro país. Existen unos pocos trabajos del siglo pasado donde se usa la dermatoglia en el estudio de perfiles dermatoglíficos en grupos étnicos.

Conclusiones

Después de la revisión de esta temática en México, se concluye que son escasos los trabajos, pues solo se cuenta con uno en el campo del deporte, otro en el área médica, así como un par en el terreno antropológico; estos últimos, fuera de la temática de este estudio.


Se reconoce a la dermatoglia dactilar como una herramienta científica eficaz para el diagnóstico de potencialidades físicas relacionadas con el rendimiento físico. Puede ser muy útil en la detección, selección y orientación deportiva, así como base de partida para el entrenamiento físico relacionado con salud.

De igual forma, se valora su capacidad como un predictor de propensión hacia algunas enfermedades, pero se demuestra que su utilización en las ciencias de la salud a la fecha es muy limitada; por ello, pensamos que está siendo desperdiciado su potencial como herramienta de diagnóstico y sobre todo de pronóstico en este terreno.

Se aprecia su potencial en el campo de las ciencias del deporte, donde está más extendido su uso, sobre todo en otras partes del mundo. Por lo que en México existe un terreno virgen, tanto para la investigación como para su aplicación práctica, como un servicio de consultoría a instituciones deportivas públicas y privadas, que puede ser de ayuda para la toma de decisiones a la hora de la selección de talento deportivo.

Literatura citada

- BORIN, J. P., Padovani, C. R., Aragon, F. F. and Gonçalves, A. 2012. Dermatoglyphics in Sports Sciences: Understanding the distribution of quantitative indicators in non-athletes and athletes of basketball according to their performance. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte* 5(3):99-104.
- CABRAL, S. D. A. T. 2004. Estudo da correlação das características dermatoglífica e somatotípica com as qualidades físicas das atletas de voleibol da Seleção Infanto-juvenil do Estado do Rio Grande do Norte (Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte).
- CORONA-RIVERA, J. R., Pérez-Cortés, G., Osuna-Osuna, J., Garay-Cortés, M. G., Pérez-Molina, J. J., Ramírez-Godínez, S., ... and Bobadilla-Morales, L. 2016. Diferencias en los dermatoglifos de niños con síndrome nefrótico de acuerdo a su respuesta a esteroides. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social* 54(2):145-150.
- CUMMINS, H. and Midlo, C. 1961. Finger prints palm and soles: an introduction to dermatoglyphics. Dover press, New York, 319 p.
- DE ALMEIDA, M. N., Fernandes, J. and Dantas, P. M. S. 2005. Relação dos índices dermatoglíficos com avaliação isocinética e ergoespiometria. *Fitness & performance journal* (2):101-106.
- DE OLIVEIRA, G. L., De Oliveira, T. A. P., Valentim-Silva, J. R. and Fernandes, J. 2018. Dermatoglyphic Profile and Body Composition of Athletes from the Brazilian Five-a-Side National Football Team. *International Journal of Sports Science* 8(3):78-82.
- DEL VECCHIO, F. and Goncalves, A. 2011. Dermatoglifos como indicadores biológicos del rendimiento deportivo. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte* 4(1):38-46.
- HERNÁNDEZ, C., Hernández, D. y Fernandes, J. 2013. Perfil dermatoglífico de jugadores profesionales de fútbol del Club Deportivo Nublense de la Ciudad de Chillan. *Motricidad Humana* 14(1):9-15.
- HERNÁNDEZ, M. 2017. Estudios de los dermatoglifos en fueguinos. *Magallania*. 45(1):85-100.
- HIRU, N. and Kumar, P. 2017. Study of Dermatoglyphics in Children Age 5-18 Years with Bronchial Asthma. *Executive Editor* 8(2):2300.
- JUÁREZ-TOLEDO, L.; Domínguez-García, M.V.; Laguna-Camacho, A.; Sotomayor-Serrano, N. y Balbás-Lara, F. 2017. Somatotipo y dermatoglia dactilar en futbolistas mexicanos. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* 18(70):383-393.
- KOBYLIANSKY, E., Bejerano, M., Vainder, M. and Katznelson, M. B. 1997. Relationship between genetic anomalies of different levels and deviations in dermatoglyphic traits. Part 2: Dermatoglyphic peculiarities of females with Turner's syndrome. *Anthropologischer Anzeiger* 315-348.
- LINHARES, R. V., Fernandes Filho, J. and Mettrau, M. B. 2013. The dermatoglyphics characteristics of the talented children and adolescents of Institute Rogério Steinberg of Rio de Janeiro-RJ. *Psicologia Clínica* 25(2):153-164.
- ŁOPUZANSKA, M. and Jankowska, E. A. 2001. Dermatoglyphic morphology in some diseases. *Polski Merkuriusz Lekarski: Organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego* 11(63):282-286.

- MORALES, C. S. 2014. Genética Deportiva. Atlantic International University, Chile. (En línea). Recuperado de <https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/1-1282014-182728-10487564.pdf>
- MORIZON, G. y Aspillaga, M. 1977. Los dermatoglifos. *Revista chilena de pediatría*, 48(4): 218-227. (En línea). Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcp/v48n4/art03.pdf>
- NODARI, R. J., Sartori, G., Fin, G., Omarini, F., Bianco, G., Messina, G., ... and Palma, A. 2016. Dermatoglyphic characteristics of hypertensives. *Acta Medica* 32:1015.
- NODARI, R.J. y Heberles, A. 2014. Leitor Dermatoglífico, Gold Standard de la Dermatoglyphia. (En línea). Recuperado de <http://salusdermatoglyphia.com.br/>.
- RODRÍGUEZ, D. A. y Buitrago, A. 2017. Perfil de las características dermatoglíficas dactilares, de composición corporal y del nivel de fuerza explosiva de atletas de semifondo. *Revista digital: actividad física y deporte* 3(2):5-15.
- SENA, J. E., Gomes, A. L., Mimbacas, A. and Ferreira, U. M. 2012. Dermatoglyphia, somatotipo e composição corporal no beach handball: Estudo comparativo entre diferentes níveis de qualificação esportiva. *Motricidade* 8(2):567-576.
- VAL'KOVICH, E. I. and Oleinik, E. A. 2013. Peculiarities of digital dermatoglyphics and the somatic status in female athletes engaged in fencing. *Morfologija* 144(4):72-75. 

Este artículo es citado así:

Gastélum-Cuadras y J. C. Guedea-Delgado. 2017. Potencial de la dermatoglyphia en las ciencias del deporte y la salud en México. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 11(3):108-114.

Resumen curricular del autor y coautores

GABRIEL GASTÉLUM CUADRAS. Terminó sus estudios de Licenciatura en Educación Física en la Universidad Autónoma de Sinaloa en el año de 1994, reconocido como mejor promedio de esa generación. En 1995 obtuvo su titulación por promedio. Concluyó estudios de Maestría en Ciencias del Deporte (opción Psicología) con Mención Honorífica en la defensa de tesis el año de 1998, en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Realizó su Doctorado en Actividad Física y Salud en la Universidad de Granada, España, concluyendo sus estudios con su defensa de tesis en el 2011, en la que obtuvo mención "Cum Laude". Labora desde 2010 en la Universidad Autónoma de Chihuahua, es Tiempo Completo Titular "C" desde el 2010, impartiendo clases en todos los niveles. Actualmente es parte del Núcleo Básico del Programa Doctoral en Ciencias de la Cultura Física, con dos tesis doctorales dirigidas concluidas y tres más en proceso, con más de 30 tesis de grado de maestría. Es autor y/o coautor de al menos 20 artículos científicos, ha participado como ponente en más de 10 congresos nacionales e internacionales. Actualmente pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI, Nivel I). Es Director Académico y de Planeación de la International Human Motricity Network (IHMN). Es miembro activo del Consejo Mexicano para la Acreditación de la Enseñanza de la Cultura de la Actividad Física, A.C.

JULIO CÉSAR GUEDEA DELGADO. Terminó sus estudios de Licenciatura en Educación Física en el 1988, de Maestría en Administración de Recursos Humanos en el 2003, realizó dos Doctorados, uno en Actividad Física y Salud en la Universidad de Granada España, concluido en el 2010 y otro en la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) en Administración, concluido en el 2011. Ha publicado artículos científicos en publicaciones en revistas indexadas y arbitradas; cuenta con ponencias y artículos en extenso en Congresos Nacionales e Internacionales. Ha dirigido tesis de Licenciatura y Maestría. Es Miembro de la Red de Deporte de Calidad (REDDECA), red reconocida por CONACYT. Es autor-compilador del libro Administración Deportiva, que se encuentra en estatus de aceptado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, para ser publicado en el 2018. Es parte del Comité de evaluación de la revista, de la Red de Investigación Educativa en Chihuahua (REDIECH). Ha sido representante de la Universidad Autónoma de Chihuahua dentro del Consejo Nacional del Deporte de la Educación (CONDDE), contribuyendo en la organización de universidades nacionales y coordinando en la participación universiadas mundiales representando a México. Ha sido par evaluador de propuestas de investigación de la convocatoria de investigación científica, Innovación y desarrollo de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) 2017.

Indicadores de riesgo del rendimiento escolar en niños de 3 a 6 años

Risk indicators for school performance in children aged 3 to 6 years

DAVID GARCÍA-FERNÁNDEZ^{1,3,4}, GABRIELA VELÁZQUEZ-SAUCEDO², JULIO GUEDEA-DELGADO¹,
MARTÍN SÍAS-CASAS² Y MARTA ZUBIAUR-GONZÁLEZ³

Recibido: Octubre 2, 2017

Aceptado: Noviembre 27, 2017

Resumen

Las etapas trascendentales en el niño son entre 3 a 6 años, donde desarrollan diferentes áreas que son importantes para un adecuado rendimiento académico. Este estudio determinó los indicadores de riesgo del desarrollo neuropsicológico, cognitivo, motriz, matemático, lenguaje, composición corporal, parto, lactancia y locomoción, estableciendo los típicos y atípicos. Posteriormente se determinó si existen deficiencias en las áreas y se relacionaron con el rendimiento académico futuro. El presente estudio tiene un diseño cuantitativo, descriptivo y transversal con una muestra aleatoria de 81 niños de desarrollo típico en edades comprendidas entre 4.3 a 6.3 años de educación infantil de un colegio público en León, España. Los instrumentos fueron: escala de desarrollo Merrill Palmer Revisada (MP-R), el cuestionario de madurez neuropsicológica infantil (CUMANIN) y el test de competencia matemática básica (TEMA 3) y cuestionario de datos anamnésicos. Se analizó a través del programa SPSS versión 21. Los resultados indicaron que 61.73% tienen desarrollo típico y 38.27% desarrollo atípico. En análisis descriptivo de la composición corporal, parto, lactancia y locomoción, los resultados más significativos son: edad cronológica ($p = 0.016$); marcha independiente ($p = 0.009$) y actividad extraescolar académica ($p = 0.049$), también se encontraron diferencias significativas en cognición, motricidad gruesa, lenguaje, cociente de desarrollo y matemáticas ($p < 0.00$). De 100% de los niños atípicos, el 67.74%, de acuerdo con los maestros, fueron los más deficientes académicamente. El 38.27% de los 81 niños se encuentra con retrasos en una o más de las escalas principales evaluadas, siendo similares en otros estudios. Concluyendo, los niños que tienen afección en dos o más áreas del desarrollo son lo que presentan bajo rendimiento académico.

Palabras clave: rendimiento académico, desarrollo cognitivo, lenguaje, matemáticas y motriz.

Abstract

One of the main and transcendental stage of a child remains between the ages of 3 to 6 years, were many important areas for a correct academic performance are developed. This study presents the foremost risk indicators of development: neuropsychological, cognitive, motor skills, mathematics, language, corporal composition, birth, breastfeeding and movement skills, setting the typical and atypical, then it was figured out if it exists deficiency on the areas and their relation with the future academic performance. The design of the study was quantitative, descriptive and cross-sectional; using a random sample of 81 children among the ages of 4.3 to 6.3 years, with a typical development, of a public school in León, Spain. The measurement tools that were used: Merrill Palmer Revised Scales of Development (MP-R), Infant Neuropsychological Maturity Questionnaire (CUMANIN), and Test of Early Mathematics Ability - 3 (TEMA - 3). It was analyzed through the statistic program SPSS - 21. The test results show that the 61.73% have a typical development and just a 38.27% an atypical development. On the descriptive analysis about the corporal composition, birth, breastfeeding and locomotion, the remarkable results are the chronological age ($p = 0.016$), independent walk ($p = 0.009$) and extracurricular academic activity ($p = 0.049$), many significant differences were found in cognitive process, gross motor skills, language, development quotient and mathematics ($p = 0.00$). Of the 100% of an atypical child, 67.4%, according to the teachers, have an academic deficiency problem. In discussion 38.27% of the children present delays at one or more of the evaluated scales, showing similarities compared with different studies. In conclusion, children affected in two or more development areas shows low academic performance.

Keywords: Low academic performance, cognitive development, language, mathematics and motor skills.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. Facultad de Ciencias de la Cultura Física, Cd. Universitaria, Apdo. postal 2-1585, Chihuahua Chih., México. C.P. 31009. Tel. (614)158-9900

² UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. Facultad de Enfermería y Nutriología. Circuito Universitario Campus II. Tel. (614) 238-6048. Chihuahua, Chih., México.

³ UNIVERSIDAD DE LEÓN. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. España. Campus de Vegazana s/n. Tel. +52 987-29-30-00.

⁴ Dirección electrónica del autor de correspondencia: dgarcf06@estudiantes.unileon.es.

Introducción

La etapa evolutiva de 3 a 8 años de edad supone un momento crítico para el desarrollo del niño (Livesey *et al.*, 2006; Jones, *et al.*, 2011; Nelson, 2014). Se trata de un periodo amplio de crecimiento y evolución dentro del ciclo vital que además es justamente cuando se inicia la edad escolar, siendo importante y decisiva para el desarrollo motor, cognitivo, individual, personal y social (Mesa, 2000).

En el estudio de neuroimagen de Moriguchi y Hiraki (2013) se ha visto que a la edad de 4 a 8 años se empieza a incrementar la actividad del lóbulo frontal. También parece ser que el desarrollo cognitivo y motor sigue un calendario de maduración similar, con un desarrollo acelerado entre los 5 y 10 años (Ahnert *et al.*, 2009; Westendorp *et al.*, 2011; Roebers *et al.*, 2014). Portellano *et al.* (2009) mencionan que la educación infantil es un periodo determinante en el desarrollo del cerebro, ya que es la etapa en la que se establecen conexiones neuronales importantes que van a constituir la base del aprendizaje y la conducta.

Las funciones cognitivas se refieren al uso o manejo del conocimiento, e integran los procesos que dan sentido a las señales sensoriales y a las acciones motoras a medida que son codificadas neuronalmente. En los procesos cognitivos, se dan una variedad de funciones mentales como la atención, la memoria, el aprendizaje, la percepción, el lenguaje y la capacidad para la solución de problemas. Cabe mencionar que cada una de las funciones antes señaladas continúan una secuencia propia de desarrollo que se correlaciona con la maduración del sistema nervioso central (Rosselli *et al.*, 2010).

Por otro lado, el desarrollo motor se refleja a través de la capacidad de movimiento, dependiendo especialmente de dos factores básicos: la maduración del sistema nervioso y la evolución del tono (Durivage, 2007). En este sentido, las alteraciones en las habilidades motoras de un niño pueden reflejar inmadurez cerebral asociada a un problema de desarrollo, o pueden ser las manifestaciones de una lesión cerebral. Normalmente, las primeras se van reflejando como signos neurológicos menores o blandos (incapacidad para saltar en un pie o dificultad para realizar movimientos alterados con los dedos); estos signos blandos no indican en sí mismo una lesión cerebral (Rosselli *et al.*, 2010).

Además, el desarrollo motor en la primera infancia es uno de los factores más importantes a evaluar, ya que expertos como Videmšek *et al.* (2006) han establecido que todo lo que no se adquiere en la primera infancia es difícil de compensarlo en etapas posteriores de la vida. Investigaciones como la de Jess y Collins (2003) y Hardy *et al.* (2012) concluyen que los niños que no tienen habilidades motoras acordes a su desarrollo, son a menudo relegados de los juegos organizados, repercutiendo en no jugar con otros niños, lo cual puede influir en una vida de inactividad física debido a las experiencias frustrantes que tuvieron en sus inicios.

Otro proceso importante en el desarrollo infantil es el lenguaje, es uno de los factores principales de las funciones cognitivas dentro de una gran gama de procesos mentales del ser humano (Portellano *et al.*, 2009). El desarrollo del lenguaje no constituye un proceso aislado, sino que se encuentra ligado al proceso físico, psicológico y social del niño, involucrando varias áreas cerebrales. Las interrupciones o distorsiones en este proceso suelen tener repercusiones importantes en la maduración intelectual y psicológica del infante. La ausencia de lenguaje antes de los cinco años de edad es mal pronóstico para el desarrollo integral del niño (Rosselli *et al.*, 2010).

Los componentes cognitivos, los motrices, la capacidad lingüística y los componentes neuropsicológicos, contribuyen a las diferencias en el rendimiento matemático, considerada una de las aptitudes académicas básicas (Geary, 2010; Cragg y Gilmore, 2014), así como una de las áreas que mayor conflicto causan a niños, jóvenes y adultos (Cragg y Gilmore, 2014). Diversas investigaciones han establecido que los niños que no alcancen un buen desarrollo matemático en las primeras edades, en el futuro tendrán dificultades en esta área (Ramírez, 2014).

A pesar de ser una etapa de grandes cambios de lenguaje (Nesbitt *et al.*, 2013), cognitivo (Moriguchi y Hiraki, 2013), motriz (Pareja, 2010) y procesos de aprendizaje como las matemáticas, no todos los niños logran superarlos con éxito, ya que se estima que al menos el 10% de los escolares presentan deficiencias cognitivas, perceptivas, psicomotrices o comportamentales de mayor o menor gravedad, causadas por algún tipo de daño o disfunción cerebral (Ardila y Roselli, 2007 y Portellano, 2010).

De igual forma, en Estados Unidos se habla que del 12 al 16% de los niños tienen algún tipo de retraso (Sandler *et al.*, 2001), en el mejor de los casos. Incluso, Mateos y López (2011) encuentran un porcentaje entre el 15 y 20%. Esto se puede observar en un estudio en Alemania donde se evaluaron a 12,399 niños de educación infantil con un desarrollo normal, ahí se encontró que dos terceras partes no demostraron ningún retraso, pero el 14.2% tenía un retraso, el 6.8% tenían dos y el 11.6% tenía tres retrasos en las áreas de estudio (motriz, lenguaje, cognitivo y psicosocial), concluyendo que se debe poner especial atención cuando se relacionan retrasos en el desarrollo motor y cognitivo (Stich *et al.*, 2014).

Estos retrasos pueden pasar desapercibidos por padres y maestros, ya que se tiende a calificar al niño de vago, despistado, perezoso, apático o problemático, pero de trasfondo puede haber alteraciones neuropsicológicas que comprometen el desarrollo motor, lenguaje y cognitivo, llegando a desencadenar retrasos en los aprendizajes escolares como las matemáticas (Mateos y López, 2011); de hecho, los niños que tienen resultados poco favorables en estas áreas son los que en el futuro tendrán más riesgo de tener fracaso escolar (Westendorp *et al.*, 2011; Roebers *et al.*, 2014).

El objetivo de este estudio es determinar los indicadores de riesgo del desarrollo: neuropsicológico, cognitivo, motriz, matemático, lenguaje, composición corporal, parto, lactancia y locomoción para primero establecer los que son típicos y atípicos; considerado el niño típico como aquel que tiene un desarrollo en las diferentes áreas acorde con su edad cronológica, y el atípico como aquel que va desfasado en la edad cronológica, posteriormente se determinará si existen deficiencias en las cinco áreas y se relacionaron con el rendimiento académico futuro. Son muy escasas

las investigaciones que se realizan para describir los perfiles de niños con un desarrollo aparentemente típico en educación infantil, teniendo en cuenta que los niños que obtienen peores resultados en estas áreas son los que tienen más riesgo de fracaso escolar en el futuro (Westendorp *et al.*, 2011; Roebers *et al.*, 2014). El conocimiento de estos hechos podría ser importante para todos los profesionales que tengan interés en el desarrollo infantil y en detectar a los niños con algunas anomalías silenciosas, las cuales pueden tener efecto en años posteriores (Urzúa *et al.*, 2010).

Materiales y métodos

Participantes. Se seleccionó una muestra de 81 niños de ambos sexos (46 niños y 35 niñas) con edades comprendidas entre los 4.3 a 6.3 años, con una media de edad de (5.3 ± 5.5) años, que cursaban el segundo y tercer grado de educación infantil de un colegio público de la ciudad de León, España. Como criterios de inclusión se consideraron que los participantes no tuvieran alguna discapacidad motriz, intelectual o sensorial y ningún trastorno diagnosticado (información obtenida de los informes del colegio y ratificada con los datos anamnésicos transmitidos por los padres).

Procedimiento. Este estudio se adhiere a las directrices de la Consejería de Educación de la Provincia de Castilla y León, recibiendo la aprobación de la investigación por la Dirección General de Innovación Educativa y Formación del Profesorado. A los padres se les proporcionó información impresa acerca del proceso de la investigación, un cuestionario de datos anamnésicos, un cuestionario de lenguaje expresivo-padres del test MP-R y se les explicó detalladamente la forma de completarlos; también firmaron un consentimiento escrito para la aplicación de los test donde se estipulaba la confidencialidad de los datos personales.

La evaluación de los niños se llevó a cabo por dos investigadores expertos de forma individualizada en horario lectivo, una hora diaria durante dos días, proporcionando un estímulo a cada niño antes de la aplicación, como por ejemplo pegatinas. Después de dos ciclos escolares, al finalizar el ciclo académico de los niños de tercero de educación infantil y los niños de primero de primaria, se encuestó a los maestros para saber cuáles fueron sus resultados académicos.

Instrumentos. Los instrumentos utilizados fueron los siguientes:

1. *Cuestionario de datos anamnésicos.* Este cuestionario de elaboración propia recoge información sobre aspectos generales como la edad, género, APGAR, peso y talla al nacer, horas dedicadas actividades extraescolares académicas y deportivas, horas diarias que dedica el niño frente al televisor, entre otras que describe el instrumento.

2. *Escala de desarrollo Merrill Palmer Revisada (MP-R) (Gale y Jackie, 2004), adaptada al español por Sánchez et al. (2011).* El MP-R es el primero de una nueva generación de instrumentos para evaluar el desarrollo infantil de acuerdo con la normativa estadounidense para la identificación temprana de niños con retrasos en el desarrollo o con dificultades de aprendizaje. En esta batería, se valoran las cinco grandes áreas del desarrollo (cognitiva, lenguaje, motricidad, desarrollo socioemocional y conducta adaptativa y autocuidado), dirigido a niños de 1 a 78 meses, constituida por 511 ítems, agrupados en 14 sub-escalas. En términos de fiabilidad para la adaptación española, la consistencia interna α de Cronbach obtenido por los autores del instrumento fluctuó entre 0.97 y 0.78.

Para efectos de este estudio se analizaron tres áreas del desarrollo: el cognitivo, donde esta prueba evalúa el razonamiento deductivo e inductivo, la formación de categorías, la comprensión de analogías y relaciones, la comprensión de conceptos, aspectos de la organización perceptiva, manejo de la información secuencial, reconocimientos de patrones y utilización del conocimiento contextual; el desarrollo motor grueso, donde se evalúan habilidades de lanzar, atrapar, pegarle a un balón con el pie, equilibrio y saltos; y el desarrollo del lenguaje, donde se combina la información de dos fuentes, la del examinador, donde mide el conocimiento de prendas de vestir y complementos, partes del cuerpo, verbos, adverbios, adjetivos, preposiciones y pronombres; y la de los padres, la cual recoge información del niño en diferentes contextos y situaciones: la combinación de palabras, semántica, gestos y lenguaje expresivo.

3. *Cuestionario de madurez neuropsicológica infantil (CUMANIN) (Portellano et al., 2009).* Este instrumento es uno de los más utilizados en neuropsicología, el cual permite identificar posibles

trastornos madurativos que afectan a las funciones cognitivas de los niños. Se aplica a niños de 3 a 6 años y permite detectar de forma sencilla, posibles dificultades del desarrollo a estas edades. Está conformado por 83 ítems, agrupados en 12 sub-escalas: psicomotricidad, lenguaje articulatorio, lenguaje expresivo, lenguaje comprensivo, estructuración espacial, visopercepción, memoria, ritmo, fluidez verbal, atención, lectura y escritura. El coeficiente α de Cronbach obtenido por los autores del instrumento fluctuó entre 0.71 y 0.92.

De este instrumento se utilizaron las ocho sub-escalas principales, las cuales sirven para estimar el cociente de desarrollo del niño: psicomotricidad, el cual se determina a través de siete actividades (la pata coja, tocar la nariz con el dedo, estimulación de los dedos, andar en equilibrio, saltos, ponerse en cuclillas y tocar el pulgar con todos los dedos de la mano), lenguaje articulatorio (pronuncia palabras correctamente), lenguaje expresivo (repetiendo y formando frases), lenguaje comprensivo (entender el significado del texto), estructuración espacial (se valora el conocimiento que el niño tiene de las nociones espaciales simples y complejas), visopercepción (reproducir gráficamente 15 figuras geométricas de dificultad creciente), memoria icónica (el niño tiene que recordar las 10 figuras presentadas durante un minuto), ritmo (reproducción de siete series rítmicas de dificultad creciente).

4. *El test de Competencia Matemática Básica (TEMA-3) (Ginsburg y Baroody, 2003), adaptada al español por Núñez y Lozano (2007).* Es un instrumento idóneo para valorar el nivel de competencia matemática básica en estas etapas, como también es útil para predecir el éxito o fracaso de los aprendizajes matemáticos en el futuro (Salgado y Salinas 2012). Cuenta con 72 ítems que se presentan en orden de dificultad creciente en función de la edad, va dirigido a alumnos entre 3 y 8 años. Los valores del coeficiente α de Cronbach obtenidos por los autores del instrumento fluctuaron entre 0.84 y 0.95.

El TEMA-3 valora diferentes aspectos de la competencia matemática básica, dividida en dos áreas: la matemática informal, es la actividad que no precisa el uso de símbolos escritos y se evalúa mediante 41 ítems, teniendo en cuenta cuatro categorías (conceptos, numeración, habilidades de cálculo

informal y comparación de cantidades) y la matemática formal, que implica el uso de símbolos matemáticos, se evalúa con 31 ítems repartidos a su vez en cuatro categorías (habilidades de cálculo, conocimiento de convencionalismo, hechos numéricos y conceptos de base 10).

Análisis de datos. Se empleó el programa SPSS versión 21.0. En el estudio descriptivo, las variables cuantitativas se expresan con la media y la desviación estándar y las variables cualitativas, con las frecuencias y los porcentajes. El ajuste de las variables a la distribución normal se valoró mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. En el caso de las variables cuantitativas se aplicó la «t de Student» para los datos independientes si cumplían criterios de normalidad y, de no ser así, la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, correlación de Pearson. El nivel de significancia se estableció para un valor de $p < 0.05$.

Resultados

De los 81 niños evaluados (Cuadro 1), el 61.73% de la muestra (38.27% niños y 23.46% niñas) no presenta puntuaciones bajas en ninguna de las cinco áreas evaluadas.

Cuadro 1. Distribución de la frecuencia y porcentajes de los 81 niños con desarrollo típico y atípico por aglomeración de áreas evaluadas.

	Áreas	n (%)
Desarrollo típico	Cognición, motricidad gruesa, lenguaje, cociente de desarrollo y matemáticas	50 (61.73%)
Desarrollo atípico	Cognición	0 (0.0%)
	Motricidad gruesa	5 (6.17%)
	Lenguaje	3 (3.70%)
	Cociente de desarrollo	1 (1.23%)
	Matemáticas	5 (6.17%)
	Cociente de desarrollo y matemáticas	2 (2.47%)
	Motricidad gruesa y lenguaje	3 (3.70%)
	Lenguaje y cociente de desarrollo	1 (1.23%)
	Cognición, lenguaje y matemáticas	3 (3.70%)
	Cognición, motricidad gruesa y matemáticas	2 (2.47%)
	Cognición, motricidad gruesa y lenguaje	1 (1.23%)
	Cognición, motricidad gruesa, lenguaje y cociente de desarrollo	1 (1.23%)
	Cognición, motricidad gruesa, lenguaje y matemáticas	1 (1.23%)
	Cognición, motricidad gruesa, lenguaje, cociente de desarrollo y matemáticas	3 (3.70%)

Sin embargo, 38.27% (18.52% niños y 19.75% niñas) de la muestra estudiada presenta puntuaciones bajas (17.28% un área, 7.41% dos áreas, 7.41% tres áreas, 2.47% cuatro áreas y 3.70% cinco áreas). Tomando en cuenta los diferentes factores de riesgo biológicos y ambientales que pueden influir en el desarrollo infantil durante la primera infancia (Empso y Nabuzoka, 2006; Terre, 2007; Moreira *et al.*, 2014) enunciados en el Cuadro 2.

Al comparar los dos grupos no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los factores analizados, excepto en la marcha independiente y en las horas por semana dedicadas a las actividades extraescolares académicas. En el Cuadro 3 se muestran los porcentajes de niños en función de la clasificación de las áreas evaluadas, donde 13.6% presenta un perfil de medio bajo a bajo en el área cognitiva. En motricidad gruesa, los porcentajes son del 18.5% con perfiles de medio bajo a muy bajo. En el lenguaje se obtuvo 21% de perfiles medio bajo a muy bajo. A nivel neuropsicológico, indicado por el cociente de desarrollo, se encontró que 9.9% presenta perfiles de medio bajo a bajo. En matemáticas, 19.8% muestra perfiles de medio bajo a bajo.

Las correlaciones bilaterales entre las escalas principales resultaron significativas para todos los casos (Cuadro 4), encontrándose las más altas entre cognición y lenguaje ($r = 0.520$; $p = 0.000$), cognición y matemáticas ($r = 0.509$; $p = 0.000$) y lenguaje y matemáticas ($r = 0.563$; $p = 0.000$), por lo que se puede observar una fuerte relación entre estos tres factores, la motricidad gruesa es la que obtuvo menor correlación con las demás escalas.

En la comparación entre los niños típicos y atípicos que tuvieron de 1 a 5 perfiles por debajo de su desarrollo, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las áreas principales y en algunas de las sub-escalas (Cuadro 5).

Dentro de las áreas principales, los niños típicos tienen un mejor desarrollo significativo en cognición, motricidad gruesa, lenguaje, cociente de desarrollo y matemáticas que los niños atípicos. En las sub-escalas se encontraron diferencias en el lenguaje expresivo examinador, lenguaje expresivo padres, lenguaje receptivo, lenguaje articulatorio, estructuración espacial y visopercepción, teniendo un mejor desarrollo los niños típicos.

Cuadro 2. Análisis descriptivo del sexo, parto, lactancia, locomoción y análisis comparativo entre los factores de riesgo que podrían influir en el desarrollo infantil.

Variables	Niños típicos n = 50	Niños atípicos n = 31	t/U	p
Varones	31	15		
Mujeres	19	16		
Edad meses (<i>M ± DE</i>)	63.34 ± 6.9	67.03 ± 5.9	t = -2.45	0.016*
Peso kg (<i>M ± DE</i>)	20.31 ± 3.0	21.06 ± 3.7	t = -1.75	0.083
Talla Mts (<i>M ± DE</i>)	1.12 ± 0.07	1.15 ± 0.07	t = -1.69	0.094
IMC (<i>M ± DE</i>)	16.08 ± 1.4	16.24 ± 1.3	t = -0.48	0.633
Edad gestacional semanas (<i>M ± DE</i>)	39.20 ± 1.6	38.42 ± 2.1	U = 598	0.076
Parto a termino	47	27		
Parto prematuro	3	4		
Parto eutócico	34	15		
Parto instrumental	16	16		
Circular de cordón	3	2		
Peso RN kg (<i>M ± DE</i>)	3.20 ± 0.5	3.13 ± 0.5	t = 0.58	0.563
Talla RN cm (<i>M ± DE</i>)	50.04 ± 2.5	49.02 ± 3.03	U = 626	0.145
Puntuación Apgar 1 min (<i>M ± DE</i>)	8.30 ± 0.8	8.6 ± 0.5	U = 616	0.082
Puntuación Apgar 5 min (<i>M ± DE</i>)	9.46 ± 0.5	9.65 ± 0.5	U = 630	0.105
Sin lactancia materna	5	3		
Con lactancia materna	45	28		
Lactancia materna en meses (<i>M ± DE</i>)	8.69 ± 6.7	9.93 ± 10.1	U = 570	0.485
Niños que no gatearon	10	6		
Niños que gatearon	40	25		
Gateo meses (<i>M ± DE</i>)	4.48 ± .8	4.56 ± 1.5	U = 478	0.768
Marcha independiente (<i>M ± DE</i>)	12.94 ± 1.9	14.16 ± 2.01	t = -2.66	0.009*
AED h/s (<i>M ± DE</i>)	3.1 ± 2.2	2.75 ± 1.8	U = 707	0.499
AEA h/s (<i>M ± DE</i>)	2.18 ± 1.3	1.50 ± 1.3	U = 581	0.049*
Utilizar Aparatos Electrónicos h/s (<i>M ± DE</i>)	9.58 ± 3.5	9.45 ± 4.1	U = 712	0.541

AED: Actividades extraescolares deportivas (natación, fútbol sala, baloncesto, gimnasia rítmica, etc.); AEA: Actividades extraescolares académicas (Inglés, Música, Teatro, Ábaco, etc.); DE: desviación estándar; h/s: Horas por semana; IMC: Índice de masa corporal; kg: kilogramos; M: media; Mts: Metros; RN: recién nacido.

*Diferencias estadísticamente significativas * $p \leq 0.05$ entre niños con y sin perfiles bajos

Cuadro 3. Distribución de la frecuencia y porcentajes de los 81 niños, según la clasificación del MP-R, CUMANIN y el TEMA-3 de las principales áreas evaluadas.

Clasificación	Cognición	Motricidad gruesa	Lenguaje	Cociente de desarrollo	Matemáticas
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Muy alto (> 130)	1 (1.2)	-	-	1 (1.2)	5 (6.2)
Alto (121-130)	6 (7.4)	2 (2.5)	-	7 (8.6)	6 (7.4)
Medio alto (111-120)	16 (19.8)	9 (11.1)	11 (13.6)	17 (21.0)	9 (11.1)
Medio (90-110)	47 (58.0)	55 (67.9)	53 (65.4)	48 (59.3)	45 (55.6)
Medio bajo (80-89)	8 (9.9)	14 (17.3)	14 (17.3)	6 (7.4)	11 (13.6)
Bajo (70-79)	3 (3.7)	-	2 (2.5)	2 (2.5)	5 (6.2)
Muy bajo (< 70)	-	1 (1.2)	1 (1.2)	-	-

Cuadro 5. Estadísticos descriptivos de las áreas principales y sub-escalas de la cognición, motricidad gruesa, lenguaje (MP-R), cociente del desarrollo (CUMANIN) y matemáticas (TEMA-3), en función de los niños típicos y atípicos en las áreas principales y resultados de la prueba *t* para el contraste de medias.

Pruebas	Áreas principales	Sub-escalas	Niños típicos n = 50		Niños atípicos n = 31		t	p
			M	DE	M	DE		
MP-R		Cognición	108.0	10.5	97.6	13.3	3.86	0.000*
		Motricidad gruesa	104.1	8.9	91.1	9.8	6.07	0.000*
		Lenguaje	103.2	7.6	89.8	10.4	6.63	0.000*
		Lenguaje expresivo examinador	97.4	8.1	84.0	11.4	6.16	0.000*
		Lenguaje expresivo padres	105.7	10.4	98.1	12.7	2.91	0.005*
		Lenguaje receptivo	108.0	9.0	97.1	11.4	4.77	0.000*
CUMANIN	Cociente de desarrollo		108.6	10.7	98.9	12.7	3.67	0.000*
		Psicomotricidad	47.4	25.3	39.1	27.9	1.37	0.174
		Lenguaje articulatorio	78.6	19.7	53.8	27.3	4.74	0.000*
		Lenguaje expresivo	65.9	25.5	57.4	30.4	1.35	0.181
		Lenguaje comprensivo	53.0	24.9	50.7	28.4	0.38	0.705
		Estructuración espacial	68.5	31.0	53.0	31.1	2.19	0.031*
		Visopercepción	80.6	15.5	63.5	24.7	3.81	0.000*
		Memoria icónica	64.9	28.5	62.1	27.8	0.42	0.673
	Ritmo	51.9	28.1	45.5	26.9	1.01	0.313	
TEMA-3	Matemáticas		109.9	14.9	89.4	9.3	6.9	0.000*

Diferencia significativa * $p \leq 0.05$

Cuadro 4. Correlaciones de Pearson entre las áreas principales.

Clasificación	Cognición	Motricidad gruesa	Lenguaje	Cociente de desarrollo
Cognición	0.509***	0.218*	0.520***	0.277**
Motricidad gruesa	0.266*	0.299**	0.296**	
Lenguaje	0.563**	0.439***		
Cociente de desarrollo	0.448***			

La correlación es significativa a nivel * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$ (bilateral).

Discusión

El principal objetivo de este estudio fue determinar los indicadores de riesgo del desarrollo: neuropsicológico, cognitivo, motriz, matemático, lenguaje, composición corporal, parto, lactancia y locomoción, para primero establecer los que son típicos y atípicos, posteriormente se determinó si existen deficiencias en las áreas y se relacionaron con el rendimiento académico futuro. Es importante destacar que no existen estudios similares donde se evalúen todas estas áreas en el desarrollo del niño, por consiguiente, este estudio tiene una connotación muy relevante al haber evaluado todas las áreas anteriores mencionadas.

Este estudio muestra que el 38.27% de los 81 niños se encuentra con retrasos en una o más de las escalas principales evaluadas (motriz, cognitivo, lenguaje, neuropsicológico o matemático). Porcentajes similares se encontraron en un estudio realizado en Alemania con 12,399 niños en las áreas motriz, lenguaje, cognitivo y psicosocial, indicando que el 32.6% tenían de uno a tres retrasos en el desarrollo (Stich *et al.*, 2014). Así mismo, en otro estudio longitudinal en Costa Rica con 149 niños se evaluaron las habilidades para percibir similitudes, cociente intelectual, desarrollo motor, imagen corporal y lenguaje; de ellos, el 25.5% se clasificó como población en riesgo, de los cuales, el 83% repitieron primero, segundo o tercero de la educación primaria (Herrera *et al.*, 2015).

En relación con los factores de riesgos prenatales, perinatales y posnatales que podrían influir en el desarrollo infantil, no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los factores entre los

niños con y sin perfiles bajos, esto podría ser por el bajo riesgo de la muestra o el tamaño de la misma. De igual forma se encontró en el estudio de Piek *et al.* (2008) donde la edad gestacional no fue un predictor significativo del posterior desarrollo en los niños de 3 a 6 años. Estos resultados contradicen estudios relacionados acerca de la importancia de la lactancia materna, donde se menciona que las ventajas de la lactancia materna no se miden en términos de vida o muerte, sino de salud. El que la lactancia materna haya garantizado la supervivencia de la especie humana es sin duda el argumento más sólido para su recomendación, debido a que aporta los requerimientos nutricios necesarios para la subsistencia y el crecimiento del lactante, pudiendo ser emulada por la leche artificial como lo afirma Blazquez (2000).

En los únicos dos factores que sí se encontraron diferencias significativas, fue en las horas dedicadas por semana a las actividades extraescolares académicas como la música, el inglés, el teatro, etc. Otro de los factores donde se encontraron diferencias, es en la marcha independiente, donde los niños típicos empezaron a caminar antes que los niños atípicos. Además, en diferentes estudios determinan que la motricidad gruesa (caminar, gatear y control postural) es un predictor significativo del rendimiento cognitivo en la educación infantil (Piek *et al.*, 2008; Hamadani *et al.*, 2013). Incluso el caminar antes que sus compañeros en la infancia influye en unos mejores resultados en las funciones ejecutivas en edades adultas (Murray *et al.*, 2006).

Nuestros resultados ponen de manifiesto que de los 81 niños evaluados, con un aparente desarrollo típico, el 13.6% tiene puntuaciones bajas en el desarrollo cognitivo y el 9.9% en el cociente de desarrollo, esto es, con retrasos que pasan desapercibidos. Una de las explicaciones encontradas sobre la similitud de estos porcentajes, es que el desarrollo neuropsicológico tiene relación con las funciones cognitivas, que son paralelas a la maduración cerebral (Rosselli *et al.*, 2010). Estos porcentajes también son similares a los estimados por Ardila y Roseelli (2007) y Portellano (2010), quienes mencionan que el 10% de los escolares presentan deficiencias cognitivas de mayor o menor gravedad causadas por algún tipo de daño o disfunción cerebral.

En la motricidad gruesa se encontró que el 18.5% presenta dificultades, esto se puede observar en la investigación de Fernández *et al.* (2015), quienes compararon el desarrollo motor de 44 niños prematuros sin secuelas neuropsicológicas aparentes con el de 36 niños nacidos a término, con una edad de 7 a 10 años, encontrando que 25% de los niños (15% prematuros y 10% normales) podrían tener trastorno en el desarrollo motor. En el lenguaje, 21% obtuvo puntuaciones bajas, que posiblemente dentro de este porcentaje se encuentren niños que tengan trastornos fonológicos que son comunes en la educación infantil y afectan al 10% de los niños (Gierut, 1998). Acosta *et al.* (2014) encontraron que cuando el trastorno específico del lenguaje se compara con niños de desarrollo típico se ha encontrado un menor desarrollo en los procesos sintácticos y semánticos. En las matemáticas, 19.8% tiene puntuaciones bajas, estos porcentajes son mayores a los encontrados por Salgado y Salinas (2012) donde 10% obtiene perfiles por debajo de la media, concluyendo que la educación infantil es donde se forma la base del conocimiento matemático.

Estos resultados son relevantes, ya que se ha encontrado en investigaciones que los niños que tienen problemas de atención, motores, perceptuales (Piek *et al.*, 2004; Ruiz *et al.*, 2007), cognitivos, (Alloway *et al.*, 2014; Morgan *et al.*, 2014), lenguaje (Duby *et al.*, 2015; Einarsdottir *et al.*, 2015) o neuropsicológico (Portellano, 1997; Ewen y Shapiro, 2005) experimentan dificultades significativas a lo largo de la infancia y la adolescencia.

Con base en lo expuesto anteriormente, y a la encuesta realizada a los maestros, después de que los niños concluyeran el tercer grado de educación infantil y primer grado de educación primaria, se encontraron los siguientes resultados: de los 14 niños que tienen dificultades en alguna de las áreas (motricidad gruesa, cociente de desarrollo, lenguaje o matemáticas), 10 niños no tienen bajo rendimiento académico, presentando solamente baja puntuación en la motricidad gruesa, el lenguaje o las matemáticas, y los otros cuatro niños tienen bajo rendimiento académico, presentando bajas puntuaciones en matemáticas o el cociente de desarrollo.

Los 17 niños que obtuvieron puntuaciones bajas en varias de las áreas evaluadas, son los que presentaron resultados académicos deficientes, de los cuales dos niños suspendieron el curso de primero de primaria. Estos resultados coinciden con los encontrados por Portellano (1997), donde se pide a los profesores de los 96 niños evaluados, después de un año de aplicar la prueba, que señalen los que obtuvieron bajos resultados académicos; de los 20 casos seleccionados, 17 habían obtenido en el CUMANIN puntuaciones significativamente más bajas que los niños de su edad. Así mismo, se ha encontrado que los niños que tienen dificultades de aprendizaje obtienen resultados inferiores que los niños con un desarrollo típico en las habilidades motoras gruesas, cognitivas, matemáticas, lenguaje y neuropsicológicas. Observándose resultados similares en otros estudios (Campo, 2009; Westendorp *et al.*, 2011; Ramírez *et al.*, 2013; Pienaar *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2015).

Siguiendo con los objetivos de nuestro trabajo, se observó que en el desarrollo motor, cognitivo, lenguaje, neurodesarrollo y matemáticas están relacionadas, mostrando que en la mayoría de los casos al encontrar bajas puntuaciones en un área es muy factible encontrar bajas puntuaciones en otra área. En diferentes investigaciones, estas relaciones aparecen por separado: primero, entre el desarrollo cognitivo y motor (Piek *et al.*, 2008; Roebbers *et al.*, 2014), que, como se evidencia en estudios de neuroimagen funcional utilizan las mismas estructuras del cerebro (la corteza prefrontal y el cerebelo), por lo que la alteración de estas estructuras cerebrales o de las vías nerviosas pueden desencadenar tanto problemas motores como cognitivos (Diamond, 2000); segundo, entre el desarrollo motor y matemático (Pieters *et al.*, 2012); tercero, entre el desarrollo cognitivo, neuropsicológico y matemático (Geary, 2010; Ramirez, 2014) y cuarto, entre el desarrollo neuropsicológico y lenguaje (Ramírez, 2014). No encontrando ningún estudio que analice todas las áreas, las cuales son: motora, cognitiva, lenguaje, neurodesarrollo y matemáticas.

Partiendo de estos análisis, se observó que hay niños que sufren algunos retrasos en el desarrollo sin ser muy significativos, y pasan desapercibidos por los padres de familia y maestros, pero pueden representar dificultades tempranas del aprendizaje. Es relevante la atención integral del niño en los primeros años como garantía de éxito educativo a nivel personal y social (Alonso y Alcrudo, 2011). En investigaciones realizadas por Navarro *et al.* (2012); Choi de Mendizábal y Calero (2013) determinan que la detección temprana, la intervención oportuna en los problemas de aprendizaje, la individualización del tratamiento y la equidad en la atención educativa, aparecen como ejes centrales de las políticas recomendadas para ayudar a superar el bajo rendimiento académico.

Conclusiones

Los niños con un desarrollo atípico, tienen mayor riesgo de presentar dificultades en las áreas relacionadas con el aprendizaje como lo son: habilidades matemáticas básicas, en las tareas relacionadas con números, cantidades, cálculos, conceptos de manera informal para el manejo de convencionalismos básicos esperados a su edad en la construcción formal de las matemáticas, así mismo en los procesos de lenguaje expresivo, comprensivo y articulatorio. Por lo que se puede contemplar que las condiciones de vida que prevalecen en los dos grupos poblacionales, intervienen de manera significativa en su desarrollo y desempeño académico, además de los propios factores culturales, sociales, ambientales, nutricios, etc. a los que se enfrenta cada uno de los sujetos de estudio, por lo cual es de relevancia que se continúen realizando estudios incluyendo variables que puedan aportar conocimiento relacionado a las causas de la problemática que existe. Por otra parte, a través de estos resultados se pueden diseñar estrategias para futuros programas de específicos de intervención educativa.

Literatura citada

ACOSTA, V., Á. Axpe y A. Moreno. 2014. Rendimiento lingüístico y procesos lectores en alumnado con Trastorno Específico del Lenguaje. *Revista Española de Pedagogía* (259):477-490.

- AHNERT, J., Schneider, W. y Bös, K. 2009. Developmental changes and individual stability of motor abilities from the preschool period to young adulthood. *Human development from early childhood to early adulthood: Evidence from the Munich Longitudinal Study on the Genesis of Individual Competencies (LOGIC)*, 35-62.
- ALLOWAY, T., Alloway, R. y Wootan, S. 2014. Home sweet home: does where you live matter to working memory and other cognitive skills? *J Exp Child Psychol*, 124:124-131.
- ALMEIDA, L. S., M. A. Guisande, R. Primi y G. Lemos. 2015. Contribuciones del factor general y de los factores específicos en la relación entre inteligencia y rendimiento escolar. *European Journal of Education and Psychology* 1(3):5-16.
- ALONSO, A. y P. Alcrudo. 2011. La situación de la educación infantil en el estado español. *Tarbiya: Revista de investigación e innovación educativa* (42):13-28. file:///C:/Users/conyc/Downloads/259-938-1-PB%20(2).pdf
- ARDILA, A. y M. Rosselli. 2007. Neuropsicología clínica. México: Manual moderno.
- BLÁZQUEZ, M. J. 2000. Ventajas de la lactancia materna. *Medicina naturista*, (1):44-51.
- CAMPO, L. 2009. Características del desarrollo cognitivo y del lenguaje en niños de edad preescolar. *Revista Psicogente* 12(22):341-351. <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3265120.pdf>.
- CHOI DE MENDIZÁBAL, A. y J. Calero. 2013. Determinantes del riesgo de fracaso escolar en España en PISA-2009 y propuestas de reforma. *Revista de educación* (362):562-593. doi:10.4438/1988-592X-RE-2013-362-242
- CRAGG, L. y Gilmore, C. 2014. Skills underlying mathematics: The role of executive function in the development of mathematics proficiency. *Trends in Neuroscience and Education*.
- DIAMOND, A. 2000. Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development* 71:44-56. <http://eric.ed.gov/?id=EJ603914>
- DUDY, S., M. Asgari, y A. Kain. 2015. Pronunciation Analysis for Children with Speech Sound Disorders. *Conference Proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference* 5573-5576. <http://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7319655>
- DURIVAGE, J. 2007. Educación y psicomotricidad: Manual para el nivel preescolar. México: Trillas.
- EMPSON, J., y D. Nabuzoka. 2006. El desarrollo atípico infantil. Barcelona, España.
- EWEN, J. B. y B. K. Shapiro. 2005. Disorders of Attention or Learning in Neurodevelopmental Disorders. *Seminars in Pediatric Neurology* 12(4):229-241. doi:10.1016/j.spen.2005.12.005.
- FERNÁNDEZ, C. R., Zubillaga, D. M., Fernández, L. R., Santos, L. R., García, M. R., De Paz Fernández, J. A., y S. L. L. Armentia. 2015. Valoración de la coordinación y el equilibrio en niños prematuros. In: *Anales de Pediatría*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anpedi.2015.10.009>
- GALE, R., y Jackie, S. 2011. Escalas de desarrollo Merrill Palmer R. Madrid: Tea Ediciones.

- GEARY, D. C. 2010. Mathematical Disabilities: Reflections on Cognitive, Neuropsychological, and Genetic Components. *Learn Individ Differ* 20(2):130. doi: 10.1016/j.lindif.2009.10.008.
- GIERUT, J. A. 1998. Treatment Efficacy/Functional Phonological Disorders in Children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 41(1):S85-S100. doi:10.1044/jslhr.4101.s85.
- GINSBURG, H., y Baroody, A. 2003. Test de competencia matemática básica. Madrid: TEA ediciones.
- HAMADANI, J. D., Tofail, F., Cole, T., y S. Grantham-Mcgregor. 2013. The relation between age of attainment of motor milestones and future cognitive and motor development in Bangladeshi children. *Matern Child Nutr* 9(1):89-104. doi: 10.1111/mcn.12020.
- HARDY, L. L., Reinten-Reynolds, T., Espinel, P., Zask, A., y A. D. Okely. 2012. Prevalence and correlates of low fundamental movement skill competency in children. *Pediatrics* 130(2):390-398. doi: 10.1542/peds.2012-0345.
- HERRERA-GONZÁLEZ, E., Araya-Vargas, G. A., Fernández-Sagot, H., Morera-Castro, M., y H. Fonseca-Schmidt. 2015. El diagnóstico temprano de niños y niñas con riesgo académico mediante un sistema de diagnóstico perceptual-motor: Estudio retrospectivo longitudinal de evidencias de su efectividad. *Revista Electrónica Educare* 19(3):1-14. doi: http://dx.doi.org/10.15359/ree.19-3.1
- JESS, M., and D. Collins. 2003. Primary physical education in Scotland: The future in the making. *European Journal of Physical Education* 8(2):103-118. doi:10.1080/1740898030080202.
- JONES, R. A., A. Riethmuller, K. Hesketh, J. Trezise, M. Batterham and A. D. Okely. 2011. Promoting fundamental movement skill development and physical activity in early childhood settings: a cluster randomized controlled trial. *Pediatr Exerc Sci* 23(4):600-615. http://hdl.handle.net/10536/DRO/DU:30043903
- LIVSEY, D., Keen, J., Rouse, J., and F. White. 2006. The relationship between measures of executive function, motor performance and externalising behaviour in 5- and 6-year-old children. *Hum Mov Sci* 25(1):50-64. doi: 10.1016/j.humov.2005.10.008
- MATEOS, R., y C. López. 2011. Dificultades de aprendizaje.: Problemas del diagnóstico tardío y/o del infradiagnóstico. *Revista de Educación Inclusiva* 4(1):103-112. http://www.ujaen.es/revista/rei/linked/documentos/documentos/12-7.pdf.
- MESA, J. 2000. Psicología Evolutiva de 0 a 12 años. Infancia Intermedia. México: Editorial McGraw-Hill.
- MOREIRA, R. S., Magalhaes, L. C., and C. R. Alves. 2014. Effect of preterm birth on motor development, behavior, and school performance of school-age children: a systematic review. *J Pediatr (Rio J)* 90(2):119-134. doi: 10.1016/j.jpmed.2013.05.010
- MORIGUCHI, and K. Hiraki. 2013. Prefrontal cortex and executive function in young children: a review of NIRS studies. *Front Hum Neurosci* 7:867. doi: 10.3389/fnhum.2013.00867
- MORGAN, P. L., Farkas, G., Hillemeier, M. M. and S. Maczuga. 2014. Who Is at Risk for Persistent Mathematics Difficulties in the United States? *J Learn Disabil.* doi:10.1177/0022219414553849
- MURRAY, G. K., J. Veijola, K. Moilanen, J. Miettunen, D. C. Glahn, T. D. Cannon and M. Isohanni. 2006. Infant motor development is associated with adult cognitive categorisation in a longitudinal birth cohort study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 47(1): 25-29. doi:10.1111/j.1469-7610.2005.01450.x
- NAVARRO, J. I., M. Aguilar, E. Marchena, G. Ruiz, Menacho and I. J. E Van Luit. 2012. Longitudinal study of low and high achievers in early mathematics. *Br J Educ Psychol* 82(1): 28-41. doi:10.1111/j.2044-8279.2011.02043.x
- NELSON, K. 2014. Pathways from infancy to the community of shared minds / El camino desde la primera infancia a la comunidad de mentes compartidas. *Infancia y Aprendizaje* 37(1):1-24. doi: 10.1080/02103702.2014.881654
- NESBITT, K. T., Baker-Ward, L., and M. T. Willoughby. 2013. Executive function mediates socio-economic and racial differences in early academic achievement. *Early Childhood Research Quarterly* 28(4):774-783. doi:10.1016/j.ecresq.2013.07.005.
- PAJEJA, I. 2010. Motricidad infantil y desarrollo humano. *Educación física y deporte* 20(1):91-95. http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3645288
- PIENAAR, A. E., R. Barhorst, and J. W. Twisk. 2014. Relationships between academic performance, SES school type and perceptual-motor skills in first grade South African learners: NW-CHILD study. *Child Care Health Dev* 40(3):370-378. doi:10.1111/cch.12059
- PIEK, J. P., Dyck, M. J., Nieman, A., Anderson, M., Hay, D., Smith and L. M., Hallmayer, J. 2004. The relationship between motor coordination, executive functioning and attention in school aged children. *Arch Clin Neuropsychol* 19(8):1063-1076. doi: 10.1016/j.acn.2003.12.007
- PIEK, J. P., Dawson, L., Smith, L. M., and N. Gasson. 2008. The role of early fine and gross motor development on later motor and cognitive ability. *Hum Mov Sci* 27(5):668-681. doi: 10.1016/j.humov.2007.11.002
- PIETERS, S., Desoete, A., Van Waelvelde, H., Vanderswalmen, R., and Roeyers, H. 2012. Mathematical problems in children with developmental coordination disorder. *Res Dev Disabil* 33(4):1128-1135. doi: 10.1016/j.ridd.2012.02.007
- PORTELLANO, A. 1997. Prevención primaria del fracaso escolar: el cuestionario de madurez neuropsicológica infantil (CUMANIN). Un estudio experimental. *Psicología educativa* 3(1):89-100. http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2826387.
- PORTELLANO, A., Mateos, R., and Martínez, R. 2009. *Cuestionario de madurez neuropsicológica infantil*. Madrid: Tea Ediciones.
- PORTELLANO, A. 2010. *Introducción a la neuropsicología*. Madrid: Mc Graw Hill.
- RAMÍREZ, Y., M. Díaz, I. Vega and R. Martínez. 2013. Desarrollo psicomotor y alteraciones cognitivas en escolares con alteraciones del neurodesarrollo. *RCNN*, 3(2):111-116. doi: 10.1016/B978-0-12-374236-0.10027-6.
- RAMÍREZ, Y. 2014. Batería Luria Inicial y desarrollo de las funciones psicológicas superiores [Initial Battery Luria and development of Higher Psychological Functions]. *Acción Psicológica* 11(1):69-78. http://dx.doi.org/10.5944/ap.1.1.13868
- RAMÍREZ, Y. 2014. Predictores neuropsicológicos de las habilidades académicas. *Cuadernos de Neuropsicología/Panamerican Journal of Neuropsychology* 8(2). doi: 10.1007/s11145-010-9244-0
- ROEBERS, C. M., M. Rothlisberger, R. Neuenschwander, P. Cimeli, E. Michel, and K. Jager. 2014. The relation between cognitive and motor performance and their relevance for children's transition to school: a latent variable approach. *Hum Mov Sci* 33:284-297. doi: 10.1016/j.humov.2013.08.011

- ROSSELLI, M., Matute, E., y Ardila, A. 2010. *Neuropsicología del desarrollo infantil*. México: Manual Moderno.
- RUIZ, L. M., E. Mata y J. A. Moreno. 2007. Los problemas evolutivos de coordinación motriz y su tratamiento en la edad escolar: estado de la cuestión. *Motricidad: revista de ciencias de la actividad física y del deporte (18)*:1-17. <http://www.um.es/univefd/cuestion.pdf>.
- SALGADO, M., y M. J. Salinas. 2012. Competencia matemática en niños de 4 años. *Edma 0-6: Educación Matemática en la Infancia 1(1)*:54-62. <http://www.edma0-6.es/index.php/edma0-6/article/view/4>
- SANDLER, A. D., D. Brazduinas, W. C. Cooley, L. Gonzalez De Pijem, D. Hirsh, T. A. Kastner, and E. S. Ruppert. 2001. Developmental surveillance and screening of infants and young children. *Pediatrics 108(1)*:192-6. doi:10.1542/peds.108.1.192
- STICH, H. L., A. Kramer and R. T. Mikolajczyk. 2014. Clustering of developmental delays in Bavarian preschool children - a repeated cross-sectional survey over a period of 12 years. *BMC Pediatr 14*:18. doi: 10.1186/1471-2431-14-18
- TERRE, O. 2007. *Neurodesarrollo infantil: Pautas para la estimulación temprana*. Lima, Perú: Punto 7 Studio.
- URZÚA, A., M. Ramos, C. Alday, y A. Alquinta. 2010. Madurez neuropsicológica en preescolares: Propiedades psicométricas del test CUMANIN. *Terapia psicológica 28(1)*:13-25. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-48082010000100002>.
- VIDEMŠEK, M., P. Klopèè, J. Štihec y D. Karpljuk. 2006. The analysis of the arch of the foot in three-year-old children—a case of Ljubljana. *Kinesiology 38(1)*:78-85. <http://hrcak.srce.hr/file/6838>.
- WESTENDORP, M., E. Hartman, S. Houwen, J. Smith, and C. Visscher. 2011. The relationship between gross motor skills and academic achievement in children with learning disabilities. *Res Dev Disabil 32(6)*:2773-2779. doi: 0.1016/j.ridd.2011.05.032. 

Este artículo es citado así:

García-Fernández, D. G. Velázquez-Saucedo, J. Guedea-Delgado, M. Sías-Casas y M. Zubiaur-González. 2017. Indicadores de riesgo del rendimiento escolar en niños de 3 a 6 años. *TECNOCENCIA Chihuahua 11(3)*:115-126.

Resumen curricular del autor y coautores

DAVID ARNOLDO GARCÍA FERNÁNDEZ. Actualmente es doctorante en el programa de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte en León, España. Máster en Actividad Física y Deporte por la Universidad de León, España (2014). Maestría en Ciencias (Psicología) por la Universidad Autónoma de Chihuahua (2004). Licenciado en Educación Física (2001) por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Técnico en Psicomotricidad por Formación Universitaria 2016. Capacitador Nacional de Deportistas especiales por la CONADE. Certificado para impartir Estimulación Temprana por el Instituto Nacional de Estimulación Temprana. Impartición de clases de maestría y licenciatura, Participación en publicación de diferentes artículos científicos, asesorías y tutorías. Ponente Internacional Asistencia a congresos, seminarios, semanas científicas. Profesor titular de tiempo completo adscrito a la Facultad de Ciencias de la Cultura Física de la Universidad Autónoma de Chihuahua. E-mail dgarcia@uach.mx

GABRIELA VELÁZQUEZ SAUCEDO. Doctorado en Administración Educativa por el Instituto Pedagógico de Posgrado en Sonora (2014). Maestra en Salud en el Trabajo por la Universidad Autónoma de Chihuahua (2007). Licenciada en Nutrición por la Universidad Autónoma de Chihuahua (2006). Antropometrista Certificado Internacional ISAK Nivel I. Certificada por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales "Diseño de cursos de capacitación presenciales, sus instrumentos de evaluación y material didáctico". Certificada por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales "Impartición de cursos de capacitación presenciales". Profesor titular de tiempo completo adscrito a la Facultad de Enfermería y Nutriología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Perfil PROMEP.

JULIO CÉSAR GUEDEA DELGADO. Doctorado en Administración por la Universidad Autónoma de Chihuahua (2010) y Doctorado en Cultura Física por la Universidad de Granada España (2011). Licenciado en Educación Física (1988) por la Universidad Autónoma de Chihuahua (2006). Impartición de clases de maestría y licenciatura, Participación en publicación de diferentes artículos científicos, asesorías y tutorías. Asistencia a congresos, seminarios, semanas científicas. Impartición de cursos de capacitación presenciales. Profesor titular de tiempo completo adscrito a la Facultad de Ciencias de la Cultura Física de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Perfil PROMEP.

MARTÍN EDUARDO SÍAS CASAS. Doctorado en Ciencias de Enfermería por la Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Master Science of Nursing por la Universidad de Nuevo Mexico. Albuquerque, USA (2001). Licenciado en Enfermería, Universidad Autónoma de Chihuahua - México (1991). Especialidad Pos técnica en Cuidados Intensivos. Universidad Autónoma de Chihuahua - México. Especialidad Pos técnica en Administración en los Servicios de Enfermería (2006), Universidad Autónoma de Chihuahua - México. Profesor titular de tiempo completo adscrito en la Facultad de Enfermería y Nutriología de la Universidad Autónoma de Chihuahua-México. Director de la Facultad de Enfermería y Nutriología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Miembro Activo de la FEMAFEE.

MARTA ZUBIAUR GONZÁLEZ. Desde el año 1982 es Licenciada en Psicología por la Universidad Autónoma de Madrid (España), y desde 1997 doctora en Psicología por la Universidad de Salamanca (España). En el año 2003 concursó con éxito a la plaza de Profesora Titular de Universidad del Área de Educación Física y Deportiva del Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de León (España). En septiembre de 2015 consigue la Acreditación Nacional al cuerpo de Catedrático de Universidad. Ha impartido docencia en la Licenciatura y en el Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, así como en el Máster y programa de doctorado de Innovación e Investigación en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Ha dirigido 6 tesis doctorales. Tiene decenas de artículos de investigación en revistas prestigiosas, y ha presentado trabajos de investigación en numerosos congresos nacionales e internacionales. Es revisora de diversas revistas científicas de prestigio internacional y ha evaluado proyectos de investigación nacionales. Ha sido Vicedecana y Decana de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de León.

Comparación de métodos de extracción de proteínas de cerebro y linfocitos de rata

Comparison of protein extraction methods from brain and lymphocytes of rat

KAREN MALDONADO-MORENO¹, ROCÍO MARTELL-GAYTÁN¹, BONIFACIO ALVARADO-TENORIO¹,
JOSÉ VALERO-GALVÁN¹, ALEJANDRO MARTÍNEZ-MARTÍNEZ¹, ÁNGEL G. DÍAZ-SÁNCHEZ¹
Y RAQUEL GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ^{1,2}

Recibido: Octubre 13, 2017

Aceptado: Enero 5, 2018

Resumen

En este trabajo se compararon tres técnicas de extracción de proteínas actualmente empleadas en proteómica, para determinar la más eficiente para realizar electroforesis bidimensional (2-DE) en tejido cerebral y linfocitos de sangre periférica de rata. Los métodos utilizados fueron el uso directo de solución de lisis, el método TCA/acetona-DTT y el método TCA/acetona-fenol. Una vez que se realizó la extracción, se separaron las proteínas por medio de electroforesis en geles de poliacrilamida en condiciones desnaturalizantes (SDS-PAGE) y 2-DE, con el objetivo de seleccionar cuál de ellos brindó un mayor rendimiento en la cantidad de proteínas totales, así como en el número de bandas bien definidas y manchas bien enfocadas en los geles 2-DE, tanto para cerebro como para linfocitos. Al comparar el perfil proteico, en cerebro se detectaron 13 ± 0 ; 15 ± 1 y 12 ± 1 bandas bien definidas mediante los métodos de TCA/acetona-DTT, TCA/acetona-fenol y solución de lisis, respectivamente. En linfocitos, se encontraron $19 \pm 1.20 \pm 0$ y 19 ± 1 bandas, respectivamente. Con respecto al proteoma, tanto en cerebro como en linfocitos se encontró mayor número de manchas proteicas consistentes y bien enfocadas con el método de TCA/acetona-DTT. Estos resultados mostraron que el mejor método de extracción de proteínas para su uso en la 2-DE correspondió al de TCA/acetona-DTT, siendo además más rápido y sencillo de realizar que el método de TCA/acetona-fenol.

Palabras clave: proteómica, electroforesis bidimensional (2-DE), extracción de proteínas, cerebro, linfocitos.

Abstract

In this work, protein extraction techniques currently used in proteomics were compared to determine the most efficient to carry out two-dimensional electrophoresis (2-DE) on brain tissue and peripheral lymphocytes of rat. The methods used were using lysis solution, TCA/acetone-DTT method, and TCA/acetone-phenol method. Once the extraction was performed, proteins were separated by electrophoresis in polyacrylamide gels under denaturing conditions (SDS-PAGE) and 2-DE, with the aim of detecting which of them gave a greater performance in quantity of total proteins as well as the number of well-defined bands and well-focused spots on 2-DE gels both brain as lymphocytes. When comparing the protein profile in brain, 13 ± 0 ; 15 ± 1 , and 12 ± 1 bands was detected well-defined in the TCA/acetone-DTT, TCA/acetone-phenol lysis solution methods, respectively. In lymphocytes, 19 ± 1 , 20 ± 0 , and 19 ± 1 bands were found, respectively. Regarding proteome, both in brain and lymphocytes, a greater number of consistent and well-focused protein spots were found by TCA/acetone-DTT method. These results showed that the best method of protein extraction to use in 2-DE corresponded to the TCA/acetone-DTT, being faster and easier to perform than the method of TCA/acetone-phenol.

Keywords: Proteomics, two-dimensional electrophoresis (2-DE), protein extraction, brain, lymphocytes.

¹UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ. Bioquímica Funcional y Proteómica del Estrés, Dpto. de Ciencias Químico Biológicas, Instituto de Ciencias Biomédicas. Anillo del Pronaf y Estocolmo s/n, Zona PRONAF, C.P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México-Tel. 688 1821, ext. 1622 y 1821.

²Dirección electrónica del autor de correspondencia: raquel.gonzalez@uacj.mx.

Introducción

La proteómica es el estudio comprensivo de la estructura y funciones de las proteínas. Esta disciplina es más desafiante que la genómica, ya que no solo se basa en una secuencia lineal de aminoácidos que dan una función, sino que se tiene que determinar la estructura terciaria de la proteína para identificar su función biológica (Northrop *et al.*, 2008).

Entre los objetivos principales de la proteómica se encuentra la separación, identificación y caracterización de proteínas, lo cual permite entender su interacción con otras proteínas. A pesar de que la proteómica es una disciplina relativamente nueva, ha tenido un importante avance en estos últimos años para integrar técnicas de alto rendimiento y protocolos que permiten analizar de forma rápida una mayor cantidad de proteínas. En el análisis proteómico se emplea un flujo de trabajo (adecuado al tejido que se analice) en el que se incluyen como pasos principales el diseño experimental, un muestreo, la preparación de las muestras, la extracción y separación de proteínas, análisis por espectrometría de masas (MS), análisis estadístico, cuantificación y análisis, y finalmente el manejo y el almacenamiento de datos (González-Fernández *et al.*, 2014).

La extracción de las proteínas representa un paso crucial en dicha técnica, siendo de vital importancia la elección del método de extracción con base al tipo de muestra de partida. Lo primero a realizar es la ruptura celular o lisis, donde los métodos más empleados se basan en la homogenización del tejido y la destrucción de membranas por medio de procesos físicos y/o químicos, esto con el fin de maximizar la liberación de las proteínas y al mismo tiempo evitando la degradación por factores como la temperatura, o modificaciones por proteólisis, oxidación, entre otros. Las técnicas de ruptura celular se pueden clasificar en métodos físicos mecánicos, métodos físicos no mecánicos y por métodos químicos, entre los que se presenta el tratamiento con álcalis, detergentes, solventes, ácidos o sustancias caotrópicas (González-Fernández *et al.*, 2014).

Una de las situaciones que se presenta después de la disrupción celular es la liberación de proteasas que pueden degradar las proteínas de interés, por lo tanto, es importante que durante la preparación de la muestra

se evite la actividad proteolítica. Entre las acciones que se realizan para evitar este proceso se encuentran: evitar un exceso de ciclos de congelación/descongelación, agregar soluciones inhibitoras de proteasa y trabajar rápido, a temperaturas frías durante el proceso (González-Fernández *et al.*, 2014).

En la proteómica se emplea una amplia variedad de tecnologías. Entre las más efectivas y ampliamente usadas encontramos la electroforesis por gel bidimensional (2-DE) para separar las proteínas y la MS para su identificación y caracterización. La 2-DE combina la separación de las proteínas primero por isoelectroenfoco y después por el peso molecular a través de un gel de poliacrilamida en condiciones desnaturizantes, permitiéndose de esta forma una mejor separación de las proteínas, que formarán un mapa bidimensional de manchas proteicas denominado proteoma, el cual puede ser caracterizado. Este método se puede considerar como un método de pureza debido al poder de resolución con el que cuenta, aceptándose que la aparición de una mancha (o spot) indica una muestra homogénea (Rabilloud *et al.*, 2010). La 2-DE se ha utilizado ampliamente en el estudio de muchas patologías como el cáncer, la diabetes, las enfermedades cardiacas y los trastornos psiquiátricos a través del análisis proteómico de los tejidos y fluidos corporales, incluyendo suero o plasma sanguíneo y tejidos como el cerebro (Saia-Cereda *et al.*, 2017).

Para realizar estudios de comparación de proteomas entre cerebro y linfocitos es necesario utilizar métodos para la extracción de proteínas que tengan un alto nivel de efectividad y determinar así, que tan similares o distintos son. Los métodos usualmente empleados para cerebro y sangre involucran lavados con ácido tricloroacético (TCA)/acetona, detergentes en soluciones caotrópicas o procesos de precipitación, aunque recientemente se

han reportado protocolos que involucran el uso de fenol (Cilia *et al.*, 2009). Actualmente, la mayoría de los estudios de comparación de métodos de extracción se han realizado en tejidos vegetales (Singh *et al.*, 2017) o en bacterias (Alam y Ghosh, 2014), pero son escasos en tejidos como el cerebro (Masuo *et al.*, 2011), o no hay como en el caso de las células sanguíneas. El objetivo de este trabajo fue determinar la metodología más eficiente tanto para la extracción de proteínas de cerebro como para linfocitos periféricos de rata para su uso en la 2-DE, ya que, a pesar de que actualmente hay una gran cantidad de estudios que involucran estos tejidos, no hay una metodología única y no se conoce cuál de ellas genera la obtención de un mayor rendimiento en la cantidad de proteínas total de proteína y al número de manchas proteicas bien enfocadas en la 2-DE. Los resultados obtenidos mostraron que el método con el que se obtuvo una mejor relación entre el rendimiento de la extracción de proteína, número de bandas bien definidas mediante SDS-PAGE y número de manchas proteicas bien enfocadas mediante 2-DE fue el método de TCA/acetona-DTT. Esto permitirá futuras investigaciones con un alto nivel de confiabilidad en estudios realizados con estos tejidos.

Materiales y métodos

Se utilizaron ratas (*Rattus norvegicus*) hembras Sprague-Dawley de dos meses de edad de 250-320 g. Las condiciones de crecimiento fueron de 25 ± 2 °C de temperatura, ciclos luz/oscuridad de 12/12 h, con comida y agua *ad libitum*. Los animales se sacrificaron por eutanasia inyectando el anestésico pentobarbital sódico (Pisabental, PiSA®). Este protocolo contó con la aprobación del comité de bioética del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, siguiendo las guías de la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999.

Recolección de las muestras. Las muestras de sangre se tomaron mediante punción cardiaca, en tubos Vacutainer™ EDTA. Los linfocitos se aislaron siguiendo el protocolo desarrollado en nuestro laboratorio por Vargas-Caraveo *et al.* (2014). Los cerebros se extrajeron completos, se almacenaron a -80 °C, se liofilizaron durante 5 días utilizando un liofilizador Labconco® mod. FreeZone 6 y se pulverizaron utilizando un mortero.

Extracción de proteínas. En el cerebro la extracción se realizó a partir de 30 y 40 mg de peso seco de cerebro pulverizado para cada método de extracción. En el caso de los linfocitos, se utilizaron todos los linfocitos extraídos. Para el método del uso directo de solución de lisis (adaptado de Pooladi *et al.*, 2014), se agregó a la muestra solución de lisis (urea 7 M, tiourea 2 M, CHAPS 4% (p/v), tritón X-100 0.5% (v/v), DTT 20 mM, inhibidor de proteasas 1% (v/v)). Se sonicó por tres veces durante 10 s, con descansos de 1 min, manteniendo los tubos en hielo. Se centrifugó a 16,000 *xg* durante 10 min a 4 °C y se recogió el sobrenadante.

Para el método TCA/acetona-DTT (adaptado de Deatherage *et al.*, 2015), se agregó a la muestra 600 µL solución fría de 10% (p/v) TCA/ 100% (v/v) acetona, al 0.07% (p/v) DTT. Se sonicó por tres veces durante 10 s, con descansos de 1 min, manteniendo los tubos en hielo. Se dejó precipitar las proteínas a -20 °C durante toda la noche. Al día siguiente, se centrifugó a 16000 *xg* durante 10 min a 4 °C y se descartó el sobrenadante. Se realizaron tres lavados con acetona al 100% fría, que consistieron en un mezclado en vórtex, una centrifugación a 16000 *xg* durante 10 min a 4 °C y la eliminación del sobrenadante. A continuación, se dejó secar la pella a temperatura ambiente para eliminar los residuos de acetona. Finalmente, se solubilizaron las proteínas con la solución de solubilización mencionada anteriormente.

Para el método de TCA/acetona-fenol (adaptado de González-Fernández *et al.*, 2014), se agregó a la muestra 600 µL solución fría de 10% (p/v) TCA/100% (v/v) acetona. Se sonicó por tres veces durante 10 s, con descansos de 1 min, manteniendo los tubos en hielo. Se centrifugó a 16,000 *xg* durante 10 min a 4 °C y se descartó el sobrenadante. Se agregó una solución fría de 0.1 M de acetato de amonio, en 80% de etanol. Se centrifugó a 16,000 *xg* durante 10 min a 4 °C y se descartó el sobrenadante. Se agregó de acetona al 80% (v/v). Se centrifugó a 16,000 *xg* durante 10 min a 4 °C y se descartó el sobrenadante. Se dejó secar la pella a temperatura ambiente para eliminar los residuos de acetona. Se agregó tampón denso SDS (30% (p/v) sacarosa, 2% (p/v) SDS, 5% (v/v) 2-mercaptoetanol, 0.1 M Tris HCl, pH 8) / fenol

(1:1), y se dejó incubar durante 5 min. Se centrifugó a 16,000 xg durante 5 min a 4 °C y se pasó la fase de arriba a un tubo limpio. Se agregó una solución fría de 0.1 M de acetato de amonio, en 100% de etanol. Se centrifugó a 16,000 xg durante 10 min a 4 °C y se descartó el sobrenadante. Se agregó una solución fría de acetona al 80% (v/v). Se dejó secar la pella a temperatura ambiente para eliminar los residuos de acetona. Finalmente, se solubilizaron las proteínas con la solución de solubilización mencionada anteriormente. Las proteínas se cuantificaron utilizando reactivo de Bradford (Sigma-Aldrich®), de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Electroforesis en gel de poliacrilamida en condiciones desnaturalizantes (SDS-PAGE). Se cargaron 15 mg de proteína en solución tampón de carga (Tris-HCl 62.5 mM, pH 6.8, SDS 2% (p/v), glicerol 25% (v/v), azul de bromofenol 0.01% (p/v)) en geles TGX Precast al 12% para el sistema Criterion® de Bio-Rad® (dimensiones 133 x 87 x 1 mm). Los geles se dejaron correr a 40 mA en solución tampón de electroforesis (Tris 25 mM, glicina 192 mM, SDS 0.1% (p/v), pH 8.3) hasta que el frente de elución llegó al final del gel (Laemmli, 1970).

Electroforesis bidimensional (2-DE). Se realizó la primera dimensión o isoelectroenfoque (IEF) de las proteínas, en el sistema PROTEAN IEF Cell (BioRad), utilizando ReadyStrips IPG Strips (BioRad) de 11 cm, con gradiente de pH 3-10 no lineal. Las tiras de IPG se rehidrataron con solución de rehidratación (urea 7 M, tiourea 2 M, 4% (w/v) CHAPS, 2% (v/v) anfólitos 3-10, DTT 100 mM, 0.01% (p/v) azul de bromofenol), conteniendo 50 μg de proteína, siguiendo el protocolo de Bio-Rad. Dicha rehidratación se realizó de forma activa durante toda la noche a 50 V. Las condiciones del IEF fueron: 500 V durante 20 min, gradiente lineal hasta 8,000 V durante 1 hora, 8,000 V hasta 26,000 V, manteniendo a 1,500 V. Una vez terminado el IEF, las tiras se conservaron a -20 °C hasta realizar la segunda dimensión. Antes de la segunda dimensión, las tiras se equilibraron durante 10 minutos en tampón de equilibrado (Tris-HCl 1.5 M pH 8.8; urea 6 M; glicerol 20% (p/v); SDS 2% (p/v)) con DTT 2% (p/v) y, a continuación, otros 10 minutos con tapón de equilibrado con iodoacetamida 2.5%

(p/v) (Görg *et al.*, 2009). utilizando geles TGX Precast con gradiente de 10-20% de poliacrilamida del sistema Criterion® de Bio-Rad® (dimensiones 133 x 87 x 1 mm) y se sellaron con agarosa 0.5% (p/v) con azul de bromofenol en tampón de electroforesis. La segunda dimensión se llevó a 40 mA constantes hasta que el azul de bromofenol alcanzó el frente del gel. Los geles se tiñieron con el método de Coomassie coloidal con la solución de tinción compuesta por $(NH_4)_2SO_4$ 60.5 mM, 2.25% (v/v) H_3PO_4 85%, metanol 20% (v/v) y azul de Coomassie G250 0.001% (p/v). Las imágenes se tomaron utilizando un escáner Epson® XP-420 a una resolución de 400 dpi.

Análisis de imágenes y estadístico. Los geles SDS-PAGE se analizaron con el programa de análisis de densitometría de imagen ImageJ (descargado de: <https://imagej.nih.gov/ij/>) y los geles 2-DE con el paquete informático PD Quest 2-D Analysis Software® (Bio-Rad®), siguiendo las instrucciones del fabricante. Los datos se expresaron como valor medio y desviación estándar. Se realizaron pruebas estadísticas de t-Student, pruebas de medias de Tukey y ANOVA utilizando el programa SPSS v15.0.

Resultados y discusión

El paso más importante para un análisis proteómico es la extracción de proteínas de forma eficiente, es por eso que se realizó este proyecto con la finalidad de encontrar la metodología que brindara un mayor rendimiento de proteínas con la mejor calidad posible. Los métodos más utilizados para extracción de proteínas de tejido o células de origen animal utilizan métodos con soluciones de lisis directamente, con soluciones como cloroformo/metanol, extracciones con cloruro de litio, con amortiguadores hipotónicos, con tripsina y bicarbonato de amonio, entre otros (Shevchenko *et al.*, 2012; Tiong *et al.*, 2015; Moore *et al.*, 2016). En este trabajo, se usaron los métodos de extracción con solución lisis, con solución de TCA/acetona-DTT y con solución de TCA/acetona-fenol, ya que los dos últimos no se suelen utilizar en tejidos de origen animal y brindan mejores resultados en tejidos recalcitrantes (Wang *et al.*, 2006; Sheoran *et al.*, 2009; Jankowska *et al.*, 2016).

Rendimiento en cantidad de proteínas. Los métodos que se utilizaron para tratar las muestras fueron solución lisis, TCA/acetona-fenol y TCA/acetona-DTT. En las concentraciones obtenidas por cada uno de los métodos en cerebro y linfocitos, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$; ANOVA y Prueba de Tukey), siendo el de solución lisis el que obtuvo una mayor concentración de proteína en el tejido cerebral con 3.10 mg/mL de muestra, seguido del método de TCA/acetona-DTT y por último el método de TCA/acetona-fenol (Cuadro 1). En las concentraciones de proteína obtenidas para linfocitos, el método que brindó mayor concentración fue el de TCA/acetona-DTT con 1.56 mg/mL, seguido del método con solución de lisis y finalmente el de TCA/acetona-fenol (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentraciones de proteína promedio obtenidas para cada tejido.

Tejidos	Métodos	Concentración (mg/mL)
Cerebro	Solución lisis	3.10 ± 0.23 ^a
	TCA/acetona-fenol	1.03 ± 0.18 ^c
	TCA/acetona-DTT	2.30 ± 0.19 ^b
Linfocitos	Solución lisis	0.73 ± 0.05 ^d
	TCA/acetona-fenol	0.53 ± 0.22 ^d
	TCA/acetona-DTT	1.56 ± 0.20 ^c

Los datos se presentan como promedio ± desviación estándar ($n = 3$). Las literales distintas representan diferencias significativas entre concentración ($p < 0.05$; ANOVA y Prueba de Tukey).

En cuanto al rendimiento obtenido para cada uno de los métodos de extracción de proteínas realizados en cerebro para los pesos de 30 y 40 mg, se determinó que el método de solución lisis brindó el mayor rendimiento, seguido del de TCA/acetona-DTT y, por último, el de TCA/acetona-fenol, presentando diferencias significativas entre los métodos ($p < 0.05$, prueba de Tukey) (Cuadro 2). Además, se observó un mayor rendimiento de proteínas en las muestras de 30 mg de cerebro que en las de 40 mg del mismo tejido. Se esperaría que el rendimiento fuera mayor en la muestra de 40 mg, sin embargo, sucedió lo contrario al presentarse un mayor rendimiento en las metodologías aplicadas a los 30 mg.

Los resultados de la concentración mostrados en este trabajo (Cuadro 1) concuerdan con los obtenidos por Gao *et al.* (2006), donde, al comparar métodos de extracción en hígado de rata, obtuvieron mayor concentración con una solución compuesta por urea, CHAPS, DTT y PMSF, es decir, una composición muy similar a nuestra solución de lisis. Por otro lado, en un estudio para la optimización de un método con TCA/acetona para el análisis de carne en ganado, se obtuvieron los resultados iguales a los nuestros, obteniendo mayor concentración con el método de lisis seguido del método TCA/acetona-DTT (Hao *et al.*, 2015).

Cuadro 2. Rendimiento promedio de proteínas por método de extracción en cerebro.

Peso seco cerebro (mg)	Método	mg proteína/g peso seco cerebro
30	Solución lisis	10.23 ± 0.64 ^a
	TCA/acetona-DTT	7.73 ± 0.29 ^b
	TCA/acetona-fenol	3.54 ± 0.19 ^d
40	Solución lisis	8.07 ± 0.10 ^b
	TCA/acetona-DTT	5.82 ± 0.37 ^c
	TCA/acetona-fenol	3.42 ± 0.03 ^d

Los datos se presentan como promedio ± desviación estándar ($n = 3$). Literales distintas representan diferencias significativas en el rendimiento de los métodos evaluados ($p < 0.05$, prueba de Tukey).

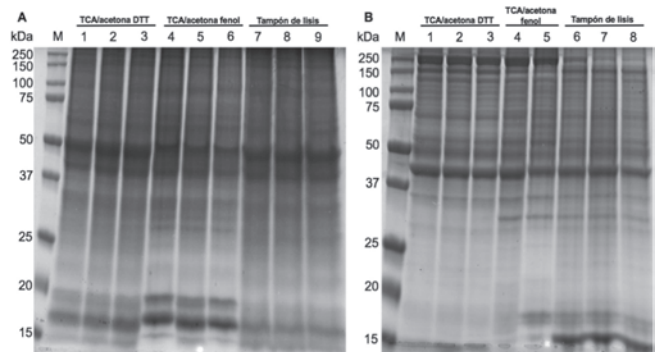
La evaluación de diferentes métodos de extracción de proteínas para su uso en 2-DE, se suele realizar con muestras recalcitrantes de plantas, insectos o bacterias, entre otros. En un estudio donde se compararon el método de TCA/acetona-DTT, extracción con fenol y un método con una solución multi-detergente para obtener proteínas de áfidos, se obtuvo una mayor concentración por el método de TCA/acetona-DTT, seguido del de multi-detergente y por último el método con fenol (Cilia *et al.*, 2009). Asimismo, en un estudio para seleccionar un método de solubilización de proteínas para bacterias fitopatogénicas, se determinó que el método de lisis brindó una mayor concentración de proteínas en las bacterias estudiadas que el método con fenol (Malafaia *et al.*, 2015). Un estudio más reciente realizado en

pulpa de dátil y semilla de palma datilera (*Phoenix dactylifera* L.), donde utilizaron tres métodos basados en fenol, TCA/acetona y TCA/acetona-fenol, se encontró que con el primero se obtuvo un mayor rendimiento de la extracción de proteínas (Lee *et al.*, 2017). Sin embargo, en otro estudio realizado en hoja de *Withania somnifera* (L.) Dunal en respuesta a la infección con *Alternaria alternata*, se presentó el mejor rendimiento con el método basado en TCA/acetona (Singh *et al.*, 2017). Como mencionaron Ericsson *et al.* (2007), se esperaba que después de la desintegración del tejido, los fragmentos más pequeños fueran más efectivos para obtener un mayor rendimiento en la cantidad de proteína debido a la relación entre la superficie y el volumen. Por lo tanto, se podría considerar que no se presentó una buena desintegración por sonicación del tejido de cerebro en los 40 mg, pero sí en los 30 mg y, por esto, se obtuvo un mayor rendimiento en la segunda cantidad. A pesar de esto, los resultados fueron similares a los obtenidos por Maldonado *et al.* (2008) en hojas de *Arabidopsis thaliana* al presentar un mayor rendimiento con el método TCA/acetona-DTT (1.39 mg/g) que con el método TCA/acetona-fenol (1.04 mg/g).

Geles SDS-PAGE. El análisis de las bandas obtenidas por SDS-PAGE mostró que todos los métodos revelaron bandas proteicas en un rango de peso molecular desde los 250 kDa hasta los 15 kDa (Figura 1). En el caso de las proteínas extraídas de cerebro, se observó que el perfil de bandas proteicas fue diferente dependiendo el método de extracción, sobre todo entre los pesos de 37 a 15 kDa (Figura 1A). Así, se detectaron 13 bandas definidas en el método de TCA/acetona-DTT, 15 ± 1 bandas en el de TCA/acetona-fenol y 12 ± 1 bandas para el método de solución de lisis.

En el caso de las proteínas extraídas de linfocitos, se encontró mayor número de bandas en un peso molecular entre 250 kDa y 43 kDa aproximadamente (Figura 1B). El perfil proteico obtenido para cada método en este rango de peso molecular fue similar, encontrándose más diferencias entre los 37 y los 15 kDa. El análisis del número de bandas mostró 19 ± 1 bandas con el método TCA/acetona-DTT, 20 bandas con el método TCA/acetona-fenol y 19 ± 1 bandas con el método de lisis.

Figura 1. Perfil proteico de las muestras de cerebro (A) y linfocitos (B) utilizando el método TCA/acetona-DTT, el método TCA/acetona-fenol y el método de lisis. kDa: kiloDalton. M: marcador de peso molecular «Precision Plus Protein™ All Blue Prestained Protein Standards» de Bio-Rad®. Se cargaron 15 µg de proteína en geles TGX Precast al 12% para el sistema Criterion® de Bio-Rad®. Los geles se corrieron a 40 mA en tampón de electroforesis y se tiñieron con el método de Coomassie coloidal.



En el caso de las proteínas extraídas de linfocitos, se encontró mayor número de bandas en un peso molecular entre 250 kDa y 43 kDa aproximadamente (Figura 1B). El perfil proteico obtenido para cada método en este rango de peso molecular fue similar, encontrándose más diferencias entre los 37 y los 15 kDa. El análisis del número de bandas mostró 19 ± 1 bandas con el método TCA/acetona-DTT, 20 bandas con el método TCA/acetona-fenol y 19 ± 1 bandas con el método de lisis.

En ambos geles obtenidos de la Figura 1 se presentó una ligera superposición de bandas debido a la gran cantidad de proteínas presentes en las muestras y las limitaciones de resolución en este tipo de geles, siendo el método TCA/acetona-fenol el que mostró mejor definición de las bandas proteicas. En un estudio realizado para analizar proteínas de ácidos, se observó una mejor separación de proteínas por el método con TCA/acetona-DTT y TCA/acetona-fenol, mientras que en el método con una solución multi-detergente no siempre se presentaron las mismas bandas proteicas ni con la misma concentración (Cilia *et al.*, 2009). Por otra parte, al comparar con los estudios realizados por Maldonado *et al.* (2008), se concluyó que al trabajar con TCA/acetona-fenol y TCA/acetona-DTT se permitió la visualización de bandas de menor intensidad y a la vez aumentó la

intensidad de las manchas comunes. En estos casos se observaron proteínas de bajo peso molecular, aunque con mayor intensidad al utilizar el método de TCA/acetona-fenol, como se muestra en el gel de la Figura 1.

En un estudio realizado en hígado y bilis de pescado, se compararon procedimientos donde se empleaban agentes reductores como el DTT y el 2-mercaptoetanol, en donde los resultados mostrados en este trabajo fueron similares al detectarse bandas definidas en los pesos de 250, 150, 70 y 50 kDa en los métodos donde se emplean estos dos agentes (TCA/acetona-DTT y TCA/acetona-fenol), y al igual que en los geles mostrados en la Figura 1, las diferencias más notables entre los métodos se encuentran en las proteínas de bajo peso molecular (de 15 a 10 kDa) (Tenório-Daussat *et al.*, 2014). Sin embargo, en estudios realizados en hojas de *Ficus deltoidea* y en la pulpa de dátil y semilla de palma datilera, los métodos que fueron más eficientes en la eliminación de contaminantes obteniéndose bandas bien resueltas en un rango más amplio de pesos moleculares mediante SDS-PAGE fueron los basados en solución de fenol y en la combinación de TCA/acetona y fenol (Abdullah *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2017).

Geles 2-DE

Con respecto a cada una de las metodologías de extracción de proteínas realizadas en cerebro, se observaron diferencias en el proteoma. Los métodos de TCA/acetona-DTT y TCA/acetona-fenol presentaron un mejor enfoque de las manchas proteicas, esto es, mayor definición de las manchas (Figura 2A y 2B), que para las proteínas extraídas con solución de lisis (Figura 2C). El método TCA/acetona-DTT presentó una mejor resolución de la separación de las proteínas a lo largo del gel, con un mayor número de manchas proteicas entre los pesos de 75 a 37 kDa a pI por debajo de 7 (Figura 2A).

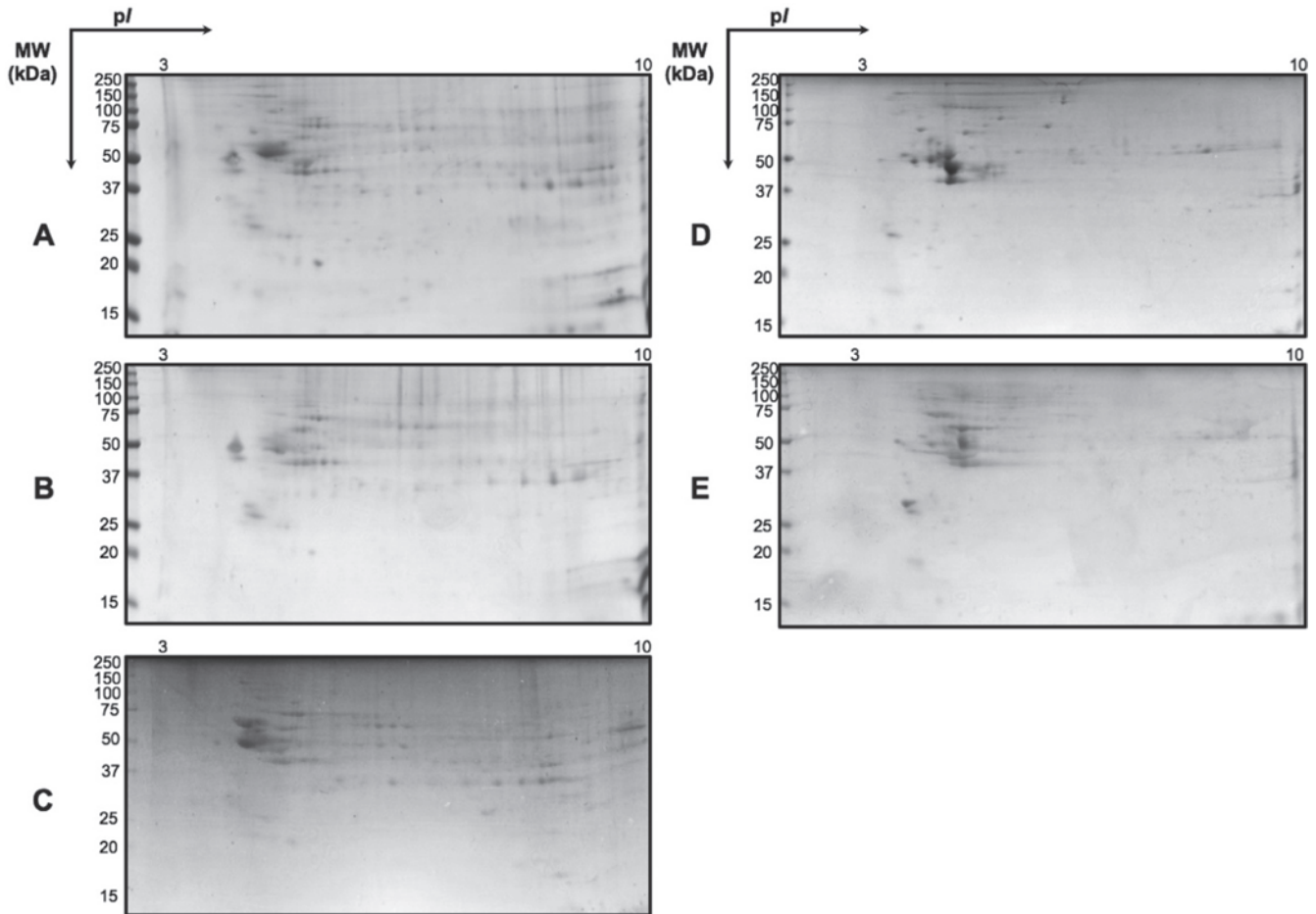
En el caso del gel correspondiente al método de TCA/acetona-fenol no se observó la misma mancha proteica de mayor intensidad que se presentó en los geles con los otros dos métodos de extracción (Figura 2B). Para el caso de la extracción con solución de lisis se observó esta misma mancha de mayor intensidad, estando menos enfocada que la misma mancha en el gel correspondiente al método TCA/acetona-DTT

(Figura 2C). En el caso de los linfocitos, solo se realizó la 2-DE para los métodos de extracción de proteína con el método TCA/acetona-DTT (Figura 2D) y con el método de solución con solución de lisis (Figura 2E), debido al menor rendimiento de proteína obtenido con el método de TCA/acetona-fenol, siendo el primer método con el que se obtuvo el mejor enfoque de las especies proteicas.

El análisis del número de manchas proteicas totales realizado mediante el programa de análisis PD-Quest 2D de Bio-Rad® no mostró diferencias significativas entre los tres métodos, ni en cerebro ni en linfocitos ($p < 0.05$; ANOVA t-Student, respectivamente), aunque el método TCA/acetona-DTT mostró una mayor cantidad de manchas y más definidas, seguida por el método TCA/acetona-fenol y por el método con solución de lisis (Cuadro 3). Al comparar manchas proteicas entre metodologías, en cerebro se encontró mayor número de manchas proteicas consistentes en el método de TCA/acetona-DTT, seguido del de TCA/acetona-fenol y solución lisis. En el caso de los linfocitos, fue mediante el método de TCA/acetona-DTT.

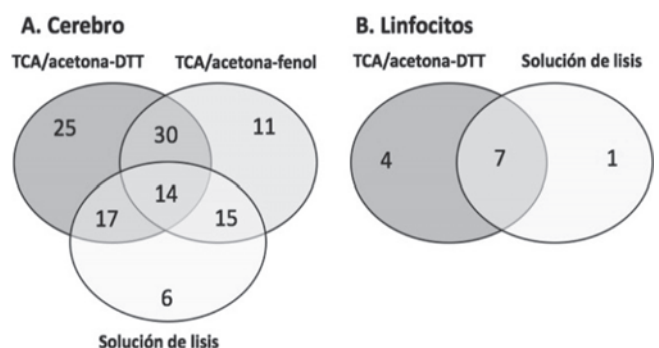
Una explicación para la similitud de nuestros resultados con otros estudios se podría determinar por medio de los componentes usados en cada uno de ellos. En el método de solución de lisis se utilizan agentes caotrópicos como la urea y tiourea los cuales desnaturalizan las proteínas a través de la ruptura de enlaces no covalentes e iónicos entre los residuos de aminoácidos (Glatter *et al.*, 2015). El uso de soluciones solo con urea no se recomienda, ya que tiende a una degradación espontánea a cianato; sin embargo, su combinación con tiourea, en el caso específico del IEF, mejora la solubilización de proteínas de membrana debido a que la tiourea rompe las interacciones hidrofóbicas (Kim y Kim, 2007). Además, la utilización únicamente de agentes caotrópicos no es suficiente a la hora de la extracción de proteínas, ya que no disuelven los lípidos eficientemente y no son capaces de mantener solubles a las proteínas por sí solas bajo las condiciones gel IEF (Rabilloud *et al.*, 2011). Es por eso que para alcanzar estas características se utilizan los detergentes como CHAPS, Tritón X-100 y agentes reductores como DTT, debido a que previenen las

Figura 2. Geles 2-DE representativos obtenidos para cerebro, con el método TCA/acetona-DTT (A), el método TCA/acetona-fenol (B) y el método de lisis (C), y para linfocitos con el método TCA/acetona-DTT (D) y el método de lisis (E). MW: marcador de peso molecular «Precision Plus Protein™ All Blue Prestained Protein Standards» de Bio-Rad®. kDa: kiloDalton. Se cargaron 50 µg de proteína, la primera dimensión se realizó con tiras ReadyStrips IPG de 11 cm, con gradiente de pH 3 a 10 no lineal de Bio-Rad® y la segunda dimensión con geles TGX Precast de 10-20% de poliacrilamida de Bio-Rad®. Los geles se corrieron a 40 mA en tampón de electroforesis y se tiñieron por el método de Coomassie coloidal.



interacciones hidrofóbicas, solubilizan las proteínas de membrana y promueven la reoxidación de puentes disulfuro, respectivamente (Chevalier, 2010; Malafaia *et al.*, 2015). El uso de Tritón X-100 en el estudio de Shevchenko *et al.* (2012) fue uno de los tres protocolos que presentó mayor número de bandas proteicas en un gel SDS-PAGE y el que brindó un mayor rendimiento en extracción de proteínas. Si bien, el uso de CHAPS solo con urea es superior a Tritón X-100, cuando se emplea la combinación urea-tiourea, el uso de Tritón X-100 se vuelve más eficiente para la solubilización de proteínas que con CHAPS (Rabilloud *et al.*, 2008).

Figura 3. Diagrama de Venn con el número de manchas proteicas consistentes comunes y únicas entre métodos, en cerebro (A) y linfocitos (B), obtenidas en el análisis 2-DE.



Cuadro 3. Número de manchas proteicas totales para cerebro y linfocitos obtenido en el análisis de los geles 2-DE para cada método de extracción.

Método	Cerebro	Linfocitos
TCA/acetona-DTT	90 ± 26	58 ± 33
TCA/acetona-fenol	58 ± 8	---
Solución lisis	51 ± 17	35 ± 13

Los datos se presentan como promedio ± desviación estándar (n = 3).

Como se ha mencionado, en estudios anteriores el uso de TCA/acetona se ha utilizado con éxito en una amplia variedad de muestras biológicas para eliminar los componentes no proteicos que pueden interferir en los geles (Wang *et al.*, 2006; Cilia *et al.*, 2009; Alam y Gosh, 2014; Haudenschild *et al.*, 2014). La combinación de TCA con acetona se usa comúnmente para la precipitación de proteínas y eliminar contaminantes y sales durante la preparación de las muestras para la 2-DE, que pueden competir con la migración de proteínas en el IEF (Feist y Hummon, 2015). En un estudio previo realizado en diferentes partes del cerebro de rata, donde se compararon diferentes métodos de precipitación y solubilización de proteínas, el método basado en una solución solo con TCA y una sonicación posterior dio como resultado una buena separación de proteínas y el mayor número de manchas proteicas en la 2-DE (Fic *et al.*, 2010). Igualmente, Masuo *et al.* (2011) encontraron una buena resolución de bandas en la SDS-PAGE y manchas proteicas en la 2-DE, en cerebro completo y en diversas regiones del mismo, utilizando el método TCA/acetona con 2-mercaptoetanol en lugar de DTT como agente reductor. Por tanto, el uso de estos componentes brindó una ventaja sobre el método con solución de lisis que utiliza solo el detergente SDS, ya que en este estudio se encontró que el método TCA/acetona-DTT incluyendo una etapa de sonicación fue el que tuvo una mayor cantidad de manchas proteicas y mejor enfocadas tanto para cerebro como para linfocitos (Figura 2, Cuadro 3, Figura 4). El método TCA/acetona-DTT también fue el protocolo que obtuvo mayor número de manchas proteicas a lo largo de todo el gradiente de pI y peso molecular en el proteoma de la infección de *W. somnifera* causada por *A. alternata* en comparación con el método basado en fenol (Singh *et al.*, 2017).

En el caso del método de TCA/acetona-fenol se utilizan otros reactivos aparte de los ya mencionados con anterioridad; por ejemplo, el acetato de amonio en combinación con metanol permite neutralizar el TCA residual e incrementar el pH > 7, facilitando la subsecuente extracción de proteínas con fenol (Wang *et al.*, 2006), además de ayudar a la remoción de polisacáridos de bajo peso molecular (Kim y Kim, 2007). El fenol minimiza también la degradación de las proteínas debido a la actividad proteolítica endógena (Zheng *et al.*, 2007). A pesar de que se ha encontrado que el método de TCA/acetona-fenol brinda un mayor rendimiento de proteínas para ciertos tejidos vegetales y bacterianos (Sheoran *et al.*, 2009), en el caso del cerebro y de linfocitos de rata no sucedió así, siendo el segundo método en número total de manchas consistentes bien enfocadas (Figura 2, Cuadro 3, Figura 4). A pesar de esto, entre el método de TCA/acetona-DTT y TCA/acetona-fenol se obtuvo el mayor número de manchas proteicas consistentes comunes entre ambas metodologías (Figura 4).

Por tanto, aunque el método de lisis sea uno de los más utilizados en tejidos y/o células de origen animal y el método de TCA/acetona-fenol en tejidos vegetales o microorganismos para la extracción de proteínas para la 2-DE, el uso del método de TCA/acetona-DTT mejora la resolución con respecto al de lisis y conlleva un ahorro en tiempo y dinero con respecto al de TCA/acetona-fenol al constar de un número menor de pasos y requerir menos cantidad de reactivos.

Conclusiones


Se logró comparar los métodos de extracción de proteínas en cerebro y linfocitos de sangre periférica de rata. A pesar de no presentarse diferencia significativa entre las metodologías analizadas, el método de TCA/acetona-DTT resultó más adecuado para la extracción de proteínas en estos tejidos, ya que generó un mayor número de manchas proteicas y con una mayor calidad (mejor enfoque proteico y resolución en la 2-DE). Además, el método TCA/acetona-DTT es más rápido y sencillo de realizar en comparación del método de TCA/acetona-fenol y generó un mayor rendimiento en la cantidad de proteínas que el método de lisis.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado con fondos del proyecto de Apoyo a Nuevos PTC de Prodep (convenio DSA/103.5/15/7004, UACJ-PTC-326) y con infraestructura y fondos propios de la UACJ. KMM fue beneficiaria de una beca para estudiante de Prodep.

Literatura citada

- ABDULLAH, F. I., L. S. Chua and Z. Rahmat. 2017. Comparison of protein extraction methods for the leaves of *Ficus deltoidea*. *Journal of Fundamental and Applied Sciences* 9(2):908-924.
- ALAM, M., and W. Ghosh, 2014. Optimization of a phenol extraction-based protein preparation method amenable to downstream 2DE and MALDI-MS based analysis of bacterial proteomes. *Proteomics* 14:216-221.
- CHEVALIER, F. 2010. Highlights on the capacities of «Gel-based» proteomics. *Proteome Science* 8:23.
- CILIA, M., T. Fish, X. Yang, M. McLaughlin, T. W. Thannhauser, And S. Gray. 2009. A comparison of protein extraction methods suitable for gel-based proteomic studies of aphid proteins. *Journal of Biomolecular Techniques* 20:201-215.
- DEATHERAGE, B. L., D. S. Wunschel, M. A. Sydor, M. G. Warner, K. L. Wahl, and J. R. Hutchison. 2015. Improved proteomic analysis following trichloroacetic acid extraction of *Bacillus anthracis* spore proteins. *Journal of Microbiological Methods* 118:18-24.
- ERICSSON, C., I. Peredo, and M. Nistér. 2007. Optimized protein extraction from cryopreserved brain tissue samples. *Acta Oncology* 46:10-20.
- FEIST, P., and A. B. Hummon. 2015. Proteomic challenges: Sample preparation techniques for microgram-quantity protein analysis from biological samples. *International Journal of Molecular Sciences* 16:3537-3563.
- FIG, E., S. Kedracka-Krok, U. Jankowska, A. Pirog, and M. Dziedzicka-Wasylewska. 2010. Comparison of protein precipitation methods for various rat brain structures prior to proteomic analysis. *Electrophoresis* 31(21):3573-9.
- GAO, M., N. Li, J. Zhang, P. Yang, and X. Zhang. 2006. The study of three extraction methods for pre-separation and enrichment: Application to the complex proteome separation in rat liver. *Separation and Purification Technology* 52:170-176.
- GLATTER, T., E. Ahrné and A. Schmidt. 2015. Comparison of different sample preparation protocols reveals lysis buffer-specific extraction biases in gram-negative bacteria and human cells. *Journal of Proteome Research* 14:4472-4485.
- GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, R., J. Valero-Galván and J. V. Jorrín-Novo. 2014. Proteómica en hongos fitopatógenos. In: Corrales F, and J. J. Calvete. (eds.). *Manual de Proteómica. Sociedad Española de Proteómica, Madrid, p. 585-607.*
- GÖRG, A., O. Drews, C. Lück, F. Weiland, and W. Weiss. 2009. 2-DE with IPGs. *Electrophoresis* 30(S1):S122-132.
- HAO, R., C. Adoligbe, B. Jiang, X. Zhao, L. Gui, K. Qu, S. Wu and L. Zan. 2015. An optimized trichloroacetic acid/acetone precipitation method for two-dimensional gel electrophoresis analysis of qinchuan cattle longissimus dorsi muscle containing high proportion of marbling. *PLoS one* 10:1-12.
- HAUDENSCHILD, D., A. Eldridge, P. Lein, and B. Chromy. 2014. High abundant protein removal from rodent blood for biomarker discovery. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 455:84-89.
- JANKOWSKA, U., A. Latosinska, B. Skupien-Rabian, B. Swiderska, M. Dziedzicka-Wasylewska, and S. Kedracka-Krok. 2016. Optimized procedure of extraction, purification and proteomic analysis of nuclear proteins from mouse brain. *Journal of Neuroscience Methods* 261:1-9.
- KIM, M., and C. Kim. 2007. Human blood plasma preparation for two-dimensional gel electrophoresis. *Journal of Chromatography B* 849:203-210.
- LAEMMLI, U. K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227(5259):680-5.
- LEE, H. X., F. Ahmad, B. Saad, and M. N. Ismail. 2017. Evaluation of extraction methods for the identification of proteins from date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seed and flesh. *Preparative Biochemistry and Biotechnology, in press.*
- MALAFIA, C., M. Guerra, T. Silva, P. Paiva, E. Souza, M. Correia and M. Silva. 2015. Selection of a protein solubilization method suitable for phytopathogenic bacteria: a proteomics approach. *Proteome Science* 13:5.
- MALDONADO, A., S. Echeverría-Zomeño, S. Jean-Baptiste, M. Hernández, and J. Jorrín-Novo. 2008. Evaluation of three different protocols of protein extraction for *Arabidopsis thaliana* leaf proteome analysis by two-dimensional electrophoresis. *Journal of Proteomics* 71:461-472.
- MASUO, Y., M. Hirano, J. Shibato, H. W. Nam, I. Fournier, C. Mériaux, M. Wisztorski, M. Salzet, H. Soya, G. K. Agrawal, T. Ogawa, S. Shioda, and R. Rakwal. 2011. Brain proteomics: sample preparation techniques for the analysis of rat brain samples using mass spectrometry. In: A. Ivanov and A. Lazarev (eds.). *Sample Preparation in Biological Mass Spectrometry. Springer, Dordrecht, p. 171-195.*
- MOORE, S., S. Hess and J. Jorgenson. 2016. Extraction, enrichment, solubilization, and digestion techniques for membrane proteomics. *Journal of Proteome Research* 15:1243-1252.
- NORTHROP, R. B., and A. N. Connor. 2009. Introduction to Molecular Biology, Genomics and Proteomics for Biomedical Engineers. *CRC Press. Estados Unidos. 464 p.*
- POOLADI, M., S. K. R. Abad and M. Hashemi. 2014. Proteomics analysis of human brain glial cell proteome by 2D gel. *Indian Journal of Cancer* 51:159-162.
- RABILLOUD, T., and C. Lelong. 2011. Two-dimensional gel electrophoresis in proteomics: a tutorial *Journal of Proteomics* 74:1829-1841.
- RABILLOUD, T., M. Chevallet, S. Luche and C. Lelong. 2010. Two-dimensional gel electrophoresis in proteomics: past, present and future. *Journal of Proteomics* 73:2064-77.
- RABILLOUD, T., M. Chevallet, S. Luche and C. Lelong. 2008. Fully denaturing two-dimensional electrophoresis of membrane proteins: a critical update. *Proteomics* 8:3965-3973.
- SHEORAN, I., A. Ross, D. Olson and V. Sawhney. 2009. Compatibility of plant protein extraction methods with mass spectrometry for proteome analysis. *Plant Science* 176:99-104.
- SHEVCHENKO, G., S. Musunuri, M. Wetterhall and J. Bergquist. 2012. Comparison of extraction methods for the comprehensive analysis of mouse brain proteome using shotgun-based mass spectrometry. *Journal of Proteome Research* 11:2441-2451.

- SAIA-CEREDA, V. M., A. Aquino, P. C. Guest and D. Martins-De-Souza. 2017. Two-dimensional gel electrophoresis: a reference protocol. In: P. Guest (ed). *Proteomic methods in neuropsychiatric research. Advances in Experimental Medicine and Biology. Vol. 974. Springer, Cham. p. 175-182.*
- SINGH, V., B. Singh, R. Joshi, P. Jaju, and P.K. Pati. 2017. Changes in the leaf proteome profile of *Withania somnifera* (L.) Dunal in response to *Alternaria alternata* infection. *PLoS ONE 12(6)*: e0178924.
- TENÓRIO-DAUSSAT, C., M. Martinho, R. Ziolli, R. Hauser-Davis, D. Schaumloffel, D. and T. Saint'pierre. 2014. Evaluation and standardization of different purification procedures for fish bile and liver metallothionein quantification by spectrophotometry and SDS-PAGE analyses. *Talanta 120*:491-497.
- TIONG, H., S. Hartson and P. Muriana. 2015. Comparison of five methods for direct extraction of surface proteins from *Listeria monocytogenes* for proteomic analysis by orbitrap mass spectrometry. *Journal of Microbiological Methods 110*:54-60.
- VARGAS-CARAVEO, A., H. Castillo-Michel, G. E. Mejía-Carmona, D. G. Pérez-Ishiwara, M. Cotteb and A. Martínez-Martínez. 2014. Preliminary studies of the effect of psychological stress on circulating lymphocytes analyzed by synchrotron radiation based-Fourier transform infrared microspectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 128*:141-146.
- WANG, W., R. Vignani, M. Scali and M. Cresti. 2006. A universal and rapid protocol for protein extraction from recalcitrant plant tissues for proteomic analysis. *Electrophoresis 27*:2782-2786.
- ZHENG, Q., J. Song, K. Doncaster, E. Rowland and D. Byers. 2007. Qualitative and quantitative evaluation of protein extraction protocols for apple and strawberry fruit suitable for two-dimensional electrophoresis and mass spectrometry analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry 55*:1663-1673. 

Este artículo es citado así:

Maldonado-Moreno, K., R. Martell-Gaytán, B. Alvarado-Tenorio, J. Valero-Galván, A. Martínez-Martínez, Á. G. Díaz-Sánchez y R. González-Fernández. 2017. Comparación de métodos de extracción de proteínas de cerebro y linfocitos de rata. *TECNOCIENCIA Chihuahua 11(3)*:127-137.

Variabilidad morfológica de poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en el estado de Chihuahua

Morphological variability of *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* and *P. arizonica* populations in the state of Chihuahua

MINERVA SIQUEIROS-CANDIA¹, CARLOS R. MORALES-NIETO^{1,3}, EDUARDO SANTELLANO-ESTRADA¹, ALICIA MELGOZA-CASTILLO¹, MANUEL ALARCÓN-BUSTAMANTE² Y MARTIN MARTÍNEZ-SALVADOR¹

Recibido: Julio 3, 2017

Aceptado: Octubre 1, 2017

Resumen

Para establecer programas de mejoramiento genético en *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* es fundamental conocer la diversidad de sus recursos genéticos. El objetivo fue realizar un análisis de variabilidad morfológica en especies de pinos importantes en Chihuahua. Los bosques templados de Chihuahua se dividieron en zona norte, centro y sur, se muestrearon 20 árboles por especie y zona; se obtuvieron datos de edad, circunferencia, altura del árbol, coordenadas y altitud. Se realizó análisis de componentes principales (CP) y conglomerados (AC). Los valores medios de las variables circunferencia, altura, altitud y edad fueron 32.9 cm, 15.7 m, 2553 msnm y 54.7 años para *Pinus durangensis*, 35.8 cm, 16.0 m, 2326 msnm y 65.8 años y para *P. engelmannii* y 44.8 cm, 15.5 m, 2707 msnm y 81.1 años para *P. arizonica*. Los tres primeros CP explicaron 97.94% para *Pinus durangensis*, 97.45% para *P. engelmannii* y 93.80% para *P. arizonica*. *Pinus durangensis* el CP1 mostró correlación ($P \leq 0.0001$) con zona (0.79), altura (0.86) y altitud (0.80). El CP2 mantuvo una correlación ($P \leq 0.0001$) con circunferencia (0.82). Para *P. engelmannii*, el CP1 presentó correlación ($P \leq 0.0001$) con circunferencia (0.88), altura (0.90) y edad (0.83). El CP2 se correlacionó ($P \leq 0.0001$) con altitud (0.93). Para *P. arizonica* el CP1 estuvo correlacionado ($P \leq 0.0001$) con zona (0.91), circunferencia (0.85), altitud (0.95) y edad (0.80). El CP2 fue correlacionado ($P \leq 0.0001$) con altura (0.94). Conocer la variación fenotípica de especies en la región templada, podría ser útil para regionalizar unidades de manejo en función de la morfología de especies. La información sugiere desarrollar análisis genéticos moleculares de diversidad.

Palabras clave: aprovechamiento forestal, variación morfológica, pino y población.

Abstract

To establish genetic improvement programs in *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* and *P. arizonica*, it is essential to know the diversity of their genetic resources. The objective was to perform a morphological variability analysis of key pine trees species in Chihuahua. The temperate forests of Chihuahua were divided in north, center and south zones. Twenty trees were sampled by species and zone, age, circumference, tree height, coordinates and altitude were obtained. Principal components (PC) and cluster analysis (CA) were performed with the data. The mean values of circumference, height, altitude and age were 32.9 cm, 15.7 m, 2553 masl and 54.7 y for *Pinus durangensis*, 35.8 cm, 16.0 m, 2326 masl and 65.8 y for *P. engelmannii*, and 44.8 cm, 15.5 m, 2707 masl and 81.1 y for *P. arizonica*. The first three PC explained 97.94% for *Pinus durangensis*, 97.45% for *P. engelmannii* and 93.80% for *P. arizonica*. For *P. durangensis*, PC1 showed correlation ($P \leq 0.0001$) with zone (0.79), height (0.86) and altitude (0.80). The PC2 maintained a correlation ($P \leq 0.0001$) with circumference (0.82). For *P. engelmannii*, PC1 presented correlation ($P \leq 0.0001$) with circumference (0.88), height (0.90) and age (0.83). Likewise, PC2 was correlated ($P \leq 0.0001$) with altitude (0.93). For *P. arizonica*, PC1 was correlated ($P \leq 0.0001$) with zone (0.91), circumference (0.85), altitude (0.95) and age (0.80). In addition, PC2 presented correlation ($P \leq 0.0001$) with height (0.94). Knowing the phenotypic variation of species in the temperate region could be useful to regionalize management units in function of species morphology. The information suggests developing molecular genetic diversity analyzes.

Keywords: Forest use, morphological variation, pine trees and population.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. Facultad de Zootecnia y Ecología. Km. 1 Perif. F.R. Almada. C.P 31031, Apdo. Postal 4-28 Chihuahua, Chih., México. Tel. (614) 132-0298.

² INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS. Sitio Experimental La Campana. Km. 33.3 Carretera Chihuahua-Ojinaga. C. P. 32910. Aldama Chihuahua México. Tel. (614) 184-8582.

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: cnieto@uach.mx.

Introducción

La conservación y manejo de los bosques, como cualquier otro recurso natural, deben involucrar la supervivencia, bienestar humano y la participación de las poblaciones locales. En México, los bosques proporcionan más de 80% de la producción de madera total anual (Caballero, 2012), sin embargo, se deforestan cerca de 400, 000 ha anuales en las que no solo se pierde madera, también recursos asociados como la biodiversidad, suelo, capacidad de retención y cosecha de agua, los hábitats para la fauna y principalmente la pérdida de los recursos genéticos del bosque.

También, la alta variabilidad genética en especies forestales es responsable de los procesos de adaptación ante factores bióticos y abióticos extremos, y aseguran la persistencia frente a los riesgos a los que están sometidas las masas forestales (Alía *et al.*, 2003). Sin embargo, en México no existe una política nacional para realizar estudios y elaborar inventarios de la variación genética en especies forestales, ni se han establecido mecanismos para dar seguimiento a la pérdida genética y vulnerabilidad de estas especies (FAO, 2010).

Por la importancia de lo anterior es urgente realizar una evaluación sistemática de su diversidad y establecer programas de mejoramiento genético forestal. Las tres especies forestales más importantes en el estado de Chihuahua son: *Pinus arizonica* (Engelm.), *Pinus durangensis* (Martínez) y *Pinus engelmannii* (Carr.). Estas son nativas de México y están distribuidas en la zona norte del país. Sus principales usos son para la elaboración de cajas de empaque, postes, triplay, durmientes, celulosa y leña (CONAFOR, 2013; Lebgue *et al.*, 2014). *Pinus arizonica* alcanza 25-35 m de altura con 1.2 m de diámetro de tronco. Las acículas están en paquetes fasciculares de 3, 4 o 5, siendo 5 el más prevaeciente. *Pinus durangensis* tiene fuste recto de hasta 40 m de altura, copa redondeada y compacta, ramas péndulas a horizontales, ramillas tiernas a veces con tinte azulado, corteza rugosa. *Pinus engelmannii* mide hasta 35 m de altura, copa redondeada, abierta en forma cónica. Corteza de color café rojizo a oscuro, rugosa, escamosa. Madera suave, de color amarillo pálido de muy buena calidad (Rzedowski, 1978; Farjon y Styles, 1997).

La documentación de estos recursos presentes aun en los bosques templados de Chihuahua, debe realizarse cuanto antes para incidir en su recuperación a través del uso de materiales sobresalientes. El

objetivo de la presente investigación fue realizar un análisis de la variabilidad morfológica de tres especies de pinos importantes en el estado de Chihuahua.

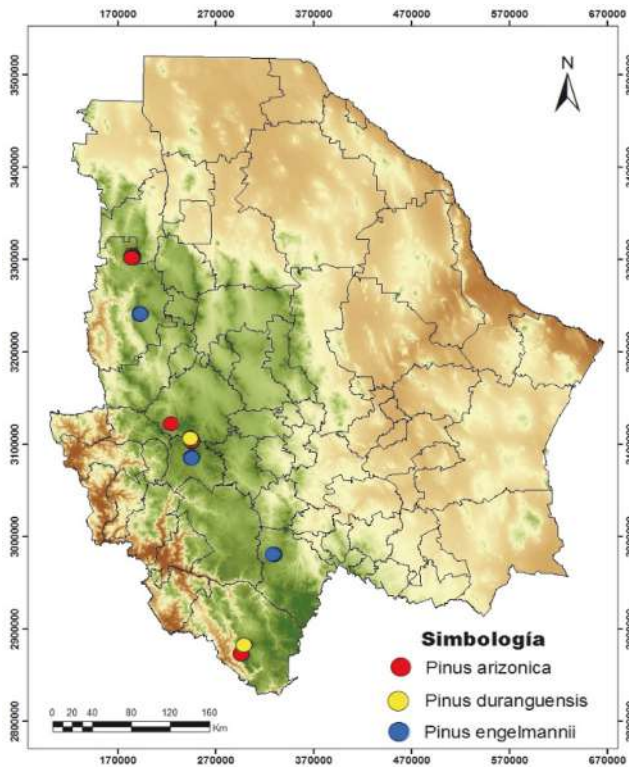
Materiales y métodos

Descripción del Área de Estudio. El muestreo se realizó en 2014 en los bosques templados de Chihuahua localizados entre los 24° 42' 03" y 31° 16' 43" latitud norte y los 105° 22' 48" y 109° 33' 25" longitud oeste (Figura 1). En su mayoría, el área corresponde a un clima semi cálido húmedo del grupo C: (A)C(m)(f), donde la temperatura media anual es mayor de 18 °C y la temperatura del mes más frío menor de 18 °C, temperatura del mes más caliente mayor a 22 °C. La precipitación anual es mayor a 500 mm y la precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual (García, 1998).

Esta región de bosques templados de Chihuahua se dividió en norte, centro y sur. Los criterios para establecer los límites de las tres zonas además de la orientación geográfica fue la presencia de poblaciones densas de cada especie y una distancia entre población superior a los 200 km. Dentro de cada zona se muestrearon 20 árboles por especie y se denominaron ecotipos (Cuadro 1).

Se obtuvieron datos morfológicos como edad, circunferencia, altura del árbol y datos de origen como coordenadas y altitud de cada sitio. La edad se estimó considerando el diámetro del árbol y contando los espirales del tronco. La circunferencia de cada árbol se obtuvo midiéndolo con una cinta flexible y la altura del árbol se obtuvo con un clinómetro marca Suunto. Finalmente, los datos de origen de cada árbol como fueron las coordenadas y altitud de cada sitio se obtuvieron con un GPS marca Garmin (Cuadro 2, Cuadro 3, Cuadro 4).

Figura 1. Ubicación de las zonas muestreadas en los bosques templados de Chihuahua, México.



Cuadro 1. Ubicación de las áreas de muestreos en la región de bosques templados de Chihuahua, México.

Especie	Zona Muestreada		
	Norte	Centro	Sur
<i>Pinus durangensis</i>	Predio Socorro Rivera, Madera. Paraje Mesa de La Laguna del 11.	Ejido Shewerachi, Bocoyna. Paraje Ciénega del Táscate	Ejido el Tule y Portugal. Municipio de Guadalupe y Calvo
<i>Pinus engelmannii</i>	Paraje El Bonito, El Largo Maderal.	Mesa de Baboreachi, Lote Semillero. Municipio de Bocoyna.	Carretera Balleza - Chihuahua
<i>Pinus arizonica</i>	El Bajío del Sol, Ejido El Largo Maderal.	Ejido San Juanito. Predio Hacienda de Guadalupe. Creel.	Cerro Mohinora. Guadalupe y Calvo.

Análisis estadístico. A las variables continuas (altitud, diámetro, altura y edad de la planta) se les realizó un análisis de componentes principales (CP) y un análisis de conglomerados (AC), mediante el método de Ward, además, se realizó un análisis de varianza multivariado y contrastes ortogonales para

evaluar diferencias entre zonas (norte-centro-sur). Los análisis se realizaron con el programa SAS/STAT® 12.1 (2012). El dendrograma se obtuvo con el programa MINITAB 16®.

Resultados y discusión

Los valores mínimos y máximos obtenidos de las cuatro variables evaluadas en poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en bosques templados de Chihuahua, México, se presentan en el (Cuadro 5). Los valores medios de las variables circunferencia, altura del árbol, altitud y edad fue de 32.9 cm, 15.7 m, 2,553 msnm y 54.7 años para *Pinus durangensis*; 35.8 cm, 16.0 m, 2,326 msnm y 65.8 años para *Pinus engelmannii*; y 44.8 cm, 15.5 m, 2,707 msnm y 81.1 años para *Pinus arizonica*, respectivamente.

El análisis de componentes principales (CP) mostró que los tres primeros explican el 97.94%, 97.45% y 93.80% de la variación total observada en *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica*, respectivamente. Al analizar los vectores característicos de las variables (zona, circunferencia, altura del árbol, altitud y edad) de mayor valor descriptor, respecto a su componente principal en poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en el estado de Chihuahua, se obtuvo que *Pinus durangensis*, la variable que más contribuyó con el CP1 fue la altura del árbol; en el CP2, circunferencia de tallos y CP3, la edad. En *P. engelmannii* la variable con más contribución con el CP1 fue altura de árbol; para el CP2 fue altitud y para el CP3, la zona (norte, centro y sur). Finalmente, *P. arizonica* mostró que la variable que más contribuyó con el CP1 fue altitud; altura del árbol en el CP2 y para el CP3 fue la edad.

Es importante considerar que la homogeneidad o la variación en las estructuras diamétricas o de altura en poblaciones de pinos es muy importante para la evaluación biométrica de los árboles presentes en estas poblaciones (Martínez, 2008). Además, algunos de los indicadores que podrían estimarse como la circunferencia y el diámetro del fuste de especies de coníferas, es la compacidad de la circunferencia a la altura del diámetro normal, el coeficiente de forma del fuste de los árboles, así como las variaciones en grosor en la base de los árboles (Madrigal y Vázquez, 2005).

Cuadro 2. Datos morfológicos y de origen de ecotipos de *Pinus durangensis* muestreadas en los bosques templados de Chihuahua, México.

Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (O)	Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (O)
E-1-N-D	2310	29°15'21.5"	108°10'14.7"	E-11-C-D	2566	28°03'30.4"	107°36'34.2"
E-2-N-D	2312	29°15'21.7"	108°10'13.6"	E-12-C-D	2559	28°03'30.0"	107°36'32.9"
E-3-N-D	2319	29°15'19.8"	108°10'14.1"	E-13-C-D	2565	28°03'29.5"	107°36'34.0"
E-4-N-D	2330	29°15'21.0"	108°10'13.5"	E-14-C-D	2569	28°03'31.4"	107°36'34.6"
E-5-N-D	2328	29°15'23.7"	108°10'15.9"	E-15-C-D	2579	28°03'50.0"	107°36'60.6"
E-6-N-D	2331	29°15'25.2"	108°10'10.4"	E-16-C-D	2562	28°03'24.9"	107°36'34.7"
E-7-N-D	2332	29°15'25"	108°10'10.2"	E-17-C-D	2554	28°03'25.8"	107°36'33.0"
E-8-N-D	2334	29°15'24.5"	108°10'10.9"	E-18-C-D	2556	28°03'26.8"	107°36'33.7"
E-9-N-D	2329	29°15'23.3"	108°10'7.8"	E-19-C-D	2553	28°03'22.8"	107°36'37.0"
E-10-N-D	2338	29°15'25.2"	108°10'7.0"	E-20-C-D	2552	28°03'21.3"	107°36'33.2"
E-11-N-D	2343	29°15'25.9"	108°10'3.9"	E-1-S-D	2789	26°02'26.5"	107°01'10.3"
E-12-N-D	2346	29°15'28"	108°10'4.0"	E-2-S-D	2787	26°02'24.8"	107°01'09.1"
E-13-N-D	2346	29°15'26.4"	108°10'4.2"	E-3-S-D	2783	26°02'24.0"	107°01'10.8"
E-14-N-D	2343	29°15'26.5"	108°09'59"	E-4-S-D	2780	26°02'25.2"	107°01'06.8"
E-15-N-D	2346	29°15'27.9"	108°10'1.8"	E-5-S-D	2778	26°02'27.1"	107°01'07.0"
E-16-N-D	2341	29°15'30.1"	108°09'56.3"	E-6-S-D	2788	26°02'30.8"	107°01'03.0"
E-17-N-D	2341	29°15'30.8"	108°09'59"	E-7-S-D	2788	26°02'29.6"	107°00'58.8"
E-18-N-D	2334	29°15'29.4"	108°09'58.5"	E-8-S-D	2783	26°02'29.4"	107°00'57.0"
E-19-N-D	2324	29°15'29.1"	108°09'57"	E-9-S-D	2781	26°02'29.2"	107°00'56.6"
E-20-N-D	2321	29°15'30.9"	108°09'56"	E-10-S-D	2780	26°02'30.0"	107°00'55.8"
E-1-C-D	2550	28°03'23"	107°36'34.1"	E-11-S-D	2778	26°02'31.9"	107°00'56.0"
E-2-C-D	2547	28°03'22.2"	107°36'32.1"	E-12-S-D	2781	26°02'32.6"	107°00'56.2"
E-3-C-D	2554	28°03'24.3"	107°36'33.7"	E-13-S-D	2777	26°02'33.3"	107°00'55.3"
E-4-C-D	2555	28°03'21.9"	107°36'34"	E-14-S-D	2774	26°02'34.5"	107°00'54.4"
E-5-C-D	2555	28°03'21.5"	107°36'34"	E-15-S-D	2773	26°02'34.7"	107°00'52.2"
E-6-C-D	2558	28°03'27.0"	107°36'34.2"	E-16-S-D	2770	26°02'35.1"	107°00'51.6"
E-7-C-D	2562	28°03'28.5"	107°36'35.2"	E-17-S-D	2789	26°02'22.0"	107°01'11.3"
E-8-C-D	2561	28°03'24.2"	107°36'34.1"	E-18-S-D	2779	26°02'22.9"	107°01'10.1"
E-9-C-D	2570	28°03'45"	107°36'54.8"	E-19-S-D	2700	26°02'24.2"	107°01'07.9"
E-10-C-D	2573	28°03'28"	107°36'33.7"	E-20-S-D	2776	26°02'26.5"	107°01'06.9"

E = ecotipo; N = norte del macizo forestal; C = centro del macizo forestal; S = sur del macizo forestal; D = *Pinus durangensis*.

Al correlacionar las cinco variables con los tres primeros CP en poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en los bosques templados de Chihuahua, todas presentaron correlaciones significativas ($P \leq 0.0001$). Para *Pinus durangensis* el CP1, ($P \leq 0.0001$), en zona (0.79), altura del árbol (0.86) y altitud (0.80). El CP2, también fue significativo ($P \leq 0.0001$); con la circunferencia del tallo (0.82). Por último, el CP3, también fue significativo ($P \leq 0.0067$) con la edad (Cuadro 6).

Cuadro 5. Valores mínimos y máximos de cuatro variables evaluadas en poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en bosques templados de Chihuahua, México.

Variable	<i>Pinus durangensis</i>	<i>Pinus engelmannii</i>	<i>Pinus arizonica</i>
Circunferencia (cm)	20-50	30-55	30-70
Altura del árbol (m)	11-20	14-20	8-20
Altitud (msnm)	2310-2789	2186-2789	2318-3322
Edad (años)	30-80	50-90	50-100

Cuadro 3. Datos morfológicos y de origen de ecotipos de *Pinus engelmannii* muestreadas en los bosques templados de Chihuahua, México.

Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (W)	Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (O)
E-1-N-E	2224	29°15'21.5"	108°10'14.7"	E-11-C-E	2396	27°51'46.2"	107°35'37.8"
E-2-N-E	2217	29°15'21.7"	108°10'13.6"	E-12-C-E	2395	27°51'46.6"	107°35'40.4"
E-3-N-E	2226	29°15'19.8"	108°10'14.1"	E-13-C-E	2395	27°51'47.9"	107°35'41.5"
E-4-N-E	2218	29°15'21.0"	108°10'13.5"	E-14-C-E	2397	27°51'49.9"	107°35'41.4"
E-5-N-E	2221	29°15'23.7"	108°10'15.9"	E-15-C-E	2397	27°51'52.9"	107°35'41.2"
E-6-N-E	2186	29°15'25.2"	108°10'10.4"	E-16-C-E	2400	27°51'57.2"	107°35'24.0"
E-7-N-E	2178	29°15'25"	108°10'10.2"	E-17-C-E	2397	27°51'57.2"	107°35'17.7"
E-8-N-E	2179	29°15'24.5"	108°10'10.9"	E-18-C-E	2395	27°51'58.4"	107°35'12.4"
E-9-N-E	2175	29°15'23.3"	108°10'7.8"	E-19-C-E	2397	27°51'56.3"	107°35'10.0"
E-10-N-E	2132	29°15'25.2"	108°10'7.0"	E-20-C-E	2398	27°51'53.6"	107°35'09.9"
E-11-N-E	2153	29°15'25.9"	108°10'3.9"	E-1-S-E	2241	26°55'54.6"	106°43'12.6"
E-12-N-E	2165	29°15'28"	108°10'4.0"	E-2-S-E	2240	26°55'52.3"	106°43'13.0"
E-13-N-E	2180	29°15'26.4"	108°10'4.2"	E-3-S-E	2250	26°55'50.1"	106°43'10.3"
E-14-N-E	2177	29°15'26.5"	108°09'59"	E-4-S-E	2252	26°55'47.6"	106°43'10.7"
E-15-N-E	2171	29°15'27.9"	108°10'1.8"	E-5-S-E	2253	26°55'47.6"	106°43'13.2"
E-16-N-E	2210	29°15'30.1"	108°09'56.3"	E-6-S-E	2256	26°55'47.5"	106°43'16.3"
E-17-N-E	2206	29°15'30.8"	108°09'59"	E-7-S-E	2257	26°55'50.2"	106°43'17.7"
E-18-N-E	2205	29°15'29.4"	108°09'58.5"	E-8-S-E	2259	26°55'52.7"	106°43'18.3"
E-19-N-E	2208	29°15'29.1"	108°09'57"	E-9-S-E	2272	26°55'50.6"	106°43'19.1"
E-20-N-E	2208	29°15'30.9"	108°09'56"	E-10-S-E	2265	26°55'52.0"	106°43'12.6"
E-1-C-E	2418	27°51'51"	107°35'36.5"	E-11-S-E	2262	26°55'45.5"	106°43'07.5"
E-2-C-E	2418	27°51'54.6"	107°35'40.5"	E-12-S-E	2267	26°55'44.4"	106°43'11.0"
E-3-C-E	2407	27°51'53.3"	107°35'42.7"	E-13-S-E	2273	26°55'46.4"	106°43'04.7"
E-4-C-E	2406	27°51'51.7"	107°35'43.4"	E-14-S-E	2266	26°55'42.0"	106°43'07.9"
E-5-C-E	2395	27°51'50.3"	107°35'45.5"	E-15-S-E	2270	26°55'51.0"	106°43'07.9"
E-6-C-E	2399	27°51'48.2"	107°35'43.9"	E-16-S-E	2277	26°55'55.5"	106°43'10.0"
E-7-C-E	2398	27°51'47.4"	107°35'43.9"	E-17-S-E	2276	26°55'55.0"	106°43'11.3"
E-8-C-E	2391	27°51'44.6"	107°35'42.6"	E-18-S-E	2276	26°55'56.7"	106°43'07.0"
E-9-C-E	2384	27°51'42.3"	107°35'40.7"	E-19-S-E	2281	26°55'58.1"	106°43'00.4"
E-10-C-E	2387	27°51'42.8"	107°35'37.3"	E-20-S-E	2281	26°55'58.9"	106°43'58.2"

E = ecotipo; N = norte del macizo forestal; C = centro del macizo forestal; S = sur del macizo forestal; E = *Pinus engelmannii*.

Cuadro 6. Correlación de variables con CP en poblaciones de *Pinus durangensis* (Martínez) en los bosques templados de Chihuahua, México.

	Zona	Circunferencia	Altura de árbol	Altitud	Edad
CP1	0.79 (P ≤ 0.0001)	0.45 (P = 0.0590)	-0.86 (P ≤ 0.0001)	0.80 (P ≤ 0.0001)	0.69 (P = 0.0021)
CP2	-0.59 (P = 0.0115)	0.82 (P ≤ 0.0001)	0.37 (P = 0.1428)	-0.59 (P = 0.0126)	0.35 (P = 0.1653)
CP3	-0.07 (P = 0.7876)	-0.25 (P = 0.3319)	-0.24 (P = 0.3340)	-0.05 (P = 0.8224)	0.63 (P = 0.0067)

El Cuadro 7 muestra que en *Pinus engelmannii* su CP1 presentó correlación significativa (P ≤ 0.0001) con circunferencia (0.88), altura del árbol (0.90) y

edad (0.83). El CP2, fue significativo (P ≤ 0.0001) con la altitud (0.93) y el CP3, fue significativo (P = 0.0087) con la edad (0.61).

Cuadro 7. Correlación de variables con CP en poblaciones de *Pinus engelmannii* (Carr.) en los bosques templados de Chihuahua, México.

Zona	Circunferencia	Altura de árbol	Altitud	Edad	Zona
CP1	-0.60 (P = 0.0098)	0.88 (P ≤ 0.0001)	0.90 (P ≤ 0.0001)	-0.07 (P = 0.7885)	0.83 (P ≤ 0.0001)
CP2	0.477 (P = 0.0526)	0.06 (P = 0.7977)	0.30 (P = 0.2314)	0.93 (P ≤ 0.0001)	0.20 (P = 0.9370)
CP3	0.61 (P = 0.0087)	0.03 (P = 0.8955)	-0.01 (P = 0.9395)	-0.31 (P = 0.2121)	0.40 (P = 0.1061)

Cuadro 4. Datos morfológicos y de origen de ecotipos de *Pinus arizonica* muestreadas en los bosques templados de Chihuahua, México.

Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (O)	Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (O)
E-1-N-A	2318	29°48'57"	108°-15'58"	E-11-C-A	2451	28°01'41.2"	107°35'46.1"
E-2-N-A	2324	29°49'04.5"	108°15'57.8"	E-12-C-A	2451	28°01'40.2"	107°35'42.2"
E-3-N-A	2361	29°49'58.4"	108°16'01.9"	E-13-C-A	2452	28°01'44.0"	107°35'44.3"
E-4-N-A	2348	29°48'59.7"	108°15'57.2"	E-14-C-A	2458	28°01'63.6"	107°35'84.9"
E-5-N-A	2375	29°48'0.96"	108°15'.99"	E-15-C-A	2461	28°01'37.9"	107°35'57"
E-6-N-A	2455	29°48'40.4"	108°16'04.3"	E-16-C-A	2452	28°01'18.1"	107°35'47"
E-7-N-A	2457	29°48'41.8"	108°16'02.8"	E-17-C-A	2464	28°01'16.9"	107°35'46"
E-8-N-A	2451	29°48'39.3"	108°16'02.6"	E-18-C-A	2458	28°01'17.7"	107°35'42.3"
E-9-N-A	2465	29°48'40.8"	108°16'05.7"	E-19-C-A	2470	28°01'22.9"	107°35'41.5"
E-10-N-A	2460	29°48'39"	108°16'05.5"	E-20-C-A	2464	28°01'25.6"	107°35'42.9"
E-11-N-A	2436	29°48'23.9"	108°16'26.5"	E-1-S-A	3322	25°57'21.7"	107°02'48.7"
E-12-N-A	2436	29°48'25.8"	108°16'25.1"	E-2-S-A	3308	25°57'19.8"	107°02'49.8"
E-13-N-A	2439	29°48'23.4"	108°16'26.3"	E-3-S-A	3311	25°57'17.8"	107°02'50.9"
E-14-N-A	2445	29°48'26.0"	108°16'28.1"	E-4-S-A	3313	25°57'25.2"	107°02'51.8"
E-15-N-A	2439	29°48'21.9"	108°16'28.9"	E-5-S-A	3303	25°57'24.4"	107°02'49.9"
E-16-N-A	2435	29°48'06.2"	108°16'32.7"	E-6-S-A	3300	25°57'20.5"	107°02'47.0"
E-17-N-A	2434	29°48'08.4	108°16'33"	E-7-S-A	3295	25°57'24.2"	107°02'49.1"
E-18-N-A	2434	29°48'07.0	108°16'34.3"	E-8-S-A	3298	25°57'25.3"	107°02'50.6"
E-19-N-A	2434	29°48'07.0	108°16'31"	E-9-S-A	3284	25°57'25.5"	107°02'48.9"
E-20-N-A	2429	29°48'05.2	108°16'32"	E-10-S-A	3282	25°57'28"	107°02'50.2"
E-1-C-A	2452	28°01'42.6"	107°36'00.0"	E-11-S-A	3278	25°57'31.5"	107°02'50.4"
E-2-C-A	2453	28°01'44.4"	107°35'59.8"	E-12-S-A	3277	25°57'29.5"	107°02'49.5"
E-3-C-A	2447	28°01'44.2"	107°35'57.4"	E-13-S-A	3273	25°57'27.3"	107°02'42.4"
E-4-C-A	2445	28°01'44.5"	107°35'54.5"	E-14-S-A	3271	25°57'27.5"	107°02'45.0"
E-5-C-A	2442	28°01'44.4"	107°35'52.3"	E-15-S-A	3270	25°57'26.9"	107°02'46.8"
E-6-C-A	2453	28°01'40.9"	107°35'58.3"	E-16-S-A	3208	25°57'27.6"	107°02'32"
E-7-C-A	2452	28°01'39.0"	107°35'57.7"	E-17-S-A	3178	25°57'26.8"	107°02'21.8"
E-8-C-A	2446	28°01'41.1"	107°35'52.4"	E-18-S-A	3140	25°57'28.9"	107°02'50.9"
E-9-C-A	2447	28°01'41.5"	107°35'49.3"	E-19-S-A	3232	25°57'29.5"	107°02'49.3"
E-10-C-A	2446	28°01'43.6"	107°35'49.3"	E-20-S-A	3229	25°57'28.0"	107°02'48.6"

E = ecotipo; N = norte del macizo forestal; C = centro del macizo forestal; S = sur del macizo forestal; A = *Pinus arizonica*.

Para *Pinus arizonica*, el CP1 presentó correlación significativa ($P \leq 0.0001$) con la zona (0.91), la circunferencia (0.85), altitud (0.95) y edad (0.80). El CP2, fue significativo ($P \leq 0.0001$) con la altura (0.94) y el CP3, fue significativo ($P = 0.0569$) con la edad (0.45).

La obtención de variables o estimadores como circunferencia, diámetro, compacidad de la circunferencia, coeficiente de forma del fuste, variaciones en grosor, entre otras, son muy importantes para elaborar ecuaciones y poder predecir volumen y biomasa en poblaciones de pinos para calcular existencias y poder predecir cosecha de bosques (Cuadro 8) en (Madrigal y Vázquez, 2005).

La Figura 2 muestra el dendograma del análisis de las cinco variables en ecotipos de *Pinus durangensis*, donde se obtuvieron tres grupos basados en el método de ligamiento Ward a una distancia euclidiana de 7.19. El grupo I (G-I) integró a cinco colectas de la región norte (Predio Socorro Rivera, Madera, Paraje Mesa de La Laguna del 11 del municipio de Madera, Chihuahua). El grupo II (G-II) agrupó a seis: tres del sur, originarios del ejido el Tule y Portugal, municipio de Guadalupe y Calvo; dos del centro, originarios del ejido Shewerachi, Bocoyna y Paraje Ciénega del Tásate. Finalmente, el grupo III (G-III) integró a seis, tres del centro, originarios del ejido Shewerachi, Bocoyna y Paraje Ciénega del Tásate y tres de sur, originarios del ejido el Tule y Portugal, municipio de Guadalupe y Calvo.

Cuadro 8. Correlación de variables con CP en poblaciones de *Pinus arizonica* (Engelm.) en los bosques templados de Chihuahua, México.

Zona	Circunferencia	Altura de árbol	Altitud	Edad	Zona
CP1	0.91 (P ≤ 0.0001)	0.85 (P ≤ 0.0001)	-0.21 (P = 0.3889)	0.95 (P ≤ 0.0001)	0.80 (P ≤ 0.0001)
CP2	-0.19 (P = 0.4470)	0.30 (P = 0.2211)	0.94 (P ≤ 0.0001)	-0.19 (P = 0.4417)	0.37 (P = 0.1213)
CP3	0.18 (P = 0.4610)	0.25 (P = 0.3127)	0.14 (P = 0.5740)	0.01 (P = 0.9590)	-0.45 (P = 0.0569)

La Figura 3 muestra el dendrograma del análisis de cinco variables en ecotipos de *Pinus engelmannii*, donde se obtuvieron dos grupos basados en el método de ligamiento Ward a una distancia euclidiana de 7.27. El Grupo I (G-I) constituyó a dos subgrupos (AI y AII) y el Grupo II (G-II) integró dos subgrupos más (BI y BII). En el subgrupo AI, se agruparon dos poblaciones del norte recolectadas del paraje El Bonito, El Largo Maderal y uno del centro procedente de la Mesa de Baboreachi, Lote Semillero, municipio de Bocoyna; en el subgrupo AII, se agruparon cuatro colectas del centro de la Mesa de Baboreachi, Lote Semillero, municipio de Bocoyna. El subgrupo BI, integró tres ecotipos del norte, ubicadas en el Paraje El Bonito, El Largo Maderal y una colecta del centro, originario de la Mesa de Baboreachi, Lote Semillero, municipio de Bocoyna; finalmente, en el subgrupo BII se agruparon seis ecotipos del sur, originarias de la carretera Balleza-Chihuahua.

Figura 2. Dendrograma del análisis de cinco variables en poblaciones de *Pinus durangensis* con base en el método de ligamiento Ward.

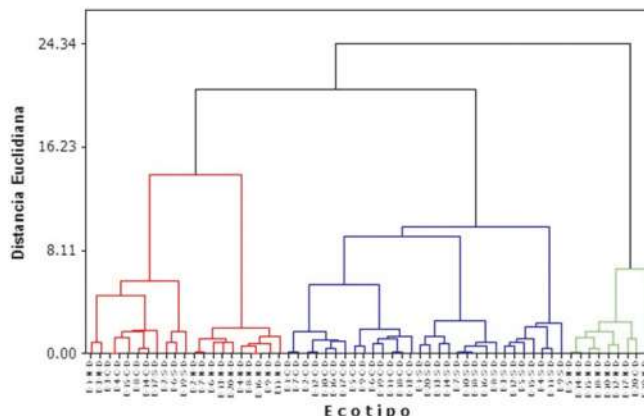
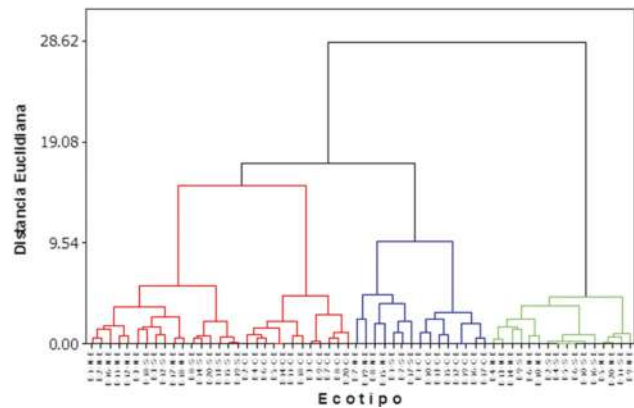
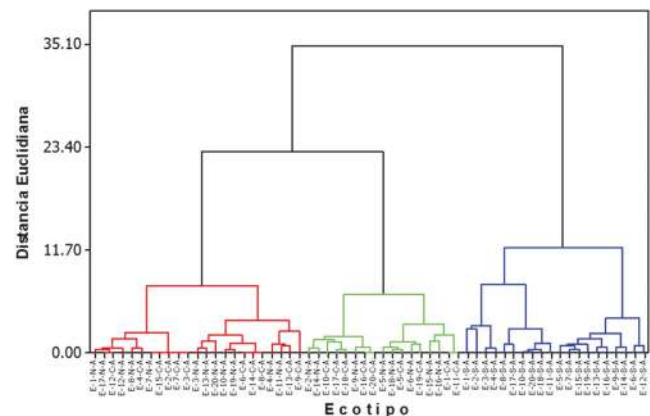


Figura 3. Dendrograma del análisis de cinco variables en poblaciones *Pinus engelmannii* (Carr.) con base en el método de ligamiento Ward.



La Figura 4 muestra el dendrograma del análisis de las cinco variables en poblaciones de *Pinus arizonica* donde se obtuvieron tres grupos basados en el método de ligamiento Ward a una distancia euclidiana de 5.67. El grupo I (G-I) integró a cuatro árboles de la región norte del macizo forestal del estado de Chihuahua, El Bajío del Sol, ejido El Largo Maderal y tres árboles del centro, nativos del ejido San Juanito, Predio Hacienda de Guadalupe y Calvo. El grupo II (G-II) agrupó a cinco árboles: dos del norte, procedentes de El Bajío del Sol, ejido El Largo Maderal, tres del centro, del ejido San Juanito, Predio Hacienda de Guadalupe y Calvo. Finalmente, el grupo III (G-III) integró a seis árboles, todos del sur, originarios del cerro de Mohinora, Guadalupe y Calvo. Esta variación observada en las poblaciones de estas tres especies de pinos, probablemente es el resultado de la adaptación de la diversidad de factores ambientales en el área muestreada, tales como precipitación, temperatura y altitud.

Figura 4. Dendrograma del análisis de cinco variables en poblaciones *Pinus arizonica* (Engelm.) con base en el método de ligamiento Ward.



La mayoría de las investigaciones relacionadas con diámetro, altura y edad de los árboles se han enfocado para elaborar tablas de volúmenes, modelos de productividad denominados índices de sitio, modelos de densidad (diagramas) y las relaciones de estos con el aprovechamiento a través de la aplicación de tratamientos silvícolas (Navarro *et al.*, 2011). Adicionalmente, se han realizado estudios sobre la influencia de factores exógenos como plagas y enfermedades, sobre la variación en las estructuras de los árboles, así como afectaciones en su crecimiento (Martínez-Salvador *et al.*, 2015).


Griffiths *et al.* (2009) identifican relaciones entre el crecimiento de coníferas y algunas variables físicas, como la profundidad de suelo, altitud, pendiente y exposición, así como algunas propiedades físicas como pH, material muerto y contenido de limo en la capa de 50 cm de suelo (Skovsgaard y Vanclay, 2008; Stoler y Relyea, 2011). Los resultados de estos estudios, así como los desarrollados en esta investigación pueden ser usados para construir modelos espaciales a partir de valores de óptimas condiciones para el desarrollo de las especies (Waring *et al.*, 2014).

Al realizar el análisis de varianza multivariado y contrastes ortogonales para evaluar diferencias entre la zona norte (El Bajío del Sol, Ejido El Largo Maderal), zona centro (Ejido San Juanito, Predio Hacienda de Guadalupe, Creel) y zona sur (Cerro Mohinora, Guadalupe y Calvo), se encontraron diferencias ($p < 0.0001$) en las poblaciones de *Pinus durangensis* y *Pinus engelmannii*. En las poblaciones de *Pinus arizonica* procedentes del norte y centro, no se encontraron diferencias ($p = 0.06$).

Conclusiones

Los recursos genéticos de *Pinus engelmannii*, *P. arizonica* y *P. durangensis* recolectados en los bosques templados del estado de Chihuahua, presentaron variabilidad morfológica y variación en su distribución altitudinal. La altitud sobre el nivel del mar y la altura de la planta fueron las variables continuas que más contribuyeron en definir la variabilidad de las poblaciones, independientemente de la especie. Estos resultados permitirán a técnicos e investigadores conocer la estructura y variabilidad de las poblaciones de estas especies para realizar programas de mejoramiento y esquemas de manejo diferenciado.

Literatura citada

- ALÍA, R., D. Agúndez, N. Alba, S. C. González y A. Soto. 2003. Variabilidad genética y gestión forestal. *Ecosistemas* 12(3):1-7.
- CABALLERO, D. M. 2012. Parcelas de muestra permanente para i.f.c en México. *Rev. Mex. Cienc. Fores.* 4:56-64.
- FARJON, A., and B. T. Styles. 1997. *Pinus (Pinaceae)*. Flora Neotropica Monograph 75. New York, NY: The New York Botanical Garden. <http://www.conifers.org/refs/farjon97.htm>.
- FAO. 2010. Evaluación de los recursos Forestales mundiales 2010. *Informe Nacional México*. En: <http://www.fao.org/>. Consultado 01 Abril 2013.
- GARCÍA, E. 1998. Modificaciones al sistema de clasificación climática de kopen. Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO), México Primera edición: 1964. Segunda edición: corregida y aumentada, 1973. Tercera edición: corregida y aumentada, 1981. México, D.F. 98 p.
- GRIFFITHS, R. P., M. D. Madritch and A. K. Swanson. 2009. The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest Ecology and Management* 257(1):1-7.
- LEBGUE-KELENG, T., J. Hernández Salas, J. M. Chacón Sotelo, *et al.* 2014. Pinos (*Pinaceae*). Bosque templado, en: La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado. CONABIO. México: 436-439.
- MADRIGAL, H. S. y I. Vázquez C. 2005. Aplicación de análisis troncales para estimar altura y diámetro, en *Pinus pringlei*, infestados por *Psittacanthus macrantherus*. In VII CONGRESO MEXICANO DE RECURSOS FORESTALES. «La Ciencia y la Tecnología al Servicio de los Ecosistemas Forestales. Universidad Autónoma Chapingo: 266-267.
- MARTÍNEZ, S.M. 2008. Potencial productivo y zonificación forestal para el reordenamiento silvícola en bosques templados. *Folleto Técnico Núm. 37. INIFAP, C.E. La Campana. Chihuahua, Chih., Méx.* 52 p.
- MARTÍNEZ-SALVADOR, M., S. Madrigal, I. Vázquez., E. Velasco, C. Morales y F. Villarreal. 2015. Assessment of effect of dwarf mistletoe *Arceuthobium vaginatum* on *Pinus hartwegii* in Colima, Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Forest.* 6:44-55.
- NAVARRO, C. C., A. Herrera, F. Drake y J. Donoso. 2011. Diagrama de manejo de densidad y su aplicación a raleo en bosques de segundo crecimiento de *Drimys winteri* en el sur de Chile. *Bosque (Valdivia)* 32:175-186.
- RZEDOWSKI, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México. 432 pp.
- SAS, Institute Inc. 2012. SAS/STAT® 12.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SKOVSGAARD, J. P. and K. Vanclay. 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81:13-31.
- STOLER, A. B. and R.A. Relyea. 2011. Living in the litter: the influence of tree leaf litter on wetland communities. *Oikos*. 120: 862-872.
- WARING, R. H., C. Coops, A. Mathys, T. Hilker and G. Latta. 2014. Process-based modeling to assess the effects of recent climatic variation on site productivity and forest function across Western North America. *Forests* 5:518-534. 

Este artículo es citado así:

Siqueiros-Candia, M., C. R. Morales-Nieto, E. Santellano-Estrada, A. Melgoza-Castillo, M. Alarcón-Bustamante y M. Martínez-Salvador. 2017. Variabilidad morfológica de poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en el estado de Chihuahua. *TECNOCENCIA Chihuahua* 11(3):139-146.

Resumen curricular del autor y coautores

MINERVA SIQUEIROS CANDIA. Terminó sus estudios en 2010, año que le fue otorgado el título de Ingeniero en Ecología por la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Recursos Naturales en 2014 en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Desde el 2016 labora en la Universidad Tecmilenio como docente.

CARLOS RAÚL MORALES NIETO. Terminó su licenciatura en 1978, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Zootecnista por la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en Saltillo Coahuila, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Tecnología de Semillas en el año 2000 por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y el grado de Doctor en Filosofía en el área de Genética en 2006 por Colegio de Posgraduados. De 1978 a 2012 laboró como investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de 2012 a la fecha labora en la Facultad de Zootecnia de la UACH y posee la categoría de Académico titular C. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2007 a la fecha (Nivel 1). Su área de especialización es el Mejoramiento de Pastizales, Tecnología de Semillas y Genética. Ha concluido 7 tesis de licenciatura, 8 de maestría y 2 de doctorado. Es autor y coautor de más de 40 artículos en revistas indexadas y arbitradas, 6 capítulos en libro y más de 60 trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales) y Fundación Produce Chihuahua, es revisor del seguimiento de los Fondos sectoriales Sagarpa-Conacyt, y árbitro de ocho revistas científicas de circulación internacional. Es vice-presidente de la Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales.

EDUARDO SANTELLANO ESTRADA. Ingeniero Agrónomo Zootecnista por la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo Estado de México. Maestro en Ciencias en Producción Animal Tropical por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en Ciudad Victoria, Tamaulipas. Doctor en Recursos Genéticos y Productividad por el Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Titular del Centro de Extensión e Innovación Rural del Noroeste (CEIR Noroeste) de la UACH (2010 a 2016). Coordinador General del Centro de Vinculación para el desarrollo Sustentable de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la UACH (2014 a 2017). Titular del Centro Estatal de Evaluación de la UACH (2010 a 2016). Profesor-Investigador en la Facultad de Zootecnia y Ecología (2007 a la fecha). Cursos impartidos: Estadística, Métodos Estadísticos, Diseño de Experimentos, Técnicas Multivariadas, Genética General, Mejoramiento Animal. Líneas de Investigación y trabajo desarrollado en Problemática y Soluciones Ambientales, Diseño y Evaluación de Política Pública, Esquemas de Conservación y Mejoramiento Genético, Desarrollo Sustentable Integrativo. Autor y coautor de más de 20 artículos internacionales en revistas indexadas. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel 1 (2008 a 2016 y 2019-2021).

ALICIA MELGOZA CASTILLO. Terminó su licenciatura en 1977, año en que le fue otorgado el título de Biólogo por la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). El grado de Maestro en Ciencias en el área de Ciencia de Pastizales lo obtuvo en 1985 por la Universidad Estatal de Arizona y el grado de Doctor en Filosofía en 1995 en el área de ecología de pastizales por la Universidad Estatal de Nuevo México. Los trabajos que ha tenido son: ayudante en laboratorio de fitología (1975-1976), maestra del ITESM (1977), investigador del INIP (posteriormente INIFAP, 1978-1982 y 1985-2007) y ayudante de investigación en el USDA (1982-1985). Desde 2007 labora en la Facultad de Zootecnia de la UACH y posee la categoría de Académico titular C. Entre sus distinciones están las otorgadas por: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Society for Range Management, Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales, SIN y Prodep. Su área de especialización es ecofisiología y propagación de plantas nativas. Ha dirigido 12 tesis de licenciatura, 8 de maestría y 4 de doctorado. Es autora de 80 artículos científicos, más de 100 ponencias en congresos y 10 capítulos de libros; alrededor de 500 citas de sus trabajos. En total ha sido responsable de más de 15 proyectos con financiamiento internacional, nacional y regional. Es evaluadora de proyectos de investigación del CONACYT, Fundación Produce Chihuahua, Prodep, entre otros. Además, es revisor de artículos para Elsevier, y editor asociado de la revista *The Southwestern Naturalist*, entre otras revistas nacionales y locales. Perteneció a dos asociaciones científicas internacionales y 4 nacionales.

MANUEL POMPOSO ALARCÓN BUSTAMANTE. Terminó su licenciatura en 1982, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Bosques por la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Realizó su postgrado en México, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el Programa Forestal 1999 por el Colegio de Postgraduados. Desde 1982 labora en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias y posee la categoría de Investigador titular C. Su área de especialización es la producción de planta de buena calidad en vivero, plantaciones forestales y mejoramiento genético forestal. Ha dirigido dos tesis de licenciatura y una de maestría. Es autor de 7 artículos científicos, más de 25 ponencias en congresos, y 3 capítulos de libros técnicos; además ha impartido 22 conferencias por invitación y ha dirigido 14 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Ha participado como evaluador de proyectos de investigación de la Fundación Produce Chihuahua y de otras fuentes financieras.

MARTÍN MARTÍNEZ SALVADOR. Terminó su licenciatura en 1997, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas Agrícolas de Zonas Áridas por la Universidad Autónoma Chapingo/Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Realizó su postgrado en México, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias Forestales en el Programa Forestal 2001 por la Universidad Autónoma Chapingo. Obtuvo el grado de Doctor en Filosofía en 2005 en el área de uso manejo y preservación de los recursos naturales en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. De 2002 a 2016 laboró como investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y de 2016 a la fecha labora en la Facultad de Zootecnia de la UACH y posee la categoría de Académico titular B. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2010 a la fecha (Nivel 1). Su área de especialización es el Manejo de los Recursos Forestales. Ha concluido 5 tesis de licenciatura, 5 de maestría y 2 de doctorado. Es autor y coautor de más de 25 artículos en revistas indexadas y arbitradas, 7 capítulos en libro, y más de 40 trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales) y Fundación Produce Chihuahua, es revisor del seguimiento de los Fondos sectoriales Sagarpa-Conacyt, y árbitro de seis revistas científicas de circulación internacional.

Enzimas y organismos importantes dentro del proceso de compostaje

Important enzymes and organisms inside compost process

XENIA MENA-ESPINO^{1,3}, MARÍA ESTHER MENA-ESPINO¹ Y MARÍA ELENA TAVERA-CORTÉS²

Recibido: Junio 5, 2017

Aceptado: Febrero 21, 2018

Resumen

Uno de los problemas que preocupa al hombre es el aprovechamiento, manejo y destino de los residuos orgánicos provenientes del quehacer diario. Muchos nutrientes esenciales que están en la materia orgánica (carbono, nitrógeno y fósforo) presentes en la naturaleza, experimentan transformaciones por medio de microorganismos y las enzimas que poseen les permiten mejorar la biodisponibilidad de sus nutrientes. Es importante conocer a profundidad procesos de biotransformación enzimática, lo cual permitiría darle un manejo y aprovechamiento a los residuos orgánicos. Existen diversos tipos de enzimas que permiten conocer su actividad en el proceso de compostaje. El objetivo de esta revisión fue presentar los principales componentes de los residuos lignocelulósicos y las enzimas que participan en su degradación para poder conocer la actividad metabólica que se lleva a cabo durante el compostaje.

Palabras clave: composta, enzima, microorganismos, biotransformación y residuos.

Abstract

One of the greatest environmental concerns is the use, management and destination of organic waste caused by human activity. Many essential nutrients that are found in the organic matter present in the nature (such as carbon, nitrogen or phosphorus), undergo transformations by means of microorganisms and enzymes that they possess, which allows them to improve the bioavailability of their nutrients, it becomes necessary to know in depth the processes of enzymatic biotransformation, which would help to improve the management and use of organic waste. There are many types of enzymes and their study allows us to know their activity in the composting process. The objective of this review is to present the main components of the lignocellulosic waste and the enzymes involved in their degradation in order to know the metabolic activity that is carried out during composting.

Keywords: Compost, enzyme, microorganisms, biotransformation and waste.

Introducción

Microorganismos que participan en el proceso de compostaje. Durante el compostaje se lleva a cabo un proceso biooxidativo que origina un producto orgánico altamente estable (Laich, 2011). Las poblaciones y las comunidades microbianas varían continuamente en función de la evolución de la temperatura, pH, disponibilidad de nutrientes, concentración de oxígeno, contenido de agua y la acumulación de compuestos inhibitorios, entre otros (Tortarolo *et al.*, 2008; Meneses, 2011).

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-IZTAPALAPA. San Rafael Atlixco No. 186, Colonia Vicentina, Delegación, Iztapalapa, C.P. 09340, México City, México. Teléfono: (0155) 5804-4600.

² UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE. Facultad de Medicina. Av. Agustín Melgar S/N entre Calle 20 y Juan de la Barrera. Col. Buenavista. CP 24039, San Francisco de Campeche, Campeche; México. Teléfono: +52(981) 811-9800.

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: xenimena@hotmail.com.

Entre los microorganismos que conforman las poblaciones que degradan la materia orgánica se encuentran las *bacterias*, que constituyen entre 80 y 90% de los microorganismos existentes en la composta, constituyendo un grupo de gran diversidad metabólica que utiliza un amplio rango de enzimas que degradan químicamente una gran variedad de compuestos orgánicos (Laich, 2011); *actinomicetos*: son bacterias filamentosas que carecen de núcleo y poseen filamentos multicelulares como hongos, lo que los hace muy similares. Dan el olor característico a tierra mojada y son especialmente importantes en la formación del humus (Hayes y Swift, 2017) y participan en el proceso de modificación de la materia orgánica de la composta, debido a la capacidad enzimática para degradar compuestos orgánicos complejos como: celulosa, lignina, entre otros (Kopea et al., 2016); *hongos filamentosos*: son los responsables de romper polímeros vegetales complejos, demasiado secos, ácidos o pobres en nitrógeno para ser descompuestos (Gutierrez-Rojas et al., 2015). La mayoría son aeróbicos, viven en las capas externas de la composta cuando la temperatura es alta, creciendo en forma de filamentos y formando colonias blancas o grises de textura aterciopelada en la superficie de la pila (Julca et al., 2006; Pothiraj et al., 2006).

Enzimas y microorganismos y su actividad en el compostaje. La oxidación de la materia orgánica por la microbiota del suelo se realiza a partir de procesos catalizados por enzimas extracelulares producidas por bacterias, hongos y otros microorganismos del suelo (Mondini, 2004; Kibblewhite et al., 2008). La actividad enzimática es usada frecuentemente como un indicador de la actividad microbiana del suelo (Ijoma y Tekere, 2017). Los microorganismos permiten la disposición de los nutrientes mediante la acción de enzimas extracelulares como son las amilasas, proteasas, lipasas, entre otras (Vargas-García et al., 2007). En el suelo se ha detectado la actividad de hidrolasas, transferasas, oxidoreductasa y liasas que están directamente relacionadas con los ciclos de carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) (Joinville et al., 2004; Cerón et al., 2005).

Las amilasas hidrolizan las moléculas del almidón, el cual es un polímero cuya estructura consiste en moléculas de glucosa en forma de dos compuestos, la

amilosa y la amilopectina encadenadas por uniones α -glucosídicas. La familia de las α -amilasas abarca un grupo de enzimas con una variedad de diversas especificidades que actúan sobre el almidón. Microorganismos como *Bacillus* y *Pseudomonas*, producen α -amilasas que degradan el almidón al igual que *Aspergillus*, que además produce proteasas, glucoamilasas y pectinasas (Keeling y Myers, 2010).

Pectinas y enzimas que la degradan. Las pectinas son polisacáridos de cadenas largas de ácido α -D-galacturónico, unido entre sí por enlaces 1-4 y una parte de grupos carboxilos esterificados por radicales metilo. Las pectinas se encuentran como componente estructural de los frutos y verduras principalmente en las paredes celulares y los espacios intercelulares de los tejidos y resultan afectadas por una serie de enzimas llamadas pectinasas. Estas se clasifican en enzimas desesterificantes (pectinesterasas), enzimas despolimerizantes (hidrolasas y liasas) y protopectinasas, de acuerdo con el tipo de sustrato y al punto de ataque que tienen. Microorganismos como *Talaromyces flavus*, *P. charlessi*, *Tubercularia vulgaris* y *A. niger* son productores de estas enzimas (Ahmeda et al., 2016).

Las liasas, también llamadas transeliminadas, rompen los enlaces glucosídicos por β -eliminación. Según el sustrato sobre el que actúen, sea pectina o ácido poligalacturónico, se clasifican en polimetilgalacturonato liasas o poligalacturonato liasas, respectivamente. Son sintetizadas principalmente por hongos, aunque también se han identificado en algunas bacterias tales como *Erwinia* y *Pseudomonas*. Estas enzimas actúan a pH alcalino entre 8-10, y pueden tener un modo de acción endo o exo (Soriano, 2004).

Celulosa y las enzimas que la degradan. La celulosa es un polímero que está formado por unidades de D-glucosa unidas por enlaces β -1-4 que forman cadenas poliméricas lineales de aproximadamente 8,000-12,000 unidades de glucosa (Cunha y Gandini, 2010). Algunas zonas de la fibra elemental contienen porciones de celulosa «amorfa» que es fácilmente hidrolizable. Las moléculas de celulosa están organizadas en haces de cadenas paralelas que forman fibrillas (Himmel et al., 2007; Cunha y Gandini, 2010).

Su conformación química la hace una fuente importante de carbono y por ello es de gran importancia para el desarrollo y crecimiento de microorganismos y para aprovechar esta fuente energética, se debe romper su estructura. Para ello, los microorganismos poseen enzimas entre las que podemos encontrar:

Celulasas. Son glicosil hidrolasas y utilizan dos mecanismos de hidrolisis en el enlace glucosídico que generan dos posibles configuraciones estereoquímicas finales. Las glicosil hidrolasas se clasifican con base en su secuencia de aminoácidos (Wilson, 2011). Las celulasas se han clasificado en tres grupos basados en sus propiedades estructurales y al sitio en el que cortan la fibrilla de celulosa: endoglucanasas, exoglucanasas y β -glucosidasas (Kumar *et al.*, 2008) (Figura 1). Las celulasas son producidas por una gran variedad de microorganismos, ya sean bacterias aeróbicas: *Cellulomonas* sp., *Microbispora bispora* y *Thermomonospora* sp.; bacterias anaeróbicas: *Acetivibrio cellulolyticus*, *Bacteroides succinogenes*, *Ruminococcus albus*, *R. flavefaciens* y *Clostridium thermocellum*; hongos aeróbicos: *Trichoderma viride*, *T. reesei*, *Penicillium pinophilum*, *Sporotrichum pulverulentum*, *Fusarium solani*, *Talaromyces emersonii* y *T. koningii*; hongos aeróbicos termofílicos: *Sporotrichum thermophile*, *Thermoascus aurantiacus* y *Humicola insolens*; y hongos anaeróbicos mesofílicos: *Neocallimastix frontalis*, *Piromonas communis*, *Sphaeromonas communis* (Li *et al.*, 2009; Payne *et al.*, 2015). Basado en estudios realizados en las enzimas celulasas, estas se han clasificado en su sistema de acción catalítica de la siguiente manera:

Endo- β -glucanasa (EC 3.2.1.4). Estas actúan en forma azarosa sobre las regiones de celulosa amorfa en el interior del polisacárido, cortándolo y generando oligosacáridos de diferentes tamaños (Goedegebuur *et al.*, 2002; Baldrian y Valaskova, 2008; Payne *et al.*, 2015).

Exoglucanasa o Celobiohidrolasas (EC 3.2.1.91). Son también llamadas Exocelulasas y actúan progresivamente en los extremos terminales del polímero, liberando, ya sea moléculas de glucosa, en el caso de las exoglucohidrolasas, o bien las exocelobiohidrolasa o celobiohidrolasa que liberan unidades de celobiosa a partir del extremo no reductor (Gutierrez-Rojas *et al.*, 2015).

Glucano 1,4- β -glucosidasa (EC 3.2.1.74). También conocidas como celodextrinasas, catalizan la remoción de celooligosacaridos o del p-nitrofenil-B-D-celobiosa, pero es inactiva en celulosa amorfa o CMC (Payne *et al.*, 2015).

β -Glucosidasas (EC 3.2.1.21). Esta enzima hidroliza celodextrinas y celobiosa a glucosa de extremos no reducidos. Pertenecen a las familias 1 y 3 de las glicosil hidrolasa y degradan la celobiosa a monómeros de glucosa. Es inactiva con la celulosa cristalina y amorfa (Payne *et al.*, 2015).

Celobiosa fosforilasa: (EC 2.4.1.20). Cataliza los enlaces reversibles fosfolíticos de celobiosa. Su primer reporte fue con el microorganismo *Ruminococcus flavefaciens*. La reacción es Celobiosa + fosfato = α -D-glucosa 1-P + D-glucosa (Gutierrez-Rojas *et al.*, 2015).

Celodextrina fosforilasa (EC 2.4.1.49). Esta enzima fue encontrada y purificada del microorganismo termófilo *Clostridium thermocellum*, cataliza los enlaces reversibles fosforilíticos que van desde las celotriosa a celohexosa y su reacción es: (1,4- β -D-glucosil)_n + fosfato = (1,4- β -D-glucosil)_{n-1} + α -D-Glucosa-1-P.

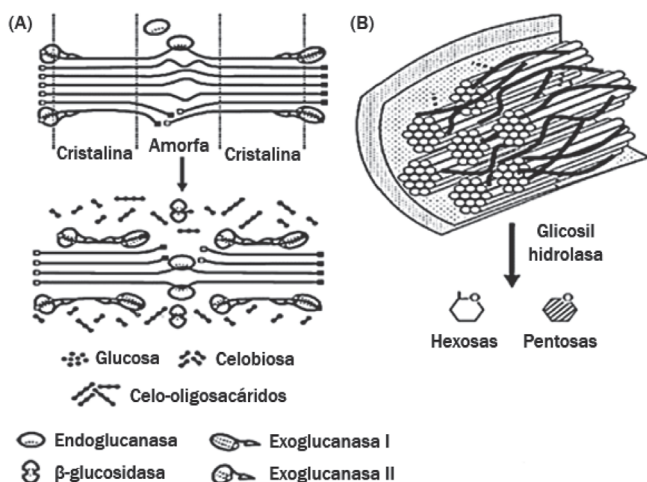
Celobiosa Epimerasa (EC 5.1.3.11). Esta enzima tiene un sustrato, la celobiosa y un producto la D-glucosil-D-manosa; pertenece a la familia de las somerasas, específicamente de las racemasas y epimerasas, actuando sobre los carbohidratos y sus derivados. Su primer reporte fue con *Rumicoccus albus*, catalizando la siguiente reacción: Celobiosa = 4-O- β -D-glucosilmanosa (Ito *et al.*, 2009).

Para la efectiva digestión de la celulosa, las enzimas fúngicas han evolucionado mecanismos sinérgicos que les permiten competir contra su recalcitrancia (Mondini *et al.*, 2004). Por ello, para una mejor degradación de la celulosa, esta no se realiza por enzimas individuales sino por composiciones de tres o más enzimas (Horn *et al.*, 2012).

Hemicelulosa y sus enzimas. La hemicelulosa es el segundo polímero en importancia de la biomasa vegetal. Tiene una composición heterogénea de varios tipos de unidades de azúcar. Existen diferentes tipos de hemicelulosas, las cuales son usualmente clasificadas de acuerdo al residuo de azúcar principal

en la estructura del polímero (Saha, 2003). Las más importantes son las que tienen un alto porcentaje de xilano y glucomanano, este tipo de hemicelulosa está presente en las maderas y formadas por D-xilosas o D-manosas unidas por enlaces β -1-4, respectivamente. Las hemicelulosas tienen la función de cubrir las microfibrillas de la celulosa en una matriz común (Martínez-Ávila *et al.*, 2011). Debido a la corta extensión de las cadenas, se incrementa la solubilidad de las hemicelulosas y la posición expuesta de las mismas en la superficie de las microfibrillas, lo que explica por qué este polímero es de los primeros componentes de la pared celular en ser atacado por algunos hongos degradadores (Kadokawa, 2011). Algunos de los microorganismos degradadores de la hemicelulosa son *Paenibacillus sp.*, *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *B. amylolicuefaciens*, *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Cunninghamella elegans* y el actinomiceto *Streptomyces sp.* (Ning *et al.*, 2017).

Figura 1. Modelo de degradación de celulosa amorfa y microcristalina por el complejo enzimático (Lynd *et al.*, 2002).



Hemicelulasas. Las enzimas que degradan la hemicelulosa se nombran según el sustrato sobre el que actúan, por ejemplo, mananasas degradan mananos, xilanasas degradan xilanos, etc. (Cuadro 1). La hidrólisis de estas moléculas complejas requieren de la interacción de numerosas enzimas que corten la cadena principal y también las laterales (Martin *et al.*, 2013).

La lignina y las enzimas que la degradan. La lignina es la forma más abundante de material aromático en la biosfera. La mayor parte se encuentra dentro de las paredes celulares, entremezclada con las hemicelulosas y formando una matriz que rodea las ordenadas microfibrillas de celulosa. Por su composición, es un compuesto difícil de degradar debido a su recalcitrancia química y a su baja porosidad. La lignina se forma por la polimerización deshidrogenativa llevada al azar con tres alcoholes, p-hidroxicinámico, el alcohol 4-hidroxi-3-metoxicinámico y el alcohol 3,5-dimetoxi-4-hidroxicinámico (Laurichesse y Avérous, 2014).

Los principales organismos degradadores de lignina son los hongos de la pudrición blanca y café de la madera, pero se han identificado otros microorganismos con esta capacidad. Algunos ejemplos son: *Fusarium oxysporum*, *Penicillium sp.*, *Aspergillus* como *A. niger*, *A. flavus*, *A. japonicus* y *A. fumigatus*; también se han registrado hongos levaduriformes con la capacidad de degradar lignina, como *Candida sake*, *Cryptomyces laurentii*, *Rhodotorula glutinis* (Laurichesse y Avérous, 2014; Madadi y Abbas, 2017).

Cuadro 1. Tipos de hemicelulasas (Cooper, 2013).

Enzima	Modo de acción
Exo- β -(1,4)-xilanasas	Hidroliza enlaces β -1,4-xilosa unida a xilooligosacáridos libera xilobiosa.
Endo- β -(1,4)D-xilanasas	Hidroliza enlaces β -1,4, haciendo cortes internos al azar, liberando xilooligosacáridos.
β -D-xilosidas	Remueve residuos de xilosa de los extremos no reductores, produciendo xilosa.
α -L-arabinofuranosidas	Remueve las cadenas laterales de arabinosa.
α -Glucuronidas	Remueve las cadenas laterales de ácido glucurónico.
Acetil-xilan estearasa	Libera grupos o-acetilos al hidrolizar enlaces acetil-éster en acetil-xilanos.
Estearasa de ácido ferúlico Estearasa de ácido p-cumárico	Remueven el ácido ferúlico y p-cumárico de las arabinosas al hidrolizar los enlaces feruloil-éster y p-cumaril-éster con xilanos
Endo- β -1,4-mananasas	Libera β -1,4 mananoligómeros asociados a xilanos
Exo- β -1,4 manosidas	Hidroliza los β -1,4-manoligómeros liberando manosa
Endo-galactanasas	Hidroliza β -1,4-galactano
Acetil-manan-estearasa	Libera 2 o 3-O-acetilxilanos

Dado la heterogeneidad de la molécula de lignina y a su gran tamaño, los sistemas enzimáticos involucrados en su degradación deben ser extracelulares y no específicos. Poseen mecanismos oxidativos que producen radicales libres que reaccionan entre sí volviendo a polimerizarse (Ruiz Dueñas y Martínez, 2009). Las principales enzimas ligninolíticas son las Manganese Peroxidasas (MnP), Lignina Peroxidasas (LiP) y las Lacasas. Las dos primeras catalizan una variedad de reacciones oxidativas que son dependientes de H_2O_2 , y la tercera oxida compuestos fenólicos, reduciendo el oxígeno molecular a agua (Brijwani *et al.*, 2010).

Manganese Peroxidasas (MnP) (EC 1.11.1.13). Es una hemoproteína glicosilada con fuerte preferencia por el Mn^{2+} , lo oxida a Mn^{3+} , el cual forma complejos con ácidos dicarboxílicos o con α -hidroxiácidos, estos complejos se pueden difundir a cierta distancia de la enzima y oxidar a la lignina. Actúa principalmente sobre sustratos fenólicos y no fenólicos (Ijoma y Tekere, 2017).

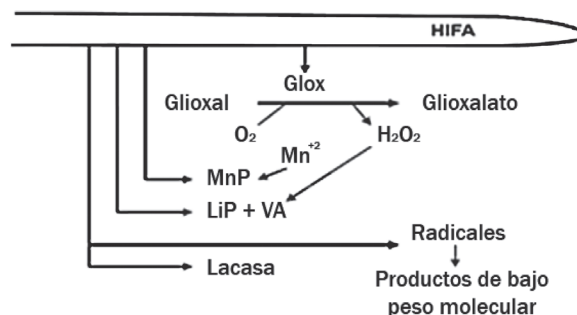
Lignina peroxidasas (LiP) (EC1.11.1.14). Es una hemoproteína glicosilada, extracelular, dependiente de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), caracterizada por su potencial redox inusualmente alto y su bajo pH óptimo que cataliza una variedad de reacciones oxidativas, actuando sobre grupos fenólicos y no fenólicos (Castillo, 2004, Niladevi, 2009).

Oxidasas productoras de H_2O_2 . Estas enzimas participan en la producción de H_2O_2 que además de ser utilizado como cosustrato por las peroxidasas, puede originar radical hidroxilo ($OH\cdot$) a través de la reacción de Fenton, agente oxidante muy potente capaz de llevar a cabo la degradación de materiales lignocelulósicos (Evans y Hedger, 2001; Pinto *et al.*, 2012).

Glioxal oxidasa. Como se puede apreciar en la (Figura 2), la enzima glioxal oxidasa es capaz de generar H_2O_2 mediante la oxidación de aldehídos alifáticos secretados por el propio hongo como el glioxal o el ácido glioxílico. Se trata de una metaloenzima que presenta en su centro activo un motivo catalítico de radical de cobre (Kersten y Cullen, 2007).

Lacasas (Lac) (EC 1.10.3.2). Las lacasas son enzimas que poseen un centro activo compuesto por cobre, por lo que también son llamadas multicobre oxidadas, este centro activo es oxidado por el oxígeno o por un compuesto aromático, generando un intermediario deficiente de un par de electrones (Bhamare *et al.*, 2016). Dicho componente será oxidado nuevamente por oxígeno o por sustratos fenólicos. El ciclo es completado gracias a cuatro oxidaciones posteriores, provocando que la enzima vuelva a su estado relajado (Sara *et al.*, 2016). Las lacasas son enzimas que no solo están presentes en organismos ligninolíticos, sino en gran variedad de hongos, participando en diversas funciones a lo largo de su desarrollo (Brijwani *et al.*, 2010).

Figura 2. Esquema de acción del sistema ligninolítico. Glox: glioxal oxidasa; MnP: manganeso peroxidasa; LiP: lignina peroxidasa; VA: veratril alcohol.



Fósforo y las enzimas requeridas para su asimilación. El fósforo es un elemento esencial para la nutrición de las plantas; provee calidad y precocidad a las plantas, ya que mejora la maduración, a diferencia del nitrógeno, que tiende a prolongar el crecimiento vegetativo. Forma parte de fosfolípidos y ácidos nucleicos en los órganos de reserva (las semillas y tubérculos) (Meléndez, 2003); además, participa en la acumulación de energía y combustible para todas las actividades bioquímicas de las células vivientes al formar parte del adenosín trifosfato (ATP). Es absorbido por estas en forma de fosfatos mono y diácidos. Entre los organismos productores de estas enzimas están: *Rhizobium* sp., *Arthrobacter* sp., *Pseudomonas* sp. y *Bacillus* sp. (Onthong *et al.*, 2007). Las fosfatasa catalizan la hidrólisis de ésteres y anhídridos del ácido fosfórico y están clasificadas de acuerdo al pH óptimo para su actividad en fosfatasa ácidas y fosfatasa alcalinas (Fernández *et al.*, 2008).

Nitrógeno y microorganismos fijadores. Los procesos que aportan la mayor parte del nitrógeno disponible en los sistemas biológicos son la fijación simbiótica y asimbiótica del N_2 . La capacidad de fijación del N_2 se realiza por organismos procarióticos. El organismo mejor caracterizado en condiciones aerobias es el *Azotobacter*. En condiciones anaerobias es el *Clostridium*. Las bacterias *Beijerinckia* y *Derxia* pueden ser encontradas en suelos ácidos y tropicales. Las cianobacterias pueden encontrarse en el suelo, a veces justo debajo de la superficie del mismo (El Sabagha *et al.*, 2016). La fijación biológica de N_2 es catalizada por una asociación enzimática llamada nitrogenasa, está compuesta por dos proteínas solubles, la del hierro (dinitrogenasa reductasa) y la del MoFe (dinitrogenasa). El MoFe es un cofactor esencial en la dinitrogenasa, las dos enzimas del complejo funcionan conjuntamente, la dinitrogenasa reductasa, reduce la dinitrogenasa, mientras que esta última reduce el N_2 . Ambas enzimas son necesarias para que se produzca la fijación del N_2 (Olimpia *et al.*, 2013).

Conclusiones

Para la producción de la composta se requiere degradar la materia orgánica lignocelulósica, la cual está formada con diferentes compuestos y diversos microorganismos que a su vez poseen enzimas. Para tener una composta estabilizada, se requiere una compleja sucesión de actividades enzimáticas de microorganismos degradadores que permitan descomponer la materia y proporcionar una composta de buena calidad con nutrientes inocuos que acceda a su aplicación en sistemas agrícolas. Para disminuir la gran cantidad de materia lignocelulósica que se produce a diario, se requiere de un proceso de compostaje que permita aprovechar a los microorganismos con beneficiosos al suelo, estimulando el desarrollo radicular e incrementando la microbiota rizosférica con efecto biocontrolador.

Literatura citada

AHMEDA, I., M. A. Ziaa, M. A. Hussaina, Z. Akramb, M. T. Naveedc, and A. Nowrouzid 2016. Bioprocessing of citrus waste peel for induced pectinase production by *Aspergillus niger*; its purification and characterization. *J Radiat Res Appl Sci* 9(2):148-154.

- BALDRIAN, P. and V. Valaskova. 2008. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. *FEMS Microbiol Rev*.
- BELTRÁN, M. E. 2014. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 15(1):101-113.
- BHAMARE, H. M. and R. Z. Sayyed. 2016. Microbial Laccase: Production and their potential applications. Book of Advances in Bio-MedicoSciences and Health Education. Excel India Publishers New Delhi:173-190.
- BRIJWANI, K., A. Rigdon, and P. V. Vadlani. 2010. Fungal Laccases: Production, Function, and Applications in Food Processing. *Enzyme Res* 10.
- CASTILLO, D. 2004. Aislamiento de hongos degradadores de colorantes empleados en la industria textil. *Centro de Investigaciones en Biotecnología Aplicada*: 4-10.
- CERÓN, R. L. y M. L. Melgarejo. 2005. Enzimas del suelo: Indicadores de salud y calidad. *Acta Biol Colomb* 10(1):5-18.
- COOPER, B. 2013. Enzimas xilanolíticas bacterianas y sus aplicaciones industriales. *Revista Vertientes*. 16(1):19-22.
- CUNHA, A. G. and A. Gandini. 2010. Turning polysaccharides into hydrophobic materials: a critical review. Part 1. *Cellulose* 17(5):875-889.
- EL SABAGHA, A., A. Omara, H. Saneokab, and M. I. Sohitud. 2016. Roles of compost fertilizer on nitrogen fixation in soybean (*Glycine max* L.) under water deficit conditions. *Agric Adv* 5(7):340-344.
- EVANS, C. S. and J. N. Hedger. 2001. Degradation of plant cell wall polymers. In: Gadd GM, editor. Fungi in bioremediation. In: British Mycological Society. Cambridge Univ. Press: 1-20.
- FERNÁNDEZ, L. A., M. A. Sagardoy, y M. A. Gómez. 2008. Estudio de la fosfatasa ácida y alcalina en suelos de la región Pampeana norte del área sojera argentina. *Ciencia Suelo (Argentina)* 26(1):35-40.
- GOEDEGEBUUR, F., T. Fowler, J. Phillips, P. Van Der Kley, P. Van Solingen, L. Dankmeyer and S. Power. 2002. Cloning and relational analysis of 15 novel fungal endoglucanases from family 12 glycosyl hydrolase. *Curr Genet* 41:89-98.
- KIBBLEWHITE, M. G., K. Ritz, and M. J. Swift. 2008. Soil health in agricultural systems. *Phil Trans R Soc Series B* 363:685-701.
- HAYES, M. and S. Swift. 2017. An appreciation of the contribution of Frank Stevenson to the advancement of studies of soil organic matter and humic substances. *J Soils Sediments*: 1-20.
- HIMMEL, M. E., S. Y. Ding, and D. K. Johnson. 2007. Biomass recalcitrance: engineering plants and enzymes for biofuels production. *Science* 315: 804-807.
- HORN, S. J., G. Vaaje-Kolstad, B. Westereng, and V. G. Eijsink. 2012. Novel enzymes for the degradation of cellulose. *Biotech Biofuels* 5: 45.
- IJOMA, G. N. and M. Tekere. 2017. Potential microbial applications of co-cultures involving ligninolytic fungi in the bioremediation of recalcitrant xenobiotic compounds. *International Environ Sci Technol*.
- ITO, S., S. Hamada, H. Ito, H. Matsui, T. Ozawa, H. Taguchi, and S. Ito. 2009. Site-directed mutagenesis of possible catalytic residues of cellobiose 2-epimerase from *Ruminococcus albus*. *Biotech Letters* 31(7): 1065-1071.

- JOINVILLE, S., M. Revault, H. Quiquampoix, and M. H. Baron. 2004. Structural effects of drying and rehydration for enzymes in soils: kinetics-ftir analysis of chymotrypsin adsorbed on montmorillonite. *J Colloid Interface Sci* 273:414-425.
- JULCA, O. A., F. L. Meneces, y S. R. Blas. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA, Chile* 24(1):49-61.
- KADOKAWA, J. 2011. Precision polysaccharide synthesis catalyzed by enzymes. *Chem Rev* 111: 4308-4345.
- KEELING, P. and A. Myers. 2010. Biochemistry and Genetics of Starch Synthesis. *Annu Rev Food Sci Technol* 1:271-303.
- KERSTEN, P. and D. Cullen. 2007. Extracellular oxidative systems of the lignin-degrading Basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *YFungal Genet Biol* 44(2):77-87.
- KOPEČEK, M., K. Gondek, M. Mierzwa-Hersztek, and T. Zaleski. 2016. Effect Of The Composting Process On Physical And Energetic Changes In Compost. *Acta Agrophys*, 23(4):607-619.
- KUMAR, R., S. Singh, and O. Singh. 2008. Bioconversion of lignocellulosic biomass: biochemical and molecular perspectives. *J Ind Microbiol Biotechnol* 35:377-391.
- LAICH, F. 2011. El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. Jornada Técnica: fertilidad y calidad del suelo. Experiencias de fertilización orgánica en platanera. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. ICIA. Proyecto BIOMUSA 5.
- LAURICHESSE, S. and L. Avérous. 2014. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. *Prog Polym Sci* 39(7):1266-1290.
- LI, X., Y. Hua-Jun, B. Royhaskar, D. Wang, W. Yue, L. Jiang, E.Y. Park, and Y. Miao. 2009. The most stirring technology in future: cellulase enzyme and biomass utilization. *Afr J Biotechnol* 8(11):2418-2422.
- LYND, L. R., P. J. Weimer, H. Van Zyl, and I. S. Pretorius. 2002. Microbial cellulose utilization: Fundamentals and biotechnology. *Microbiol Mol Biol Rev Hanover, NY* 66(3):506-577.
- MADADI, M. and A. Abbas. 2017. Lignin degradation by fungal pretreatment: A Review. *J Plant Pathol Microbiol* 8(2): 398.
- MARTIN, D., S. Wettstein, M. A. Mellmer, E. I. Gurbuzab, and J. A. Dumesic. 2013. Integrated conversion of hemicellulose and cellulose from lignocellulosic biomass. *Energy Environ Sci* 6:76-80.
- MARTÍNEZ-ÁVILA, G. C. G., Martínez-Vázquez, D. G, R. Rodríguez-Herrera and C. N. Aguilar. 2011. *Plant cell-wall degradation*. In: *Phytopathology in the Omics Era*. Research Signpost, Kerala, India, Capítulo 8:1-8.
- MELÉNDEZ, C. 2003. Residuos orgánicos y la materia orgánica del suelo. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Taller de abonos orgánicos. 5-30.
- MENESES, C. 2011. Caracterización y selección de microorganismos asociados a residuos lignocelulósicos de la higuera (*Ricinus communis*). Tesis. Universidad Católica de Manizales, Colombia: 21-28.
- MONDINI, C., F. Fornasier and Sinicco T. 2004. Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. *Soil Biol Biochem* 36:1587-1594.
- NILADEVI, K. N. (2009) Ligninolytic enzymes. In P. Singh & A. Pandey (Eds.), *Biotechnology for agro-industrial residues utilisation*. Dordrecht: Springer Netherlands: 398-410.
- NING, T., H. Wang, M. Zheng, D. Niu, S. Zuo, and Xu C. 2017. Effects of microbial enzymes on starch and hemicellulose degradation in total mixed ration silages. *Asian-Australas J Anim Sci* 30(2):171-180.
- OLIMPIA, P., V. Ventorino and G. Blaiotta 2013. Dynamic of functional microbial groups during mesophilic composting of agro-industrial wastes and free-living (N₂)-fixing bacteria application. *Waste Manag* 33(7):1616-1625.
- ONTHONG, J., S. Gimsanguan, A. Pengnoo, C. Nilnond and M. Osaki. 2007. Effect of pH and some cations on activity of acid phosphatase secreted from *Ustilago* sp. Isolated from acid sulphate soil. *Songklanakarin J. Sci Technol* 29:275-286.
- PAYNE, C. M., B. C. Knott, H. B. Mayes, H. Hansson, M. E. Himmel, M. Sandgren, J. Sta-Hilberg and G. T. Beckham. 2015. Fungal Cellulases. *Chem Rev* 115:1308-1448.
- PINTO, P. A., A. A. Dias, I. Fraga, G. Marques, M. A. Rodrigues, J. Colaço, A. Sampaio and R. M. Bezerra. 2012. Influence of ligninolytic enzymes on straw saccharification during fungal pretreatment. *Bioresour Technol* 111:261-267.
- POTHIRAJ, C., P. Kanmani, and P. Balaji. 2006. Bioconversion of Lignocellulose Materials. *Mycobiology* 34(4):159-165.
- RICHARDSON, A. E. and R. J. Simpson. 2011. Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant physiology* 156(3): 989-996.
- RUIZDUEÑAS, F. J., and Á. T. Martínez. 2009. Microbial degradation of lignin: how a bulky recalcitrant polymer is efficiently recycled in nature and how we can take advantage of this. *Micr Biotechnol* 2(2):164-177.
- SAHA, B. C. 2003. Hemicellulose bioconversion. *J Ind Microbiol Biotechnol* 30:279-29.
- SARA, B., K.C. Noredine, and J. Destain. 2016. Production of laccase without inducer by *Chaetomium* species isolated from Chettaba forest situated in the East of Algeria. *Afr J Biotechnol* 15(7):207-213.
- SORIANO, L. M. 2004. Análisis de sistemas pectinolíticos bacterianos. Aislamiento y caracterización de las pectinasas PEIA de *Paenibacillus* sp. BP23 y YvpA de *Bacillus subtilis*. Tesis doctoral Barcelona.
- TORTAROLO, M. F., M. Pereda, M. Palma, y N. Arrigo. 2008. Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. *Ciencia del Suelo* 26(1):41-50.
- VARGAS-GARCÍA, M. C., F. Suárez-Estrella, M. J. López, y J. Moreno. 2007. In vitro Studies on lignocellulose degradation by microbial strains isolated from composting processes. *Int Biodeterior Biodegrad* 59(4):322-328.
- WILSON, D. B. 2011. Microbial diversity of cellulose hydrolysis. *Curr Opin Microbiol* 14:259-263.

Este artículo es citado así:

Mena-Espino, X., M. E. Mena-Espino y M. E. Tavera-Cortés. 2017. Enzimas y organismos importantes dentro del proceso de compostaje. *TECNOCENCIA Chihuahua* 11(3):147-154.

Resumen curricular del autor y coautores

XENIA MENA ESPINO. Terminó su licenciatura en la Facultad de Química en la Universidad Autónoma de Campeche. En Campeche realizó los estudios de maestría en Microbiología. Realizó su doctorado en el Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán obteniendo el doctorado en Biotecnología. Hizo una estancia en el Instituto de Biotecnología de la Universidad Autónoma de México y laboró en el Colegio de Posgraduados campus Campeche. Posteriormente ingresó al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) sede Zacatenco para realizar el posdoctorado por dos años trabajando en biorremediación de suelos, al terminar este periodo ingresó como Investigador de Cátedra CONACYT-División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. Ha titulado a estudiantes de licenciatura y maestría. Ha publicado diversos artículos científicos en revistas internacionales y congresos. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores.

MARÍA ESTHER MENA ESPINO. Le fue otorgado el título de Químico Farmacéutico Biólogo por la Facultad de Ciencias Químico Biológicas en la Universidad Autónoma de Campeche. Realizó su maestría en el Colegio de Postgraduados Campus Campeche, donde luego estuvo laborando como asistente de investigación. Desde el 2013 labora en la Facultad de Medicina, en la licenciatura de Médico Cirujano, como Profesor e Investigador asociado "C". Es responsable de Laboratorio de Análisis Clínicos de la Facultad e integrante del comité del sistema de gestión ambiental. Ha publicado en revistas internacionales y participado en congresos nacionales e internacionales.

MARÍA ELENA TAVERA CORTÉS. Es profesora Investigadora de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas del Instituto Politécnico Nacional en México. Imparte las cátedras de Macroeconomía, Economía Ambiental y Gestión de Proyectos. Desempeñó el cargo como jefa de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la UPIICSA durante el periodo de 2009 a 2013. Ha realizado evaluaciones en el marco de la convocatoria 2017 del programa de estímulos a la innovación del CONACYT. Ha sido directora de proyectos vinculados con la Comisión Federal de Electricidad y la empresa Tecnosilicatos de México, S. A. de C.V. Ha publicado diversos artículos científicos en revistas internacionales y congresos. En el año 2013 obtuvo el Premio Blis en la categoría de posgrado otorgado por la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Trabaja la línea de Investigación sobre Desarrollo Sustentable y Financiamiento. Actualmente coordina el Laboratorio de Economía y Gestión Ambiental de la UPIICSA, donde dirige el proyecto de producción de energía limpia y factibilidad tecnológica en las planta de compostaje de la Ciudad de México.

Statistical model for the analysis of temperature: case study the 1895 - 2014 serie for Florida state

Modelo para el análisis de valores de temperatura: caso de estudio serie 1895-2014 del estado de Florida, EUA

HÉCTOR QUEVEDO-URÍAS^{1,2}, FELIPE ADRIÁN VÁZQUEZ-GÁLVEZ¹, ERNESTOR ESPARZA¹,
ÓSCAR IBÁÑEZ¹ Y TULIO SERVIO DE LA CRUZ¹

Recibido: Febrero 14, 2017

Aceptado: Enero 13, 2018

Abstract

This study applied experimental design to mean annual, mean maximum and mean minimum temperatures of Florida State, U. S. A. Considerations are: 1. Testing various continuous probability distributions, to identify the best one, to avoid experimental errors using the statistics Anderson-Darling (A-D) and P-value. The results showed the normal distribution was the best. 2. Calculations of descriptive statistical for the mean annual, mean maximum and mean minimum temperatures. The results showed very little experimental errors. 3. Constructing normal probability plotting positions to calculate return periods and probabilities of occurrence. 4. Construction of time-series analysis and its subjectivist validation, to assess annual temperature trends. The results showed upward trends for the mean annual, mean maximum and mean minimum temperatures. 5. Establishing a reliable database temperature framework for Florida State, to be used by researchers in meteorology, environmental engineering, hydrology, civil engineering, agriculture, etc.

Keywords: Experimental design, normal probability plotting positions and time-series analysis.

Resumen

Este estudio aplicó diseño experimental a las temperaturas promedio anuales, medias máximas y medias mínimas del estado de Florida, EUA. Las consideraciones son: 1. Análisis de varias distribuciones de probabilidad continua, para identificar la óptima, para evitar errores experimentales usando la estadística Anderson-Darling (A-D) y valor de p. Los resultados mostraron la distribución normal como la mejor. 2. Cálculos de estadísticas descriptivas de la temperatura media anual, media máxima y media mínima. Los resultados mostraron muy pocos errores experimentales. 3. Construcción de posiciones gráficas de probabilidad normal para calcular periodos de retorno y probabilidades de ocurrencia. 4. Estructuración de análisis de series de tiempo y su validación subjetivista, para analizar las tendencias de temperaturas anuales. Los resultados mostraron directrices alcistas de las temperaturas, para las medias anuales, medias máximas y medias mínimas. 5. Establecimiento de una infraestructura de datos de temperaturas para el estado de Florida, EUA para ser usados por investigadores en meteorología ingeniería ambiental, hidrología, ingeniería civil, agricultura, etc.

Palabras clave: diseño experimental, posiciones gráficas de probabilidad normal y análisis de series de tiempo.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ. Instituto de Ingeniería y Tecnología, Departamento de ingeniería Civil y Ambiental. Av. Del Charro No. 450N, Ciudad Juárez, Chih. CP 32310.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: hquevedo@uacj.mx.

Introduction

Atmospheric observing systems were established in support of economically relevant activities such a food production, transportation, hidrometeorological and weather forecasting and lost prevention. More recently, long data-series are the base for tendency analysis in the detection of global warming and urban heat islands.

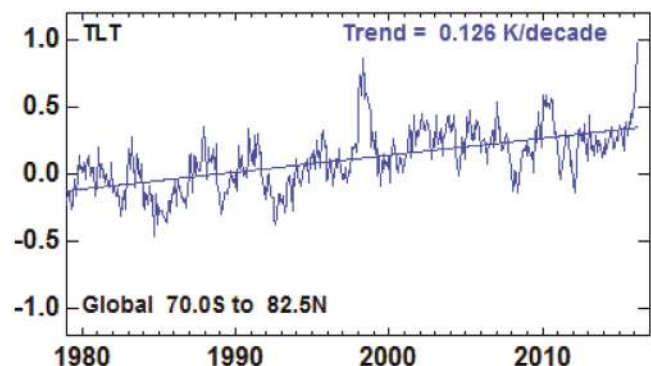
Unfortunately, certain practices that may be of little significance in an operational environment, such as relocating a station or shifting its observation time, may have a profound impact on the integrity of the historical record (Vose and Mathhew 2004). As a result, data from most existing networks needs adjustments to account for historical variations in observing practice as recognized by experts and the World Meteorological Organization (Panel on Climate Observing Systems Status 1999; Peterson *et al.* 1998). Even after the careful application of statistical adjustments, it is often not possible to address many critical aspects of climate variability and change (Karl *et al.* 1995). This situation has lead to increasingly frequent calls for the deployment of new observing systems and statistical techniques to test the validity os long data-series.

The objective of this study was the application of statistical functions to a 118-year sample of temperature data of the State of Florida, U.S.A., for period 1895-2014. The study applied experimental design techniques to identify and control background experimental errors to assure the optimization of the results. To do so, the study calculated descriptive statistics and cumulative and density probabilities aimed to check for the symmetry of the data to preclude experimental errors. Another objective was the application of a screening process to identify the most appropriate continuous probability distribution, to control experimental errors aimed at improving the results. Another directive was the establishments of normal probability plotting positions to calculate periods of return and probabilities of occurrence, for any desired temperature. Another goal was the structuring of time series statistical graphical models to predict temperature trends for wide-state Florida. Finally, the ultimate goal was the establishing of a reliable database temperature framework for Florida State, to be used by researchers in meteorology, environmental engineering, hydrology, civil engineering, agriculture, etc.

Insofar as the application of continuous probability distributions, there are several revisions done on the subject. For example, Quevedo (2012), in his book of hydrology, applied experimental design techniques, to identify the most appropriate probability function, as the normal, lognormal, gamma, Weibull, Gumbel, and so on, to minimize the experimental error, thus, to optimize de results. Additionally, Quevedo *et al.* (2014) used an analogous procedure, in a study on precipitation values of El Paso, Texas, aimed to minimize the background noise, thus to enhance the results.

Another source of information on temperatures trends is provided by the organization Remote Sensing Systems, which discusses measurement methods for upper air temperatures and temperature measurements in the lower troposphere. In (Figure 1) below shows the graph of globally averaged temperature anomaly time series for the Lower Tropospheric Temperature (TLT). The plot shows the warming of the troposphere over the last 3 decades, which has been attributed to human-caused global warming.

Figure 1. Figure showing globally averaged temperature anomaly time series for the Lower Tropospheric Temperature (TLT). The plot shows the warming trends of the troposphere over the last 3 decades, which has been attributed to anthropogenic-caused global warming. Source: Remote Sensing Systems (<http://www.remss.com/measurements/upper-air-temperature>).



These concerns had been fully documented by the IPCC as well as the relentless increment of recognized effects of climate change in all human and no-human vital systems (IPCC 2007). Coastal communities as those in Florida, California, Tabasco and others are becoming more vulnerable to the rise of sea level, wildfires, heat waves and droughts. Currently, one of the most comprehensive long-term temperature and precipitation data for the continental US states is the one provided by NOAA's U. S. Climate database suitable for statistical models.

Materials and methods

The methodology consisted in the processing of a sample data of mean annual, mean maximum and mean minimum temperatures values for the period of 1895 to 2014 for the State of Florida, U.S.A. To accomplish such goal, the study applied several statistical functions, as descriptive statistics, and boxplot diagrams (though not shown here explicitly), to check for the symmetry of the data and the possible identification of outliers that could give to experimental errors. The study also calculated cumulative and density probabilities, to check for the symmetry and skewness of the data. The method attempted different probability graphs using the temperature values to determine the best probability distribution that fits the data, thus eliminating experimental errors. The Minitab computer program was used to do this task, because it determines the best continuous probability distribution based on the value of the Anderson-Darling goodness of fit test and the P-value, in order to control background noise. Also, the procedure arranged normal probability plotting positions to calculate periods of return and probabilities of occurrence. Finally, the process constructed time series graphical trend analyses for the prediction of mean annual temperatures and minimum and maximum annual temperatures.

This being so, this research used the temperature values shown in (Table 1) below, which displays the time, in years, from 1895 to 2014, the mean annual temperatures, the mean annual maximum temperatures and the mean minimum annual temperatures, expressed in degrees Fahrenheit (°F).

Similarly, this research prepared a summary of descriptive statistics that included the mean, the median, the standard deviation, the variance, the skewness and the maximum and minimum values. This was done to check for the symmetry of the data, to identify and control the possibility of experimental errors. Tables 2, 2a and 2b beneath show a summary of descriptive statistics using the data of Table 1.

Table 2. Table showing the values of the mean, standard deviation, median, minimum and maximum values, range. Skewness and kurtosis corresponding to the mean annual temperatures for the State of Florida.

Mean	St. Dev.	Median	Min	Max	Range	Skewness	Kurtosis
70.243	0.8909	70.2	68	72.5	4.5	0.025729	-0.10403

Table 2a. Table showing the values of the mean, standard deviation, median, minimum and maximum values, range, skewness and kurtosis corresponding to the mean minimum annual temperatures for the State of Florida.

Mean	St. Dev.	Median	Min	Max	Range	Skewness	Kurtosis
59.42	1.044	59.4	56.8	62.2	5.4	-0.03825	-0.0455

Table 2b. Table showing the values of the mean, standard deviation, median, minimum and maximum values, range, skewness and kurtosis corresponding to the mean maximum annual temperatures for the State of Florida.

Mean	St. Dev.	Median	Min	Max	Range	Skewness	Kurtosis
80.948	0.8958	81	79	83.6	4.6	0.030062	-0.1844

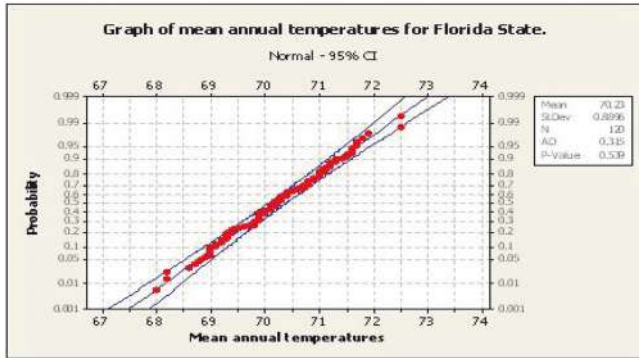
Later on, the methodology applied several continuous probability distributions, by going through a trial-and-error procedure to identify the most appropriate probability function, as the normal, lognormal, gamma, Weibull, Gumbel, and so on. This was done basing the criterion on the smallest values of the Anderson-Darling (A-D) goodness-of fit test, and on the P-value. This procedure was done to eliminate a possible source of experimental errors (which it did). For example: Figure 2. Below shows the graph of the mean annual temperatures values using the data of Table 1.

Table 1. Table showing the mean annual temperatures, the mean annual maximum temperatures and the mean minimum annual temperatures, expressed in degrees Fahrenheit (°F), for period 1895 to 2014.

Time	Mean ann. temp.	Mean max. ann. temp.	Mean mín. ann. temp.	Time Cont.	Cont.	Cont.	Cont.
1895	68.7	79.1	58.4	1955	70.2	81.4	59
1896	69.9	80.3	59.6	1956	69.9	81.2	58.6
1897	70.4	80.7	60.2	1957	71	81.3	60.7
1898	70.1	80.8	59.4	1958	69	79.2	58.7
1899	70.4	80.9	59.8	1959	70.6	80.5	60.7
1900	69.9	80.2	59.6	1960	69.3	80	58.6
1901	68	79	57	1961	70	81.2	58.9
1902	69.9	80.7	59.1	1962	69.9	81	58.7
1903	69	79.6	58.4	1963	69.2	80.2	58.3
1904	69.3	80.4	58.1	1964	70.1	80.4	59.7
1905	70.1	80.4	59.7	1965	70.2	80.8	59.6
1906	69.7	79.9	59.4	1966	69	79.4	58.7
1907	70.5	81.7	59.4	1967	70.2	81.4	59
1908	70.3	81.2	59.4	1968	68.6	79.9	57.3
1909	70.2	81.2	59.2	1969	69	79.5	58.5
1910	68.2	79.6	56.8	1970	69.4	80.3	58.6
1911	71.3	82	60.5	1971	70.4	81.6	59.3
1912	70	79.9	60.1	1972	71	81.6	60.3
1913	70	80.6	59.4	1973	70.3	80.9	59.7
1914	69.1	79.6	58.5	1974	70.9	82	59.8
1915	69.1	79.6	58.6	1975	71.2	82	60.4
1916	69.6	80.5	58.7	1976	69	80	58
1917	68.8	80	57.6	1977	69.4	80.6	58.3
1918	69.8	80.4	59.3	1978	69.8	80.5	59
1919	70.4	80.6	60.1	1979	69.9	80.5	59.2
1920	69.8	79.3	58.5	1980	69.9	80.8	59.1
1921	71	82	60	1981	69.3	81	57.5
1922	71.1	81.3	60.8	1982	71.5	81.9	61.1
1923	70.1	80.5	59.6	1983	69.3	79.6	58.9
1924	69.4	79.9	58.8	1984	70	80.8	59.2
1925	70.4	81.1	59.8	1985	70.8	81.6	60
1926	69.3	80	58.6	1986	71.5	82.1	60.8
1927	71.1	82.4	59.8	1987	70.2	80.8	59.5
1928	69.3	80	58.6	1988	69.7	80.6	58.8
1929	70.7	81.1	60.3	1989	71	82	60
1930	69.2	79.4	59	1990	72.5	83.6	61.4
1931	69.9	80.7	59	1991	71.8	81.9	61.7
1932	71	81.6	60.4	1992	70.3	80.6	59.9
1933	70.9	81.6	60.1	1993	70.3	81	59.6
1934	69.8	80.6	59	1994	71.6	81.5	61.5
1935	69.8	80.7	58.9	1995	70.8	81.2	60.5
1936	70.1	80.6	59.6	1996	69.9	80.7	59
1937	69.8	80.3	59.4	1997	71.1	81.6	60.7
1938	70.2	81.3	59.1	1998	72.5	82.8	62.2
1939	70.6	81.6	59.6	1999	71.2	82.2	60.1
1940	68.2	79.2	57.2	2000	70.6	82.1	59.1
1941	69.9	80.5	59.2	2001	70.9	81.7	60.1
1942	69.4	80.7	58.1	2002	71.3	81.8	60.8
1943	69.5	81.1	57.9	2003	70.9	81.2	60.6
1944	70.2	81.4	58.9	2004	70.8	81.4	60.3
1945	70.7	81.7	59.8	2005	70.8	81	60.7
1946	71.2	81.7	60.8	2006	71.4	82.5	60.3
1947	70.3	80.4	60.3	2007	71.8	82.4	61.1
1948	71.6	82	61.2	2008	70.8	81.5	60.2
1949	71.6	82.3	60.9	2009	71.2	81.7	60.7
1950	70.3	81.4	59.1	2010	69.2	80.1	58.3
1951	70.4	81.5	59.2	2011	71.7	82.8	60.6
1952	70.3	81.2	59.4	2012	71.9	82.4	61.4
1953	70.8	81.2	60.5	2013	71.7	81.8	61.6
1954	70.1	81.3	59	2014	70.7	81.2	60.2

Source: NOAA-National Oceanic and Atmospheric Administration.

Figure 2. The normal probability graph of the mean annual temperatures for Florida State, with the goodness of fit test of the Anderson-Darling value of 0.315 and a P-Value of 0.539.



Similarly,

Figure 3. Below shows the plot of the mean maximum annual temperatures (left figure) and underneath depicts the mean minimum annual temperatures.

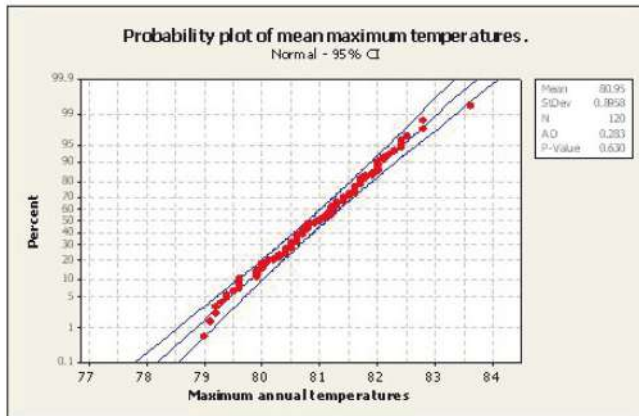
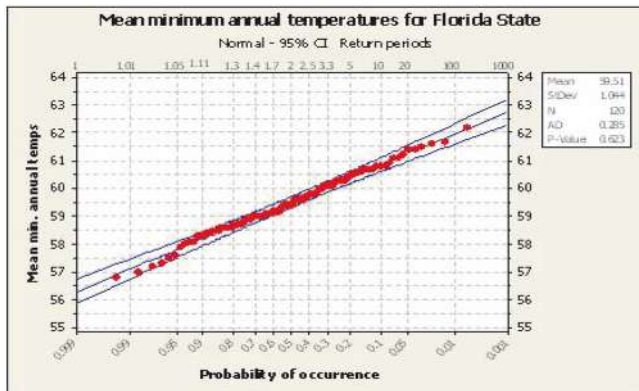


Figure 4. Left: the normal probability plot for the mean maximum annual temperatures, with the goodness of fit test of the Anderson-Darling value of 0.283 and a P-Value of 0.630. Right: the normal probability plot for the mean minimum annual temperatures, with the goodness of fit test of the Anderson-Darling value of 0.285 and a P-Value of 0.623.



Normal distribution. The methodology selected the normal distribution, as the tool to process the data. In this way, the probability density function of a random normal variable X , with μ equal to 0 (where $-\infty < \mu < \infty$) and standard deviation σ equal to 1 is:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{(2\pi)^{0.5} \sigma} \exp - (0.5) \left[\frac{(x - \mu)}{\sigma} \right]^2 \quad (1)$$

$$-\infty < x < \infty$$

Where the parameter μ is the mean of the normal distribution and where σ is the standard deviation and its variance is σ^2 .

However, if $\mu = 0$ and $\sigma = 1$, the distribution is called the normal standard distribution as shown below:

$$f(x) = \frac{\exp - (0.5 x^2)}{(2\pi)^{0.5}} \quad (1a)$$

Analogously, the cumulative normal distribution is the integral of:

$$P(x_1 < X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} N(x; \mu, \sigma) dx \quad (2)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^{0.5} \sigma} \int_{x_1}^{x_2} \exp - (0.5) \left[\frac{x - \mu}{\sigma} \right]^2 dx \quad (2a)$$

Since it is difficult to resolve mathematically the integral without recurring to numeric methods, it is necessary to consult the table of the normal distribution to make transformations, that is:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (3)$$

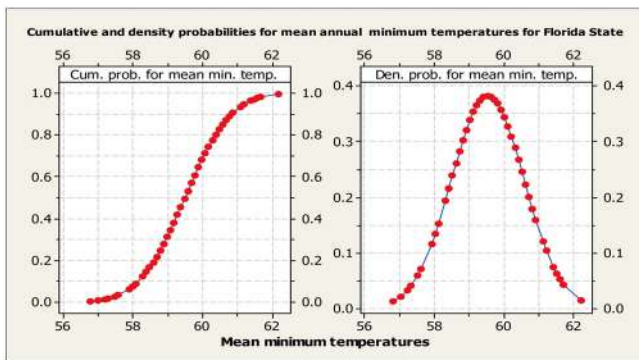
Or its statistics $Z = \left(\frac{X - \bar{X}}{s} \right) \quad (3a)$

Later on, the methodology included a box plot diagram to identify outliers. This statistical method identifies what is called outliers or unusually large or small observations that can cause variability of the data, thus of experimental error or noise that can degrade the response variable. Though not shown here, the box plot diagrams did identify one outlier of one mean maximum annual temperature, which corresponded to a value of 83.6 °F that occurred in 1990 (see Table 1). Nonetheless, this extreme value had little effect on the experimental error.

The methodology's next step consisted in the calculation of the mean annual, mean minimum and mean maximum cumulative and density probabilities (though the values not shown here, explicitly, but only their corresponding graphs) and their graphical analysis to estimate temperature probabilities and to check for the symmetry (or skewness) of the distributions of temperatures. In this instance, Figure 5 below shows this situation. Similarly, the methodology constructed graphs for the cumulative and density probabilities for the maximum temperatures, as displayed in Figure 6 below.

Consistently, the procedures constructed the graphs for the minimum cumulative and density probabilities, as exposed in Figure 7.

Figure 5. Graph showing the cumulative and density probabilities for mean annual temperatures for Florida State. The left curve shows the cumulative probabilities and the right graph shows the density probabilities.



The next step consisted in structuring normal probability plotting positions for the mean annual; mean maximum and mean minimum temperatures, for the purpose of estimating periods of return and probabilities of occurrence, for each one of those

three categories. For example, Figure 8 shows normal probability plotting position for the mean annual temperatures.

Figure 6. Graph showing the cumulative and density probabilities for mean annual maximum temperatures of Florida State. The left curve shows the cumulative probabilities and the right graph shows the density probabilities.

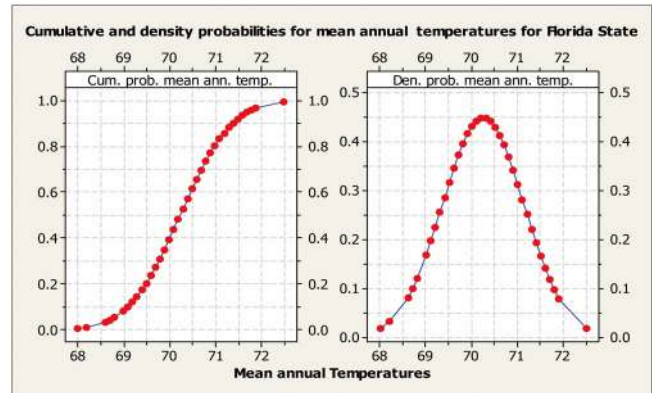
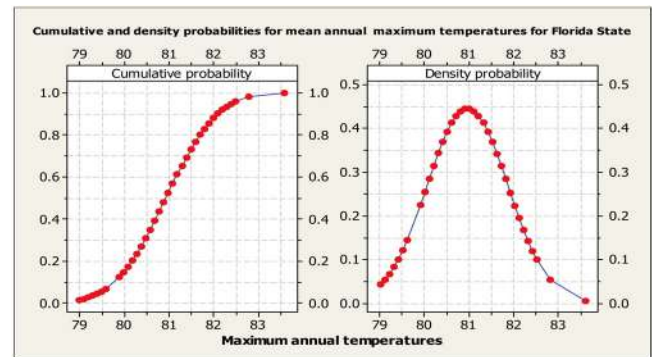


Figure 7. Graph showing the cumulative and density probabilities for mean minimum annual temperatures for Florida State. The left curve shows the cumulative probabilities and the right graph shows the density probabilities.



Similarly, Figure 9 shows the normal probability plotting position for mean minimum annual temperatures. Correspondingly, Figure 10 beneath shows the normal probability plotting position for mean maximum annual temperatures. Likewise, the methodology built a time-series graphical analysis and its residual subjectivist validation, to assess annual temperature trends for state-wide Florida. Figure 11 below depicts this situation.

Further, the residual subjectivist complementary plot validation of the time series linear trend model of Figure 11 is shown in Figure 11a.

Figure 8. Graph showing the normal probability plotting position of mean annual temperatures, as a function of periods of return and their probabilities of occurrences.

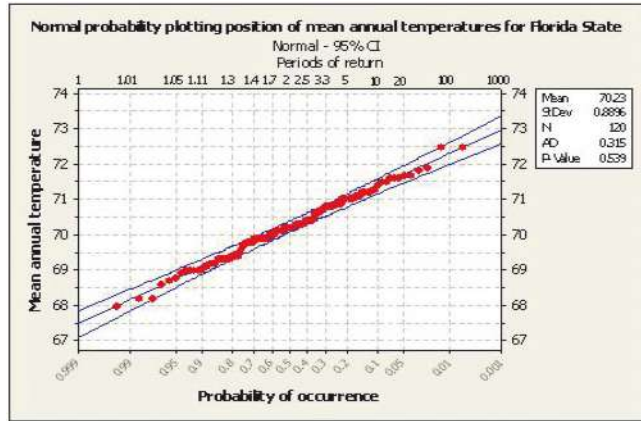
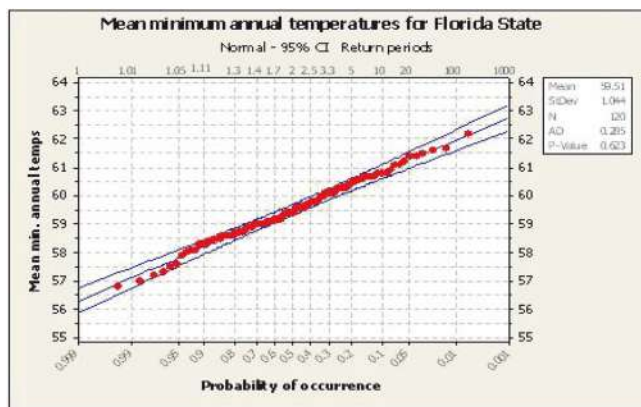


Figure 9. Graph showing the normal probability plotting position for mean minimum annual temperatures, as a function of periods of return and their related probabilities of occurrences.



Additionally, Figure 12 underneath shows the graph of the mean maximum linear trend model and its accuracy criteria of MAPE, MSD and MAD. Still, the corresponding residual subjectivist plot validation for the mean maximum temperatures of Figure 12 is shown in Figure 12a.

Figure 10. Graph showing the normal probability plotting position for the mean maximum annual temperatures, as a function of periods of return and their associated probabilities of occurrences.

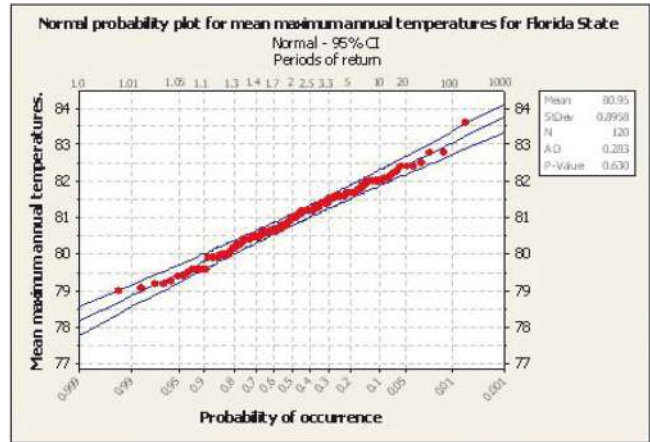


Figure 11. Graph showing the linear trend model for the mean annual temperature values of the State of Florida. This graph includes the linear trend model and MAPE, MAD and MSD accuracy measures.

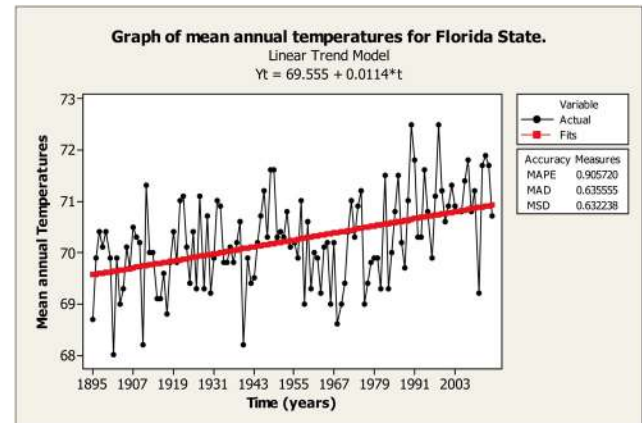


Figure 11a. Graph showing the residual plots for the mean annual temperatures, which includes the normal probability plot, the residual fitted values plot, the histogram and residual observation order plot.

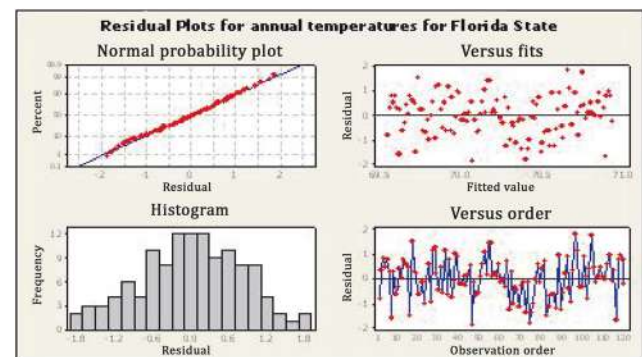


Figure 12. Graph showing the linear trend model for the mean annual maximum temperature values of the State of Florida. This graph includes the linear trend model and the values of MAPE, MAD and MSD accuracy measures.

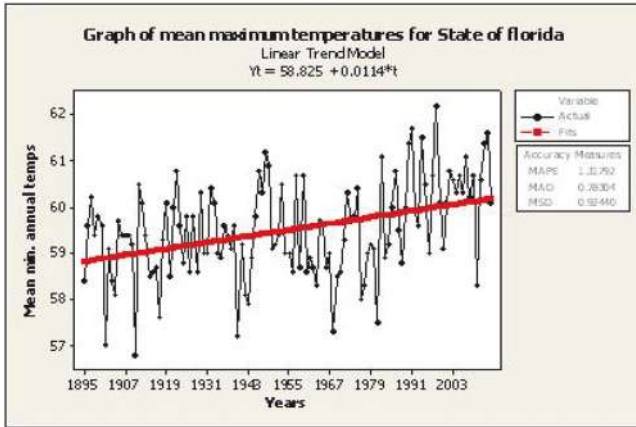


Figure 12a. Graph showing the residual plots for the mean annual maximum temperatures, which includes the normal probability plot, the residual fitted values plot, the histogram and residual observation order plot.

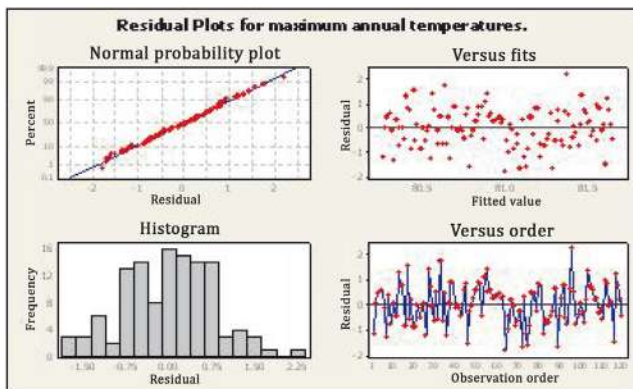


Figure 13. Graph showing the linear trend model for the mean minimum annual temperature values of the State of Florida. This graph includes the value of MAPE, MAD and MSD accuracy measures.

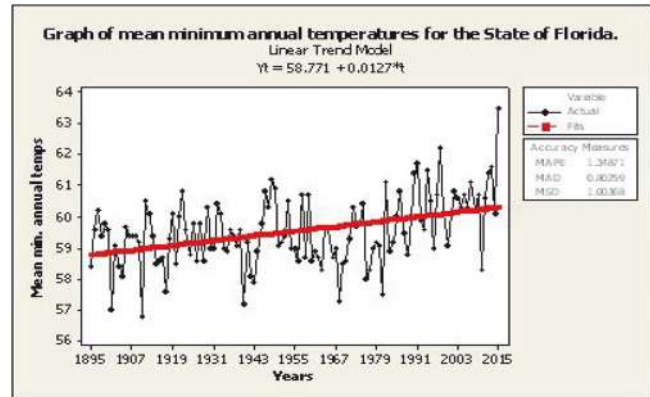
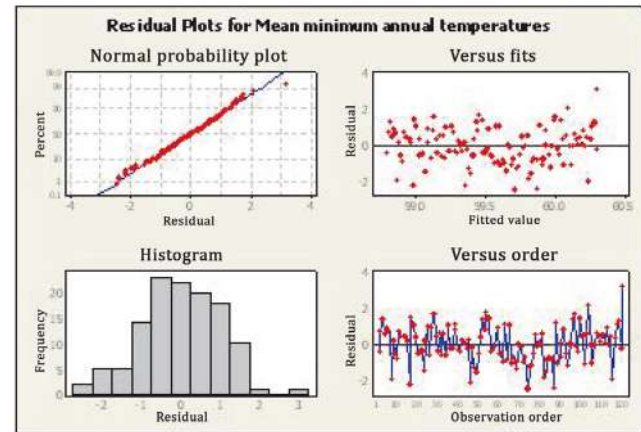


Figure 13a. Graph showing the residual plots for the mean minimum annual temperatures, which includes the normal probability plot, the residual fitted values plot, the histogram and residual observation order plot.



Similarly, Figure 13 shows the graph of the mean minimum linear trend model and its accuracy diagnostic criteria of MAPE, MSD AND MAD. Finally, Figure 13a below shows the residual subjective plots of the mean minimum temperatures that complement the results of Figure 13.

Results and discussions

Table 1 shows the mean annual temperatures values, mean annual maximum and mean minimum temperatures values expressed in degrees Fahrenheit

(°F), for the period 1895 to 2014, for the State of Florida. The National Oceanic and Atmospheric Administration National Centers apportioned this information for Environmental information (<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>).

This research chose the data of temperature values of the State of Florida, because of its availability and precision. By examining Table 1, there was only one outlier value corresponding to the mean annual maximum value of 83.6 °F, which occurred in 1990. Aside from that, Tables 2, 2a and 2b show the

values of the mean, standard deviation, median, minimum and maximum values, range, skewness and kurtosis corresponding to the mean annual, mean minimum and mean maximum annual temperatures. For example, by analyzing Table 2, which depicts the descriptive statistics for the mean annual temperatures, the values of the mean and the median are almost identical. Moreover, the relation between the mean annual value of 70.243 and the value of standard deviation of 0.8909 are very different. Likewise, the values of the skewness and kurtosis are very close to zero. These observations preclude the possibility of experimental errors that could degrade the trustworthiness of the pursued results. Similarly, by analyzing the results of Table 2a, the mean maximum value is almost the same as the median value. Too, the skewness value is close to zero. Also the value of the kurtosis of -0.1844 suggests a platikurtic (flat) distribution probably attributed to the extreme value of 83.6 °F. For the same reason, the results of Table 2b show more symmetric values as Table 2. From the experimental design standpoint, all these observations suggest a good symmetry of the distributions of the temperatures and the absence of serious experimental errors that could compromise the predictive capability of the statistical models of this research.

Insofar as the screening process to select the best continuous probability distribution for the mean annual temperatures, the results showed the normal probability function, as the best one. This is shown in Figure 2 with an A-D equal to 0.315 and a P value of 0.539. Likewise, Figure 3 shows the normal probability plot corresponding to the mean annual maximum temperatures, with an A-D value of 0.283 and a P value of 0.630. Equally, Figure 4 shows the normal probability plot of the mean minimum annual temperature values. In this graph the ensuing goodness of fit test of the Anderson-Darling values of 0.285 and the P-value of 0.623 were the lowest values recorded, after testing several continuous probability distributions, as the lognormal, Weibull, Gamma, etc. Besides, the usefulness of the normal probability graphs is that these graphs are useful to calculate any probability (by interpolation) associated with any temperature, with a good degree of precision.

Insofar as the results of the calculations of the cumulative and density probabilities, Figures 5, 6 and 7 show the results. For example, Figure 5 shows the graphs of the cumulative and density probabilities for the mean annual temperatures. By analyzing the density probability curve, the symmetry is almost perfect; conditions that exclude experimental errors. Similarly, Figure 6 shows the cumulative and density probabilities for the mean annual maximum temperatures. By analyzing the right-hand density probability curve, it is a little skewed to the right due to the extreme value of 83.6, which occurred in 1990. Inasmuch as, Figure 7 which shows the cumulative and density probabilities for the mean annual minimum temperatures, it is seen that the symmetry of these values is almost perfect barring the existence of experimental errors that could degrade de outcomes.

About the results related to the construction of the probability plotting positions, these graphs are useful to calculate periods of return and their associated probabilities of occurrence. These probability-plotting positions are displayed in Figures 8, 9 and 10. For example, Figure 8 shows the normal probability plotting position for the mean annual temperatures, with their respective periods of return and probabilities of occurrence. Likewise, Figure 9 shows the normal probability plotting position for the mean minimum annual temperatures, with their respective periods of return and probabilities of occurrence. Lastly, Figure 10 shows the normal probability plotting position for the mean maximum annual temperatures. These graphs can be used to calculate any desired temperature and its associated period of return and probability of occurrence. For example, by analyzing Figure 8, if it is desired to calculate a period of return for a mean annual temperature of 71 °F, its corresponding period of return is about 5 years, with a probability of occurrence of .2 and so on. Similarly, with Figure 9, if it is desired to calculate a mean minimum value of 62 °F, its corresponding period of return is 100 years and the probability of occurrence is 0.01 and so on. Alike, with Figure 10, if it is desired to calculate a mean maximum annual temperature of 83 °F, its period of return is 100 years and its associated probability would be .01 and so on.

Finally, about the use of the graphs of time series, its primary goal is forecasting temperature tendencies. In this particular scientific work, the major objective of these analyses is to assess annual temperature trends, as exposed in Figures 11, 12 and 13. As seen in all these figures, the resulting trend is always upward for the mean annual, mean minimum and mean maximum annual temperatures. For example, Figure 11 displays a linear trend model for the mean annual temperature. This figure includes the adjusted linear trend equation of $Y_t = 69.55 + 0.0114(t)$. Here, if it is desired to calculate a mean annual temperature for any year, just substitute the corresponding year index in the trend equation and that will give the forecast. Moreover, this graph includes the statistics MAPE, MAD and MSD accuracy measures. In this instance, the acronym MAPE stands for Mean Absolute Percentage and measures the precision of the adjusted values in the time series analyses, which in this case, was equal to .9057. This means there is about a 0.9 percent error in the predictive capability using the adjusted linear trend model. Likewise, the acronym MAD stands Mean Absolute Deviation, which in this case was equal to 0.6355. This statistics measures the precision of the adjusted time series values and helps conceptualize the amount of error. Moreover, the resulting value of MSD, which stands for Mean Square Deviation, was equal to 0.6202. This statistics is used in the measurement of precision. In general, the lower the values of MAPE, MAD and MSD, the better off the accuracy of the prediction being pursued. About the subjectivist evaluation of Figure 11, Figure 11a depicts the normal probability plots, the fits, the histograms and the observation order plot using the residuals. All these four residual graphs serve to evaluate the utility of the linear trend model. The results of these graphs suggest the linear trend models fits the data in all cases. For example, in the normal probability plot all the points are very close to the least square line, which means there is little variation in the data values. Likewise, the graph of the fitted values shows approximately the same number of positive and negative residual values. The histogram of the residual values looks very symmetric and close to normality and so on.

About the resulting structure of a time-series graphical analyses and its subjectivist validation for the mean annual maximum temperatures of Figure 12, the trend equation is calculated as $Y_t = 58.825 + 0.0114t$. This equation can be used as a tool to predict futures mean maximum annual temperatures. The values of the statistics for the mean annual maximum temperatures were recorded as MAPE = 1.387, MAD = 0.783 and MSD = 0.904. In this instance the value of MAPE = 1.387 measured the precision of the adjusted values, as percentage. The complementary subjectivist evaluation of Figure 12, that is, Figure 12a shows this situation. Again, by analyzing the residual normal probability plot, the great majority of the data points are very close to the fitted line. Also, the graph of the fitted values show about the same number of positive and negative values and so on.

Regarding the resulting built a time-series graphical analyses and its subjectivist validation for the mean minimum annual (Figure 13), the calculated linear trend model equation is $Y_t = 58.771 + 0.0127t$. This equation can be used to predict future mean minimum annual temperatures. Additionally, the values of the statistics for the mean minimum annual temperatures were recorded as MAPE = 1.387, MAD = 0.8029 and MSD = 1.004. In this instance, the value of MAPE = 1.387 measured the precision of the adjusted values, as percentage. The subjective evaluation of time-series graphical analyses for this temperature category is shown in Figure 13a. The results suggest the linear trend models fits the data in all cases. For example, in the normal probability plot the great majority of all the points are very close to the least square line which means there is little variation in the values, thus, little experimental errors. Likewise, the graph of the fitted values shows approximately the same number of positive and negative residual values. Besides, the histogram of the residual values looks pretty close to normality and so on.

Conclusions

This study is a unique instructive method, because it applies a deep experimental design scheme, to control experimental errors, thus, to yield more precise temperature results in the evaluation of global warming trends and their consequential climatic distortions.

Further, the methodology and the results obtained in this paper suggest that, before one attempts to processes any temperature data, it is required to check its symmetry by the use of descriptive statistics, to identify the possibility of experimental errors that can degrade the results. Besides, of utmost importance is the identification of the best continuous probability distribution that fits the data, to minimize background experimental errors (by choosing the right distribution). Too, the calculations of cumulative and density probabilities are two-fold, because they can be used to calculate cumulative or density probabilities for each one of the three categories of temperatures used. Moreover, these graphs can serve to visually check the symmetry of the data.

Congruently, the use of probability plotting positions is important to assess global warming trends, periods of return and probabilities of occurrence of heat waves that can affect the health and welfare of people. Alternatively, farmers could find useful applications of probability plotting positions to project farming yields and future planning and so on. Similar interrogations are derived by using probability-plotting positions for minimum temperature events. This is because these probability-plotting positions can be used to observe historical changes of extreme maximum or minimum values on short and long terms. In addition, these probability-plotting positions are of paramount importance for planning purposes and contingency situations.

Further, the use of time series linear trend models can be used to monitor the underway global warming increases. Besides, time series forecasting can be used to predict future trend temperature values based on previously observed standards. In fact, in this research, the results of the upward trends of the mean annual, mean annual maximum and mean annual minimum, demonstrate that global warming is underway, at least in the Florida State.

On the other hand, by applying an objective and subjective intellectualism, extreme temperature events are going to be more and more common, due to the indiscriminating burning of fossil fuels (because the world economy is tied up to the oil industry). These situations are generating artificial

greenhouse gases, which are causing the anthropogenic global warming and their consequential effects on the climate, the economy, on health, on socio-political systems and on the distortions of geographic, regional or local temperature patterns. To challenge these present and future adverse situations, leaders of all world nations will have to come with more strict environmental policies and economic and political strategies to reduce fossil fuels consumption and to the use of alternative sources of clean energy. This responsibility will be crucial, so to protect the public and the well-being of future generations.


As a final point, it is concluded that this forward-looking method aimed to assess temperature values, is very reliable due to the profound experimental design statistical efforts done on its development and to the use of trustworthy temperature data apportioned by NOAA. In fact, it is asserted that the main intention of this experimental design research is to establish a dependable and precise framework of temperature values for Florida State. That is, a dependable database that can be used by investigators doing research in environmental engineering, meteorology, agriculture, civil engineering, experimental designs and so on.

Acknowledgements

The principle author of this revision and his associates are grateful beyond measure to the National Oceanic and Atmospheric Administration National Centers for Environmental Information, for the apportionment of the cherished temperature data used in the preparation of this study.

References

- KARL, T. R., Derr, V. E., Easterling, D. R., Folland, C. K., Hofmann, D. J., Levitus, S. and Withee, G. W. 1995. Critical issues for long-term climate monitoring. *Climatic Change*, 31(2-4):185-221.
- QUEVEDO, H., A. y A. Domínguez. 2013. Aplicaciones de Probabilidad y Estadística a Problemas de Hidrología. El Cambio Climático y sus Efectos en los Recursos Hidrológicos. (1st ed.) Editorial Académica Española.
- QUEVEDO, H. A., Lopez, A., & I. Alvarado. 2014. Design of an Innovative Probability Plotting Position For a 73 Year Precipitation Data (1940-2012) of El Paso County , Texas, U.S.A. *International Journal of Applied Science and Technology* 4(3):85-93.

- IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. Ginebra, Suiza.
- PANEL ON CLIMATE OBSERVING SYSTEMS STATUS. 1999. *Adequacy of Climate Observing Systems*. Washington, D.C.: *National Academies Press*.
- PETERSON, T., Daan, H., & P. Jones. 1997. Initial Selection of a GCOS Surface Network. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78(10):2145–2152. Remote Sensing Systems (2015). [Online] Available: <http://www.remss.com/measurements/upper-air-temperature>.
- UNION OF CONCERNED SCIENTISTS. 2015. «Confronting the realities of climate change. The consequences of global warming are already here.» [Online] Available: www.ucsusa.org/climate-science. U.S. Climate data. (2016). [Online] Available: <http://www.usclimatedata.com/climate/florida/united-states/3179>
- VOSE, R. S., Easterling, D. R., & B. Gleason. 2005. Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004. *Geophysical Research Letters*, 32(23):L23822. 

Este artículo es citado así:

Quevedo-Urías, H., F. A. Vázquez-Gálvez, E. Esparza, Ó. Ibáñez y T. Servio de la Cruz. 2017. Statistical model for the analysis of temperature: case study the 1895 - 2014 serie for Florida state. *TECNOCENCIA Chihuahua* 11(3):155-166.

Resumen curricular del autor y coautores

HÉCTOR ADOLFO QUEVEDO URÍAS. Obtuvo el doctorado en Ingeniería Ambiental por la Universidad de Oklahoma, EUA; Maestría en Ciencias Ambientales por la Universidad de Oklahoma y licenciatura por la Universidad de Texas en El Paso. Actualmente labora como maestro e investigador en el departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela de Posgrado de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (agosto de 1993 al presente). Es autor de 5 libros publicados en aplicaciones estadísticas en Ingeniería Ambiental e Hidrología. Ha sido ponente en múltiples conferencias en Estados Unidos y México. Es miembro de la International Platform Association (EUA), Greenpeace y del Consejo Consultivo para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Cuenca Atmosférica de Ciudad Juárez, El Paso, Texas y el Condado de Doña Ana, Nuevo México.

FELIPE ADRIÁN VÁZQUEZ GÁLVEZ. Terminó su licenciatura en 1982, año en que le fue otorgado el título de Químico por el Departamento de Química de la Universidad de Texas en El Paso (UTEP). Realizó su posgrado en la misma universidad, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Química en 1985 y el grado de Doctor en Filosofía también en el área de aerosoles atmosféricos por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Desde 2014 labora en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y posee la categoría de Académico titular C. Su área de especialización es la química atmosférica y la calidad del aire urbano. Se ha desempeñado como Subprocurador Federal del Ambiente, Subsecretario de Gestión en la SEMARNAT, Director Ejecutivo de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte y Coordinador General del Servicio Meteorológico Nacional de México.

ERNESTOR ESPARZA SÁNCHEZ. Terminó su licenciatura en 1999, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero civil por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Ambiental en 2003 por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Desde 2004 labora en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Es coordinador de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Su área de especialización es la Hidrología.

SERVIO TULIO DE LA CRUZ CHÁIDEZ. Obtuvo la licenciatura en Ingeniería Civil en 1987 por el Instituto Tecnológico de Durango. Tiene el grado de Maestría en Estructuras por la Universidad Autónoma de Chihuahua y obtuvo el grado de Máster en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural por la Universidad Politécnica de Cataluña. Obtuvo el grado de Doctorado en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural y Ciencia y Tecnología de la Ingeniería Sísmica y la Dinámica Estructural. Es miembro de Colegio de Ingenieros Civiles de Ciudad Juárez, A. C. Tiene publicaciones en revistas nacionales e internacionales. Actualmente es profesor investigador de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA



DOCTORADO EN

Educación, Artes y Humanidades

Programa Nacional de Posgrados de Calidad



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Formación y Prácticas Educativas
- Historia e Historiografía de la educación.
- Investigación en Artes
- Estudios humanísticos

OBJETIVOS DEL PROGRAMA

Contribuir al mejoramiento de la sociedad mediante la formación de investigadores capaces de generar y aplicar conocimiento innovador, sustentado en procesos teóricos y metodológicos rigurosos; asimismo, participar en la reflexión de los problemas sociales sobre la educación, las artes y las humanidades a fin de contribuir a la comprensión y solución de los mismos desde una visión humanística.



TECNOLOGÍA Ciencia Chihuahua

Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades
Universidad Autónoma de Chihuahua



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS, UACH