

Investigación permanente / Tomo 2

PENSAR LA CIENCIA DESDE LA FRONTERA: APROXIMACIONES MULTIDISCIPLINARIAS



UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA
Red Universitaria de Jalisco



Centro
Universitario
del Norte

Coordinadores

Noemí Rodríguez Rodríguez

Elvia Susana Delgado Rodríguez

Filiberto Briseño Aguilar

Iker Javier Pulido Rodríguez
Uriel Nuño Gutiérrez
Marai Pérez Hernández
Rosa María Hidalgo Aguirre
Marisela Hernández González
Miguel Ángel Guevara Pérez
Nancy Yamile Márquez Mayorga
Violeta Villavicencio Hernández
Alejandra Huízar Castañeda

Daniela García Guerrero
Elba González Aguayo
María de los Ángeles Camacho Ruiz
Ana Rosa Carrillo Ávila
María Olga Concha Guzmán
Reyes Joel Sanjuan Raygoza
Ignacio García García
Manuel Alejandro Hernández Rosas

Noemí del Carmen Rodríguez
Rodríguez
José David Rubio García
Ángel Andrea Carrera Márquez
Juan Carlos Gutiérrez Villegas
Rubén Alberto Torres Núñez
Raúl Quiroz Martínez
Filiberto Briseño Aguilar

Investigación permanente / Tomo 2

PENSAR LA CIENCIA DESDE LA FRONTERA: APROXIMACIONES MULTIDISCIPLINARIAS

Investigación permanente / Tomo 2

PENSAR LA CIENCIA DESDE LA FRONTERA: APROXIMACIONES MULTIDISCIPLINARIAS

Coordinadores

Noemí Rodríguez Rodríguez
Elvia Susana Delgado Rodríguez
Filiberto Briseño Aguilar

México, 2020



**UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA**
Red Universitaria de Jalisco



Centro
Universitario
del Norte

Comité editorial

Mtro. Uriel Nuño Gutiérrez

Dr. José de Jesús Quintana Contreras

Dr. Adolfo Trejo Luna

Mtro. Luis Gerardo García Cruz

Dr. Miguel Ángel Paz Frayre

Mtra. Daylin Ortega Carulo

Investigación permanente / Tomo 2

Pensar la ciencia desde la frontera:

aproximaciones multidisciplinares

Primera edición, 2020

D. R. © 2020 Universidad de Guadalajara

Centro Universitario del Norte

Carretera federal 23, km 191, C. P. 46200

Colotlán, Jalisco, México

Tels. +52 (499) 992-1333/992-0110/

992-2466/992-2467/992-1170

<http://www.cunorte.udg.mx/>

Elvia Susana Delgado Rodríguez

Coordinación editorial

Ricardo Ibarra

Corrección y cuidado editorial

Javier Salazar / Prometeo Editores

Diseño y diagramación

Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna manera ni por ningún medio, conocido o por conocer, sin la autorización por escrito del titular de los derechos, salvo en los casos de excepción considerados en la ley.

ISBN: 978-607-547-919-4

Hecho en México / *Made in Mexico*

Índice

Prólogo	6
<i>Noemí del Carmen Rodríguez Rodríguez, Filiberto Briseño Aguilar, María de los Ángeles Camacho Ruiz</i>	
Ambigüedad y vaguedad del término <i>medicina</i>	10
<i>Iker Javier Pulido Rodríguez, Uriel Nuño Gutiérrez</i>	
Respuesta EEG a llanto de bebé de madres biológicas y adoptivas	24
<i>Marai Pérez Hernández, Rosa María Hidalgo Aguirre, Marisela Hernández González, Miguel Ángel Guevara Pérez</i>	
Estado nutricional de alumnos de primer ingreso del CUNorte	41
<i>Nancy Yamile Márquez Mayorga, Violeta Villavicencio Hernández, Alejandra Huízar Castañeda, Daniela García Guerrero</i>	
Estimación de la superficie de mezquite (<i>Prosopis spp.</i>) con sensores remotos en la región norte de Jalisco	56
<i>Elba González Aguayo, María de los Ángeles Camacho Ruiz</i>	
Aleaciones para ánodos galvánicos para la protección catódica de calentadores de agua	65
<i>Ignacio García García, Ana Rosa Carrillo Ávila, Reyes Joel Sanjuan Raygoza, María Olga Concha Guzmán</i>	
Estudio estadístico de precipitación pluvial para su captación en CUNorte	80
<i>Ana Rosa Carrillo Ávila, María Olga Concha Guzmán, Reyes Joel Sanjuan Raygoza, Ignacio García García</i>	
Producción de biodiésel por transesterificación en medio orgánico	88
<i>Manuel Alejandro Hernández Rosas, Noemí del Carmen Rodríguez Rodríguez, José David Rubio García, Ángel Andrea Carrera Márquez</i>	
Brazo manipulador para la enseñanza de la ingeniería	99
<i>Juan Carlos Gutiérrez Villegas, Rubén Alberto Torres Núñez, Raúl Quiroz Martínez, Filiberto Briseño Aguilar</i>	



Prólogo

Pensar la ciencia desde la frontera surge de la necesidad de generar conocimiento novedoso como motor del cambio vanguardista e innovador de la tecnología.

En la actualidad, la ciencia no se refiere a la obtención de saberes rigurosos y verificables que proveen de respuestas definitivas a las interrogantes. Su avance es dirigido con fines infinitos, que dan surgimiento a nuevas interrogantes más profundas y significativas vistas desde varias perspectivas multi, inter y transdisciplinarias.

Este libro presenta un compendio de ‘aproximaciones multidisciplinarias’, como un esfuerzo por entablar una relación de correspondencia entre los distintos saberes: filosofía de la ciencia, investigación científica básica y aportaciones tecnológicas socialmente útiles.

La ciencia cada vez más trata de definir con la mayor precisión posible cada uno de los conceptos que utiliza. En el primer artículo que lleva por título “Ambigüedad y vaguedad del término *medicina*” se describe un análisis semántico de la palabra *medicina*, sola y bajo diferentes contextos, en el que se afirma que es ambigua y vaga.

El texto hace referencia a una serie de definiciones reconocidas por la Organización Mundial de la Salud para poner en evidencia que la palabra *medicina* se utiliza tanto para describir a un conjunto de conocimiento y técnicas como un medicamento o una sustancia que se suministra al cuerpo humano. Además, la palabra no solamente es ambigua y vaga por sí misma, también las oraciones y expresiones que la contienen. Dado que los conceptos no quedan claros, el estatus epistemológico de la disciplina médica se ve comprometido en el sentido filosófico.

Descubrir las interrelaciones entre los fenómenos y las variables es el principal objetivo de la investigación científica básica. El segundo artículo se titula “Respuesta EGG a llanto de bebé de madres biológicas y adoptivas”. Los autores hacen referencia a la relación que existe entre el funcionamiento cerebral y distintos tipos de maternidad, en respuesta a estímulos provenientes del infante, en específico el llanto del bebé.

Con el interés de indagar si el vínculo materno en torno a la función cerebral es independiente de la maternidad biológica, se midió la actividad eléctrica cerebral a 24 mujeres que fueron separadas en tres grupos: madres biológicas, madres adoptivas y mujeres no madres. Los tres grupos se sometieron a estímulos derivados por el llanto de bebé, con la consideración de controles negativos como la línea base y el ruido blanco.

Los autores concluyen que las madres biológicas tienen una mayor activación cerebral asociada a experiencias emocionales, mientras que tanto las biológicas como las adoptivas presentan actividad cerebral asociada a la detección, interpretación y preparación de respuesta al estímulo.

Utilizar los conocimientos adquiridos para evaluar el estado actual de una sociedad es un factor clave para la generación de nuevas políticas públicas. Es el caso del trabajo titulado “Estado nutricional de alumnos de primer ingreso del CUNorte”. En él los autores realizaron un estudio descriptivo longitudinal para evaluar los parámetros antropométricos de alumnos de primer ingreso.

La iniciativa surge de un problema de salud pública de interés nacional e internacional, debido a que la Organización Mundial de la Salud indica que desde 1975 a la fecha los problemas de obesidad se han triplicado. El muestreo se realizó durante los ciclos escolares que comprenden del 2015A al 2019A en el Centro Universitario del Norte, con la consideración de los 11 programas educativos ofertados. Se concluye que la población estudiantil de primer ingreso ha mantenido índices de sobrepeso y obesidad del 22.25 y el 13.96 %, respectivamente. Por otra parte, se presenta un problema de alumnos con bajo peso en un 2.2 %.

La ciencia debe ser vista como una actividad realizada por el hombre, cuyas acciones van encaminadas hacia un determinado fin. En la actualidad, uno de los grandes objetivos de la ciencia es frenar el cambio climático. Por ello, promover el uso racional del agua, las energías limpias y el aprovechamiento sustentable de recursos renovables a través de la generación o aplicación de nuevas tecnologías son estrategias que se han propuesto para tal fin.

En el artículo “Estimación de la superficie de mezquite (*Prosopis spp.*) con sensores remotos en la región norte de Jalisco”, los autores realizaron una identificación y estimación de la población de mezquites en la región norte de Jalisco. Utilizaron imágenes satelitales para diferenciar por vía remota los tipos de cultivo que existen en la superficie y cuerpos de agua.

Usaron una imagen gratuita Sentinel analizada con el software gratuito Qgis 2.16.3, técnica con la cual se pudo estimar que en los municipios de Villa Guerrero, Totatiche, Colotlán, Santa María de los Ángeles y Huejúcar hay una superficie de 9 936 ha de mezquite; lo que representa un 4 % del total de la superficie analizada. Concluyen que se puede establecer una base sustentable para el aprovechamiento del mezquite para generar nuevas actividades productivas que potencialicen la economía regional.

El siguiente artículo se titula “Aleaciones para ánodos galvánicos para la protección catódica de calentadores de agua”, donde se plantea el problema de la oxidación-corrosión de termotanques de agua debido a su dureza y conductividad eléctrica. Los autores mencionan que los calentadores domésticos de agua son construidos tradicionalmente con materiales ferrosos recubiertos de cerámica que los protege de la corrosión, y una protección catódica por ánodos de sacrificio para cubrir imperfecciones. Esta tecnología funciona en países donde el agua de uso doméstico es potable. Sin embargo, en México se tiene un nivel de dureza mayor que es causante del desgaste del ánodo.

En el artículo se proponen nuevas aleaciones para ánodos de aluminio, de aluminio-zinc-estaño y aluminio-zinc-indio-estaño para la protección adecuada en un amplio rango de conductividad de agua potable y exposición a temperatura. Además, se demuestra que la aleación de aluminio-zinc-indio-estaño presenta una capacidad mayor de corriente y eficiencia, aumento en su vida útil y una baja generación de residuos.

En el artículo “Estudio estadístico de precipitación pluvial para su captación en CUNorte” se plantea un escenario en el que es posible realizar acciones tecnológicas que abonan a los objetivos para una universidad sustentable. Los autores realizaron un diagnóstico de la cantidad de agua de lluvia que está disponible a lo largo del año para su captación y utilización en CUNorte, con lo cual se estima que es posible recolectar alrededor de 9,326.46 m³ de agua. Y eso si solo se considera el área superficial de los edificios. Dicho volumen de agua puede ser almacenado en cisternas y utilizado para las distintas necesidades del centro universitario, principalmente para el riego de áreas verdes.

El uso de agua de lluvia es una estrategia que permite la regeneración de mantos acuíferos, contribuye a la recuperación de hábitats naturales y a disminuir el deterioro ambiental.

Otro esfuerzo que se está realizando en torno a la sustentabilidad es la generación de energías renovables. En el artículo “Producción de biodiésel por transesterificación en medio orgánico” se propone una tecnología sustentable en la que se parte desde el aprovechamiento de un residuo de la industria tequilera, el bagazo de agave, para producir en él a un hongo que es capaz de expresar enzimas lipolíticas.

La biomasa fúngica producida se seca y es utilizada en un paso posterior como biocatalizador en la síntesis de alquil ésteres de ácidos grasos, conocidos comúnmente como biodiésel. Además, se plantea un enfoque en el que se reutiliza aceite quemado de cocinas industriales como materia prima para el proceso. Los autores concluyen que el proceso es viable; sin embargo, se requiere trabajar en la optimización del proceso.

Finalmente, ¿qué sería de la educación sin la ciencia? Vivimos en una sociedad en la cual el sistema productivo y la vida cotidiana dependen en gran medida de la ciencia y la tecnología. La comunidad necesita aproximarse a una cultura científica y tecnológica para comprender la realidad contemporánea compleja, que exige una serie

de habilidades y competencias para la vida cotidiana, el mundo laboral, productivo y el entorno social cultural.

En el artículo “Brazo manipulador para la enseñanza de la ingeniería” se presenta una mano robótica como herramienta para la enseñanza de la ingeniería mecánica eléctrica. La finalidad es introducir el aprendizaje basado en proyectos (ABP) en las aulas del centro y así poder reforzar el conocimiento teórico adquirido en el aula.

La elaboración de un robot mediante la manufactura asistida por computadora (CAM) incluye diferentes etapas: diseño, análisis, simulaciones, fabricación de los componentes y su ensamble.

Con el fin de implementar el aprendizaje basado en proyectos, se propone la fabricación de un brazo robótico a partir de una propuesta de diseño tomado de una biblioteca de recursos libres. La elaboración de esta pieza consta de cuatro etapas: diseño, análisis, manufactura y diseño de control. En cada una de estas se analizó la interacción entre las diferentes unidades de aprendizaje del programa INME y su relación con los conocimientos que se pretenden lograr en los estudiantes.

Con la aplicación de esta herramienta se fortalece el trabajo colaborativo y se identifica la necesidad de trabajar en coordinación con diferentes áreas del conocimiento.

Noemí del Carmen Rodríguez Rodríguez

Filiberto Briseño Aguilar

María de los Ángeles Camacho Ruiz

Ambigüedad y vaguedad del término *medicina*

Iker Javier Pulido Rodríguez*

Uriel Nuño Gutiérrez**

Resumen

Cuando hay interés por saber el estatus epistemológico de la disciplina médica, se requiere que el significado del término *medicina* sea claro y en este artículo se demuestra su ambigüedad y vaguedad. La primera porque presenta más de un significado (polisemia), y la segunda porque en algunos usos del término su definición no tiene límites claros. Entendemos por ambigüedad cuando el término u oración presenta o tiene más de un significado, y por vaguedad, cuando los límites del significado de un término no están suficientemente definidos y esto no permite saber la verdad o falsedad de una oración que lo contiene. La demostración consistió en el análisis de enunciados en donde el significado de *medicina* no queda claro y con ello los enunciados resultan confusos.

Palabras clave: lenguaje, análisis léxico-semántico, etimología.

Área temática: filosofía de la medicina.

* Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. iker.pulido@academicos.udg.mx

** Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. uriel.nuno.gtz@hotmail.com

Introducción

Desde la antigüedad la pregunta por el estatus epistemológico de la medicina ha estado presente en los debates médicos y filosóficos. Se pueden encontrar varios escritos en donde se caracteriza a la *medicina* como técnica, arte, sabiduría, filosofía y demás modelos de conocimiento. Los ejemplos más representativos provienen de la tradición griega clásica, con Hipócrates (él caracterizó a los médicos de su época como “artesanos reconocidos”) y Aristóteles, quien en la *Metafísica* coloca a la práctica médica (adecuada) en el terreno del conocimiento por experiencia, en contraposición al arte sin experiencia. Más reciente, algunos científicos de diversas disciplinas académicas se suman al debate (Forstrom, 1977; Maull, 1981; Munson, 1981; Pérez, 2000; Hofmann, 2003; Kuhn, 2004; Collins y Pinch, 2005; Canguilhem, 2011; Bunge, 2012; Miller, 2014; Cunningham, 2015; otros). La cuestión de saber qué clase de conocimiento es el saber de la medicina responde en la actualidad a la necesidad de si se le denomina o no como ciencia.

La denominación *estatus epistemológico* de la medicina tiene matices heurísticos. Se puede entender como el grado de confiabilidad de los enunciados de la medicina, basado en qué tan justificadas están sus creencias. O bien, como el lugar en donde se ubica el saber médico en una escala de modelos de conocimiento, en cuyo máximo peldaño se encuentra la ciencia. Ambas acepciones están fuertemente relacionadas. Según Villoro (1982), los enunciados de cualquier disciplina (medicina, administración, economía, otras) serán científicos en la medida en que sean más confiables, es decir, en la medida en que estén garantizados por una justificación objetiva (en su acepción de saber impersonal). En resumen, plantear la pregunta sobre el estatus epistemológico de la medicina tiene la intención de saber qué tan confiables son sus saberes y si están justificados o no, tal como se justifican los saberes de la ciencia.

Planteamiento del problema

Para saber el estatus epistemológico de la medicina es imprescindible tener claro el significado del étimo *medicina*. Sin embargo, este parece no estar definido de forma suficiente porque se usa en muchos contextos lingüísticos y en algunos casos su uso es dudoso. Es decir, presenta problemas de ambigüedad y vaguedad, los cuales aparecen en todo momento al ser cualidades del lenguaje natural que utilizamos en la vida cotidiana para comunicarnos, un lenguaje no especializado.

Desde el punto de vista científico, tanto la ambigüedad como la vaguedad son ejemplos de lenguaje impreciso que, contrario al lenguaje científico, no tiene cabida en la ciencia por prestarse a confusión. Por lo tanto, desde la ciencia hay una insistencia en buscar

lenguajes que es estén libres de estas características. En ella la observación directa de los fenómenos de la naturaleza y su interpretación se lleva a cabo con lenguajes que intentan ser lo más claros posibles.

Según Guerrero (2007), en contraparte con el lenguaje científico, el lenguaje natural es sumamente vago, está lleno de interpretaciones subjetivas, de palabras con significados que dependen del contexto, de modos de expresión que a veces confunden. Para los filósofos que hacían de la ciencia natural el ideal de racionalidad, estas características del lenguaje natural son defectos que había que superar aproximándonos al modo científico de expresión cada vez que queremos encarar un tema con profundidad.

La propuesta del texto es que, si se quiere encarar con claridad el tema del significado de la palabra medicina para buscar el estatus epistemológico de esta disciplina, sería pertinente revisar si en este contexto la palabra tiene problemas de ambigüedad y vaguedad.

Sustento teórico

De acuerdo con Peña (1982), en el lenguaje natural la ambigüedad se refiere a la posibilidad de que algunos términos u oraciones pueden ser interpretados de más de una manera. Dichas interpretaciones ocurren por un uso deficiente de la lengua o por deficiencia del sistema de lengua, o por ambas situaciones. Desde el punto de vista lingüístico la ambigüedad es una “situación lingüística que puede surgir de diversos modos” (Ullmann, 1967, p. 176). En general, la ambigüedad surge cuando un término o una oración presenta o tiene más de un significado.

Hay varios tipos de ambigüedad: léxica, fonológica, pragmática y sintáctica. De ellas la que interesa abordar aquí es la ambigüedad léxica. Katz y Fodor (1963) definen la ambigüedad léxica de la siguiente manera: “Un ítem léxico cuya entrada en el diccionario contiene ramificaciones poliádicas tiene más de un sentido, i. e. es ambigua” (p. 497). Este tipo de ambigüedad surge cuando la homonimia o polisemia de un ítem léxico puede hacer ambiguo al significado final de una oración.

Algunos autores que hablan sobre semántica (Ullmann, 1967; Heger, 1974; Baldinger, 1977; Lyons, 1997) identifican el fenómeno de la ambigüedad con la homonimia o la polisemia léxica. Otros, como Trujillo (1976) y Gutiérrez Ordóñez (2015), han indicado que hay una diferencia entre la ambigüedad, la homonimia y la polisemia léxica que radica en que estas últimas son un fenómeno formal que consiste en la coincidencia de dos o más acepciones variantes o invariantes en la expresión material, mientras que la ambigüedad es más una consecuencia inmediata de la homonimia o la polisemia debido a un problema de interpretación por parte del oyente.

En cualquiera de sus formas, la ambigüedad es un problema del lenguaje que en general es deseable eliminar.¹ Ullmann (1967), Coseriu (1969), Baldinger (1977), Trujillo (1976), Lyons (1997) y Gutiérrez Ordóñez (2015) están de acuerdo en que el contexto ayuda a eliminar la ambigüedad por polisemia u homonimia léxica. Sin embargo, hay otra clase de ambigüedad cuyos problemas no son tan sencillos de resolver. Lyons (1997) entiende que, aunque el mecanismo contextual funciona para desambiguar expresiones en la mayoría de las ocasiones, hay algunas otras en las que el contexto no es suficiente y la interpretación del significado de una palabra o expresión puede ser equivocada.

Los problemas de ambigüedad más complejos, según Lyons (1997), son aquellos en donde un término tiene distintos significados, pero son emparentados. Por ejemplo, la ambigüedad que tiene una palabra cuando nombra al mismo tiempo al objeto y a la disciplina que lo estudia. Otros casos difíciles de desambiguar son cuando se emplean algunos tecnicismos que son definidos de diferente manera por escuelas o corrientes de pensamiento distintas. Muñoz (1999) señala que otro tipo de ambigüedad difícil de superar es la que surge de la polisemia de términos abstractos. Es decir, aquellos términos que se utilizan como generalizaciones de *tipos* en las clasificaciones. Ejemplos hay muchos: ‘mascota’, ‘animal’, ‘filosofía’, por mencionar algunos. “Te compré una mascota”, “Tengo un animal en casa”, “La filosofía es compleja”, en cada expresión, los términos mencionados no permiten precisar la referencia porque son tan generales que hace falta preguntar a qué tipo de mascota, animal o filosofía se hace referencia. Al analizar el caso del término medicina, se retoma de nuevo esta última forma de ambigüedad, que además está directamente relacionada con la vaguedad.

Desde el punto de vista lingüístico, los términos son vagos cuando los límites de su significado no están definidos. Términos como ‘alto’, ‘bajo’, ‘frío’, ‘calor’ y otros, lo son porque se refieren a datos dentro de un continuo, por ejemplo, la estatura y la temperatura. Dicho de otra forma, un término es vago cuando refiere a cualidades que pueden tener diferentes magnitudes en una escala.

Según Russell (1960), la vaguedad es lo contrario de la precisión. “Somos capaces de concebir la precisión; por cierto, si no pudiéramos hacerlo, no podríamos concebir la vaguedad, que es simplemente lo contrario de la precisión” (p. 20). La precisión de los términos es deseable para el lenguaje científico. Russell piensa que, aunque ningún término está exento de cierta vaguedad, hay algunos que lo son más que otros y, por ende, hay lenguajes más vagos que otros. En ese sentido, el lenguaje científico lo es mucho menos que el lenguaje natural o el lenguaje común, sin ser exacto.

¹ Las excepciones a esta regla las constituyen los casos en el que el mismo hablante tiene como propósito propiciar la ambigüedad, tal como sucede con la poesía, el humor, la diplomacia, la política, entre otros.

Según Romerales (2004) hay al menos dos tipos de vaguedad. Por un lado, este autor identifica los términos que llama esencialmente vagos, definidos como “aquellos términos que tienen límites borrosos de aplicación, ya sea porque sus límites son *teóricamente* imposibles de definir, o bien porque cualquier intento de definición seguirá dejando un margen de casos indeterminados de aplicación” (p. 52). Y, por otro lado, están los términos que llama implícitamente vagos, definidos como “aquellos que [...] carecen de criterios de identidad y condiciones de persistencia precisos” (p. 53). A su vez, los esencialmente vagos los divide en dos: básicos y explícitamente vagos.

Son básicos los adverbios y adjetivos tales como ‘mucho’, ‘poco’, ‘bastante’, ‘demasiados’ y otros, tan fundamentales que apenas se pueden definir. Dependen enormemente del contexto y solo una gran variedad de ejemplos de su uso en situaciones determinadas nos permite entender sus significados. En cambio, los explícitamente vagos son los definidos directamente en términos de los básicos, tales como ‘rico’, ‘alto’, ‘montón’, entre otros. Los términos esencialmente vagos, como los denomina Romerales, son los que están relacionados con la llamada paradoja sorites o paradoja del montón.

Por otro lado, están los términos que Romerales nombra como implícitamente vagos. Estos poseen lo que Friedrich Waismann llamó textura abierta, una característica del lenguaje que alude a que en la realidad siempre van a ir ocurriendo situaciones nuevas, inesperadas, que obligan a nombrarlas de un modo que no teníamos previsto. Para Romerales (2004), esta textura sería algo así como la posibilidad de la vaguedad y afectaría a conceptos que no tenemos actualmente por tales. Es decir, vendría a subrayar que la mayoría de los conceptos son revisables o enmendables y que nunca podemos descartar que aparezcan casos dudosos o zonas de penumbra.

Siguiendo a Romerales (2004), a diferencia de los términos esencialmente vagos (básicos y explícitos), los implícitos o con textura abierta pueden ser definidos ulteriormente, bien por una comunidad científica de expertos en el tema (siempre que se trate de un posible objeto de estudio de una ciencia particular, como para definir, ‘satélite’, ‘mutación genética’, ‘cúmulo galáctico’) o por una comunidad lingüística, cuando se trata de palabras de uso común.

Según lo hasta aquí dicho, el problema de la vaguedad es imposible de resolver cuando se es susceptible de sorites. Por el contrario, los términos que no están relacionados directamente con nociones que refieren a grados en un continuo son susceptibles de ser definidos por una comunidad científica pertinente.

Método

Para demostrar la vaguedad y ambigüedad del término *medicina* se utilizó el método analítico tal como se entiende en epistemología y filosofía de la ciencia. En particular, la atención se centró en el análisis semántico del étimo *medicina*, lo cual incluye

una revisión etimológica, una puntualización de su referencia específica basada en las entradas de diccionarios en español y una revisión exhaustiva de sus posibles usos en diferentes contextos en donde adquiere diversos sentidos.

Se proponen dos análisis semánticos: primero, a la palabra, y segundo, a esta en diferentes contextos mediante su colocación en enunciados de uso común y técnico que la refieren en su acepción de disciplina de conocimiento. Quiere decir que se proponen ejemplos concretos de uso del étimo para con ello acercarse al problema de la definición del estatus epistemológico de la medicina.

Resultados

En la versión electrónica del Diccionario de la Lengua Española (DLE, 2019) de la Real Academia Española (RAE), el término *medicina* aparece con los dos significados siguientes:

1. f. Conjunto de conocimientos y técnicas aplicados a la predicción, prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades humanas y, en su caso, a la rehabilitación de las secuelas que puedan producir.
2. f. Medicamento.

A su vez, la segunda acepción contiene la siguiente entrada en el mismo diccionario:

1. m. Sustancia que, administrada interior o exteriormente a un organismo animal, sirve para prevenir, curar o aliviar la enfermedad y corregir o reparar las secuelas de esta.

El primer significado refiere a un conjunto de conocimientos y técnicas, y el segundo a una sustancia que se suministra al cuerpo humano. Ambos se relacionan porque los conocimientos, técnicas y sustancias de las que se habla están orientados a la cura de enfermedades humanas. Es decir, ambas acepciones hacen referencia a los llamados fenómenos de salud-enfermedad.

Según Roberts y Pastor (2013), *medicina* proviene del latín *medicina* y esta se deriva de *medicus* que significa ‘médico’. Medicina tiene el sufijo *-ina* que indica ‘materia de’, con lo cual significa ‘materia del médico’. A su vez, *medicus* deriva del latín *mederi*, que significa ‘cuidar’, ‘curar’, ‘tratar’. De esta forma, el significado etimológico de *medicina* queda como ‘materia del que cuida, cura, trata’. De acuerdo con Roberts y Pastor (2013), el latín *mederi* es el origen común de las palabras en español *medicina*, *medicar*, *médico*, *medicamento*, *medicación* y *medicinal*. Se puede concluir entonces que la palabra *medicina*,

en las dos acepciones que aparecen en el DLE de la RAE, es polisémica porque tiene dos significados distintos, cuyo origen etimológico es el mismo.

Ahora bien, la polisemia de la palabra *medicina* puede volver ambiguas las siguientes oraciones de uso común:

- a. La medicina ayuda a mantener la salud de las personas.
- b. Es mejor la medicina de China que la de México.
- c. La medicina alivia el dolor de los pacientes.
- d. La medicina no se conoce en la sierra.

No está claro el significado de ninguna de las cuatro oraciones debido a la polisemia del término. Si un oyente no tiene más información, no puede determinar si *medicina* en estos enunciados refiere a su primer o segundo significado. Es por esto que las expresiones anteriores son ambiguas por el carácter polisémico de la palabra. Por lo tanto, las cuatro son casos de ambigüedad léxica y de ambigüedad semántica. Sin embargo, esta ambigüedad se resuelve agregando información que las contextualiza.

- a1. La medicina que estudiamos ayuda a mantener la salud de las personas.
- b1. Es mejor ingerir la medicina de China que la de México.
- c1. La medicina es una disciplina que alivia el dolor de los pacientes.
- d1. La medicina inyectada no se conoce en la sierra.

Parece obvio que *a1* y *c1* refieren a la primera acepción del término, mientras que *b1* y *d1* a la segunda. La ambigüedad por polisemia se resuelve agregando información que contextualiza cada enunciado.

Sin embargo, la polisemia no se limita a los significados del DLE. Como ya se señaló, hay ambigüedades léxicas y, por lo tanto, semánticas que se extienden a los distintos usos que se les puede dar a las palabras en ciertos contextos. Para ilustrar esto, están los siguientes ejemplos en donde aparentemente no hay ambigüedad léxica por polisemia si se consideran ambas acepciones.

- e. Juan estudia medicina.
- f. José sabe medicina.
- g. María practica la medicina.
- h. Lupita ejerce la medicina.

Aquí parece claro que *medicina* en las cuatro oraciones refiere al significado 1: se alude a la disciplina y no al medicamento. Los verbos *estudiar*, *saber*, *practicar* y *ejercer* con-

jugados nos permiten en cada caso entender una cosa y no la otra. Sin embargo, si se pone atención en las oraciones surge la duda ¿qué *medicina* estudia Juan, sabe José, practica María o ejerce Lupita?

Para responder a la pregunta vale la pena saber que, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013), se reconocen al menos dos clases de medicina en el mundo: la medicina o medicina convencional y la medicina tradicional o la medicina complementaria (MTC). “En todo el mundo, la medicina tradicional es el pilar principal de la prestación de servicios de salud, o su complemento. En algunos países, la medicina tradicional o medicina no convencional suele denominarse medicina complementaria.” (OMS, 2013, p. 7). Este hecho, remite a considerar que la palabra *medicina* es un étimo que designa al menos a dos *tipos* en su primera acepción. A su vez, los dos tipos de medicina a que se refiere la OMS son generalizaciones de otros tantos. Es decir, se subdividen en más tipos de ‘conjunto de conocimientos y técnicas’ dedicados al cuidado de la salud humana.

Como ejemplo de los tipos de medicina que pertenecen al conjunto de la MTC, el Centro Nacional de Medicinas Alternativas y Complementarias de Estados Unidos (NCCAM por sus siglas en inglés) reportó en 2008 que para el año 2007 el 38 % de los ciudadanos norteamericanos adultos utilizaba con frecuencia alguna de las siguientes:

- MTC1. Medicina de la mente y el cuerpo: meditación, yoga, acupuntura, respiración profunda, ensoñación dirigida, hipnoterapia, relajación progresiva, qi gong, taichí.
- MTC2. Medicina de manipulación del cuerpo: manipulación de la columna vertebral, masaje.
- MTC3. Medicina de movimiento: método de Feldenkrais, técnica de Alexander, pilates, integración estructural de Rolfing, Integración psicofísica de Trager.
- MTC4. Medicina de energía: biomagnetismo médico, terapia de luz, toque cuántico, toque terapéutico, reiki.
- MTC5. Sistemas médicos integrales: medicina ayurvédica, medicina tradicional china, medicina homeopática, medicina naturista.

Por supuesto que la lista parece un abuso del uso de la palabra *medicina*. Sin embargo, no hay contradicción entre las técnicas o intervenciones que aparecen en ella y su primera definición. Es decir, todas son consideradas conocimientos y técnicas orientadas a la predicción, prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades humanas.

En cuanto al conjunto de la medicina convencional (también llamada biomedicina, medicina alopática, medicina corriente, medicina occidental o medicina ortodoxa), la lista de clasificación de especialidades y subespecialidades de estudio y ejercicio es considerable.

Por ejemplo, para 2010 la Organización Panamericana de la Salud (OPS) reportó que en el caso mexicano había 24 especialidades médicas y 57 subespecialidades, para el mismo año países como Colombia, Perú y Argentina registraban cada una más de 60 especialidades.

Algunas de las especialidades médicas comunes a los países miembros de la OPS reconocidos por los respectivos ministerios de salud son anatomía patológica, cirugía general, dermatología, endocrinología, gastroenterología, ginecología y obstetricia, embriología, farmacología, medicina interna, neurología, oncología, radiología e imagen, urología, entre otras. Cada especialidad mencionada y muchas otras que se omiten son parte del subconjunto de la medicina convencional que a su vez forma parte del conjunto de la medicina en su acepción 1. Es evidente que el término designa un gran “conjunto de conocimientos y técnicas aplicados a la predicción, prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades humanas” (DLE, 2018), y que cada conjunto como subconjunto es autónomo en relación a los saberes y técnicas que utiliza para lograr sus fines, o al menos, eso sugieren las especialidades en que se divide.

Por lo anterior, el término *medicina* es polisémico no solo por las dos acepciones que aparecen en el DLE, sino por los múltiples usos que tiene en el campo de la educación y el ejercicio de las profesiones dedicadas a la atención de la salud y las enfermedades de nuestra especie. Su uso en estos contextos es tan genérico que se vuelve imprescindible especificar el tipo de medicina al que se hace referencia.

La pregunta que se propuso para las oraciones *e*, *f*, *g* y *h* busca una respuesta que las desambigüe. Por ejemplo:

- e1. Juan estudia medicina tradicional china.
- f1. José sabe medicina clínica comunitaria.
- g1. María practica la medicina aeroespacial.
- h1. Lupita ejerce la medicina homeopática.

Con *e1*, *f1*, *g1* y *h1* se especifica en qué sentido se puede entender *e*, *f*, *g* y *h* respectivamente. Es decir, estas oraciones son casos que se pueden desambiguar agregando información (*tipos*) que aclare las enunciaciones, de lo contrario, todas ellas conservarían la ambigüedad léxica y semántica.

Los casos *e*, *f*, *g* y *h* no solo muestran la ambigüedad del término *medicina*, también su vaguedad. En sintonía con lo mencionado en el apartado dedicado a la vaguedad, la palabra *medicina* es implícitamente vaga. Según Romerales (2004), esto quiere decir que carece de criterios de identidad y condiciones de persistencia precisas.

Su definición en su acepción 1 tiene la característica de ser tan amplia que, en efecto, ocurren muchos casos particulares de los cuales no estamos seguros si incluirlos o no en el

conjunto *medicina*. Las oraciones *e*, *f*, *g* y *h* son ejemplos con la acepción 1 del significado, pero como ya se mencionó en los casos de términos polisémicos abstractos, hay tantos *tipos* de *medicina* que sin más información no es posible saber a cuál de todas se hace referencia. La amplitud de la lista de tipos se debe a que el término está definido de tal forma que admite muchos casos particulares, de los cuales se acepta que algunos son *medicina* y otros no, pero hay muchos otros casos de los cuales dudamos si son algún *tipo*.

- e2. Juan estudia cardiología.
- f2. José sabe astrofísica.
- g2. María practica la homeopatía.
- h2. Lupita ejerce la acupuntura.

Para el caso de *e2* es claro que la cardiología es parte de la *medicina*, en cambio en *f2* sabemos que la astrofísica no lo es. Es decir, ambos son casos de los que podemos afirmar o negar si son *medicina*. Es distinto en los casos *g2* y *h2*. Aunque la homeopatía y la acupuntura forman parte de las MTC reconocidas por la OMS, las comunidades médicas de muchas partes del mundo discuten si estas disciplinas se pueden considerar o no como parte de la medicina. Es decir, las MTC no la conforman según los partidarios de la llamada medicina convencional. En cambio, quienes estudian y ejercen las MTC defienden que estas disciplinas son, al igual que las especialidades médicas que se enseñan en las facultades de medicina universitarias, disciplinas de conocimiento dedicadas al diagnóstico y la atención de las enfermedades humanas y por lo tanto forman parte. Esto es, las MTC son *medicina* por definición en su acepción 1, pero se discute si es pertinente incluirlas o no en los hechos.

La amplitud de la definición en su primera acepción permite que cualquier técnica o saber que cumpla con las características que señala pueda ser incluida en el conjunto. Esta inclusión crea confusión y discusión en cuanto a cuáles sí lo son, por lo tanto, hay casos de los cuales no se puede afirmar ni negar esto. En resumidas cuentas, si se acepta la acepción 1, la palabra resulta vaga porque su amplitud permite muchos casos particulares que no se está seguro si incluirlos o no en el conjunto. En otras palabras, *medicina* refiere a un conjunto sin límites claramente definidos, lo cual crea una zona de penumbra.

Hasta aquí se ha intentado mostrar la vaguedad y la ambigüedad de la palabra *medicina*. Si se acepta esto haría falta saber si esta característica afecta a la pregunta ¿qué clase de conocimiento es el saber de la medicina?

Discusión de resultados

Es evidente que la palabra analizada tiene ambigüedad léxica y es implícitamente vaga. Dado que las palabras que son ambiguas trasladan esta cualidad a las expresiones que la contienen, la pregunta por el *estatus epistemológico* también lo resulta. Algo similar ocurre con la vaguedad.

k. ¿Qué clase de conocimiento es el saber de la medicina?

Para estar en condiciones de responder *k* es imprescindible que se aclare su significado, lo cual requiere desambiguar e intentar definir el significado de *medicina*. Una forma de desambiguar es sustituyéndola por el *tipo* de medicina al que se quiere hacer referencia.

- k1. ¿Qué clase de conocimiento es el saber de la medicina nuclear?
- k2. ¿Qué clase de conocimiento es el saber de la medicina preventiva?
- k3. ¿Qué clase de conocimiento es el saber de la medicina naturista?
- k4. ¿Qué clase de conocimiento es el saber de la medicina ayurvédica?

En *k1*, *k2*, *k3* y *k4* la palabra ha sido sustituida por algún tipo del conjunto. Con esto se supera cierto grado de ambigüedad, lo que las hace menos ambiguas que *k*. Entre más específico se pueda ser en relación con el tipo de medicina al que se quiera hacer referencia aumentará la posibilidad de aclarar el significado de la expresión que la contenga.

Para aclarar el significado de una palabra se recurre a la definición. Entre mejor definida esté una palabra hay menos posibilidades de que sea vaga. Por lo tanto, además de desambiguar el término, se requiere una definición que busque delimitar lo más posible su significado. Por ejemplo:

- ka. En *k1* medicina nuclear se define como Q.
- kb. En *k2* medicina preventiva se define como X.
- kc. En *k3* medicina naturista se define como Y.
- kd. En *k4* medicina ayurvédica se define como Z.

Dadas *ka*, *kb*, *kc* y *kd* es más claro entender el significado de *k1*, *k2*, *k3* y *k4* porque ya no solo están desambiguadas, sino que además pueden ser menos vagas en la medida en que la definición del *tipo* de *medicina* que contienen esas expresiones sea más minuciosa.

Como se menciona en la introducción de este artículo, con el planteamiento de *k* se busca saber el estatus epistemológico de la medicina en relación con la ciencia.

- l. La medicina es una ciencia.
- m. La medicina no es una ciencia.

Desde el punto de vista epistemológico no podemos saber la verdad o falsedad de *l* o *m* porque ambas expresiones son vagas y ambiguas debido a que, igual que *k*, heredan la ambigüedad y vaguedad del étimo *medicina*. Solo al desambiguar y definir la palabra se está en condiciones de saber la verdad o falsedad de cualquier expresión que la contenga.

- 1l. La medicina X es una ciencia, y medicina X se define como Q.
- m1. La medicina Y no es una ciencia, y medicina Y se define como P.

Se está en mayores condiciones de saber la verdad o falsedad de *1l* y *m1* que de *l* y *m*. Igual que ocurre con *k*, entre más específico sea el *tipo* al que se quiere referir y más minuciosa sea su definición en las expresiones *1l* y *m1*, se tendrán mayores posibilidades de saber su verdad o falsedad y dar cuenta de su estatus epistemológico.

Aunque desambiguar y definir el significado del término nos ayuda con estas características en el significado de cualquier expresión que lo contenga, ello no significa que los problemas relacionados con la pregunta por su estatus epistemológico queden resueltos. Antes se deben abordar otros problemas emparentados con las distinciones epistemológicas entre ciencia, técnica, arte, filosofía u otros saberes.

Conclusiones

El término *medicina* es ambiguo y vago. Lo primero porque es polisémico y lo segundo porque los límites de su significado no están suficientemente claros. Ambas características del término hacen que las oraciones o expresiones que lo contienen adquieran estas cualidades. Tal es el caso de la pregunta ¿qué clase de conocimiento es el saber de la medicina?, y las posibles respuestas del tipo “la medicina no es una ciencia”, “la medicina es una técnica”, “la medicina no es un arte” o “la medicina es una filosofía”, “la medicina es una ciencia”, “la medicina es una técnica”, “la medicina es un arte”, entre otras. En este tenor, es difícil esclarecer el estatus epistemológico de la medicina en tanto no se especifique en qué sentido debe ser entendida la palabra *medicina* o el *tipo* de medicina al que se hace referencia. Asimismo, para responder a la pregunta por el estatus epistemológico de la medicina es imprescindible primero desambiguar el término y después definirlo.

Bibliografía

- Baldinger, K. (1977). *Teoría semántica. Hacia una semántica moderna*. Madrid: Alcalá.
- Bunge, M. (2012). *Filosofía para médicos*. Buenos Aires: Gedisa.
- Canguilhem, G. (2011). *Lo normal y lo patológico*. México: Siglo XXI.
- Collins, H. y Pinch, T. (2005). *Dr. Golem: How to think about medicine*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Coseriu, E. (1969). *Teoría del lenguaje y lingüística general*. Madrid: Gredos.
- Cunningham, T. (2015). "Objectivity, scientificity, and the dualist epistemology of medicine". En P. Huneman, G. Lambert y M. Silberstein (Eds.), *Classification, disease and evidence. New essays in the philosophy of medicine* (pp. 1-17). Londres: Springer.
- Forstrom, L. (1977). The scientific autonomy of clinical medicine. *The Journal of Medicine and Philosophy*, 2(1), p. 819. doi: <https://doi.org/10.1093/jmp/2.1.8>
- Guerrero, G. (2007). *Introducción a la filosofía de la ciencia. Documentos de trabajo* (2.ª ed.). Bogotá: Universidad del Valle.
- Gutiérrez, S. (2015). *De pragmática y semántica* (2.ª ed.). Madrid: Arco/Libros-La Muralla.
- Heger, K. (1974). *Teoría semántica. Hacia una semántica moderna* (tomo 2). Madrid: Alcalá.
- Hofmann, B. (2003). Medicine as *Techne*. A Perspective from Antiquity. *Journal of Medicine and Philosophy*, 28(4), pp. 403-425. doi: <https://doi.org/10.1076/jmep.28.4.403.15967>
- Katz, J. y Fodor, J. (1963). The structure of a semantic theory. *Language*, 39(2), pp. 170-210. doi: <https://doi.org/10.2307/411200>
- Kuhn, T. (2004). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lyons, J. (1997). *Semántica lingüística. Una introducción*. Buenos Aires: Paidós.
- Mauil, N. (1981). The practical science of medicine. *The Journal of Medicine and Philosophy*, 6(2), pp.165-182. doi: <https://doi.org/10.1093/jmp/6.2.165>
- Miller, C. (2014). Medicine is not science: guessing the future, predicting the past. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 20(6), pp. 865–871. doi: <https://doi.org/10.1111/jep.12197>
- Munson, R. (1981). Why medicine cannot be a science. *The Journal of Medicine and Philosophy*, 6(2), pp. 183-208. doi: <https://doi.org/10.1093/jmp/6.2.183>
- Muñoz. M. (1999). *La polisemia léxica*. Cádiz: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz
- NCCAM (2011). *Complementary and Alternative Medicine basics*. Washington D. C.: U. S. Department of Health. Recuperado de <https://nccih.nih.gov/sites/nccam.nih.gov/files/informaciongeneral.pdf>

- OMS (2013). *Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023*. Hong Kong: Organización Mundial de la Salud. Recuperado de <http://apps.who.int/medicinedocs/documents/s21201es/s21201es.pdf?ua=1>
- OPS (2011). *Residencias médicas en América Latina*. Washington D. C.: Organización Panamericana de la Salud. Recuperado de <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2012/HRS-SerieAPSNo5-Residencias.pdf>
- Peña, H. (1982). La ambigüedad. *Documentos lingüísticos y literarios*, (8), pp. 41-46. Recuperado de <http://www.revistadll.cl/index.php/revistadll/article/view/93>
- Pérez, R. (2000). *Serendipia, ensayos sobre ciencia, medicina y otros sueños* (5.ª ed.). México: Siglo XXI.
- RAE (2017). *Diccionario de la Lengua Española* (versión electrónica). Disponible en <http://dle.rae.es>
- Roberts, E y Pastor, B. (2013). *Diccionario etimológico indoeuropeo de la lengua española*. Madrid: Alianza.
- Romerales, E. (2004). La teoría pragmática de la vaguedad. Problemas y perspectivas. *Teoría*, 19(1), pp. 49-75. doi: <https://doi.org/10.1387/theoria.601>
- Russell, B. (1960). “Vaguedad”. En M. Bunge (Ed.), *Antología semántica* (pp. 14-24). Buenos Aires: Nueva Visión.
- Trujillo, R. (1976). *Elementos de semántica lingüística*. Madrid: Cátedra.
- Ullmann, S. (1967). *Semántica. Introducción a la ciencia del significado* (2.ª ed.). Madrid: Aguilar.
- Villoro, L. (1982). *Crear, saber, conocer*. México: Siglo XXI.



Respuesta EEG a llanto de bebé de madres biológicas y adoptivas

Marai Pérez Hernández*

Rosa María Hidalgo Aguirre**

Marisela Hernández González***

Miguel Angel Guevara Pérez****

Resumen

Las madres biológicas (MB) experimentan desde la gestación cambios hormonales que las preparan para la llegada del bebé, lo cual facilita el inicio de la conducta materna (CM), mientras que su mantenimiento dependerá de los estímulos provenientes del infante. Estos estímulos promueven en madres adoptivas (MA) un repertorio de conductas proinfante que genera un lazo emocional con ellos, equivalente a lo observado en MB. Si bien, se han descrito similitudes de la respuesta conductual a infantes, poco se sabe sobre el funcionamiento cerebral en relación a cada tipo de maternidad. El objetivo del estudio fue caracterizar la actividad eléctrica cerebral (EEG) de MB, MA y mujeres no madres (NM) mientras escuchan el llanto de bebé. Participaron 24 mujeres ($n = 8$ MB, $n = 8$ MA y $n = 8$ NM), quienes se sometieron a un registro de EEG en tres condiciones: línea base, llanto de bebé y ruido blanco. Las MB presentaron mayor potencia absoluta (PA) en bandas lentas (asociado a experiencias emocionales) en áreas prefrontal y parietal. En estas mismas áreas, las MB y MA presentaron una mayor PA en bandas rápidas ante el llanto de bebé (asociado a la detección, interpretación y preparación de respuesta al estímulo). Estos datos demuestran que las MB tienen un patrón

* Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. marai.perez@cunorte.udg.mx

** Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara. ronyhidalgo@gmail.com

*** Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara. mariselh@cencar.udg.mx

**** Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara. mguevara@cencar.udg.mx

característico de EEG, y ambos grupos de madres presentan una EEG similar cuando son expuestas al llanto de bebé, activación cerebral que no se observa en el grupo de mujeres que no son madres.

Palabras clave: neurobiología, comportamiento humano, potencia absoluta.

Área temática: ciencias sociales y humanidades.

Introducción

La conducta materna (CM) es la tendencia de una mujer para hacer del infante el objetivo de su conducta, descrita como promotora del bienestar del infante (Pryce, 1992). El cuidado prodigado por la madre hacia su infante es facilitado por la influencia hormonal, mientras que los estímulos infantiles se harán cargo de mantener esta conducta. También se ha mostrado que dichos estímulos son suficientes para generar el despliegue de conductas de cuidado de la madre hacia su hijo, incluso que podrían generar cambios cerebrales (Kim, Leckman, Mayes, Feldman, Wang y Swain, 2010; Hoekzema, Barba-Müller, Pozzobon, Picado, Lucco, García-García et al., 2017). Es el caso de las madres adoptivas, quienes despliegan la conducta materna de la misma manera como lo hacen las madres biológicas, aún sin haber pasado por la preparación biológica; sin embargo, son capaces de vincularse y garantizar el buen desarrollo a sus infantes. Desde esta perspectiva, en el estudio se indaga sobre la funcionalidad del cerebro materno de madres biológicas (MB) y madres adoptivas (MA), bajo la hipótesis de que esta presentará características similares en ambos grupos de madres cuando sean expuestas a un llanto de bebé.

Planteamiento del problema

La CM es mostrada no solo por mujeres que experimentan el proceso biológico de convertirse en madres, sino también por aquellas que adquieren la maternidad por un proceso legal. Varios estudios han mostrado que los estímulos sensoriales relacionados con el infante son suficientes para generar y mantener la CM. Las mujeres que adoptan bebés manifiestan conductas de cuidado y establecen vínculos afectivos que no difieren a los desplegados por una MB. Estos datos sugieren que ambos grupos de madres son capaces de detectar, percibir e interpretar los estímulos provenientes de infantes y asignarles un valor incentivo. Dicho procesamiento se lleva a cabo por diversas áreas cerebrales que se activan en diferente grado y se reflejan en el registro de la actividad eléctrico cerebral (EEG). Con estos antecedentes, el propósito del trabajo es determinar si la estimulación emitida por el bebé, particularmente el llanto, se relaciona con cambios particulares en la EEG de MB y de MA.

Sustento teórico

Maternidad

Es difícil definir la maternidad en un sentido específico, debido a que este concepto ha sido utilizado para nombrar una gran gama de aspectos biológicos, sociales y culturales relacionados con la reproducción y cuidado de la progenie. En un intento por precisarlo, se ha definido como un conjunto de interacciones emocionales recíprocas entre madre e hijo (Roselló, 1980). Desde una visión antropológica, la maternidad es entendida como un fenómeno sociocultural complejo que incluye las experiencias reproductivas y maternas (Sánchez-Bringas, 2009).

Sustrato neural de la maternidad

En los últimos años, se ha comenzado a estudiar la maternidad desde las neurociencias, con la finalidad de evidenciar la participación de sustratos neuroendocrinos (Feldman, Weller, Zagory-Sharon y Levine, 2007), neurofuncionales (Krach, Paulus, Bodden y Kircher, 2010) y neuroanatómicos (Kim et al., 2010; Hoekzema et al., 2017) en el despliegue de la conducta materna.

Asimismo, existen estudios sobre la respuesta materna ante estímulos provenientes de infantes en los se reporta activación de estructuras cerebrales como cíngulo anterior (CA), corteza prefrontal medial (CPFm), corteza prefrontal dorsolateral (CPFdl), corteza temporal, hipotálamo, cuerpos mamilares, área tegmental ventral (ATV), ganglios basales (sustancia nigra, globo pálido y putamen), ínsula, tálamo, protuberancia y amígdala (Kim et al., 2011; Lorberbaum et al., 2002; Swain, Tasgin, Mayes, Feldman, Constable y Lecomman, 2008) cuando las madres escuchan la grabación del llanto de bebé. Los resultados concordantes entre estos diferentes trabajos han permitido reconocer a la corteza prefrontal (CPF), CA, hipotálamo, amígdala e ínsula como participantes importantes en el despliegue de la CM, requeridos para la motivación, recompensa, planeación compleja de respuestas sociales, emocionales y empáticas en la interpretación de las señales emitidas por los infantes (Carr, Iacoboni, Dubeau, Mazziotta y Lenzi, 2003; Lorberbaum et al., 2002; Sander, Frome y Scheich, 2007; Swain y Lorberbaum, 2008).

Modulación sensorial de la maternidad

El mantenimiento de la CM dependerá de la cualidad e intensidad de los estímulos exteroceptivos y somatosensoriales percibidos del infante (Numan, 1994). En relación con ello, Díaz-Rossello y Ferreira-Castro (2008) mencionan que los recién nacidos son estímulos

capaces de regular la habilidad de la madre y su motivación para desplegar conductas de cuidado durante el período más vulnerable de la vida temprana.

Observaciones en las primeras dos horas después del nacimiento muestran que solo el ver al bebé por primera vez motiva a las madres a desplegar una serie de comportamientos dirigidos a examinarlo, acariciarlo cariñosamente, hasta que lo ‘incorpora’ completamente cerca de ella y el bebé se adhiere al pezón de la madre (Matthiesen, Ransjo-Arvidson, Nissen y Uvnas-Moberg, 2001). Conforme el niño va desarrollando capacidades para focalizar su atención y responder a las expresiones faciales de la madre, ella va incrementando la atención al infante, le habla y le sonríe más (Lavelli y Fogel, 2005).

Esta influencia que ejerce la convivencia con el infante sobre la regulación de las conductas de cuidado materno ha sido documentada. Por ejemplo, tras hacer una comparación entre un grupo de madres que son separadas de su bebé para proporcionar la atención “estándar” (bañarlo, llevarlo al cunero, etc.) y otro de madres que se les permite tener contacto con el recién nacido inmediatamente después del parto, se concluyó que estas últimas son quienes desarrollan una mayor sensibilidad a las necesidades del infante, mostrándose más pacientes y cariñosas (Maldonado, Lecannelier y Lartigue, 2008).

Atendiendo a lo anterior, se ha sugerido que el sistema endocrino no es un factor indispensable para el desarrollo de las conductas de cuidado en madres que no tuvieron la experiencia del embarazo y el parto, por lo que la estimulación sensorial proporcionada por el infante adquiere en ellas una mayor importancia.

Adopción

La maternidad no es exclusiva de lazos consanguíneos, esta también es adquirida por medio de la adopción. La MA comienza su transición y adaptación a la maternidad sin todo el contexto perinatal. Se pueden reconocer dos períodos. El preadoptivo, que comienza desde que se toma la decisión de adoptar hasta que se recibe al infante, incluye varias fases: decisión de adoptar, búsqueda de instituciones que pueden guiar para este fin, evaluación de los probables padres y el tiempo de espera una vez recibida la noticia de que son aprobados para la adopción. Durante este período muchas de las madres experimentan una gama de emociones como estrés, incertidumbre, aislamiento, unión, alegría y amor (Fontenot, 2007; McKay y Ross, 2010).

Una vez que ha recibido a su bebé, comienza la adaptación a la maternidad, lo cual marca el inicio del período posadoptivo. La madre centra su atención en conocer a su hijo y establecer comunicación con él, permitiéndole desarrollar el vínculo madre-infante. La MA desempeña adecuadamente todas las tareas relacionadas al cuidado del infante en la vida temprana, como lo hace una MB. Como madre primeriza,

experimenta los sentimientos de inadecuación materna, mismos que se desvanecen a medida que transcurre el tiempo de convivencia con su infante, como ocurre también en las MB (McKay y Ross, 2010).

Con respecto al despliegue de conductas socioemocionales, un estudio hecho a los cinco meses del nacimiento del bebé comparó las conductas dirigidas al infante de MB y MA. Los resultados señalan que hablarle al bebé es la conducta de mayor ocurrencia durante una hora de observación, seguida por la atención centrada en él, las caricias y convivencia activa con el infante. En términos de duración, abrazar al bebé, hablar con él y alimentarlo son las que tienen mayor presencia. Todas estas conductas se realizaron tanto por MB como MA y no se encontraron diferencias significativas (Suwalsky, Hendricks y Bornstein, 2008).

En la misma línea, Espinoza et al. (2004) afirman que las familias adoptivas y biológicas experimentan de manera similar el sentimiento de pertenencia, de posesión mutua, el cumplimiento de roles, el proceso y calidad del apego; aspecto en el que las MA no difieren en la calidad de este vínculo de aquellas madres con la experiencia del embarazo (Grasso, Moser, Dozier y Simons, 2009; Pérez-Hernández, Hernández-González, Hidalgo-Aguirre, Amezcua-Gutiérrez y Guevara, 2017; Singer, Brodzinsky, Ramsay, Steir y Waters, 1985).

Método

Participantes

Participaron 24 mujeres de 25 a 45 años, sanas, diestras, con características económicas, educativas y sociales similares. Ocho eran madres biológicas (grupo MB) y ocho adoptivas (grupo MA), todas primerizas, entre 6 meses a 30 meses de haber recibido a su bebé; las MB ya habían suspendido la lactancia. Las ocho restantes eran nulíparas (grupo NM), sin ningún tipo de experiencia materna. Todas sin presencia de algún trastorno depresivo o de ansiedad, ni antecedentes neurológicos o psiquiátricos; tenían una relación de pareja y fueron registradas durante los días 4 a 8 del ciclo menstrual, correspondientes a la fase folicular.

Estímulos auditivos, escalas y cuestionarios

Se utilizaron dos grabaciones de alta fidelidad, producidas en una cabina sonoamortiguada al 80 %, en formato digital. Cada una de tres minutos de duración: llanto de bebé, inducido por separación de la madre en un infante de 10 meses de edad, y ruido blanco que incluye todas las frecuencias audibles por el ser humano.

Se aplicó la Escala de Depresión de Beck (Beck, Steer y Garbin, 1988), Escala de Ansiedad de Beck (Beck, Epstein, Brown y Steer, 1988) y las subescalas de detección visual, de dígitos y de series sucesivas del Neuropsi de Atención y Memoria, con el objetivo a garantizar el cumplimiento de los criterios de inclusión de cada participante.

Registro EEG

La señal de las zonas frontales (F3, F4), temporales (T3, T4) y parietales (P3 y P4) fue registrada en un polígrafo Grass modelo P7 con filtros de 1 a 60 Hz. Muestras de 1024 puntos a una frecuencia de muestreo de 512 Hz. La impedancia de los electrodos fue menor de 10 kOhms. Además, se registró el oculograma (electrodos en el canto superior derecho e inferior izquierdo) para el control de movimientos oculares y como medida periférica la frecuencia cardíaca. El registro EEG fue capturado en una computadora tipo PC, a través de un convertidor analógico digital de 12 bits de resolución y por medio del programa captura de EEG ante eventos (CaptuEVE), una variante de Captusen (Guevara, Ramos-Loyo, Hernández-González, Madera-Carrillo y Corsi-Cabrera, 2000) especializado para este tipo de análisis. Los registros electroencefalográficos se llevaron a cabo entre las 9 y 13 horas, durante tres condiciones con duración de tres minutos cada una: línea base (LB, en vigilia y con ojos abiertos) ante una grabación de llanto de bebé y una grabación de ruido blanco (estática). La exposición al llanto de bebé (LL) y ruido blanco (RB) fue contrabalanceada.

Análisis de la señal EEG y estadístico

La señal EEG analógica obtenida fue amplificada, filtrada y digitalizada. El registro EEG de cada participante se revisó fuera de línea para eliminar los artefactos que pudieran existir. Este procedimiento se hizo mediante el programa computacional CHECAsEN, el cual permite inspeccionar visualmente las señales EEG y eliminar los segmentos contaminados por artefactos (Guevara, Sanz-Martin, Corsi-Cabrera, Amezcua-Gutiérrez y Hernández-González, 2010). Una vez con la señal libre de ruido, por medio de un análisis de la transformada rápida de Fourier, se obtuvo el espectro de amplitud para cada banda tradicional del registro EEG, δ (1.5-3.5 Hz), θ (4-7.5 Hz), $\alpha 1$ (8-9.5 Hz), $\alpha 2$ (10-12.5 Hz), $\beta 1$ (13-17.5 Hz), $\beta 2$ (18-25 Hz) y γ (31-50 Hz) y por cada derivación F3, F4, T3, T4, P3 y P4. La potencia absoluta (PA) se obtuvo a partir del espectro de amplitud y fue transformada a logaritmos.

El diseño estadístico consistió en un análisis de varianza (ANDEVA) de dos factores (3×3) de parcelas divididas (diseño mixto), seguido por una prueba *a posteriori* de Tukey con un nivel de significancia de 0.01 ($p \leq 0.01$). Las comparaciones se hicieron entre

grupos (NM, MB, MA) y entre condiciones (LB, LL, RB). Estos análisis se realizaron mediante el programa computacional EEGmagic diseñado para analizar señales EEG y agilizar su exploración cuantitativa (Guevara y Hernández-González, 2009).

Resultados

Comparación entre grupos

En el registro línea base, el grupo de MB presentó una mayor PA de la banda θ en comparación con los grupos de NM y MA en zonas frontales (F3, F4). Mientras que en zonas parietales (P3, P4), esta diferencia solo se presentó con respecto al grupo de NM (cuadro 1). El grupo de MA tuvo mayor PA en las bandas β_2 y γ en el temporal izquierdo (T3) respecto a MB, observándose también una tendencia en el temporal derecho (T4). En zonas parietales (P3, P4) la banda γ presentó una mayor PA en comparación a NM (cuadro 1). Ante la condición de LL, el grupo de MB en zonas frontales (F3, F4) presentó mayor PA en las bandas δ , β_1 , β_2 y γ , en zonas parietales (P3, P4) prevalece la mayor PA de la banda θ , en donde además se presentó una mayor PA en las bandas β_2 y γ en relación con el grupo de NM (cuadro 1). También fue observada una mayor PA solo en el frontal derecho (F4) respecto a NM. De manera análoga, este patrón de mayor PA en bandas rápidas (β_1 , β_2 y γ) se presentó en el grupo de MA en relación con NM en zonas parietales (P3, P4) (cuadro 1). Durante el RB, tanto el grupo de MB como el grupo de MA presentaron una mayor PA que el grupo de NM. El grupo de MB en la banda δ en el frontal derecho (F4), θ y β_1 en regiones frontales de ambos hemisferios (F3, F4). En el parietal izquierdo (P3) la mayor PA se presenta en θ , β_1 y γ , mientras que en el parietal derecho (P4) esta diferencia solo se presenta en θ . En las MA este patrón de mayor PA se observa en las bandas de β_2 y γ , particularmente en zonas parietales (P3, P4) (cuadro 1).

Comparación entre condiciones

En el grupo NM se presentó menor PA en el temporal izquierdo (T3) en las bandas θ y α_1 ante el LL, en comparación a la LB y el RB respectivamente. Además, en esta misma derivación se observó mayor PA en la banda γ ante el llanto respecto al RB. En el hemisferio derecho (T4) la banda α_1 mostró menor PA ante el llanto respecto al RB (cuadro 2). Por su parte, el grupo de MB presentó diferencias significativas en zonas frontales (F3, F4) y en el temporal izquierdo (T3), mostrando una mayor PA ante el LL en comparación a la LB en bandas rápidas (α_2 , β_1 , β_2 y γ). Mientras que en el temporal derecho (T4), este mayor PA se presentó solamente en la banda β_2 (cuadro 2). De manera similar, el grupo de MA presentó una mayor PA en las bandas rápidas (β_1 , β_2 y γ) ante el LL,

en comparación con la LB y el RB, principalmente en los temporales (T3, T4); aunque también se observa en el frontal (F3) y el parietal (P3) izquierdo. Una menor PA ante el LL respecto al RB se observó en el parietal derecho (P4) en la banda $\alpha 2$ (cuadro 2).

Cuadro 1. Diferencias significativas de la potencia absoluta de la comparación entre grupos

POTENCIA ABSOLUTA						
Linea base						
	F3	F4	T3	T4	P3	P4
DELTHA						
THETA	↑↑	↑↑			↑	↑
ALFA 1						
ALFA 2						
BETA 1						
BETA 2			↓			
GAMA			↓		⬆	⬆
Llanto de bebé						
DELTHA	↑	↑				
THETA					↑	↑
ALFA 1		↑				
ALFA 2						
BETA 1	↑	↑			↑⬆	↑
BETA 2	↑				⬆	⬆
GAMA	↑⬆	↑			↑⬆	↑⬆
Ruido blanco						
DELTHA		↑				
THETA	↑	↑			↑	↑
ALFA 1						
ALFA 2						
BETA 1	↑	↑			↑	
BETA 2					⬆	⬆
GAMA					↑⬆	⬆

■ Mamá biológica respecto a no mamá
□ Mamá adoptiva respecto a no mamá
▨ Mamá biológica respecto a mamá adoptiva

Cuadro 2. Diferencias significativas de la potencia absoluta de la comparación entre condiciones

POTENCIA ABSOLUTA						
No mamá						
	F3	F4	T3	T4	P3	P4
DELTA						
THETA			↓			
ALFA 1			↓	↓	↓	
ALFA 2						
BETA 1						
BETA 2						
GAMA			↑			
Mamá biológica						
DELTA						
THETA						
ALFA 1			↓			
ALFA 2			↑			
BETA 1	↑	↑	↑			↑
BETA 2	↑		↑	↑		
GAMA	↑	↑	↑			
Mamá adoptiva						
DELTA						↑
THETA						
ALFA 1						
ALFA 2						↑
BETA 1			↑	↑↑		
BETA 2	↑		↑	↑↑		
GAMA	↑		↑↑	↑↑	↑	

 Llanto respecto a línea base

 Llanto respecto a ruido blanco

Análisis y discusión de resultados

De manera general, se encontró una actividad EEG muy diferente entre las mujeres NM y las mujeres madres (tanto MB como MA), en tanto que entre estos dos grupos de madres (MB y MA) el EEG presentó patrones similares asociados al llanto de bebé, sin llegar a ser exactamente iguales.

Las NM presentaron cambios EEG en el rango de alfa que se podrían atribuir a los distintos estados de alertamiento o atención general asociados a la audición del llanto y del ruido blanco. De acuerdo con esto se ha reportado una mayor presencia de α durante la meditación (Chiş, 2009) y el registro de EEG con ojos cerrados (Benca et al., 1999), y durante periodos de descanso (sin realizar tarea alguna) (Ramos-Loyo, González-Garrido, Amezcua y Guevara, 2004). Mientras que una menor amplitud de α se observa ante una mayor demanda de atención (Vachon-Preseau, Achim y Benoit-Lajoie, 2009). Así, es probable que la menor PA de α ante el llanto podría deberse a la mayor activación que este estímulo provocó en las NM, mientras que la mayor PA de la misma banda podría asociarse con la menor activación o atención que las mujeres NM prestaron al RB.

Es probable que el incremento de las frecuencias lentas en MB sea un patrón o cambio EEG característico y muy particular que las distingue, en cualquier situación, de las NM y MA. Esta sugerencia es apoyada por otros estudios en los cuales se ha mostrado que las MB lactantes presentan una predominancia de ondas lentas durante el sueño, asociando esta predominancia de frecuencias lentas a los altos niveles de prolactina que se sabe existen en las mujeres lactantes y aumentan drásticamente durante el amamantamiento (Blyton, Sullivan y Edwards, 2002; Nishihara, Horiuchi, Eto, Uchida y Honda, 2004).

Si bien en este estudio no se midieron los niveles hormonales y las MB ya no estaban lactando, 6 de 8 MB amamantaron a sus bebés durante un promedio de 7 meses; esta posible asociación con la mayor PA de bandas lentas está relacionada con la presencia de PRL en sangre. La ausencia de este patrón EEG en las MA y las NM apoyan tal sugerencia, además de otros trabajos. Por ejemplo, se ha reportado la presencia de ondas lentas de 6 a 10 Hz en zonas parietales durante el amamantamiento, y se ha interpretado como una conducta de relajación (Cervantes, Ruelas y Alcalá, 1992).

Además, estudios más recientes han reportado un aumento en ondas lentas durante el sueño en MB que estaban alimentando a sus infantes con leche materna, respecto a aquellas que lo hacían con biberón y de mujeres NM (Blyton, Sullivan y Edwards, 2002). Un similar patrón EEG con predominancia de ondas lentas ha sido observado en madres lactantes de 9 a 13 semanas posparto (PPT) (Nishihara et al., 2004) y durante el amamantamiento respecto a succión mecánica en madres entre 6 y 9 meses PPT (Pérez-Hernández et al., en preparación).

Otro interesante resultado de este trabajo es el hecho de que ante el llanto de bebé tanto las MB como las MA presentaron una mayor PA de las frecuencias rápidas en áreas frontales y parietales. La predominancia de frecuencias rápidas en la actividad eléctrica cortical se ha asociado a estados de alta atención y activación cerebral, así como a procesos de integración cognoscitiva y motivo-emocional (Doesburg, Green, McDonald y Ward, 2012; Luo et al., 2009; Vachon-Presseau et al., 2009). Se ha descrito que ante el llanto del bebé, las madres no solo presentan un alto grado de activación general, sino que también, de forma simultánea, intentan descifrar el motivo del llanto (Seifritz et al., 2003; Stallings, Fleming, Corter, Worthman y Steiner, 2001; Swain y et al., 2008) y planear la estrategia más adecuada para calmarlo (Drummond, McBride y Wiebe, 1993), lo que implica procesos cognoscitivo-emocionales como la planeación, la atención, la memoria de trabajo, entre otros (Baddeley, 1998; Deater-Deckard, Sewell, Petrill y Thompson, 2010; Steadman et al., 2007). Así es probable que en este trabajo la mayor prevalencia de frecuencias rápidas que presentan las MB y las MA ante la audición del llanto se asocie con los procesos cognitivo-emocionales antes mencionados.

Smirnov et al. (2002) encontraron también esta característica prevalencia de frecuencias EEG rápidas en MB registradas entre los 7 y 10 meses PPT, con respecto a ellas mismas durante la gestación. En su estudio caracterizaron la actividad EEG de MB sin exposición a ningún estímulo. En el presente estudio, la mayor presencia de bandas rápidas predominó durante el llanto, pero se observan algunas diferencias significativas y tendencias durante las tres condiciones (LB, LL y RB), esto únicamente en los dos grupos de madres.

Esta concordancia entre los resultados obtenidos por Smirnov, Batuev y Korsakova (2002) y los encontrados en esta investigación llevan a proponer que la prevalencia de bandas rápidas probablemente se asocie con los cambios plásticos cerebrales que ocurren durante la maternidad, como ha sido demostrado en dos estudios en los que se midió el volumen de materia gris. En el primero, lo hicieron antes y después del embarazo, en el que compararon los cambios en volumen de materia gris con los cambios observados de mujeres nulíparas, medidos en un intervalo de tiempo comparable al grupo de MB. Se observó una disminución en el volumen de la materia gris en la línea media anterior y posterior, extendiéndose hacia áreas de la corteza prefrontal. Esta disminución solo se presentó en las madres primerizas entre 1 y 4 meses después del parto, conservándose hasta los 2 años PPT (Hoekzema y et al., 2016). En el segundo, observaron igualmente cambios en la corteza prefrontal, un mayor volumen de la materia gris entre los 3-4 meses PPT respecto a ellas mismas entre las 2-4 semanas PPT (Kim et al., 2010); lo que sugiere que la continua convivencia con el infante induce cambios anatómicos cerebrales que a su vez pudieran traducirse en una diferente funcionalidad del “cerebro materno”.

Los resultados de nuestro estudio muestran además que tales cambios en la funcionalidad cerebral no solo se restringieron a las MB, sino que también se manifestaron

en las MA en relación a la audición del llanto. De acuerdo a lo ya mencionado en los antecedentes, se sabe que las MA despliegan conductas de cuidado y establecen lazos de afecto similares a los manifestados por las MB, así, una posible interpretación sería que la constante interacción con el bebé y la continua exposición a sus estímulos probablemente induce, al igual que en las MB, cambios neurales que se reflejarían en la mayor actividad EEG de frecuencias rápidas.

La aparición de la banda γ está relacionada con la orientación de atención auditiva (Doesburg et al., 2012) y sincronización de la respuesta neural, además de ser un importante modulador de la atención selectiva, de manera que refleja un mecanismo de incremento de atención (Lee, Park, Kang, Kang, Kim y Kwon, 2007). El aumento de PA en bandas rápidas apareció con mayor predominancia durante la escucha del llanto de bebé y únicamente en los dos grupos de madres, esto podría sugerir un procesamiento diferente del estímulo debido a su experiencia como madres. Ya se ha reportado que el llanto es capaz de modular la conducta de la madre, preparándola para actuar (sensación de urgencia por ayudar) y provocando en ella una respuesta emocional que la hace responder empáticamente (Lorberbaum et al., 2002; Stallings et al., 2001).

De esta manera se podría interpretar esta activación EEG como una reacción de alertamiento, de búsqueda del origen del estímulo (llanto) y una vez detectado, focalizar la atención para lograr reconocer quizá la razón de este. Al respecto de esto último, después de que las madres fueron expuestas al llanto, algunas de ellas reportaron que habían tratado de identificar su motivo, mencionaron que había sido un “llanto de enojo, de que algo le habían quitado”, y efectivamente, el estímulo utilizado fue la grabación de un bebé a quién se le había separado de la madre.

Así, en su conjunto, los resultados EEG de este trabajo muestran, de manera objetiva, que la funcionalidad cortical de las MB y las MA es similar, pero no exactamente igual mientras escuchan el llanto de bebé. Se requiere aún de más investigación relacionada con los estados afectivos y motivo-emocionales de las MB y MA, y su relación con los procesos funcionales cerebrales e incluso hormonales, para poder discriminar si los patrones de correlación electroencefalográfica característicos de las MA son una consecuencia directa de la detección y procesamiento auditivo, de la actividad cognoscitiva que subyace al estado de activación maternal, del procesamiento motivo-emocional o de una combinación de todos estos diferentes procesos.

Conclusiones

La actividad EEG es muy diferente de las mujeres NM y las mujeres madres. Las MB y las MA presentaron una mayor PA de frecuencias rápidas (β y γ) en las derivaciones frontales y parietales ante el llanto de bebé, lo cual se asociaría con la mayor atención o procesamiento cognoscitivo emocional, o ambas, que las madres realizan ante el estímulo auditivo maternalmente relevante. Sin embargo, las MB se caracterizaron por presentar un rasgo o particularidad EEG específica, una mayor PA de las frecuencias lentas (principalmente theta) en todas las condiciones (LB, LL y RB) en las derivaciones frontales y parietales.

Bibliografía

- Baddeley, A. (1998). Recent developments in working memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 8(2), pp. 234-238. doi: [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(98\)80145-1](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(98)80145-1)
- Beck, A. T.; Epstein, N.; Brown, G. y Steer, R. A. (1988). An inventory for measuring clinical anxiety: psychometric properties. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 56(6), pp. 893-897. doi: <https://doi.org/10.1037//0022-006x.56.6.893>
- Beck, A. T.; Steer, R. A. y Carbin, M. G. (1988). Psychometric properties of the Beck Depression Inventory: Twenty-five years of evaluation. *Clinical Psychology Review*, 8(1), pp. 77-100. doi: [https://doi.org/10.1016/0272-7358\(88\)90050-5](https://doi.org/10.1016/0272-7358(88)90050-5)
- Benca, R. M.; Obermeyer, W. H.; Larson, C. L.; Yun, B.; Dolski, I.; Kleist, K. D. et al. (1999). EEG alpha power and alpha power asymmetry in sleep and wakefulness. *Psychophysiology*, 36(4), pp. 430-436. doi: <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3640430>
- Blyton, D. M., Sullivan, C. E. y Edwards, N. (2002). Lactation is associated with an increase in slow-wave sleep in women. *Journal of Sleep Research*, 11(4), pp. 297-303. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2002.00315.x>
- Carr, L.; Iacoboni, M.; Dubeau, M. C.; Mazziotta, J. C. y Lenzi, G. L. (2003). Neural mechanisms of empathy in humans: a relay from neural systems for imitation to limbic areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(9), pp. 5497-5502. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0935845100>
- Cervantes, M., Ruelas, R. y Alcalá, V. (1992). EEG signs of “relaxation behavior” during breast-feeding in a nursing woman. *Archives of Medical Research*, 23(3), pp. 123-127.
- Chiş, I. E. (2009). The evolution of brain waves in altered states of consciousness (REM sleep and meditation). *HVM Bioflux*, 1(2), pp. 95-102. Recuperado de <http://www.hvm.bioflux.com.ro/docs/2009.1.95-102.pdf>

- Deater-Deckard, K.; Sewell, M. D.; Petrill, S. A. y Thompson, L. A. (2010). Maternal working memory and reactive negativity in parenting. *Psychological Science*, 21(1), pp. 75-79. doi: <https://doi.org/10.1177/0956797609354073>
- Díaz-Rossello, J. L. y Ferreira-Castro, A. (2008). Maternology. *NeoReviews*, 9(8), pp. 326-331. doi: <https://doi.org/10.1542/neo.9-8-e326>
- Doesburg, S. M.; Green, J. J.; McDonald, J. J. y Ward, L. M. (2012). Theta modulation of inter-regional gamma synchronization during auditory attention control. *Brain Research*, 1431, pp. 77-85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.11.005>
- Drummond, J. E.; McBride, M. L. y Wiebe, C. F. (1993). The development of mothers' understanding of infant crying. *Clinical Nursing Research*, 2(4), 396-410. doi: <https://doi.org/10.1177/105477389300200403>
- Espinoza, M. J.; Yuraszcek, T. J. y Salas, U. C. (2004). Adopción: Una familia para un niño o una forma de hacer familia. *Revista chilena de pediatría*, 75(1), pp. 13-21. doi: <https://doi.org/10.4067/S0370-41062004000100002>
- Feldman, R.; Weller, A.; Zagoory-Sharon, O. y Levine, A. (2007). Evidence for a neuroendocrinological foundation of human affiliation: plasma oxytocin levels across pregnancy and the postpartum period predict mother-infant bonding. *Psychological Science*, 18(11), pp. 965-970. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.02010.x>
- Fontenot, H. (2007). Transition and adaptation to adoptive motherhood. *Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing*, 36(2), pp. 175-182. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1552-6909.2007.00134.x>
- Grasso, D. J.; Moser, J. S.; Dozier, M. y Simons, R. (2009). ERP correlates of attention allocation in mothers processing faces of their children. *Biological Psychology*, 81(2), pp. 95-102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.03.001>
- Guevara, M. A. y Hernandez-Gonzalez, M. (2009). EEGmagic: programa para analizar señales electroencefalográficas. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 30(1), pp. 41-53. Recuperado de <http://rmib.com.mx/index.php/rmib/article/view/310/364>
- Guevara, M. A.; Sanz-Martin, A.; Corsi-Cabrera, M.; Amezcua-Gutierrez, C. y Hernandez-Gonzalez, M. (2010). CHECAsEN: programa para revisar señales EEG fuera de línea. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 31(2), pp. 135-145. Recuperado de <http://rmib.com.mx/index.php/rmib/article/view/451>
- Guevara, M.; Ramos-Loyo, J.; Hernandez-Gonzalez, M.; Madera-Carrillo, H. y Corsi-Cabrera, M. (2000). Captusen: Un Sistema para la Adquisición Computarizada del EEG y los Potenciales Relacionados a Eventos. *Revista Mexicana de Psicología*, 17(1), pp. 77-68.

- Hoekzema, E.; Barba-Müller, E.; Pozzobon, C.; Picado, M.; Lucco, F.; García-García, D. et al. (2017). Pregnancy leads to long-lasting changes in human brain structure. *Nature Neuroscience*, 20(2), pp. 287-296. doi: <https://doi.org/10.1038/nn.4458>
- Kim, P.; Feldman, R.; Mayes, L. C.; Eicher, V.; Thompson, N.; Leckman, J. F. et al. (2011). Breastfeeding, brain activation to own infant cry, and maternal sensitivity. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52(8), pp. 907-915. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2011.02406.x>
- Kim, P.; Leckman, J. F.; Mayes, L. C.; Feldman, R.; Wang, X. y Swain, J. E. (2010). The plasticity of human maternal brain: longitudinal changes in brain anatomy during the early postpartum period. *Behavioral Neuroscience*, 124(5), pp. 695-700. doi: <https://doi.org/10.1037/a0020884>
- Krach, S.; Paulus, F. M.; Bodden, M. y Kircher, T. (2010). The rewarding nature of social interactions. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 4(22), pp. 1-3. doi: <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2010.00022>
- Lavelli, M. y Fogel, A. (2005). Developmental changes in the relationship between the infant's attention and emotion during early face-to-face communication: the 2-month transition. *Developmental Psychology*, 41(1), pp. 265-280.
- Lee, B.; Park, K. S.; Kang, D. H.; Kang, K. W.; Kim, Y. Y. y Kwon, J. S. (2007). Generators of the gamma-band activities in response to rare and novel stimuli during the auditory oddball paradigm. *Neuroscience Letters*, 413(3), pp. 210-215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.11.066>
- Lorberbaum, J. P.; Newman, J. D.; Horwitz, A. R.; Dubno, J. R., Lydiard, R. B.; Hamner, M. B. et al. (2002). A potential role for thalamocingulate circuitry in human maternal behavior. *Biological Psychiatry*, 51(6), pp. 431-445. doi: [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(01\)01284-7](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(01)01284-7)
- Luo, Q.; Mitchell, D.; Cheng, X.; Mondillo, K.; McCaffrey, D.; Holroyd, T. et al. (2009). Visual awareness, emotion, and gamma band synchronization. *Cerebral Cortex*, 19(8), pp. 1896-1904. doi: <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn216>
- Maldonado, M.; Lecannelier, F. y Lartigue, T. (2008). Aspectos evolutivos de la relación madre-bebé. *Perinatología y Reproducción Humana*, 22(1), pp. 15-25.
- Matthiesen, A. S.; Ransjo-Arvidson, A. B.; Nissen, E. y Uvnas-Moberg, K. (2001). Postpartum maternal oxytocin release by newborns: effects of infant hand massage and sucking. *Birth*, 28(1), pp.13-19. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1523-536x.2001.00013.x>
- McKay, K. y Ross, L. E. (2010). The transition to adoptive parenthood: A pilot study of parents adopting in Ontario, Canada. *Children and Youth Services Review*, 32(4), pp. 604-610. doi: <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2009.12.007>

- Nishihara, K.; Horiuchi, S.; Eto, H.; Uchida, S. y Honda, M. (2004). Delta and theta power spectra of night sleep EEG are higher in breast-feeding mothers than in non-pregnant women. *Neuroscience Letters*, 368(2), pp. 216-220. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2004.07.021>
- Numan, M. (1994). "Maternal Behavior". En E. Knobil y J. D. Neill (Eds.), *Physiology of reproduction* (2.ª ed., pp. 221-302). Nueva York: Academic Press.
- Pérez-Hernández, M.; Hernández-González, M.; Hidalgo-Aguirre, R.M.; Amezcua-Gutiérrez, C. y Guevara, M.A. (2017). Listening to a baby crying induces higher electroencephalographic synchronization among prefrontal, temporal and parietal cortices in adoptive mothers. *Infant Behavior and Development*, 47, pp. 1-12 doi: <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2017.02.003>
- Pryce, C. R. (1992). A Comparative Systems-Model of the Regulation of Maternal Motivation in Mammals. *Animal Behaviour*, 43(3), pp. 417-441. doi: [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(05\)80102-2](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80102-2)
- Ramos-Loyo, J.; González-Garrido, A. A.; Amezcua, C. y Guevara, M. A. (2004). Relationship between resting alpha activity and the ERPs obtained during a highly demanding selective attention task. *International Journal of Psychophysiology*, 54(3), pp. 251-262. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2004.05.008>
- Roselló, G. (1980). *Diccionario de psicología*. Barcelona: Elícien
- Sánchez-Bringas, A. (2009). Reflexiones metodológicas para el estudio sociocultural de la maternidad. *Perinatología y Reproducción Humana*, 23(4), pp. 237-246. Recuperado de <https://www.medigraphic.com/pdfs/inper/ip-2009/ip094h.pdf>
- Sander, K.; Frome, Y. y Scheich, H. (2007). fMRI activations of amygdala, cingulate cortex, and auditory cortex by infant laughing and crying. *Human Brain Mapping*, 28(10), pp. 1007-1022. doi: <https://doi.org/10.1002/hbm.20333>
- Seifritz, E.; Esposito, F.; Neuhoﬀ, J. G.; Luthi, A.; Mustovic, H.; Dammann, G. et al. (2003). Differential sex-independent amygdala response to infant crying and laughing in parents versus nonparents. *Biological Psychiatry*, 54(12), pp. 1367-1375. doi: [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(03\)00697-8](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(03)00697-8)
- Singer, L. M.; Brodzinsky, D. M.; Ramsay, D.; Steir, M. y Waters, E. (1985). Mother-infant attachment in adoptive families. *Child Development*, 56(6), pp. 1543-1551. doi: <https://doi.org/10.2307/1130473>
- Smirnov, A. G.; Batuev, A. S. y Korsakova, E. A. (2002). EEG dynamics in women during pregnancy and after delivery. *Fiziologiya Cheloveka*, 28(4), pp. 26-37.
- Stallings, J.; Fleming, A. S.; Corter, C.; Worthman, C. y Steiner, M. (2001). The Effects of Infant Cries and Odors on Sympathy, Cortisol, and Autonomic Responses in New Mothers and Nonpostpartum Women. *Parenting*, 1(1), pp. 71-100. doi: <https://doi.org/10.1080/15295192.2001.9681212>

- Steadman, J.; Pawlby, S.; Mayers, A.; Bucks, R. S.; Gregoire, A.; Miele-Norton, M. et al. (2007). An exploratory study of the relationship between mother-infant interaction and maternal cognitive function in mothers with mental illness. *Journal of Reproductive and Infant Psychology*, 25(4), pp. 255-269. doi: <https://doi.org/10.1080/02646830701691343>
- Suwalsky, J. T.; Hendricks, C. y Bornstein, M. H. (2008). Families by Adoption and Birth: I. Mother-Infant Socio-emotional Interactions. *Adoption Quarterly*, 11(2), pp. 101-125. doi: <https://doi.org/10.1080/10926750802374942>
- Swain, J. E. y Lorberbaum, J. P. (2008). "Imaging the human parental brain". En R. S. Bridges (Ed.), *Neurobiology of the parental brain* (pp. 83-100). San Diego: Academic Press.
- Swain, J. E.; Tasgin, E.; Mayes, L. C.; Feldman, R.; Constable, R. T. y Leckman, J. F. (2008). Maternal brain response to own baby-cry is affected by cesarean section delivery. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 49(10), pp. 1042-1052. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2008.01963.x>
- Vachon-Pressseau, E.; Achim, A. y Benoit-Lajoie, A. (2009). Direction of SMR and Beta Change with Attention in Adults. *Journal of Neurotherapy*, 13(1), 22-29. doi: <https://doi.org/10.1080/10874200802668283>



Estado nutricional de alumnos de primer ingreso del CUNorte

Nancy Yamile Márquez Mayorga
Violeta Villavicencio Hernández
Alejandra Huízar Castañeda
Daniela García Guerrero

Resumen

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la actualidad la sociedad enfrenta problemas de malnutrición provocados por el déficit o exceso en la ingesta calórica, lo que repercute directamente en el desarrollo físico y cognitivo, y en consecuencias de índole económico-social.

Este estudio descriptivo longitudinal tiene por objetivo comparar el estado nutricional de alumnos de primer ingreso del Centro Universitario del Norte (CUNorte). La muestra fue de 2471 alumnos, correspondiente a los 11 programas educativos (PE). Los alumnos del ciclo 2015A al 2019A fueron evaluados al ingresar, determinando su peso, talla, edad e índice de masa corporal (IMC).

De la muestra integrada por un 25 % hombres y 75 % mujeres, los promedios obtenidos fueron un 56.63 % peso saludable, un 7.06 % bajo peso, un 22.25 % sobrepeso y un 13.96 % obesidad. El mayor porcentaje lo obtuvo Contaduría Pública con un 27.12 % de sobrepeso, Derecho con un 15.96 % de obesidad y Electrónica y Computación con un 13.64 % en bajo peso.

Cabe resaltar que en los últimos cuatro ciclos escolares aumentó la tendencia hacia la malnutrición, con un 2.2 % en bajo peso y un 0.6 % en obesidad en todos los PE.

Se concluye con la existencia del aumento hacia la malnutrición en alumnos de primer ingreso a pregrado y por ende la necesidad de diseñar e implementar programas enfocados en la prevención de la malnutrición en el nivel medio superior y superior, así como de programas de atención y seguimiento a estudiantes universitarios.

Palabras claves: dietética, estado nutricional, malnutrición, bienestar del estudiante.

Área temática: salud.

Introducción

Los estudiantes que ingresan al Centro Universitario del Norte (CUNorte) están en una fase importante de desarrollo y de adquisición de conocimientos. Mismos que les ayudarán en su formación profesional y determinarán su estilo de vida por el resto de su edad adulta.

Este estilo será influenciado por factores psicológicos, sociales, culturales y económicos. Y no solo se enfrentarán a ello, también a la transición de la adolescencia a la adultez adquiriendo nuevas responsabilidades. En el caso de algunos estudiantes provenientes de otros municipios, se suman modificaciones drásticas en su contexto cultural y círculo de amistades que determinan su toma de decisiones en relación a la alimentación y actividad física que realizan, lo cual tiene por consecuencia cambios en el estado nutricional (Vargas, Becerra y Prieto, 2008).

Considerando que la malnutrición en estudiantes universitarios repercute en su rendimiento académico (Vargas, Becerra y Prieto, 2010) y en su salud, fue necesario evaluar su estado nutricional al ingresar al nivel superior para determinar en qué condiciones llegan del bachillerato y comparar las cohortes y analizar la tendencia para establecer estrategias de prevención a la malnutrición en el nivel medio superior. De igual manera, implementar un programa nutricional que ayude a alumnos del nivel superior a mejorar su estado de salud y calidad de vida.

Planteamiento del problema

La sociedad actual enfrenta un problema de salud pública relacionado con estilos de vida no saludables que afectan el estado nutricional. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016) la malnutrición se debe a las carencias, los excesos o los desequilibrios de la ingesta calórica y nutrimental de la persona. Esta comprende dos afecciones muy importantes: la primera, está relacionada con la carencia en la ingesta de energía o micronutrientes o ambas, lo que provoca un peso inferior al esperado en relación a la talla o edad; la segunda, se debe a un consumo excesivo de energía, por ende, una acumulación de peso que causa sobrepeso y obesidad.

Según la OMS (2018) a nivel mundial la prevalencia de obesidad se ha triplicado desde 1975. Durante el 2016 se reportó que el 13 % de la población adulta mayor de 18 años era obesa y el 39 % tenían sobrepeso. Esto significa que más de la mitad de la población tenía un problema grave de salud. Solo en México, durante el 2016, el 72.5 % de la población adulta presentó sobrepeso y obesidad, siendo las mujeres las que presentaron mayor prevalencia (75.6 %) en comparación con los hombres (69.4 %) (Rivera et al., 2018).

A pesar de ser una necesidad fundamental para el mantenimiento de la vida, distintos factores hay al llevar una alimentación saludable, entre ellos destacan los económicos,

socioculturales, religiosos, la disponibilidad que se tiene a los alimentos en la región, estímulos sensoriales, publicidad, habilidades culinarias.

Considerando lo anterior, es de gran importancia evaluar a los estudiantes que ingresan al CUNorte, con el objetivo de identificar a quienes no presentan un estado nutricional óptimo y poder ofrecer orientación adecuada a sus necesidades.

Sustento teórico

El estado nutricional es la situación en la que se encuentra una persona con relación a la ingesta y adaptaciones fisiológicas que tienen lugar tras el ingreso de nutrientes.

Un joven universitario se caracteriza por cursar un periodo entre la infancia y la adultez, con cambios fisiológicos y psicológicos, además de variaciones en la dieta e ingesta de nutrimentos, donde su patrón de alimentación se asocia con su estilo de vida y con la regularidad en sus comidas. Es una etapa donde se pueden reforzar o cambiar hábitos alimentarios que pueden prevalecer en la adultez (De Piero, Bassett, Rossi, y Sammán, 2015; Ruiz, Del Pozo, Valero, Ávila, y Varela-Moreiras, 2013).

La mayoría de países latinoamericanos están presentando el problema de malnutrición por déficit de nutrientes, por lo que el estado nutricional se ha convertido en un indicador del estado de salud, lo que contribuye a la identificación de grupos de riesgo con deficiencias o excesos dietéticos (Corvos, 2011).

La prevalencia de malnutrición en México va en aumento, principalmente la obesidad, y suele repercutir en el rendimiento académico (Vargas, Becerra y Prieto, 2010). Se presenta en todos los grupos sociales, incluyendo a los estudiantes de nivel superior (López, 2017), quienes asumen por primera vez la responsabilidad de la alimentación y en muchas ocasiones generan un nuevo patrón. En ellos la vulnerabilidad se presenta por los malos hábitos alimentarios basados en el desconocimiento de lo que es una dieta adecuada y equilibrada (Navarro et al., 2017). Además de las limitaciones del tiempo al estar la mayor parte del día ocupado, lo que lleva a omitir comidas, abusar de la comida rápida, alcohol y bebidas azucaradas (Cervera, Serrano, Vico, Milla, y García 2014). Y de factores psicológicos y sociales que influyen en la imagen corporal, de lo cual se ven afectadas principalmente las mujeres (Cares, Salgado y Solar 2017).

El desayuno es uno de los tiempos de comida más importantes, debido a que aporta los primeros hidratos de carbono al inicio de las labores diarias. En los universitarios es uno de los tiempos de comida que se omite ya sea por falta de tiempo o por no tener apetito al despertar (Rizo, González y Cortés, 2014).

Los principales problemas alimentarios se vinculan con bajos consumos de frutas, verduras, leguminosas, pescados y lácteos, sumado al alto consumo de alimentos industrializados que generalmente contribuyen a un aporte excesivo de calorías, grasas, azúcar

y sal. La dieta mediterránea es un patrón de dieta equilibrado caracterizado por un consumo elevado de frutas y verduras frescas, aceite de oliva y bajo consumo de lácteos y carnes rojas. La adherencia a la dieta mediterránea ha demostrado disminuir la mortalidad al prevenir el desarrollo de sobrepeso y obesidad. Sin embargo, la juventud universitaria se está adaptando más a una dieta occidental, al consumo de grasas saturadas y azúcares refinados, lo que favorece al aumento de la grasa corporal (Zulet et al., 2019).

Método

Diseño de la investigación

La investigación fue un estudio de tipo descriptivo longitudinal, diseñado para describir y cuantificar características de los estudiantes de primer ingreso de CUNorte.

Población de estudio y muestra

Criterios de inclusión: varones y mujeres de primer ingreso al CUNorte. El universo de estudio fue de 3612 alumnos, quienes corresponden al total de la matrícula de primer ingreso de los 11 programas educativos del Centro. Se tomó una muestra de 2471 alumnos en un periodo de 5 años, que comprenden a los ciclos del 2015A al 2019A. La muestra representa el 68 % del total de la matrícula de primer ingreso del periodo estudiado.

Métodos de medición

La talla

La talla (m) fue medida con tallímetro SECA 216 (precisión de 1 mm), sin calzado, en pantaloneta y camiseta. Se ubicó al individuo en la parte central del tallímetro, con talones juntos, las puntas ligeramente separadas (ángulo entre 45° y 60°). Talones, cadera, hombros y cabeza firme junto al tallímetro, los brazos libres y al costado del cuerpo. La cabeza erguida con el borde orbital inferior en el mismo plano horizontal que el conducto auditivo externo (plano de Frankfurt), considerando los criterios establecidos por la Sociedad Internacional para el Avance de la Kinantropometría (ISAK, por sus siglas en inglés) (Esparza-Ros, Vaquero-Cristóbal y Marfell-Jones, 2019).

Peso

El peso (kg) se determinó mediante una balanza digital OMRON con dispositivo de impedancia bioeléctrica HBF-510LA a una frecuencia de 50 KHz, con electrodos en manos y pies. Los sujetos fueron evaluados sin calzado, en pantaloneta y camiseta ubicándose

en el centro de la balanza, con el cuerpo y la cabeza erguida mirando al frente y con los brazos paralelos al piso (extendidos al frente) formando un ángulo de 90° respecto a su cuerpo. Sujataron los electrodos con ambas manos, siguiendo el protocolo descrito por el fabricante.

Las posturas que se debían evitar durante la medición fueron el movimiento durante la medición, brazos doblados, brazos demasiado bajos o altos, pantalla colocada hacia arriba, rodillas dobladas y de pie sobre el borde de la unidad de plataforma. Por lo que el protocolo que se siguió durante las mediciones fue el siguiente:

1. Configurar y ajustar los datos personales del sujeto en el monitor. Los parámetros que se introdujeron para la correcta medición fueron edad, sexo y la estatura en centímetros.
2. Subirse en la unidad de medición descalzos y colocando los pies sobre los electrodos para estos, de manera que el peso quedara uniformemente distribuido.
3. Extender los brazos para sujetar la unidad de pantalla (electrodos de mano) hasta quedar rectos y formar un ángulo de 90° grados con respecto al cuerpo.
4. Una vez finalizada la medición, aparecía su peso. En ese momento se podían bajar de la plataforma de medición.

Con este tipo de monitor se obtienen una serie de parámetros de composición corporal. Los resultados obtenidos fueron interpretados inmediatamente: peso corporal, índice de masa corporal, porcentaje de grasa corporal, porcentaje de músculo esquelético, metabolismo basal, recomendación de kilocalorías requeridas y la grasa visceral (Alvero-Cruza, Correas, Ronconia, Fernández, y Porta, 2011).

Para este estudio, los únicos parámetros que se tomaron fueron el peso corporal y el IMC.

Índice de masa corporal

Se determinó el IMC dividiendo el peso entre la talla al cuadrado ($IMC = \text{peso, kg} / \text{talla, m}^2$) y la población fue estratificada por nivel de IMC según la clasificación de la OMS (2018) para la evaluación del sobrepeso y la obesidad. Para ello se establecieron los siguientes criterios:

Tabla 1. Puntos de corte de IMC

Clasificación		IMC (kg/m ²)
Bajo peso		<18.50
	Delgadez severa	<16.00
	Delgadez moderada	16.00 - 16.99
	Delgadez leve	
Rango normal		18.50 - 24.99
Sobrepeso		>25.00
	Preobeso	25.00 - 29.99
Obesidad		
	Grado I	30.00 - 34.99
	Grado II	35.00 - 39.99
	Grado III	>40.00

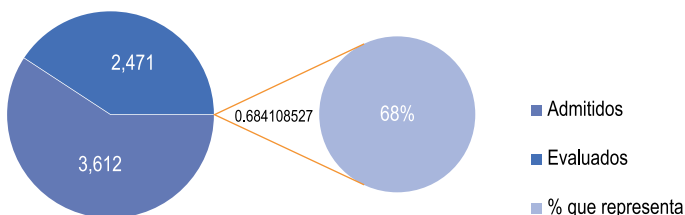
Análisis estadístico

Para el manejo y análisis estadístico de los datos se utilizó el programa Microsoft Excel 2013.

Resultados

Se evaluó a un total de 2471 alumnos de primer ingreso de los 11 programas educativos del Centro Universitario. El periodo comprendido fue de 5 años. La muestra representa un 68.4 % del total de alumnos admitidos (figura 1).

Figura 1. Porcentaje de alumnos de primer ingreso de CUNorte evaluados con relación al total de alumnos admitidos ciclo 2015A-2019A



N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

Estado de nutrición con relación al IMC

De los resultados obtenidos de cada uno de los PE, Ingeniería en Electrónica y Computación como Contaduría Pública muestran los porcentajes más elevados en relación al peso bajo; Antropología y Nutrición tienen la mayor cantidad de alumnos con un peso saludable; Contaduría Pública e Ingeniería en Electrónica y Computación encabezan los porcentajes con mayor sobrepeso; Psicología, Ingeniería en Mecánica Eléctrica y Turismo son los PE con mayores porcentajes con relación a la obesidad (tabla 2).

Tabla 2. Porcentaje de desnutrición, peso saludable, sobrepeso y obesidad en alumnos de primer ingreso de CUNorte con relación al IMC por PE

Programas Educativos	Estado de Nutrición							
	Número total de alumnos con peso bajo	% peso bajo	Número total de alumnos con peso adecuado	% peso adecuado	Número de alumnos con sobrepeso	% sobrepeso	Número total de alumnos con obesidad	% obesidad
Administración	14	6.51162791	123	57.2093023	50	23.255814	28	13.0232558
Agronegocios	11	6.43274854	100	58.4795322	42	24.5614035	18	10.5263158
Antropología	0	0	23	65.7142857	8	22.8571429	4	11.4285714
Contaduría Pública	17	9.60451977	91	51.4124294	48	27.1186441	21	11.8644068
Derecho	13	4.24452769	175	57.0032573	70	22.8013029	49	15.9609121
Enfermería	37	4.66582598	458	57.7553594	189	23.8335435	109	13.7452711
IEC	15	13.6363636	57	51.8181818	28	25.4545455	10	9.09090909
IME	9	5.32544379	97	57.3964497	39	23.0769231	24	14.2011834
Nutrición	13	6.7357513	119	61.6580311	43	22.2797927	18	9.32642487
Psicología	33	9.24369748	131	55.0420168	50	21.0084034	35	14.7058824
Turismo	3	4.76190476	36	57.1428571	15	23.8095238	9	14.2857143

N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

Bajo peso

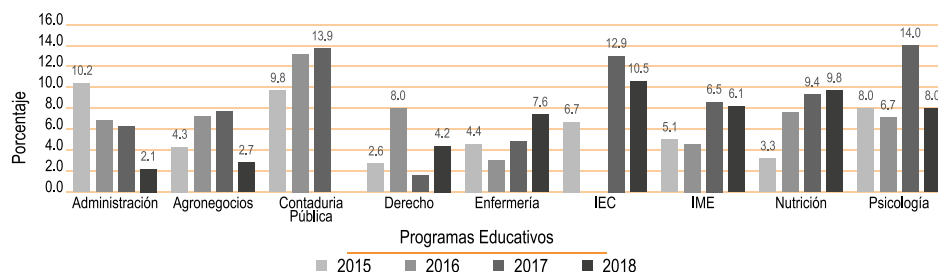
El análisis del indicador de bajo peso muestra un descenso para cinco de los PE. Sin embargo, sigue siendo una condición presente y que incluso va en aumento en Contaduría Pública, Enfermería y Nutrición (tabla 3 y figura 2).

Tabla 3. Tendencia anual de bajo peso en alumnos de primer ingreso de CUNorte por PE

	Alumnos Evaluados	2015	%	Alumnos Evaluados	2016	%	Alumnos Evaluados	2017	%	Alumnos Evaluados	2018	%
Administración	49	5	10.2	42	3	7.1	65	4	6.7	48	1	2.1
Agronegocios	47	2	4.3	40	3	7.5	38	3	7.9	37	1	2.7
Contaduría Pública	61	6	9.8	44	6	13.6	36	5	13.9	26	0	0.0
Derecho	76	2	2.6	87	7	8.0	58	1	1.7	71	3	4.2
Enfermería	226	10	4.4	194	6	3.1	174	8	4.6	145	11	7.6
IEC	15	1	6.7	16	0	0.0	31	4	12.9	38	4	10.5
IME	59	3	5.1	42	2	4.8	31	2	6.5	33	2	6.1
Nutrición	61	2	3.3	64	5	7.8	32	3	9.4	41	4	9.8
Psicología	50	4	8.0	75	5	6.7	50	7	14.0	50	4	8.0

N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

Figura 2. Tendencia anual de bajo peso en alumnos de primer ingreso de CUNorte por PE



N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

Peso saludable

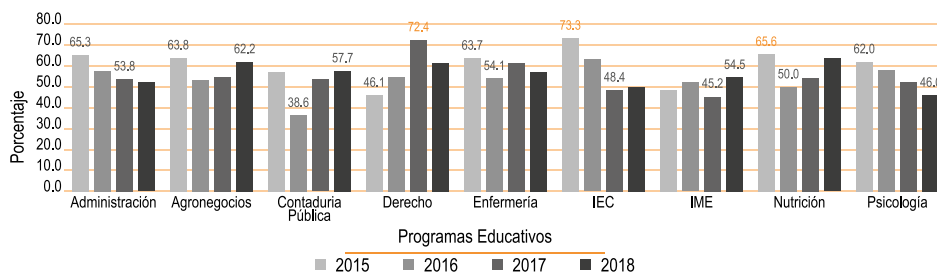
Para el año 2015 la tendencia fue mayor al 60 % en 7 de 9 PE. Sin embargo, para el 2018 únicamente 5 conservan una relación positiva de este indicador (tabla 4 y figura 3).

Tabla 4. Tendencia anual de peso saludable en alumnos de primer ingreso por PE

	Alumnos Evaluados	2015	%	Alumnos Evaluados	2016	%	Alumnos Evaluados	2017	%	Alumnos Evaluados	2018	%
Adminis- tración	49	32	65.3	42	24	57.1	65	35	53.8	48	25	52.1
Agronego- cios	47	30	63.8	40	22	55.0	38	21	55.3	37	23	62.2
Contaduría Pública	61	35	57.4	44	17	38.6	36	19	52.8	26	15	57.7
Derecho	76	35	46.1	87	47	54.0	58	42	72.4	71	43	60.6
Enfermería	226	144	63.7	194	105	54.1	174	106	60.9	145	83	57.2
IEC	15	11	73.3	16	10	62.5	31	15	48.4	38	19	50.0
IME	59	29	49.2	42	22	52.4	31	14	45.2	33	18	54.4
Nutrición	61	40	65.6	64	32	50.0	32	17	53.1	41	26	63.4
Psicología	50	31	62.0	75	44	58.7	50	26	52.0	50	23	46.0

N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

Figura 3. Tendencia anual de peso saludable en alumnos de primer ingreso por PE



N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

Sobrepeso

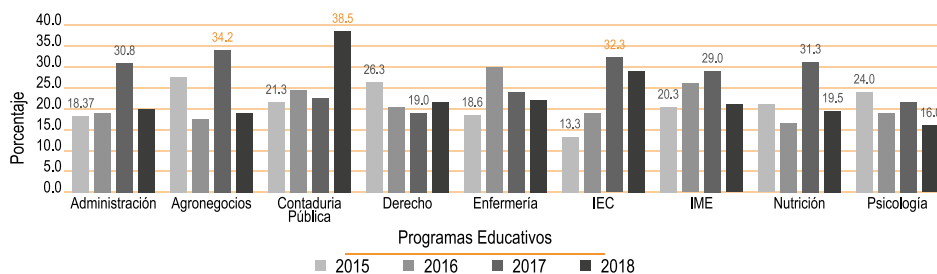
Respecto al sobrepeso, la tendencia tuvo un aumento en el año 2017. No obstante, para el 2018 únicamente Contaduría y Derecho mantuvieron dicha tendencia (tabla 5 y figura 4).

Tabla 5. Tendencia anual de sobrepeso en alumnos de primer ingreso por PE

	Alumnos Evaluados	2015	%	Alumnos Evaluados	2016	%	Alumnos Evaluados	2017	%	Alumnos Evaluados	2018	%
Adminis- tración	49	9	18.4	42	8	19.0	65	20	30.8	48	12	25.0
Agronego- cios	47	13	27.7	40	7	17.5	38	13	34.2	37	7	18.9
Contaduría Pública	61	13	21.3	44	13	29.5	36	10	27.8	26	10	38.5
Derecho	76	20	26.3	87	18	20.7	58	11	19.0	71	15	21.1
Enfermería	226	42	18.6	194	58	29.9	174	41	23.6	145	32	22.1
IEC	15	2	13.3	16	3	18.8	31	10	32.3	38	11	28.9
IME	59	12	20.3	42	11	26.2	31	9	29.0	33	7	21.2
Nutrición	61	13	21.3	64	11	17.2	32	10	31.3	41	8	19.5
Psicología	50	12	24.0	75	14	18.7	50	11	22.0	50	8	16.0

N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

Figura 4. Tendencia anual de sobrepeso en alumnos de primer ingreso por PE



N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

Obesidad

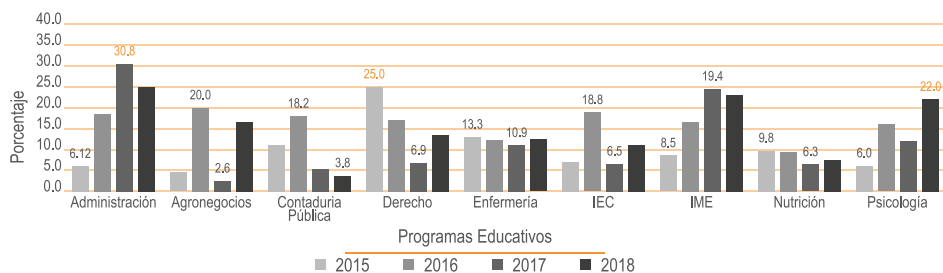
La tendencia para obesidad muestra un aumento en 6 de los 9 PE evaluados. Destaca Psicología (tabla 6 y figura 5).

Tabla 6. Tendencia anual de obesidad en alumnos de primer ingreso por PE

	Alumnos Evaluados	2015	%	Alumnos Evaluados	2016	%	Alumnos Evaluados	2017	%	Alumnos Evaluados	2018	%
Adminis- tración	49	3	6.1	42	7	16.7	65	6	9.2	48	10	20.8
Agronego- cios	47	2	4.3	40	8	20.0	38	1	2.6	37	6	16.2
Contaduría Pública	61	7	11.5	44	8	18.2	36	2	5.6	26	1	3.8
Derecho	76	19	25.0	87	15	17.2	58	4	6.9	71	10	14.1
Enfermería	226	30	13.3	194	25	12.9	174	19	10.9	145	19	13.1
IEC	15	1	6.7	16	3	18.8	31	2	6.5	38	4	10.5
IME	59	5	8.5	42	7	16.7	31	6	19.4	33	6	18.2
Nutrición	61	6	9.8	64	6	9.4	32	2	6.3	41	3	7.3
Psicología	50	3	6.0	75	12	16.0	50	6	12.0	50	11	22.0

N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

Figura 5. Tendencia anual de obesidad en alumnos de primer ingreso por PE



N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

En la tabla 7 se muestra la relación de alumnos que fueron admitidos y los que fueron evaluados por PE. Destacan con mayor participación Ingeniería Electrónica y Computación, Turismo y Agronegocios.

Tabla 7. Estado de nutrición en relación con el IMC por PE

Estado de Nutrición	Ingreso total 2015A - 2019A	Total alumnos de primer ingreso evaluados.	% de alumnos evaluados en relación al ingreso
Administración	305	215	70.5
Agronegocios	233	171	73.4
Antropología	75	35	46.7
Contaduría Pública	251	177	70.5
Derecho	521	307	58.9
Enfermería	1101	793	72.0
IEC	136	110	80.9
IME	238	169	71.0
Nutrición	289	193	66.8
Psicología	386	238	61.7
Turismo	77	63	81.8

N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

El promedio obtenido de alumnos que acudieron a consulta de seguimiento es del 51 % con relación a la cantidad de alumnos citados. Únicamente en el año 2017 se obtuvo una respuesta del 100 % (tabla 8).

Tabla 8. Respuesta a seguimiento nutricional

Año	Número de alumnos citados	Número de alumnos que acudieron a consulta de seguimiento	%
2015	189	40	21
2016	275	175	64
2017	234	130	56
2018	58	58	100
2019	85	12	14

N = 2471 alumnos. Fuente: elaboración propia a partir de los registros del Laboratorio de Evaluación del Estado Nutricio.

Análisis y discusión de resultados

De Piero et al. (2015), Cervera et al. (2014) y Cares et al. (2017) coinciden con el sustento de que un joven universitario se caracteriza por cursar un periodo entre la infancia y la adultez, etapa clave para establecer patrones de conducta saludables y permanentes.

Corvos (2011) afirma que hay malnutrición en toda Latinoamérica y en este caso el resultado obtenido lo confirma. El 36.21 % de los estudiantes de primer ingreso de CUNorte padecen sobrepeso y obesidad que puede estar asociado con el exceso de ingesta de energía como lo propone González et al. (2017), aunque no se puede precisar por no haber evaluado la ingesta alimentaria.

Se encuentra una variación del estado nutricional del 2015 a la actualidad, lo que indica que hay cambios en el patrón alimentario y estilo de vida en bachilleres tal como lo fundamenta Ruiz et al. (2013), Navarro et al. (2017), Rizo et al. (2014) y Zulet et al. (2019).

Existe la necesidad de realizar más investigación para asociar más variables al estado nutricional y evaluar si influyen en el desempeño académico. Por ejemplo, sustentar los resultados de Vargas (2010), quien refiere que los estudiantes universitarios tienen una dieta desequilibrada, insuficiente en cantidad y posiblemente en calidad de nutrientes. Por otra parte, también se requiere evaluar a los mismos individuos en otro momento para determinar si generaron cambios y de qué manera.

Conclusiones

La evaluación del estado nutricional es considerada un indicador del estado de salud de la población. Por lo tanto, se concluye que la población universitaria del CUNorte se encuentra en una situación alarmante con respecto al padecimiento de la malnutrición.

Este estudio permitió evidenciar mediante indicadores antropométrico la existencia del aumento a la malnutrición en alumnos de primer ingreso a pregrado. Y de acuerdo con los resultados, se denota la importancia de reforzar la educación alimentaria nutricional en el nivel medio superior debido a que en muchas ocasiones es un factor determinante de hábitos alimentarios incorrectos. Por lo tanto, es necesario trabajar sobre las conductas alimentarias, teniendo en cuenta que la alimentación constituye un estilo de vida potencialmente modificable y, por ende, se requiere del diseño e implementación de programas de nutrición enfocados a la prevención de la malnutrición en el nivel medio superior, así como de programas de atención y seguimiento a estudiantes universitarios.

Bibliografía

- Alvero, J; Correas, L.; Ronconi, M.; Fernández, R. y Porta, J. (2011). La bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición corporal: normas prácticas de utilización. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 4(4), pp. 167-174. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-la-bioimpedancia-electrica-como-metodo-X1888754611937896>
- Cares, M.; Salgado, R. y Solar, I. (2017). *Conducta alimentaria y estado nutricional en estudiantes universitarios de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica de la Santísima Concepción en septiembre del 2017* (tesis de pregrado). Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. Recuperado de <http://repositoriodigital.ucsc.cl/bitstream/handle/25022009/1297/Mar%c3%ada%20Francisca%20Cares%20Gangas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cervera, F.; Serrano, R.; Vico, C.; Milla, M. y García, M. (2014). Hábitos alimentarios y evaluación nutricional en una población universitaria tunecina. *Nutrición Hospitalaria*, 30(6), pp. 438-446. Recuperado de <http://www.aulamedica.es/nh/pdf/7954.pdf>
- Corvos, C. (2011). Evaluación antropométrica del estado nutricional empleando la circunferencia del brazo en estudiantes universitarios. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 31(3), pp. 22-27. Recuperado de <https://revista.nutricion.org/PDF/Evaluacion-antropometrica.pdf>
- De Piero, A.; Bassett, N.; Rossi, A. y Sammán, N. (2015). Tendencia en el consumo de alimentos de estudiantes universitarios. *Nutrición Hospitalaria*, 31(4), pp. 1824-1831. Recuperado de <http://www.nutricionhospitalaria.com/pdf/8361.pdf>
- Esparza, F.; Vaqueo, R. y Marfell, M. (2019). *Protocolo internacional para la valoración antropométrica* (4.ª ed.) Murcia: Universidad Católica de Murcia.
- López, P.; Rejón, J.; Escobar, D.; Robledo, S.; Dávila, M.; y Mandujano, Z. (2017). Conocimientos nutricionales en estudiantes universitarios del sector público del Estado de Chiapas, México. *Investigación en Educación Médica*, 6(24), pp. 228-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.riem.2016.11.002>
- Navarro, A.; Vera, O.; Munguía, P.; Ávila, R.; Lazcano, M.; Ochoa, C. y Hernández, P. (2017). Hábitos alimentarios en una población universitaria (18-25 años) de la ciudad de Puebla. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 23, 31-37. Recuperado de http://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/6_Hbitos_alimentarios_en_una_poblacion.pdf
- Organización Mundial de la Salud (2016). ¿Qué es la malnutrición? Recuperado de <https://www.who.int/features/qa/malnutrition/es/>

- Organización Mundial de la Salud (2018). *Obesidad y sobrepeso*. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Rivera, J.; Colchero, M.; Fuentes, M.; González, T.; Aguilar, C.; Hernández, G. y Barquera, S. (Eds.). (2018). *La obesidad en México. Estado de la política pública y recomendaciones para su prevención y control*. México: Instituto Nacional de Salud Pública. Recuperado de <https://www.slaninternacional.org/publicaciones/docs/LaObesidadenMexico.pdf>
- Rizo, M.; González, N. y Cortés, E. (2014). Calidad de la dieta y estilos de vida en estudiantes de Ciencias de la Salud. *Nutrición Hospitalaria*, 29(1), pp. 153-157. doi: <https://doi.org/10.3305/nh.2014.29.1.6761>
- Ruiz, E.; Del Pozo, S.; Valero, T.; Ávila, J. y Varela-Moreiras, G. (2016). *Estudio de hábitos alimentarios y estilos de vida de los universitarios españoles*. Fundación Española de la Nutrición. Recuperado de <https://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/30092014131915.pdf>
- Vargas, M.; Becerra, F. y Prieto, E. (2008). Evaluación antropométrica de estudiantes universitarios en Bogotá Colombia. *Revista de Salud Pública*, 10(3), pp. 433-442. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v10n3/v10n3a08.pdf>
- Vargas, M.; Becerra, F. y Prieto, E. (2010). Evaluación de la ingesta dietética en estudiantes universitarios. Bogotá, Colombia. *Revista Salud Pública*, 12(1), pp. 116-125. doi: <https://doi.org/10.1590/S0124-00642010000100011>
- Zulet, P.; Lizancos, A.; Andía, V.; González, C.; Monereo, S. y Calvo, S. (2019). Relación de la composición corporal medida por DEXA con el estilo de vida y la satisfacción con la imagen corporal en estudiantes universitarios. *Nutrición Hospitalaria*, 36(4), pp. 919-925. doi: <https://doi.org/10.20960/nh.02103>



Estimación de la superficie de mezquite (*Prosopis spp.*) con sensores remotos en la región norte de Jalisco

Elba González Aguayo*
María de los Ángeles Camacho Ruíz**

Resumen

El árbol del mezquite (*Prosopis spp.*) ha sido desde la época prehispánica un recurso valioso para los habitantes de zonas áridas y semiáridas de México. Del mezquite se aprovecha principalmente su madera para la fabricación de muebles, pisos y carbón. Además, sus frutos son utilizados en diversos productos alimenticios, tanto para consumo humano como para el ganado. Por otra parte, sus flores son un apreciado recurso para la obtención de mieles y ceras. La zona norte de Jalisco posee un clima predominantemente semiárido subhúmedo, que es idóneo para la reproducción de mezquites; incluso, los paisajes de la región retratan una abundante población de estos. Sin embargo, es de utilidad realizar un estudio exhaustivo que nos permita tener un diagnóstico acertado acerca de la superficie de mezquite existente en la región, con el fin de establecer la base para su aprovechamiento sustentable. Es por ello que se llevó a cabo un análisis de estimación de la superficie de mezquite, en donde se aplicaron sensores remotos en la región comprendida por los municipios de Villa Guerrero, Totatiche, Colotlán, Santa María de los Ángeles y Huejúcar. Se observó una superficie de 9 936 hectáreas de mezquite que corresponde al 4% de la superficie analizada.

Palabras clave: mezquite, superficie, sustentable.

* Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara.

** Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara.

Introducción

El mezquite (*Prosopis spp.*) es una leguminosa que pertenece a la familia de las mimosáceas, una planta perenne que presenta hábitos de crecimiento arbustivos o arborescentes. Puede medir desde 40 cm hasta 10 m de altura dependiendo de la profundidad del suelo. Desde la época prehispánica, esta especie ha constituido un valioso recurso para los habitantes de zonas áridas y semiáridas de México (Cervantes, 2005).

Esta planta produce una madera muy fuerte y duradera, buena para la fabricación de muebles, puertas, ventanas, pisos, artesanías y excelente como leña. Sus frutos (vainas) se utilizan en la elaboración de diversos alimentos para consumo humano. Además, son fuente de forraje para el ganado, las flores producen polen y néctar para la producción de miel y cera en las explotaciones apícolas. La goma que excreta es de uso medicinal e industrial, la cual puede sustituir a la goma arábica obtenida del género acacia.

Desde el punto de vista ambiental es una especie muy útil, pues provee alimento y refugio a la fauna silvestre, previene los procesos de erosión y desertificación por su alta capacidad de retención del suelo, fija nitrógeno por lo que mejora la fertilidad, ayuda a estabilizar la salinidad y actúa como indicador de profundidad del manto freático (Rodríguez et al., 2014). Adicionalmente, se le ha encontrado algunos otros usos, de los que destacan la obtención de taninos, galactomananos, arabinogalactomananos, proteína hidrolizada y alcohol etílico.

En la región norte de Jalisco se presenta como vegetación dominante en algunos municipios. Desafortunadamente no existen investigaciones respecto a estimaciones de la superficie total ni usos potenciales, por lo que es necesario en primer lugar determinar el área que ocupa en la región y posteriormente desarrollar metodologías para su aprovechamiento sustentable.

En la actualidad una de las herramientas de mayor utilización para la estimación de superficie de especies vegetales es la teledetección espacial; los productos convencionales más reconocidos son las imágenes satelitales (Chuvieco, 1995; Chávez, 1996). El reciente lanzamiento del primer satélite Sentinel-2 (S2) de la ESA ha despertado un gran interés en la comunidad científica debido a sus múltiples aplicaciones, pues su alta resolución espacial, temporal, espectral y radiométrica (Campbell, 2007) y su distribución gratuita, abren una nueva era en la observación de la Tierra; tanto para calidad de aguas como de vegetación (Drusch et al., 2012; Delegido, Verrelst, Alonso y Moreno, 2011).

Planteamiento del problema

El mezquite es un recurso natural que se presenta en las zonas áridas y semiáridas del norte y centro de México. Se distribuye en la vertiente del pacífico, desde Michoacán hasta Oaxaca; en el Golfo, en los estados de Veracruz, Nuevo León y Tamaulipas; en la depresión central, en el estado de Chiapas; y en las regiones altas centrales del país, incluido Jalisco.

En el mundo se han reportado alrededor de 44 especies del género *Prosopis*, de las cuales se han reportado 42 en el continente americano, y en México y Texas se tienen al menos 9 (Rodríguez et al., 2014). En el norte de Jalisco se presenta principalmente la especie autóctona *Prosopis laevis* que es, además, el mezquite típico de México.

A pesar de su amplia distribución geográfica y abundancia, el mezquite es un recurso natural que no ha sido lo suficientemente valorizado. En las zonas donde se realiza el pastoreo intensivo ha llegado a ser considerado como maleza. Sin embargo, se ha descrito su potencial como fuente de obtención de madera, forraje, miel y cera, goma, etc.

Sus vainas poseen un alto valor nutricional, son fuente de antioxidantes y prebióticos, por lo cual pueden ser utilizadas en la elaboración de ingredientes para consumo humano. De acuerdo con lo reportado por García et al. (2016), cada árbol de mezquite puede dar 31.83 kg de vainas.

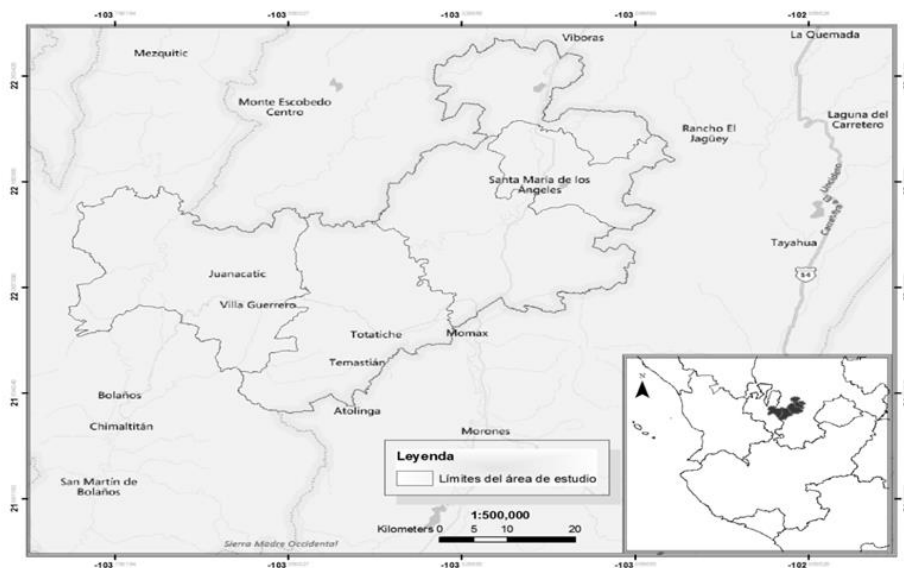
El manejo productivo y sustentable de la planta puede ser un área de oportunidad para el desarrollo económico de la región. Por esto se investigó la superficie de mezquite presente en el norte de Jalisco, con fines de estimar la abundancia de dicho recurso natural.

Materiales y métodos

Ubicación y características del área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada en la región norte del estado de Jalisco, la cual corresponde a los límites administrativos de los municipios de Villa Guerrero, Totatiche, Colotlán, Santa María de los Ángeles y Huejúcar (figura 1).

Figura 1. Límites del área de estudio para la estimación *Prosopis* spp. Comprende los límites administrativos de los municipios de Villa Guerrero, Totatiche, Colotlán, Santa María de los Ángeles y Huejúcar



De acuerdo con la información del geoportal de CONABIO (2017), en la región de interés el clima predominante es (A) C (wo) semiárido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18 °C, temperatura del mes más frío menor de 18 °C, temperatura del mes más caliente mayor de 22 °C, precipitación del mes más seco menor de 40 mm, lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2, y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2 del total anual. En menor proporción encontramos climas de tipo templado C (wo) y semiárido BS1w.

El uso de suelo y vegetación predominante, de acuerdo al INEGI (2017), es agricultura de temporal, selva baja caducifolia, pastizal natural, vegetaciones secundarias de tipo arbustivo, matorral y bosques de encino y pino, así como los usos urbanos en menor proporción.

Metodología para la detección de Prosopis spp.

Se realizó un recorrido preliminar en el área de estudio para detectar las zonas con presencia de mezquite (*Prosopis* spp.) y diferentes usos del suelo. El registro de la ubicación se elaboró con aplicación GPS essentials, usando una proyección WGS84 UTM zona 13 norte.

Con una imagen gratuita de ESA (2017) Sentinel-2 del 13 de mayo de 2017 (S2A_MSIL1C_20170513T172301_N0205_R012_T13QFE_20170513T173332) y el software gratuito Qgis 2.16.3. se realizó corrección atmosférica por el método de Sustracción de Objetos Oscuros (DOS). Si seguimos lo que asevera Chávez (1994), se conjetura por un lado que algunos pixeles de la imagen se encuentran en sombra total, y por otro, que las radiaciones que obtiene el satélite se deben a la dispersión atmosférica (radiancia del camino).

Una vez corregidas se realizó la agrupación de las bandas 2, 3, 4 y 8A que son bandas con una resolución espacial de 10 m. Se extrajo la región de interés realizando un clip al grupo de bandas y se le aplicó combinación rgb 234 para una mejor visualización de las distintas clases. Al aplicar el complemento Semi-Automatic Classification se clasificó por método supervisado utilizando como firma espectral los sitios muestreados en el recorrido preliminar.

Posteriormente, la clasificación fue validada con un segundo recorrido en campos designados al azar, con el cual se construyó la matriz de confusión para determinar el índice Kappa.

Validada la clasificación, se multiplicó el número de pixeles de cada clase por el área del mismo (100 m²) para obtener las superficies de las diferentes zonas en hectáreas.

Resultados y discusiones

Validación de la clasificación supervisada

Las medidas de validación entre la clasificación del área de interés se presentan en la tabla 1. Además de los resultados de la clasificación supervisada y las observaciones en campo de las 8 clases de uso del suelo, entre ellos el mezquite, con las cuales se calcula el índice Kappa que nos determina la concordancia entre dos observadores, donde valores menores de 0.5 resultarían dudosa la fiabilidad de la clasificación.

De acuerdo con el resultado de 0.706 del índice Kappa, la fuerza de concordancia es buena, lo que significa que podemos confiar en las áreas clasificadas.

Tabla 1. Matriz de confusión para el cálculo del Índice Kappa

RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA									
	Agricultura	Agricultura de riego	Asentamientos humanos y suelo desnudo	Bosques	Cuerpos de agua	Mezquites	Pastizales	Selva baja	TOTAL
RESULTADOS DE LAS OBSERVACIONES EN CAMPO	Agricultura	12	0	0	0	0	0	0	12
	Agricultura de riego	0	3	0	0	0	0	0	3
	Asentamientos humanos y suelo desnudo	0	0	11	0		0	0	11
	Bosques	0	0	0	7	0	0	0	7
	Cuerpos de agua	0	0	0	0	8	0	0	8
	Mezquites	0	0	0	0	0	14	0	14
	Pastizales	0	0	0	0	0	0	13	13
	Selva baja	0	0	0	0	0	0	13	13
	TOTAL	12	3	11	7	8	14	13	81
Acuerdo observado 0.99									
Acuerdo esperado 0.14									
Índice Kappa 0.706									

Identificación de áreas de Prosopis spp., y otros usos de suelo y vegetación

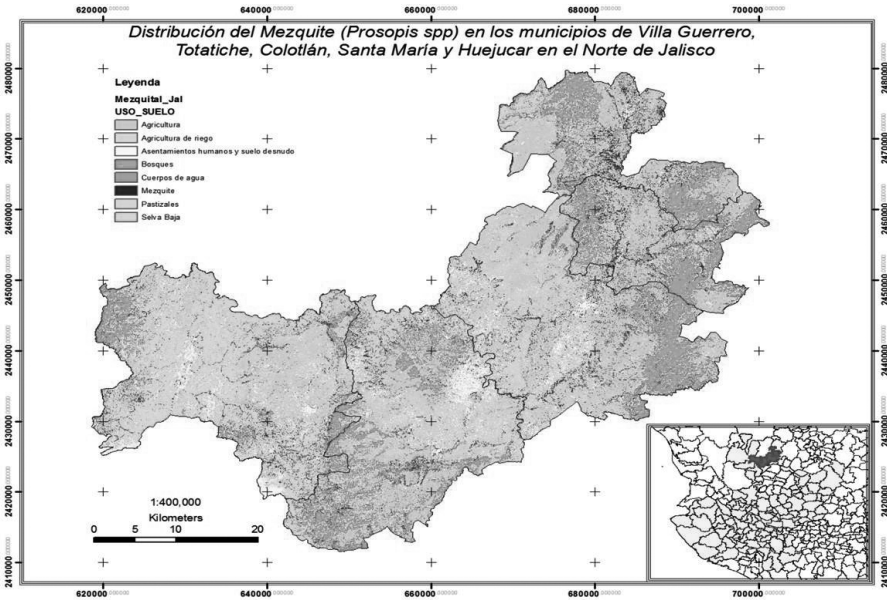
Las ocho clases de uso de suelo que resultaron clasificados quedaron de la siguiente manera: 1) agricultura, 2) agricultura de riego, 3) asentamientos humanos y suelo desnudo, 4) bosques, 5) cuerpos de agua, 6) mezquite, 7) pastizales y 8) selva baja (figura 2). De un total de 247,071 hectáreas, el mayor porcentaje de uso lo representan las áreas utilizadas para la agricultura convencional con 42.7, seguida por los bosques que ocupan el 19.7, posteriormente la selva baja caducifolia con 14.9 y con un 12.9 los pastizales (tabla 2).

Tabla 2. Áreas resultantes por categorías de uso de suelo y porcentaje que representa en el área de interés

Uso suelo	Área (ha)	Porcentaje
Agricultura	105557	42.7
Agricultura de riego	159	0.1
Asentamientos humanos y suelo desnudo	13697	5.5
Bosques	48702	19.7
Cuerpos de agua	229	0.1
Mezquite	9936	4.0
Pastizales	31946	12.9
Selva Baja	36845	14.9
TOTAL	247071	100.0

Para el caso particular del área de mezquite (*Prosopis spp.*), de acuerdo con los resultados obtenidos ocupa el 4 %. Esto representa 9 936 hectáreas dentro de los límites del área de estudio, reconociéndose por características dominantes y codominantes.

Figura 2. Distribución de mezquite (*Prosopis spp.*), de acuerdo a clasificación de imagen Sentinel-2 a 13 de mayo de 2018



De acuerdo a la clasificación resultante, las áreas se encuentran localizadas muy cerca de vegetaciones secundarias de selva baja, a las orillas de los ríos donde se mantiene más humedad, lo que concuerda con lo reportado por Solbrig y Cantino (1975) y Pasiecznik et al., (2001). En las zonas de cultivos al desmontarse únicamente quedaron los mezquites como cercos, linderos y barreras rompevientos.

Conclusiones

Se observó que la distribución de mezquites (*Prosopis spp.*) en el área de estudio es cercana a las áreas agrícolas (asociada a la vegetación secundaria), principalmente, en zonas cercanas a los cuerpos de agua. La superficie total que ocupa la especie es de 9 936 ha. las cuales están disponibles para utilizarlas en diversas actividades productivas para potenciar la economía regional.

Bibliografía

- Campbell, J. B. (2007). *Introduction to remote sensing* (4.ª ed.). Nueva York: The Guilford Press.
- Cervantes, M. C. (2005). Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. Recuperado de <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Usoderecursos/08.pdf>
- Chávez, P. S. (1996). Image-Based Atmospheric Corrections-Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9), pp. 1025-1036. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/45f1/2625ce130261c7d360d50e09c-635355ca919.pdf>
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial* (2.ª ed.). Madrid: Rialp.
- CONABIO. (2017). Portal de Geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Delegido, J.; Verrelst, J.; Alonso, L., y Moreno, J. (2011). Evaluation of Sentinel-2 Red-Edge Bands for Empirical Estimation of Green LAI and Chlorophyll Content. *Sensors*, 11(7), pp. 7063-7081. doi: <https://doi.org/10.3390/s110707063>
- Drusch, M.; Del Bello, U.; Carlier, S.; Colin, O.; Fernández, V.; Gascon, F. et al. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing Environment*, 120, pp. 25-36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- ESA (2017). *Data Access*. Sentinel Online. Recuperado de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access>

- García L., J.; Durán G. H.; de Nova, J.; Álvarez F. G.; Pinos R., J.; Lee R., H. et al. (2019). Producción y contenido nutricional de vainas de tres variantes de mezquite (*Prosopis laevigata*) en el Altiplano Potosino, México. *Agrociencia*, 53, pp. 821-831. Recuperado de <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2019/ago-sep/art-2.pdf>
- INEGI. (2017). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx>
- Palacios R., A.; Rodríguez L. R. y Hernández F., M. (2016). Distribución potencial de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston basada en un modelo de nicho ecológico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), pp. 35-46. doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i34.81>
- Pasiecznik, N. M.; Felker, P.; Harris, P. J.; Harsh, L. N.; Cruz, G.; Rewari, J. C. et al. (2001). The *Prosopis juliflora*-*Prosopis pallida* Complex: A Monograph. UK: HDRA. Recuperado de <https://www.gardenorganic.org.uk/sites/www.gardenorganic.org.uk/files/resources/international/ProsopisMonographComplete.pdf>
- Rodríguez, E. N.; Rojo Martínez, G. E.; Ramírez, B.; Martínez, R.; Cong, M. C., Medina, S. M. y Piña, H. H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. y Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), pp. 173-193. Recuperado de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/71147/62859>
- Solbrig, O. T. y Cantino, P. D. (1975). Reproductive adaptations in *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum*, 56(2), pp. 185-210. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/pdf/43781969.pdf?seq=1>

Aleaciones para ánodos galvánicos para la protección catódica de calentadores de agua

Ignacio García García*

Ana Rosa Carrillo Ávila**

Reyes Joel Sanjuan Raygoza***

María Olga Concha Guzmán****

Resumen

Los calentadores de agua domésticos, al igual que otros objetos fabricados con materiales ferrosos, sufren el embate del medio ambiente. Específicamente, sus termotanques sufren corrosión electroquímica debido a la interacción con el agua potable. Como una medida de mitigación de esta degradación se emplean recubrimientos y protección catódica por ánodo de sacrificio de aleación de magnesio (Weingarten y Weingarten, 1992). Sin embargo, dadas las condiciones fisicoquímicas del agua potable en México, esta aleación no es la que ofrece los mejores resultados en eficiencia, capacidad de corriente y potenciales de protección de la estructura. Estas razones nos han llevado a diseñar aleaciones en otros metales de sacrificio que ofrezcan mejor desempeño bajo las condiciones del agua en territorio nacional.

Palabras clave: corrosión de calentadores de agua, protección catódica por ánodos de aluminio, agua potable mexicana.

Área temática: ingeniería química.

* Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. ignacio.garcia.g@cunorte.udg.mx

** Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. ana.carrillo@cunorte.udg.mx

*** Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. reyes.sanjuan@cunorte.udg.mx

**** Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. mocog@cunorte.udg.mx

Introducción

Roberge (2002) define la corrosión como el ataque destructivo de un material por la reacción con su medio ambiente. Mismo que genera pérdidas económicas derivadas de las acciones para controlarla y de la sustitución de materiales dañados. La protección catódica por ánodo de sacrificio es un método para combatir la corrosión desarrollado por Davy en 1824 (Ávila y Genescá, 2003). Consiste en el empleo de un material de sacrificio, el cual al ser conectado a la superficie metálica que se desea proteger en presencia de un electrolito, forma un par galvánico. El material de sacrificio se convierte en el ánodo y se oxida, lo que genera electrones que son consumidos en la superficie del metal a proteger. Así recibe el nombre de cátodo, sobre el cual solo pueden ocurrir reacciones de reducción. Esto evita que el metal a proteger deba ceder sus electrones e inicie el proceso de oxidación-corrosión.

En la actualidad para la protección del acero al carbono en medio acuoso se emplean ánodos de sacrificio de magnesio, aluminio y cinc (Reding, 1990). El magnesio es ampliamente usado para la protección en agua dulce, mientras que el aluminio y cinc tienen gran aceptación para la protección en agua de mar y salobre.

A la par de la protección catódica por ánodo de sacrificio, se emplean recubrimientos orgánicos e inorgánicos. Los primeros engloban a las pinturas y revestimientos en cinta, mientras que los segundos a recubrimientos metálicos electrolíticos, metálico por inmersión en caliente y cerámicos.

En el presente estudio plantearemos el problema de la protección catódica de termotanques de agua domésticos, bajo condiciones de servicio con agua potable con un amplio rango de conductividad eléctrica.

Planteamiento del problema

Los termotanques de los calentadores de agua domésticos se protegen contra la corrosión por dos métodos: por medio de recubrimientos cerámicos y protección catódica por ánodo de sacrificio, generalmente de aleación de magnesio. Para los proveedores de estos equipos es importante que el termotanque permanezca sin daño a lo largo de la garantía del producto que puede ser de uno a cinco años.

El recubrimiento cerámico de los termotanques funciona como una barrera física a la difusión del oxígeno y agua hasta el acero al carbono. Sin embargo, no hay recubrimientos perfectos, y sobre la superficie se generan porosidades y fallas que permiten el ingreso de estos compuestos y su reacción con el acero. Para proteger estas imperfecciones en el recubrimiento, se usan ánodos de sacrificio de aleación de magnesio. Estos son ampliamente usados en Estados Unidos y Canadá para la protección catódica de

termotanques de calentadores domésticos de agua a gas (Sheets et al., 1989), debido a que el magnesio es sumamente reactivo al formar un par galvánico con el acero al carbono, incluso en agua potable de baja conductividad (menor a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

En México el agua que se consume en los hogares mantiene conductividades entre 200 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El límite inferior corresponde a agua potable en ciudades como Zapopan y Monterrey. Mientras que el límite superior corresponde a ciudades como Tlajomulco de Zúñiga y Puerto Vallarta. En la tabla 1 se puede observar el estudio de conductividad llevado a cabo por la empresa APC Procesadora Anáhuac y el equipo de esta investigación. Como ya comentamos, el ánodo de sacrificio de magnesio es ideal para agua potable de baja conductividad (< 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Pero en agua de conductividad mayor a 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se ha detectado que se consume a una velocidad muy alta (Sheets et al., 1989), lo que repercute en el incumplimiento de su vida útil durante el tiempo de la garantía otorgada por el proveedor al cliente.

Para solucionar este problema, algunos fabricantes de calentadores domésticos de agua han empleado ánodos de aleación de aluminio para proteger sus termotanques en agua de alta conductividad. Pero si bien esta aleación protege adecuadamente en agua con un rango de conductividad entre 500 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a conductividades menores de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no logra polarizar adecuadamente a la superficie del termotanque y lo protege parcialmente (Sheets et al., 1989).

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del agua potable en distintos sitios geográficos en territorio nacional

Sitio	pH	O ₂ disuelto, ppm	Sólidos totales disueltos, ppm	Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$
Aeropuerto Ciudad de México	7.3	4.26	647	1290
Aeropuerto Monterrey, N.L.	8.1	4.18	322	644
Bahía de banderas, Nay.	7.5	4.00	830	1663
Calvillo, Ags.	7.7	4.00	151	301
Celaya, Gto.	7.3	4.50	393	789
Lagos de Moreno, Jal.	7.7	4.51	222	447
León, Gto.	7.9	4.52	255	511
Mascota, Jal.	7.9	4.40	142	283
Monterrey, N.L.	8.1	4.25	106	202

Ocotlán, Jal.	7.9	4.16	405	810
Puerto Vallarta, Jal.	7.9	4.20	1005	2006
Tlajomulco de Zúñiga, Jal.	7.6	4.12	1027	2012
Zapopan, Jal.	7.5	4.11	96	201

Fuente: elaboración propia a partir de la investigación interna realizada por APC Procesadora Anáhuac, S.A. de C.V. y el equipo de investigación.

El objetivo de la investigación es diseñar una aleación para ánodo de sacrificio de aluminio que ofrezca protección catódica de termotanques de calentadores de agua convencionales en agua de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Así los fabricantes de calentadores domésticos de agua a gas podrán contar con certidumbre para el otorgamiento de sus garantías.

Este proyecto se desarrolló con el apoyo de dos fabricantes de calentadores domésticos de agua, quienes pidieron se omitieran sus nombres, y la fábrica de ánodos APC Procesadora Anáhuac S.A. de C.V.

Sustento teórico

La corrosión de los materiales metálicos es un fenómeno natural que genera grandes pérdidas en la industria y en los hogares de todo el mundo. Para mitigarla se emplean diversos métodos, como los recubrimientos (orgánicos e inorgánicos), inhibidores de corrosión en fase vapor y protección catódica (por ánodo de sacrificio y corriente impresa).

En los hogares de todo el mundo se emplean calentadores de agua, los cuales usan diferentes formas de energía: combustión de hidrocarburos gaseosos, electricidad o energía solar. En México se cuenta mayormente con calentadores de agua a base de gas (llamados convencionales). Los termotanques de los calentadores son los depósitos donde se almacena el líquido que recibirá la transferencia de calor entre el energético y el acero del termotanque.

Los termotanques de calentadores convencionales se construyen de acero al carbono y son susceptibles de que se genere corrosión sobre su superficie. Para mitigarlo se emplean recubrimientos cerámicos y protección catódica por ánodo de sacrificio. Esta se logra al polarizar a potenciales catódicos una estructura de acero al carbono. De acuerdo con el estándar internacional NACE-SP0169 (National Association of Corrosion Engineers, 2013), la protección se logra cuando la estructura a proteger se mantiene en potenciales más negativos a -0.800 V vs Ag/AgCl (electrodo de referencia de plata/cloruro de plata). Sin embargo, esta polarización no debe alcanzar potenciales menores a -1.050 V vs Ag/AgCl (Ávila y Genescá, 2003), debido al riesgo de generar sobre la superficie de acero una gran cantidad de hidrógeno que pueda contribuir al desprendimiento del recubrimiento.

Como ya señalamos, el magnesio ha dominado el mercado dada su reactividad en agua de baja conductividad. En 1988 Sheets et al. (1989) llevaron a cabo un estudio sobre el comportamiento de ánodos en agua potable entre 10 y 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Encontraron que el ánodo de magnesio es la aleación que polariza adecuadamente al acero al carbono bajo esas condiciones de agua; mas no mencionan las consecuencias de la sobreprotección de la estructura. Ellos emplearon aleaciones de magnesio, aluminio-estaño-bismuto (Al-Sn-Bi) y aluminio-cinc-estaño (Al-Zn-Sn). En 2014, la National Association of Corrosion Engineers (NACE) publicó el estado del arte sobre la protección interna de calentadores de agua domésticos, el cual se basa totalmente en el trabajo de Sheets. Hasta la fecha son los trabajos más sobresalientes en la teoría de protección catódica de calentadores domésticos de agua.

Las aleaciones de aluminio con cinc e indio fueron desarrolladas en Europa para la protección de acero al carbono en agua de mar. El estándar internacional ISO-15589-2 (ISO, 2012) refiere su uso para la protección de instalaciones costa fuera. En México esta aleación se ha usado con éxito en PEMEX (DOF, 2011), mas no se ha probado su desempeño en agua potable; en este estudio lo probaremos.

Método

Se empleó un calentador comercial de agua de 40 L, con termotanque recubierto de material cerámico (la composición es secreto industrial de los fabricantes) y tres sensores de temperatura en la parte superior, media y fondo. El potencial de protección se determinó por medio de dos electrodos de referencia de Ag/AgCl saturados, marca Termo, con cuerpo de polímero y tres multímetros de alta impedancia marca EXTECH modelo 411. La figura 1 muestra la disposición de los elementos para las pruebas.

Figura 1. Disposición de los elementos de prueba para el calentador de agua



Fuente: cortesía de APC Procesadora Anáhuac S.A. de C.V.

Se probaron cuatro ánodos de sacrificio de aluminio y uno de magnesio. Las aleaciones de aluminio fueron aluminio-estaño-bismuto (Al-Sn-Bi), aluminio-cinc-estaño (Al-Zn-Sn), aluminio-cinc-indio (Al-Zn-In) y aluminio-cinc-indio-estaño (Al-Zn-In-Sn); las dos últimas fueron diseñadas para este estudio. Todas ellas fueron fabricadas en APC Procesadora Anáhuac, S.A. de C.V. El análisis de la composición química de las aleaciones empleadas se llevó a cabo por medio de espectrómetro de emisión de chispa, marca Bruker, modelo Q4 Tasman, de acuerdo con el estándar ASTM E-1251 (ASTM, 2017). Y de las propiedades electroquímicas, por el método de prueba NACE-TM0190 (NACE, 2017). En la figura 2 se muestran los instrumentos de prueba.

Figura 2. Izquierda, espectrómetro de emisión de chispa Q4 TASMAN, derecha, prueba NACE-TM0190



Fuente: cortesía de APC Procesadora Anáhuac S.A. de C.V.

Con el objetivo de aislar el contacto eléctrico directo entre el ánodo y el termotanque, cada ánodo fue colocado sobre un adaptador de hule para probarlo. Así, cada uno se conectó en serie con un multímetro de alta impedancia. Y este, con el termotanque para determinar la corriente en mA (miliamperios) que el ánodo cedía para la protección del acero del artefacto. La conexión se aprecia en la figura 3. Los dos electrodos de referencia se situaron en la parte superior y purga del calentador. El potencial de protección catódica se determinó mediante dos multímetros de alta impedancia. Los cambios de temperatura durante el calentamiento se determinaron por medio de tres termopares, situados en las partes alta, media y baja del termotanque.

Figura 3. Conexiones de ánodos al termotanque

Fuente: cortesía de APC Procesadora Anáhuac S.A. de C.V.

El agua potable sintética se preparó a partir de KCl a conductividades de 100, 500, 1000 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cada ánodo se probó con los cuatro tipos de agua y se registraron los cambios en el potencial de protección, corriente de protección a temperaturas de 20, 30, 40, 50 y 60 °C. El total de pruebas se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Pruebas de ánodos a diferentes conductividades de agua potable de 20 a 60 °C

Aleación	100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Al-Sn-Bi	✓	✓	✓	✓
Al-Zn-Sn	✓	✓	✓	✓
Al-Zn-In	✓	✓	✓	✓
Al-Zn-In-Sn	✓	✓	✓	✓
Mg	✓	✓	✓	✓

Todas las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Pruebas Químicas y Electroquímicas Especializadas de la empresa APC Procesadora Anáhuac S.A de C.V. en la Ciudad de Tlaquepaque, Jalisco.

Análisis y discusión de resultados

En la tabla 3 se presentan los resultados de la determinación de composición química de los ánodos de aluminio y magnesio empleados en la experimentación. La tabla 4 muestra las propiedades electroquímicas de los ánodos. Se puede apreciar que las aleaciones de aluminio son más eficientes y ofrecen una mayor capacidad de corriente que el magnesio. Particularmente las aleaciones Al-Zn-In y Al-Zn-In-Sn lograron los mejores resultados de estas pruebas.

Tabla 3. Composición química en porcentaje, determinada por espectrometría de emisión de chispa

Elemento	Al-Sn-Bi	Al-Zn-Sn	Al-Zn-In	Al-Zn-In-Sn	Mg
Al	99.400	94.680	94.770	94.840	---
Zn	0.1140	5.0220	5.0330	4.9770	0.8470
In	0.0065	0.0047	0.0170	0.016	---
Sn	0.1720	0.1150	<0.0020	0.1710	---
Bi	0.1310	0.0046	<0.0003	<0.0030	---
Mg	0.0008	0.0008	0.0006	0.0006	98.720
Si	0.0420	0.0440	0.0480	0.0380	0.0210
Fe	0.0750	0.0840	0.0920	0.0720	<0.0020
Cu	0.0020	<0.0010	<0.0010	0.0019	0.0027
Cd	<0.0010	<0.0005	<0.0005	0.0010	---
Pb	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	---
Mn	---	---	---	---	0.3990

Tabla 4. Propiedades electroquímicas de los ánodos determinadas por el método NACE-TMO190

Propiedad	Al-Sn-Bi	Al-Zn-Sn	Al-Zn-In	Al-Zn-In-Sn	Mg
Capacidad de corriente, AH/kg	2489	2306	2535	2540	596
Porcentaje de eficiencia	83.97	85.22	92.25	91.50	27.00
Potencial, V vs Ag/AgCl	-0.963	-1.001	-1.044	-1.035	-1.466

En el gráfico 1 se presenta el comportamiento contra la densidad de corriente drenada por el ánodo Al-Sn-Bi, con respecto a la temperatura y conductividad del agua potable. Podemos observar que los requerimientos de corriente de protección se ven incrementados con la conductividad y la temperatura. Mientras que en el gráfico 2, si consideramos que la protección del acero al carbono se logra obteniendo potenciales más negativos que -0.800 V vs Ag/AgCl, se observa que en agua potable de conductividad de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el ánodo no logra polarizar adecuadamente el termotanque y se obtiene solo una protección parcial.

Gráfico 1. Conductividad del agua potable contra la densidad de corriente a diferentes temperaturas para el ánodo Al-Sn-Bi

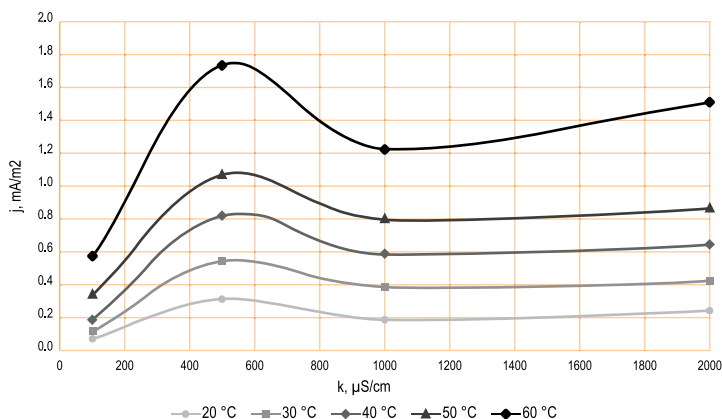
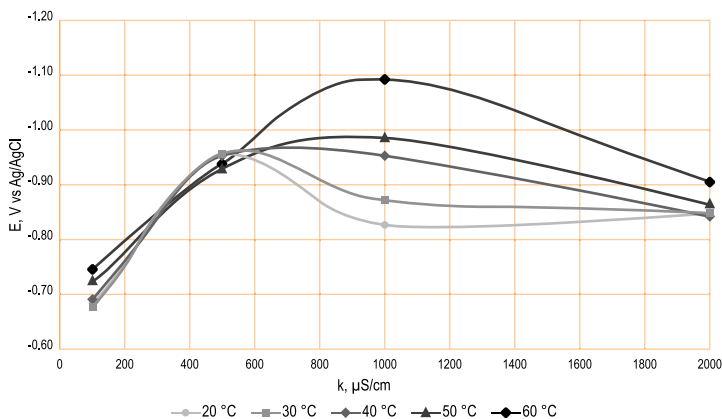


Gráfico 2. Conductividad de agua potable contra potencial de protección a diferentes temperaturas para el ánodo Al-Sn-Bi



En el gráfico 3 se presenta el comportamiento contra la densidad de corriente drenada por el ánodo de aleación Al-Zn-Sn, con respecto a la temperatura y conductividad del agua potable. Podemos observar que los requerimientos de corriente de protección se ven incrementados con la conductividad y la temperatura. Mientras que en el gráfico 4, se observa que en todo el rango de conductividad el ánodo protege adecuadamente; si tenemos en consideración que la protección del acero al carbono se logra obteniendo potenciales más negativos que -0.800 V vs Ag/AgCl.

Gráfico 3. Conductividad del agua potable contra la densidad de corriente a diferentes temperaturas para el ánodo Al-Zn-Sn

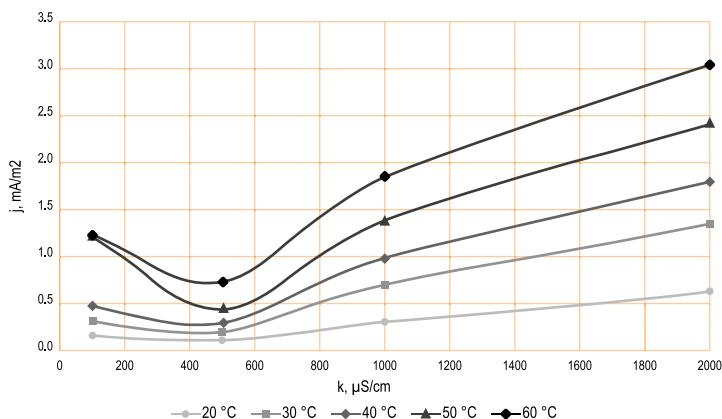
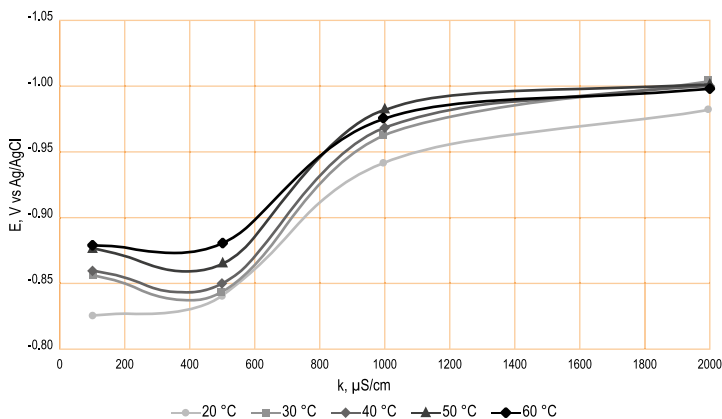


Gráfico 4. Conductividad de agua potable contra potencial de protección a diferentes temperaturas para el ánodo Al-Zn-Sn



En el gráfico 5 se presenta el comportamiento contra la densidad de corriente drenada por el ánodo de aleación Al-Zn-In, con respecto a la temperatura y conductividad del agua potable. Se observa que los requerimientos de corriente de protección se ven incrementados con la conductividad y la temperatura. Mientras que en el gráfico 6, el ánodo no logra polarizar adecuadamente la superficie del termotanque en agua potable de baja conductividad (100 $\mu\text{S/cm}$) y a temperatura menor a 50 °C.

Gráfico 5. Conductividad del agua potable contra la densidad de corriente a diferentes temperaturas para el ánodo Al-Zn-In

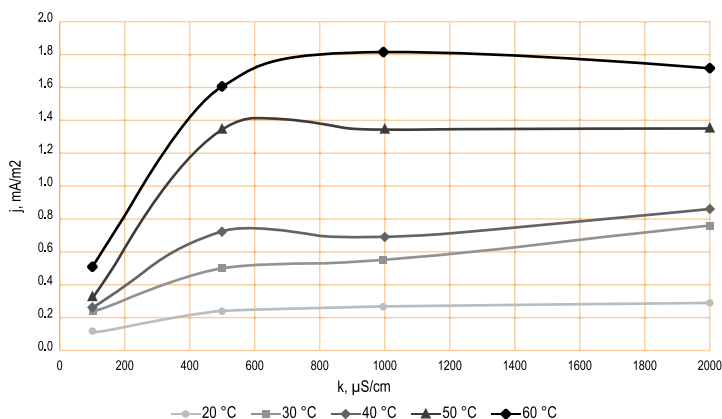
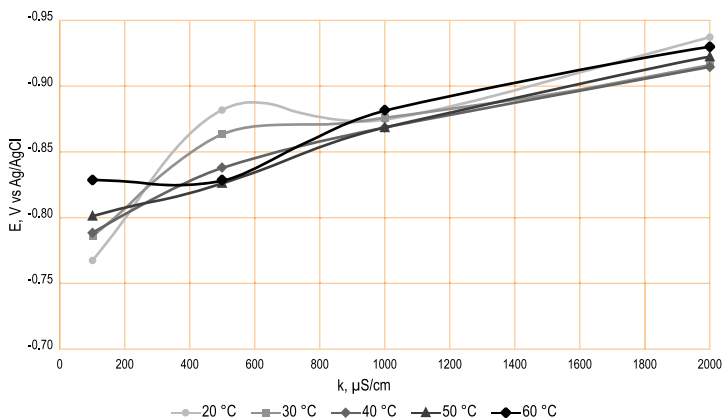


Gráfico 6. Conductividad de agua potable contra potencial de protección a diferentes temperaturas para el ánodo Al-Zn-In



En el gráfico 7 podemos observar que para el ánodo Al-Zn-In-Sn, los requerimientos de corriente de protección se ven incrementados con la conductividad y la temperatura. Mientras que en el gráfico 8, el ánodo protege adecuadamente en todo el rango de conductividad de agua potable y temperatura.

Gráfico 7. Conductividad del agua potable contra la densidad de corriente a diferentes temperaturas para el ánodo Al-Zn-In-Sn

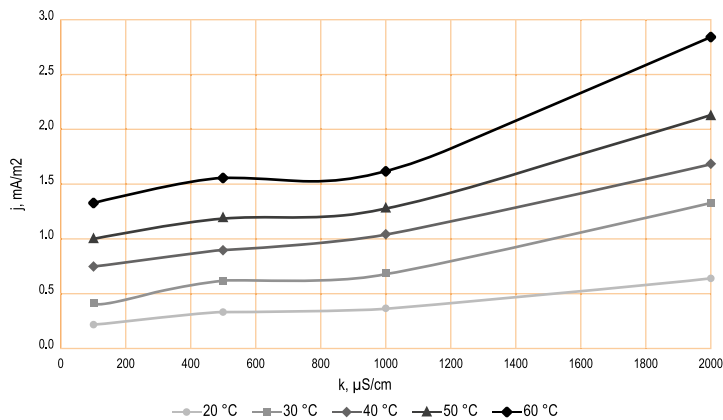
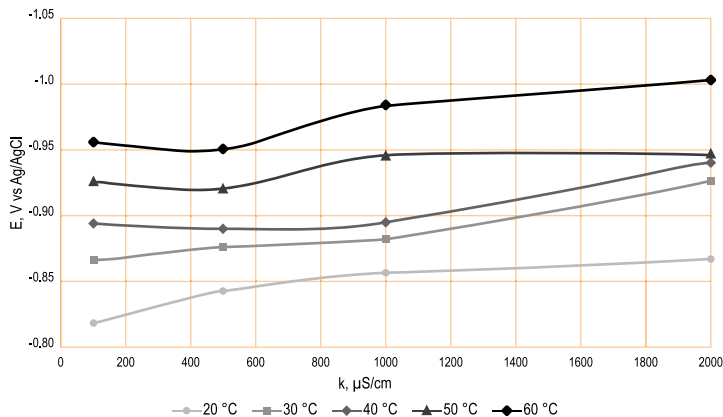


Gráfico 8. Conductividad de agua potable contra potencial de protección a diferentes temperaturas para el ánodo Al-Zn-In-Sn



En el gráfico 9 se obtiene que para el ánodo de magnesio los requerimientos de corriente de protección se ven incrementados con la conductividad y la temperatura. Mientras que en el gráfico 10, el ánodo tiende a sobreproteger a la estructura del termotanque en agua potable de conductividades mayores a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; lo cual no es adecuado porque podría generar desprendimiento catódico del recubrimiento de cerámica.

Gráfico 9. Conductividad del agua potable contra la densidad de corriente a diferentes temperaturas para el ánodo de magnesio (Mg)

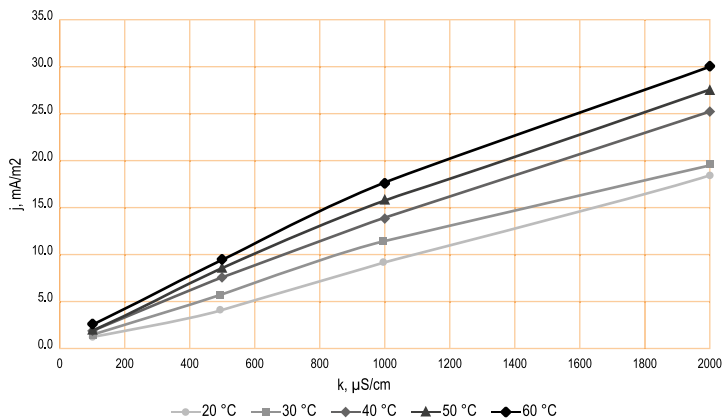
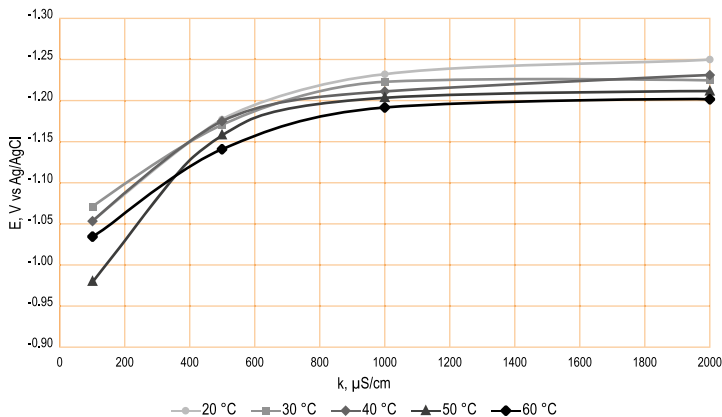


Gráfico 10. Conductividad de agua potable contra potencial de protección a diferentes temperaturas para el ánodo de magnesio (Mg)



En el trabajo realizado por Sheets et al. (1989) no se hicieron pruebas con conductividades mayores a $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$. Se limitaron a considerar las condiciones de protección catódica a obtener una polarización del termotanque a potenciales menores a -0.800 V vs Ag/AgCl , sin considerar que por debajo de -1.050 V vs Ag/AgCl se genera sobreprotección (la aleación de magnesio sobreprotege al acero al carbono a conductividades y temperaturas mayores a $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ y 40°C respectivamente) y posible desprendimiento catódico del recubrimiento cerámico (Ávila y Genescá, 2003). Esto los llevó a concluir que el magnesio era la aleación ideal para la protección de calentadores de agua domésticos. De acuerdo a nuestro estudio las aleaciones de aluminio (Al-Zn-In-Sn) ofrecen una protección adecuada en un rango de conductividad de agua potable más amplio (200 a $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$), en temperaturas desde 20 a 60°C y sin generar sobreprotección de la estructura.

Conclusiones

Dadas las condiciones del agua potable en algunas poblaciones del país, en las cuales su tratamiento no es adecuado y su conductividad es alta, el ánodo de magnesio no resulta adecuado puesto que tiende a generar sobreprotección y un posible desprendimiento catódico del recubrimiento cerámico del termotanque. Además de que su baja eficiencia provoca una rápida disolución del material anódico (tabla 4), de manera que disminuye considerablemente su vida útil y pone en riesgo la garantía del proveedor.

Los ánodos de aluminio de aleación Al-Zn-Sn y Al-Zn-In-Sn protegen adecuadamente en todo el rango de conductividad de agua potable y temperatura. Sin embargo, el ánodo de Al-Zn-In-Sn al presentar una mayor capacidad de corriente y eficiencia tiene una vida útil mayor y garantiza una baja generación de residuos deseable para el fabricante de calentadores domésticos de agua.

Bibliografía

- ASTM (2017). E1251-17a. Standard Test Method for Analysis of Aluminum Alloys by Spark Atomic Emission Spectrometry. Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/E1251.htm>
- Ávila, J. y Genescá, J. (2003). Más Allá de la Herrumbre (tomo II). México: Fondo de Cultura Económica.
- ISO (2012). ISO 15589-2:2012. Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Cathodic protection of pipeline transportation systems - Part 2: Offshore pipelines. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/51992.html>
- NACE International (2014). NACA Publication 11114-2014. A State-of-the-Art Report on the Internal Corrosion of Residential Water Heating Systems. Recuperado de <https://store.nace.org/nace-11114-2014-edition-2>
- NACE International (2013). SP0169-2013 (formerly RP0169), “Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems”. Recuperado de <https://store.nace.org/sp0169-2013-formerly-rp0169-21003>
- NACE International (2017). TM0190-2017, “Impressed Current Laboratory Testing of Aluminum and Zinc Alloy Anodes”. Recuperado de <https://store.nace.org/tm0190-2017-impressed-current-laboratory-testing-of-aluminum-and-zinc-alloy-anodes>
- DOF (2011). NRF-126-PEMEX-2011. Ánodos de Aluminio. Recuperado de http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5188090&fecha=03/05/2011
- Reding, J. (1990). Selecting Sacrificial Anodes. NACE Gulf Coast Corrosion Control Seminar, Houston, Tx.
- Roberge, P. (2002). *Handbook of Corrosion Engineering*. Nueva York: McGraw-Hill
- Sheets, D., Brown, J. Hudspeth, J. (1989). Investigation into Cathodic Protection for Water Heaters. *Corrosion*, 89(287).
- Weingarten, L. y Weingarten, S. (1992). *The water heater workbook: a hands-on guide to water heaters*. Monterey: Elemental Enterprises.



Estudio estadístico de precipitación pluvial para su captación en CUNorte

Ana Rosa Carrillo Ávila*
María Olga Concha Guzmán**
Reyes Joel Sanjuan Raygoza***
Ignacio García García****

Resumen

El agua es necesaria para satisfacer las necesidades básicas de comunidades rurales y urbanas. Por ello, captar y almacenar la pluvial es una solución alternativa para hacer frente a la escasez del vital líquido, ante el crecimiento poblacional y el mal uso de los recursos naturales, energéticos e hídricos, que comprometen el bienestar de las nuevas generaciones. Es así que la prevención y concientización son necesarias para administrar los recursos naturales. Las instituciones públicas y privadas deben asumir el compromiso social de proponer planeaciones en el contexto social-económico-ambiental, que coadyuven al fortalecimiento del tejido social, el desarrollo económico y la sustentabilidad.

En la región norte de Jalisco, en el municipio de Colotlán, se encuentra el Centro Universitario del Norte (CUNorte) de la Universidad de Guadalajara, donde se están implementado estrategias para aprovechar los recursos naturales como la precipitación pluvial. En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar los datos estadísticos hídricos del municipio de Colotlán de los últimos 15 años, con el fin de generar una propuesta de captación de agua pluvial para el centro universitario. El resultado del estudio revela que la captación es una alternativa viable.

Palabras clave: precipitación pluvial, captación de agua, estadísticas hídricas.

* Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. ana.carrillo@cunorte.udg.mx

** Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. mocg@cunorte.udg.mx

*** Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. reyes.sanjuan@cunorte.udg.mx

**** Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. ignacio.garcia.g@cunorte.udg.mx

Introducción

Desde el nacimiento de la Revolución Industrial a mediados del siglo XVIII, se inicia el detonante deterioro ambiental. Esta actividad industrial-humana ha acrecentado la contaminación ambiental, de manera que ha causado algunos efectos como la destrucción de la capa de ozono, lo cual repercute en la alteración de las condiciones meteorológicas. Este fenómeno de cambio climático impacta en el ciclo hidrológico, siendo así que modifica la temporada de lluvia.

En el entorno actual, es previsible la disminución de la disponibilidad y calidad del agua para la sociedad. Según el informe de la OMS (2017), 2100 millones de personas en el mundo carecieron de agua potable. Este fenómeno ha sido un punto de partida para cuantificar el agua renovable disponible a nivel mundial, es decir, el grado de presión sobre los recursos hídricos (GPRH). La Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU, clasifica los GPRH en escasa y fuerte. La primera es cuando el agua extraída no rebasa el 10 % del líquido renovable disponible. Y la segunda, cuando la extracción es mayor al 40 % de la disponibilidad natural. A nivel mundial, México ocupa el lugar 53 de los países con mayor grado de presión de un total de 180 países.

En cuanto a las precipitaciones en México, en el norte del país son menores que en el sur debido a la variación de la temperatura y humedad. En general, la precipitación media anual (PMA) calculada durante los últimos 30 años (período 1981-2010, tabla 1) fue de 776 mm anuales. En el año 2017 se registró una PMA de 782 mm, con estos datos se dedujo que anualmente México recibe 1,449,471 millones de m³ de agua en forma de precipitación. En lo que respecta a la temporada de lluvias en el municipio de Colotlán, la precipitación media anual es de 717 mm.

Tabla 1. Datos comparativos de la precipitación media anual del período 1981 al 2010

Concepto	México	Jalisco	Colotlán
Superficie	1,972,550 km ²	80,137 km ²	505.15 km ²
Población	112,336,538 hab.	7,350,682 hab.	18,091 hab.
Precipitación media anual	776 mm	820 mm	717 mm

Fuente: elaboración propia con datos de la CONAGUA (2018) e IIEG (2019).

De la cantidad de agua en forma de precipitación, se estima que el 72.15 % se evapora y regresa a la atmósfera, y el 24.77 % escurre por ríos y arroyos. Solo el 6.38 % restante se infiltra y recarga los mantos acuíferos (CONAGUA, 2018).

En cuanto a las cuencas, en la tabla 2 se muestran las características de la región hidrológica (RH) de Colotlán. Pertenecce a la RH 12 Lerma-Santiago, y a la región hidrológica administrativa (RHA) VIII llamada Lerma-Santiago-Pacífico. Cuenta con 558 estaciones climatológicas y 250 hidrométricas. El municipio tiene los ríos Colotlán, Jerez y Cartagena de aguas permanentes, y las presas Los Pérez, el Sauz, Carrizalillo y Laguna grande, ninguna considerada entre las grandes presas de México (CEA Jalisco 2015).

Tabla 2. Características de la región hidrológica Lerma Santiago

Características	Datos hidrológicos
Clave de la RH	12
RH	Lerma-Santiago
RHA	VIII Lerma-Santiago-Pacífico
Extensión territorial continental (km ²)	132,916
Precipitación normal anual 1981-2010 (mm)	717
Escorrentamiento natural medio superficial total (hm ³ /año)	13,062
Número de cuencas hidrológicas	558

Fuente: elaboración propia con datos de la CONAGUA (2018).

De acuerdo a lo anterior, se realiza parte del tratamiento estadístico de la información temporal de series históricas recabadas en estaciones meteorológicas en diferentes zonas dentro de una misma región hidrológica.

Por lo anterior aprovechar la precipitación pluvial es una alternativa para el CUNorte de abastecimiento de agua. Las instituciones públicas y privadas deben asumir el compromiso sustentable con propuestas de planeaciones en el contexto social-económico-ambiental. Aguilar y Carreón (2018) proponen el uso del agua de lluvia como una fuente alternativa que permita tener un ahorro significativo en el consumo del agua potable de una institución educativa. Como para emplearse en el riego de áreas verdes, la limpieza de las instalaciones y sanitarios. Por lo tanto, se analiza la estadística de precipitación pluvial en el municipio de Colotlán con el fin de determinar la factibilidad de la instalación de un sistema de captación de agua o escurrimiento pluvial anual, o ambas, para su aprovechamiento en el centro universitario.

Método

Los datos de la precipitación pluvial a nivel local, se obtuvieron del observatorio meteorológico de Colotlán, Jalisco, ubicado a 4.5 kilómetros del CUNorte. En la ejecución de los cálculos se consideró que un día mojado equivale por lo menos a 1 mm de agua o un precipitado corresponde a un litro (L) de agua en un área de 1 m². Los sistemas de escurrimiento pluvial se recomiendan en las localidades donde el abastecimiento de agua potable es insuficiente, y la precipitación es mayor a 500 mm anuales.

Las variables que intervienen son el área superficial de las edificaciones y el material con que están recubiertas. Se utilizaron los registros de precipitación pluvial mensual del periodo 2004 al 2018 y se empleó el método de cálculos matemáticos propuesto por los lineamientos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Este método es deductivo con enfoque cuantitativo, para llegar a la propuesta que genere una fuente alterna de abastecimiento con propósitos de sustentabilidad en el Centro.

La metodología utilizada para calcular el promedio de precipitación anual con distribución mensual y el volumen de captación fue la siguiente:

$$p = \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_i}{n} \right) \text{ Ec. 1}$$

donde

- i. p = precipitación promedio anual (PMP) con distribución mensual, en mm.
- ii. p_i = precipitación en el año , en mm.
- iii. n = número de años.

Entonces de acuerdo a la recolección de datos mensuales del 2004 a 2018 la PMP se determina el volumen anual (V_a):

$$V_a = \frac{p * A * K_e}{1000} \text{ Ec. 2}$$

donde

- i. V_a = volumen promedio de captación anual con distribución mensual en m³.
- ii. p = precipitación promedio anual con distribución mensual en mm.
- iii. A = área de proyección horizontal de las instalaciones de captación en m².
- iv. K_e = coeficiente de escurrimiento del área de captación.
- v. El valor que se tomó para K_e fue de 0.9, aplica para impermeabilizados o cubiertos con materiales duros como el concreto hidráulico.

Resultados

Los sistemas de escurrimiento pluvial se recomiendan en las localidades donde el abastecimiento de agua potable es insuficiente, y la precipitación es mayor a 500 mm anuales. Para determinar la factibilidad de la instalación de un sistema de captación de agua o escurrimiento pluvial anual para el centro universitario, se requiere del análisis estadístico de la precipitación pluvial en el municipio de Colotlán. Con estos datos se conocerán el promedio mensual de la precipitación y la cantidad promedio de agua que se puede captar anualmente. El área superficial de la azotea de las instalaciones se relaciona con V_a de captación. Las instalaciones o edificaciones del Centro comprenden un área total de 15,703.80 m². En la tabla 3 se detalla la superficie de cada una, de acuerdo con los lineamientos técnicos que propone la SEMANART-CONAGUA para sistemas de agua pluvial con fines de abasto de agua potable.

Tabla 3. Área superficial de las instalaciones de CUNorte para captación de agua pluvial

Espacio	Área (m ²)
Laboratorio de ingenierías	1,160.80
Estancia infantil	335.60
Laboratorio de la salud	1,098.69
Laboratorio de neurociencias	249.63
Puerto de servicios académicos	2,058.99
Laboratorio de alimentos	143.97
Sala de educación continúa	730.43
Comedor universitario	617.88
Sala de usos múltiples	2,411.87
Edificio de rectoría	1,068.20
Estancia de docencia e investigación	1,177.73
Módulo de aula A	930.00
Módulo de aula B	930.00
Módulo de aula C	930.00
Módulo de aula D	930.00
Módulo de aula E	930.00
Total	15,703.80

Fuente: Centro Universitario del Norte, área de obras y proyectos.

El tratamiento de datos estadísticos de captación de agua pluvial anual en Colotlán, indica que la temporada más mojada del año dura cuatro meses (tabla 4). El mes de julio es el de mayor promedio mensual de precipitación pluvial (PMP) con 180 L/m².

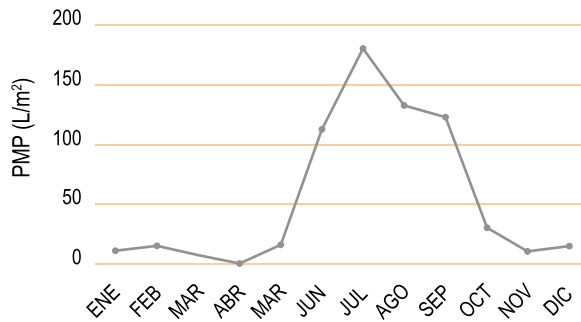
Tabla 4. Precipitación pluvial de Colotlán, Jalisco

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2004	70.0	3.5	11.8	0.0	37.9	231.8	117.4	86.9	98.9	34.6	0.0	0.0	692.8
2005	0.0	46.3	0.0	0.0	0.0	2.7	134.5	133.0	57.5	44.3	0.2	0.0	418.5
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.6	142.1	132.0	79.3	48.9	3.9	12.5	453.3
2007	15.4	0.0	0.0	0.0	0.0	245.8	192.2	133.9	43.4	13.6	2.9	4.5	651.7
2008	0.0	0.2	0.0	4.5	1.7	127.8	261.7	274.9	172.8	10.1	0.0	0.0	853.7
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	77.1	92.1	94.1	147.3	153.7	15.0	14.4	35.3	629.0
2010	29.7	88.4	0.0	0.0	0.0	52.1	171.5	111.4	148.3	12.6	0.0	0.0	614.0
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	103.7	113.3	55.6	79.1	18.0	0.0	0.0	384.2
2012	4.2	46.1	0.0	0.0	1.7	45.4	234.2	100.2	95.9	4.8	3.8	14.2	550.5
2013	7.5	0.0	0.0	0.0	6.9	48.8	333.4	146.2	216.8	35.5	43.3	73.4	911.8
2014	7.0	0.0	0.0	0.0	28.4	238.0	104.2	112.7	34.2	57.9	18.5	18.0	618.9
2015	3.8	34.2	82.9	1.5	31.1	191.0	117.8	113.0	130.1	70.4	20.1	39.0	834.9
2016	0.0	0.0	13.8	0.0	13.8	124.2	264.0	142.5	73.5	16.3	14.5	0.1	662.7
2017	0.0	2.7	7.9	0.5	3.8	56.6	261.1	150.6	198.4	36.7	0.0	28.4	746.7
2018	37.9	10.0	0.0	4.7	28.9	100.9	166.1	157.4	271.2	45.3	45.6	7.8	875.8
Promedio mensual (L/m ²)	11.7	15.4	7.8	0.7	16.4	113.0	180.5	133.2	123.5	30.9	11.1	15.5	
Promedio anual (L/m ²)													659.9

Fuente: Observatorio Meteorológico de Colotlán, Jalisco.

En la figura 1 se muestran los PMP anual por mes.

Figura 1. Precipitación pluvial mensual promedio del municipio de Colotlán del 2004 al 2018



Entonces de acuerdo a la recolección de datos mensuales del 2004 a 2018, el resultado del promedio de precipitación anual con distribución mensual es de 659.9 mm y el volumen anual (V_a) de 9326.46 m³, que equivale a un cubo de 21 m de lado.

Los sistemas de escurrimiento pluvial se recomiendan en las localidades donde el abastecimiento de agua potable es insuficiente y la precipitación es mayor a 500 mm anuales. Para este proyecto en específico, la precipitación es de 659.9 mm anuales, lo que permite concluir que este sistema de captación es viable para cubrir parte de la demanda de los servicios del CUNorte. Tal es el caso de los 84,516 m² de áreas verdes que requieren de un riego constante; de ahí la necesidad de plantear un sistema de escurrimiento pluvial que apoye dicho servicio.

Los resultados de precipitación a nivel municipal y estatal se contrastan a pesar de estar en la misma región hidrológica, debido a que en el 2010 la diferencia fue de 103 mm. Las más altas precipitaciones se dieron en 2008, 2013 y 2018, con 853.7 mm, 918.2 mm y 875.8 mm, respectivamente.

Por otro lado, con la captación de agua pluvial se proporciona tiempo para restablecer los mantos acuíferos y que el ciclo hidrológico no sufra alteraciones. La administración de este recurso permite fomentar proyectos que resanen el hábitat natural, para así frenar un deterioro y educar en materia ambiental a las nuevas generaciones.

Conclusiones

El análisis estadístico de la precipitación pluvial en el municipio de Colotlán indica que es viable la propuesta de captación de agua en el Centro Universitario del Norte. La captación siempre será viable, y promueve el desarrollo sustentable de la región. Para la siguiente etapa del proyecto se plantea tomar en cuenta los escurrimientos de las banquetas con mayor pendiente para aumentar el volumen de agua captada y satisfacer las necesidades del Centro.

Bibliografía

- Aguilar, M. y Carreón, J. (2018). Análisis de viabilidad de un sistema de captación de agua de lluvia en la ENMSGTO. *Jóvenes en la ciencia*, 4(1), pp. 3144-3148. Recuperado de <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2805/2060>.
- CEA Jalisco (2015). Ficha Técnica Hidrológica Municipal Colotlán. Recuperada de http://www.ceajalisco.gob.mx/doc/fichas_hidrologicas/region1/colotlan.pdf
- CONAGUA (2018). Atlas del Agua en México. Recuperado de http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/aam_2018.pdf
- IIEG (2019). *Colotlán. Diagnóstico del municipio. Marzo 2019*. México: IIEG. Recuperado de <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/06/Colotlan.pdf>
- OMS (2017). Agua, saneamiento e higiene. Recuperado de https://www.who.int/water_sanitation_health/es/
- SEMANART-CONAGUA (2016). *Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda*. México: SEMANART-CONAGUA. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS_CAPTACION_PLUVIAL.pdf



Producción de biodiésel por transesterificación en medio orgánico

Manuel Alejandro Hernández Rosas*
Noemí del Carmen Rodríguez Rodríguez
José David Rubio García
Ángel Andrea Carrera Márquez

Resumen

El biodiésel es un combustible que se puede obtener a partir de recursos naturales renovables: aceites vegetales o grasas animales, etc. Este combustible funciona en los motores de combustión interna, y entre sus ventajas se encuentra la disminución de las emisiones netas de dióxido de carbono. La manera de obtener el biodiésel es variada: a través de pirólisis, microemulsificación, reacciones de esterificación o transesterificación. Los catalizadores a emplear pueden ser de origen químico, como sosa cáustica o metilato sódico, o de origen enzimático como las lipasas. En este trabajo se propone la generación de biodiésel vía transesterificación catalizada por lipasas. Para esto, se obtuvo el biocatalizador a partir de un cultivo por fermentación en medio sólido de un hongo filamentoso del género *Rhizomucor*. Se utilizó bagazo de agave como soporte y aceite de oliva como inductor. Se realizó una cinética de producción para monitorear el día de máxima producción de las lipasas. El fermento fue secado a temperatura ambiente y almacenado hasta su utilización. La reacción de transesterificación catalizada por la lipasa de *Rhizomucor sp.* se llevó a cabo en hexano, para ello se utilizó como sustrato aceite de cocina quemado y alcoholes de cadena de uno, tres y cuatro carbonos (metil, etil, propil y butil). La síntesis del biodiésel fue monitoreada mediante un análisis en cromatografía en capa fina.

Palabras clave: lipasas, biodiésel, aceite quemado.

* Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. alejandro_hernandez@cunorte.udg.mx

Introducción

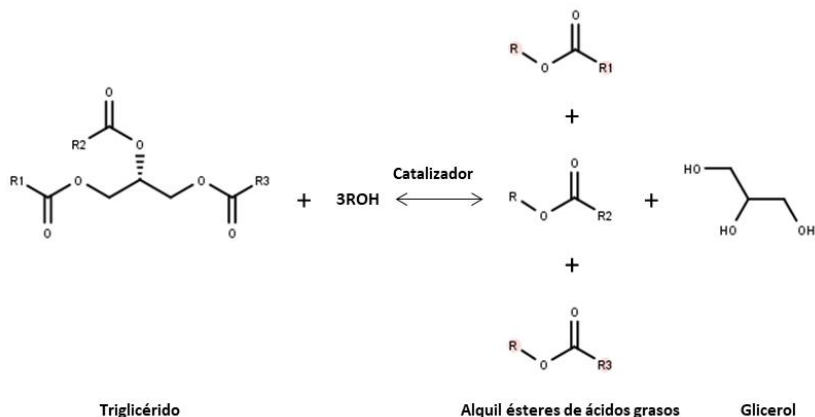
El biodiésel, monoalquil ésteres de ácidos grasos de cadena larga, es considerado un combustible líquido alternativo a los derivados del petróleo. Se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales, grasas animales, aceites usados, aceites producidos por algas, etc. Los procesos para su obtención son variados: pirolisis, microemulsificación, esterificación o transesterificación.

El proceso de pirolisis genera un cambio químico causado por la aplicación de energía térmica en presencia de aire o nitrógeno. Los productos obtenidos son variados, incluyendo alcanos, alquenos, alcadienos, aromáticos y ácidos carboxílicos. Sin embargo, la remoción de oxígeno durante el proceso no permite que sea considerado como un combustible con beneficios ambientales, contrario a los combustibles oxigenados (Phung, Casazza, Perego, Capranica y Busca, 2015).

Las microemulsiones, que son preparadas en solventes como el metanol, etanol y butanol, cumplen con las características deseables de baja viscosidad, sulfuro, ácidos grasos, cenizas, etc. Sin embargo, se ha visto en pruebas de resistencia que a bajas temperaturas las microemulsiones son inestables (Ram, Shrivastava, Tiwari y Patil, 2017).

Por otra parte, el proceso de transesterificación ha sido de los más aceptados por la comunidad científica y tecnológica. Este proceso consiste en hacer reaccionar los triglicéridos de las grasas y aceites naturales con un alcohol para producir ésteres lineales de bajo peso molecular (figura 1).

Figura 1. Reacción de transesterificación de triglicéridos con alcoholes para la producción de biodiésel



Fuente: adaptado de Leung, Wu y Leung, 2010.

La reacción de transesterificación puede ser catalizada por ácidos o bases fuertes o por enzimas naturales, las lipasas. Estas últimas son biocatalizadores amigables con el ambiente y compatibles con los procesos sustentables.

Las enzimas se obtienen principalmente a partir de procesos fermentativos de microorganismos nativos o recombinantes. En el caso de las lipasas, se han reportado hongos y levaduras capaces de producirlas en medios de cultivo sólido y líquido (Aloulou et al., 2007; Rodríguez et al., 2006). Siendo la fermentación en medio sólido (FMS) una de los sistemas más estudiados para la producción de lipasas fúngicas extracelulares.

La FMS se define como la fermentación que envuelve sólidos en ausencia o casi ausencia de agua libre, pero en la cual el sustrato absorbe la humedad suficiente para soportar el crecimiento de los microorganismos (Pandey, 2003). Esta técnica de cultivo tiene ventajas respecto a las fermentaciones en medios líquidos (o sumergidos). Entre estas destacan: menor riesgo de contaminación, menor requerimiento energético, mayor oxígeno disponible en el proceso, mayor producción de metabolitos, entre estas enzimas. Además, permite reutilizar residuos agroindustriales para ser utilizados como soporte o soporte-sustrato.

En este trabajo se propuso aprovechar bagazo de agave, que es un residuo de la industria tequilera, para usarlo como soporte en el cultivo por FMS de un hongo filamentoso productor de lipasas. Posteriormente, se utilizaron las células completas como biocatalizador para acelerar la reacción de transesterificación de aceite de cocina usado.

De esta manera, se pretende desarrollar un proceso de generación de biodiésel partiendo de dos tipos de residuos: el bagazo y el aceite de cocina usado. Mismo que cumpla con las características de un proceso sustentable, con responsabilidad social, económica y ambiental mediante el uso de procesos químicos verdes.

Planteamiento del problema

Como es de conocimiento global las energías renovables en la actualidad son muy importantes para la conservación del planeta en un futuro, debido a que reducen el efecto de gases de invernadero. Una de las opciones más estudiadas en las últimas décadas es el biodiésel, el cual se había propuesto inicialmente sintetizarlo a partir de aceites vegetales. Pero debido a que dichos aceites compiten con la disponibilidad de alimentos, es importante buscar fuentes alternativas de aceites. En este caso se propone el uso de aceite quemado para hacer la síntesis del biodiésel, porque no funciona como alimento útil para la población. Es más, un residuo que no es posible desechar al medio ambiente sin un proceso correcto el cual no genere contaminación. Por lo tanto, es una forma de reutilizar este desecho y darle un valor agregado.

Además de utilizar el citado desecho, se propone un proceso que es amigable con el ecosistema de nuestro entorno, mejor conocido como química verde: no se utilizarán catalizadores químicos, en su lugar se usarán catalizadores enzimáticos para reducir la contaminación en un medio orgánico libre de ácidos o bases fuertes.

Métodos

Microorganismos

La colección de hongos filamentosos del CUNorte fue utilizada para buscar microorganismos productores de lipasas. Para la selección del microorganismo se realizó un cribado por cultivo superficial en un agar selectivo para lipasas. Este contenía el medio mineral mínimo propuesto por Rodríguez y col. (2006) y tributirina como única fuente de carbono. El halo de hidrólisis se consideró como criterio para la selección de la cepa.

Propagación y recolección de esporas

Se cultivó una asada de biomasa de la cepa en cajas Petri que contenían medio agar papa dextrosa. Los cultivos se incubaron a 30 °C durante una semana. Las esporas fueron recolectadas utilizando una solución estéril de Tween 80 al 0.01 %, y contadas en una cámara de Neubauer utilizando un microscopio óptico con el objetivo 40.

Medio de cultivo para la fermentación en medio sólido (FMS)

Los medios de cultivo empleados en FMS constan de dos fracciones: una líquida, que corresponde al ‘medio de impregnación’, a la que se le agregan los sustratos solubles; y una sólida, que corresponde al ‘soporte’.

Su preparación consiste en impregnar la fracción sólida con la fracción líquida. Mezcla que se esteriliza en autoclave durante 15 minutos a 121 °C. Una vez estéril la mezcla, se deja enfriar y se inocula con un 25 % de inóculo (v/v), para obtener una humedad inicial del 75 %.

Para la preparación del soporte se utilizó bagazo de agave proveniente de un proceso de producción de tequila en que se extrae el jugo por prensado. El bagazo fue molido, tamizado en mallas 30 y 40, lavado y secado para su posterior utilización.

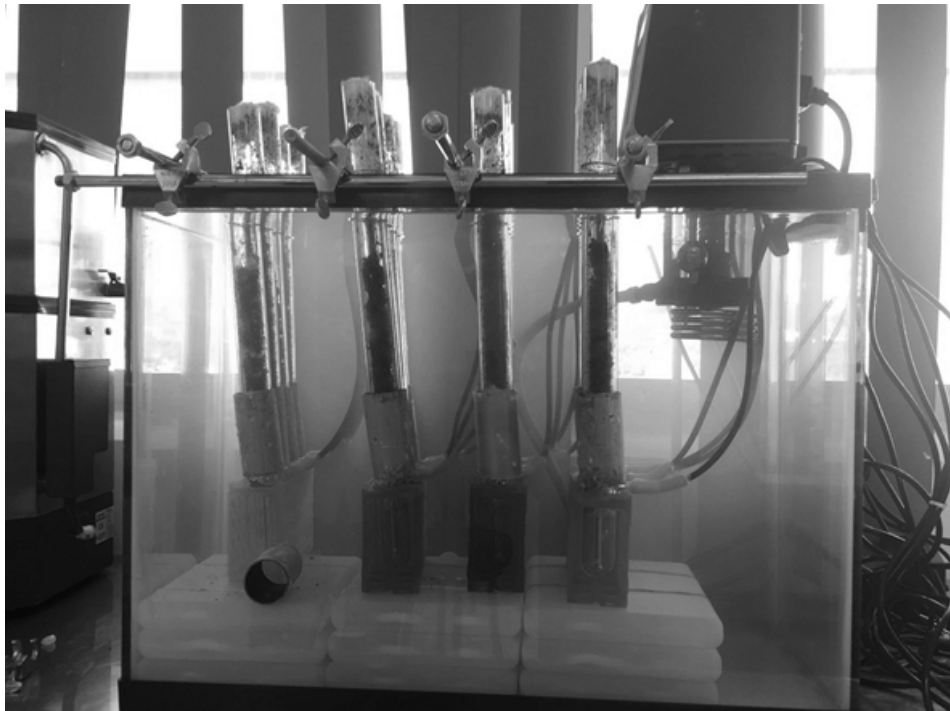
El medio de impregnación fue preparado según lo descrito por Rodríguez y col. (2006), y contenía (g/L): glucosa, 7.5; urea, 6; K_2HPO_4 , 7.5; $MgSO_4$, 1.5; aceite de oliva, 30 y Tween 80, 1.5. Se emulsionó el medio utilizando una licuadora convencional e inmediatamente después se utilizó para impregnar al bagazo, en una relación de 2 mL por cada gramo de bagazo seco.

El medio estéril se inoculó con una suspensión de 3×10^7 esporas/mL, que fueron colectadas el mismo día, en una relación de 1 mL de inóculo por cada gramo de bagazo seco. Este ‘medio fermentativo’ fue utilizado para empacar biorreactores de columna que, posteriormente, se instalaron en un sistema para FMS para ser incubados durante una semana a 30 °C.

Sistema de fermentación en medio sólido para la producción de lipasas

El sistema de biorreactores de columna utilizado consiste en columnas de vidrio de diámetro de 3 cm, que son empacadas con mezcla de medio fermentativo, y constan de un burbujeador conectado en el extremo inferior para proporcionar aire humidificado al cultivo. El sistema se somete a temperatura controlada a través de un baño recirculador con termostato de inmersión (figura 2).

Figura 2. Sistema de fermentación en medio sólido en biorreactores de columna



Acondicionamiento del biocatalizador

Se obtuvo un fermento de 5 días, el cual fue sometido a un proceso de secado a temperatura ambiente a la sombra hasta obtener peso constante. Este fermento fue utilizado como biocatalizador en las pruebas de síntesis de biodiésel.

Síntesis orgánica para la producción de biodiésel

Se prepararon las soluciones de los alcoholes metanol, etanol, propanol y butanol a una concentración 400 mM en hexano. Se preparó una solución de aceite de oliva o aceite de cocina quemado a una concentración de 400 mM equivalente de trioleína en hexano.

En 10 viales de 2 mL septados se pesó 50 mg de biocatalizador. De los cuales, a 4 se les agregó 500 μ L de solución de aceite de oliva, a 4 500 μ L de aceite de cocina quemado y a 2 500 μ L de hexano. Posteriormente, a cada serie se agregó 500 μ L de solución de cada uno de los respectivos alcoholes. La mezcla se puso en agitación magnética constante a 50 °C durante un periodo de 4 h.

Cuantificación de actividad lipasa

Se utilizó el método espectrofotométrico propuesto por Camacho-Ruiz y col. (2015), donde se usó tributirina como sustrato y el sistema tampón-indicador recomendado para pH 7.2.

Se preparó una solución *A* que contenía tributirina 50 mM y 4-nitrofenol 5 mM, en tert-butanol. Y una solución *B* que contenía MOPS 2.5 mM, NaCl 150 mM y NaTDC 0.5 mM, a pH 7.2. Dichas soluciones fueron preparadas con anticipación y conservadas en refrigeración hasta su uso.

Para la determinación de la actividad lipasa se colocaron 20 μ L de extracto enzimático, convenientemente diluido, en un micropozo de una microplaca de 96 pozos.

Aparte, en fresco, se preparó una emulsión de sustrato como se describe a continuación: 1 volumen de solución *A* fue adicionado gota a gota, en agitación vigorosa en vórtex, a un tubo de ensayo que contenía 9 volúmenes de solución *B*.

Enseguida, se depositaron 100 μ L de emulsión a los micropozos que contenían la muestra enzimática. Se adicionaron blancos sin enzima para medir el ruido de fondo del método.

Inmediatamente después, la microplaca se colocó en un lector para microplacas y se realizó una corrida cinética. Fueron tomadas lecturas a 410 nm en lapsos de 30 s, con agitación de 5 s previa a cada lectura. Las cinéticas se llevaron a cabo a 30 °C durante 10 min.

Una unidad de actividad enzimática corresponde a un μ mol de ácido butírico liberado por minuto.

Análisis por cromatografía de capa fina (TLC)

En una placa de alúmino-silica gel se colocaron 5 µl de las muestras, para después realizar una corrida cromatográfica en una cámara para TLC que contenía una fase móvil compuesta por 70 % de hexano, 30 % de éter etílico y 1 % de ácido acético. La placa fue revelada por derivatización de los lípidos mediante micro-aspersión de una solución de ácido sulfúrico al 50 % y posterior calentamiento en plancha a 120 °C.

Resultados y discusión

Se seleccionó un hongo filamentoso, de una colección de 40 cepas, con base en su capacidad para hidrolizar triglicéridos. La selección se llevó a cabo en un medio de cultivo superficial selectivo que contenía tributirina como única fuente de carbono y en forma de emulsión. Las cepas productoras de lipasas se identificaron como aquellas que formaron un halo transparente alrededor de la colonia.

La cepa ‘inocua’, identificada morfológicamente mediante observación de su micelio y cuerpos fructíferos en un microscopio óptico como del género *Rhizomucor*, fue la que presentó mayor potencial como productora de lipasas. En la figura 3 se muestra una fotografía en contraste de una fracción del cribado de hongos, en ella se observa el halo de hidrólisis de la tributirina por las lipasas producidas. Diversos autores han aislado y caracterizado lipasas provenientes de cultivos de cepas del género *Rhizomucor* para la síntesis de biodiésel (Yan, Duan, Liu, Jiang y Yang, 2016).

Figura 3. Selección del microorganismo productor de lipasas mediante cribado en agar selectivo

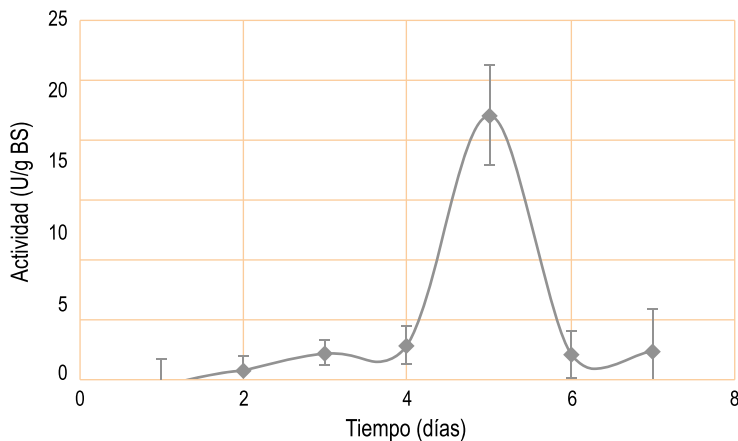


Una vez seleccionada la cepa, se realizó una cinética de cultivo por FMS, para monitorear la producción de lipasas e identificar el momento de su máxima producción. Se realizó el cultivo de 14 columnas simultáneas empacadas con la misma mezcla de medio fermentativo e inoculadas con la misma cantidad de esporas. Cada día se retiraron dos columnas, se recuperó el fermento, se homogeneizó y se conservó en congelación hasta el momento del análisis enzimático.

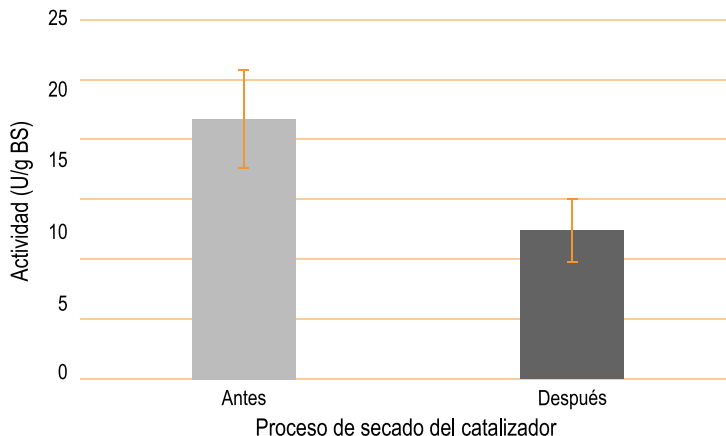
Como se muestra en la figura 4, el pico de producción de lipasas se detectó en el día 5 del cultivo, con una actividad máxima de 18.4 U/g de bagazo seco. Dobrev y col. (2018), en un medio de cultivo similar, obtuvieron 5.5 U/g (en *p*-nitrofenil palmitato) en cultivos del hongo *Rhizopus arrhizus*. Cabe mencionar que en el cultivo de *Rhizomucor* la biomasa fúngica se observó a partir del segundo día, por lo cual, como era de esperarse, las enzimas de interés se produjeron en el metabolismo secundario de la cepa.

Por otra parte, la actividad disminuyó abruptamente al sexto día de producción. Este fenómeno puede ser atribuido a la producción de proteasas y consecuente degradación de las lipasas.

Figura 4. Cinética de producción de lipasas



Una vez identificado el día de máxima producción, se realizó un proceso de acondicionamiento del biocatalizador. Se tomó el fermento obtenido al día 5 de cultivo y se secó a temperatura ambiente bajo la sombra. La finalidad fue poder usarlo para catalizar la síntesis de biodiésel, debido a que las lipasas son capaces de realizar hidrólisis en medio acuoso y síntesis en medio orgánico (ausencia de agua). Después del proceso de secado se conservó alrededor del 60 % de la actividad lipasa (figura 5).

Figura 5. Actividad enzimática del biocatalizador antes y después del proceso de secado

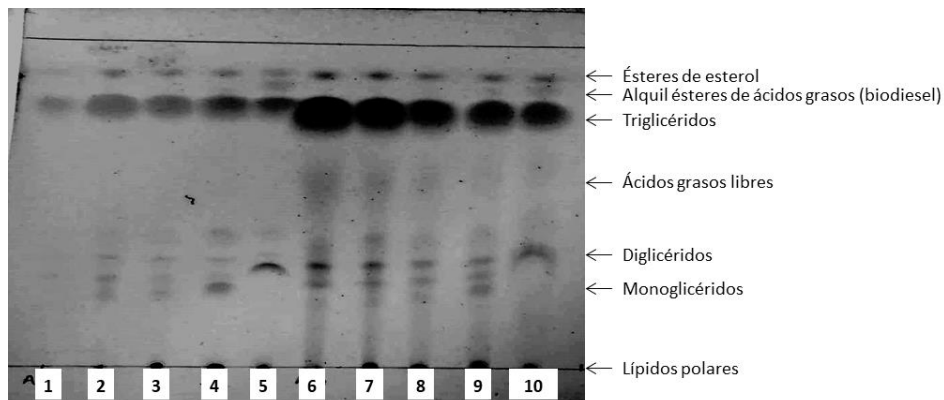
El biocatalizador acondicionado fue utilizado para evaluar su capacidad en la síntesis de alquil ésteres de ácido oleico (biodiésel). Se evaluó la síntesis con dos aceites: uno de oliva comercial y otro de canola quemado; así como cuatro alcoholes de cadena de 1-4 carbonos.

El análisis por cromatografía en capa fina (TLC) de los productos de reacción, revelaron que las lipasas de *Rhizomucor sp.* producidas por FMS son capaces de catalizar la síntesis de butil oleato al utilizar ambos aceites. En la figura 6 se observa claramente solo en los carriles 5 y 10 una banda correspondiente a biodiésel. En ambos casos, corresponden a reacciones llevadas a cabo con butanol como sustrato. Cabe mencionar que las bandas correspondientes a monoglicéridos y ácidos grasos no se observaron en estas muestras, lo que sugiere que el biodiésel sintetizado corresponde principalmente al consumo de estos.

Por otra parte, se observó que los triglicéridos y diglicéridos no fueron consumidos. Algunos estudios refieren la síntesis de biodiésel, catalizada por lipasas, en dos posibles vías: alcoholisis directa de triglicéridos (reacción A) y una reacción que consta de dos pasos. Inicia con la hidrólisis de los triglicéridos y luego con la esterificación de los ácidos grasos liberados (reacción B y C). Las reacciones A, B y C suelen ocurrir simultáneamente durante la síntesis de biodiésel (Canet, Bonet-Ragel, Benaiges y Valero, 2016).

Otro factor que pudo tener influencia es la actividad de agua de la reacción. Se ha visto que en solventes orgánicos, las lipasas requieren de una pequeña cantidad de agua para mantener su estructura tridimensional durante la síntesis (Aguieiras, Cavalcanti-Oliveira, y Freire, 2015). Sin embargo, en este trabajo no se consideró ese factor.

Figura 6. Análisis cualitativo por cromatografía en capa fina de los productos de reacción catalizados por las lipasas de *Rhizomucor* sp.



Carriles: 1-5, preparación con aceite de oliva; 6-10, preparación con aceite de cocina quemado; 2 y 7, contenía metanol; 3 y 8, contenía etanol; 4 y 9, contenía isopropanol; 5 y 10, contenía butanol.

Conclusiones

Es posible valorar los residuos de aceites de cocina para ser usados en la producción de biodiésel a través de un proceso sustentable. Sin embargo, hace falta mejorar las condiciones de reacción o el biocatalizador para obtener buenos rendimientos.

Bibliografía

- Aguieiras, E., Cavalcanti-Oliveira, E. y Freire, D. (2015). ChemInform Abstract: Current Status and New Developments of Biodiesel Production Using Fungal Lipases. *Fuel*, 159. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.064>
- Aloulou, A., Rodriguez, J. A., Puccinelli, D., Mouz, N., Leclaire, J., Leblond, Y. y Carrière, F. (2007). Purification and biochemical characterization of the LIP2 lipase from *Yarrowia lipolytica*. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1771(2), 228-237. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbalip.2006.12.006>
- Camacho-Ruiz, M. d. L. A., Mateos-Díaz, J. C., Carrière, F. y Rodriguez, J. A. (2015). A broad pH range indicator-based spectrophotometric assay for true lipases using tributyrin and tricaprylin. *Journal of Lipid Research*, 56(5), 1057-1067. doi: <https://doi.org/10.1194/jlr.D052837>

- Canet, A., Bonet-Ragel, K., Benaiges, M. D. y Valero, F. (2016). Lipase-catalysed transesterification: Viewpoint of the mechanism and influence of free fatty acids. *Biomass and Bioenergy*, 85, 94-99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.021>
- Dobrev, G., Strinska, H., Hambarliiska, A., Zhekova, B. y Dobрева, V. (2018). Optimization of Lipase Production in Solid-State Fermentation by *Rhizopus Arrhizus* in Nutrient Medium Containing Agroindustrial Wastes. *The Open Biotechnology Journal*, 12, 189-203. doi: <https://doi.org/10.2174/1874070701812010189>
- Leung, D. Y. C., Wu, X. y Leung, M. K. H. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 87(4), 1083-1095. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.006>
- Pandey, A. (2003). Solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 13(2), 81-84. doi: [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(02\)00121-3](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(02)00121-3)
- Phung, T. K., Casazza, A. A., Perego, P., Capranica, P. y Busca, G. (2015). Catalytic pyrolysis of vegetable oils to biofuels: Catalyst functionalities and the role of ketonization on the oxygenate paths. *Fuel Processing Technology*, 140, 119-124. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.08.042>
- Ram, R., Shrivastava, A., Tiwari, K. y Patil, D. (2017). Stability of Microemulsion Biofuels and their Characterization. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 675-681. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.080>
- Rodriguez, J. A., Mateos Diaz, J. C., Nungaray, J., González, V., Bhagnagar, T., Roussos, S.,... Baratti, J. (2006). Improving lipases production by nutrient source modification using *Rhizopus homothallicus* cultured in solid state fermentation. *Process Biochem.*, 41, 2264-2269.
- Yan, Q., Duan, X., Liu, Y., Jiang, Z. y Yang, S. (2016). Expression and characterization of a novel 1,3-regioselective cold-adapted lipase from *Rhizomucor endophyticus* suitable for biodiesel synthesis. *Biotechnology for biofuels*, 9, 86-86. doi: <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0501-6>



Brazo manipulador para la enseñanza de la ingeniería

Juan Carlos Gutiérrez-Villegas*

Rubén Alberto Torres-Núñez

Raúl Quiroz-Martínez

Filiberto Briseño-Aguilar

Resumen

En este artículo se presenta una mano robótica como herramienta para la enseñanza de la ingeniería mecánica eléctrica con la finalidad de introducir el aprendizaje basado en proyectos (ABP) en las aulas y así poder reforzar el conocimiento teórico adquirido.

La elaboración de un robot mediante la manufactura asistida por computadora (CAM) incluye diferentes etapas: diseño, análisis, simulaciones, fabricación de los componentes y su ensamblaje. Para ello, se incluyeron en cada una de las etapas a alumnos de diferentes semestres de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con el fin de que aplicaran los conocimientos en un producto tangible acorde a su nivel de preparación. La evaluación a los alumnos en razón a su respuesta al trabajo en ABP arrojó que el 100 % de participantes muestran una respuesta positiva, ya que sus conocimientos teóricos se ven reforzados de una forma didáctica y entretenida.

Palabras clave: robótica pedagógica, educación basada en proyectos, tecnología, robótica.

* Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. juan.gvillegas@academicos.udg.mx

Introducción

Uno de los mayores retos que se presenta hoy en día en las escuelas es la incorporación de la tecnología a los salones de clase. Esto ocurre porque los avances tecnológicos se han venido desarrollando de una manera exponencial, a tal punto de que la escuela no ha podido integrarlos a las aulas de una forma efectiva y eficiente. En palabras de Marcelo (2013) “podemos decir que tenemos escuelas del siglo XIX, con docentes del siglo XX, para alumnos del siglo XXI” (p. 27). Los estudiantes actuales buscan los conocimientos que quieren aprender en diversos medios, pues hoy día el conocimiento dejó de estar únicamente en manos del docente y pasó a encontrarse en elementos tecnológicos a los cuales pueden acceder en todo momento. Esto deja de lado el sistema de enseñanza actual que se basa en la formalidad de los horarios, las actividades memorísticas y los libros de texto propios de las instituciones educativas (Ghitis y Alba, 2014).

Las principales estrategias de incorporación de la tecnología en las aulas constan de la instalación de equipos computacionales y de proyección. Lamentablemente están enfocados en facilitar la labor docente, pero no para desarrollar en los alumnos las condiciones necesarias para generar el interés y promover el autoaprendizaje.

El aprendizaje basado en proyectos (ABP) es una experiencia pedagógica práctica organizada para investigar y resolver problemas que se presentan en el mundo real; además, es una estrategia de enseñanza. Estos dos procesos complementarios ayudan a adquirir aprendizaje significativo a partir de experiencias significativas. El profesor es un facilitador o tutor capaz de dominar el trabajo grupal y estar dispuesto a dar asesorías individuales cuando así se requiera. Para poder aplicar el ABP, el docente debe dominar los pasos necesarios para esta técnica pedagógica, así como estar consciente del rol que jugará. Será necesario que promueva un ambiente de aprendizaje en el cual se aliente a los estudiantes a pensar, los incite a investigar y a proponer acciones para solución de problemas particulares; con la consideración de la necesidad y el medio en el que se desenvuelven los alumnos. El profesor debe generar el pensamiento crítico grupal y la capacidad de autoevaluación de los participantes para lograr niveles profundos de comprensión de la unidad de competencia.

El uso de robots como instrumento de apoyo a la formación de los estudiantes incide en la generación de nuevos métodos y técnicas dentro de las metodologías convencionales empleadas. La estrategia didáctica necesaria para transformar los procesos tradicionales de aprendizaje consiste en abordar un conjunto de procedimientos, apoyados en técnicas de enseñanza a través de elementos complementarios que tienen por objeto dinamizar la enseñanza. Para este caso se presenta la validación pedagógica de una mano robótica didáctica para la enseñanza de la ingeniería (Estrada, 2014).

Planteamiento del problema

En el Centro Universitario del Norte (CUNorte) de la Universidad de Guadalajara se oferta el programa de Ingeniería Mecánica Eléctrica (INME) desde hace poco más de cinco años, lo que hace al programa relativamente nuevo. Con el fin de promover el avance tecnológico de la región y lograr que el proceso enseñanza aprendizaje funcione, los profesores se comprometen a ofrecer contenidos actualizados y brindar una propuesta de aprendizaje en donde los alumnos no solo cuenten con recursos teóricos aprendidos en las aulas, sino que echen mano de estos y desarrollen proyectos que solucionen necesidades reales para que al término de sus estudios cuenten con las aptitudes necesarias para introducirse en un campo laboral tan competitivo.

Según Odorico, Lage y Catald (2007), se distinguen dos tipos de aprendizaje cuando se utiliza la computadora como instrumento: aprender de la computadora y aprender con la computadora. El primero, se adquiere en aquellas situaciones en las que el material informático es cerrado, tiene un diseño fijo y persigue unos objetivos didácticos precisos. El segundo, se adquiere en situaciones abiertas en las que el objetivo didáctico no está contenido en el software. En ese sentido se podría afirmar que sucede lo mismo con los robots como instrumento de aprendizaje: aprender *de* y aprender *con* el robot, de manera que se aprovechen las dos situaciones que se pueden presentar: abiertas y cerradas.

El área de la robótica es tan versátil que permite llevar a cabo experimentos con los conocimientos teóricos adquiridos y a la vez profundizar en los mismos. De ello se deriva la importancia que debe darse a esta herramienta en la enseñanza y en la preparación de los futuros profesionales de las áreas de la ingeniería, donde el estudiante pueda utilizarla para reforzar los conocimientos que va adquiriendo en las distintas disciplinas.

Con base en esto y con el fin de introducir una metodología de enseñanza dinámica en las aulas del centro universitario, se plantea la realización de un proyecto el cual consiste en la creación de un robot, para que los conocimientos teóricos adquiridos en diferentes unidades de aprendizaje de la ingeniería sean aplicados.

Sustento teórico

Las metodologías educativas se basan en las teorías del aprendizaje: conductismo, cognitivismo, constructivismo y conectivismo. Cada paradigma tiene sus procesos, actividades y métodos de actuación que constituyen recursos necesarios de la enseñanza; son sus guías para su realización ordenada, metódica y adecuada. Los métodos y técnicas tienen por objeto hacer más eficiente la dirección del aprendizaje. Gracias a ellos pueden ser elaborados los conocimientos, adquiridas las habilidades e incorporados los ideales y actitudes que se pretenden proporcionar a los estudiantes.

El uso de robots como instrumentos de apoyo a la formación de los estudiantes incide en la generación de nuevos métodos y técnicas dentro de las metodologías tradicionales empleadas. La estrategia didáctica necesaria para transformar los procesos tradicionales de enseñanza consiste en abordar un conjunto de procedimientos apoyados en técnicas de enseñanza a través de elementos complementarios, con el objetivo de realizar con satisfacción la acción didáctica reflejada en el alcance de los objetivos de aprendizaje (Fidalgo, 2011).

La estrategia didáctica usualmente sugerida para la enseñanza de la tecnología es el aprendizaje basado en proyectos, debido a que permite interactuar a los estudiantes en situaciones concretas y significativas; de manera que estimula el desarrollo de los aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales. El método con base en proyectos tiene un enfoque constructivista del aprendizaje, donde el estudiante pasa a ser el eje del proceso formativo y, con el acompañamiento del docente, se convierte en gestor de su propio conocimiento (Vega et al., 2017).

Metodología

Con el fin de implementar el aprendizaje basado en proyectos, se propone la fabricación de un brazo robótico a partir de una propuesta de diseño tomado de una biblioteca con recursos libres. La elaboración de esta pieza consta de cuatro etapas: diseño, análisis, manufactura y sistema de control. En cada una de las etapas se analizó cómo podrían interactuar con las diferentes unidades de aprendizaje del programa de Ingeniería Mecánica Eléctrica (INME) y su relación con los conocimientos que se pretende adquieran los estudiantes. A ellos se le solicitó en las diferentes unidades de aprendizaje que realizaran algunos cálculos o actividades relacionados al proceso, y posteriormente se les aplicó una encuesta de percepción respecto a su experiencia de aprendizaje.

En la tabla 1 se muestran cada una de las etapas de aplicación del proyecto. Se muestran las estrategias implementadas y las unidades de aprendizaje que se involucran de forma directa.

Tabla 1. Estrategias aplicadas para el ABP en cada una de las etapas

Etapa	Estrategia	Unidad de aprendizaje que impacta
Diseño	Uso de software de diseño asistido por computadora por alumnos de segundo semestre	Dibujo para ingeniería Diseño de elementos mecánicos

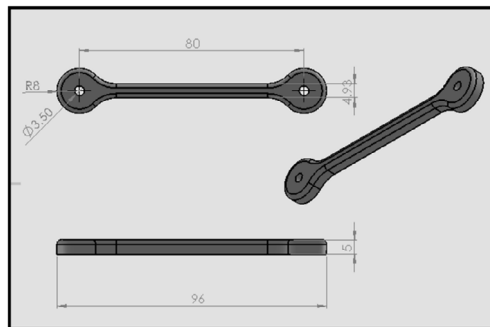
Análisis	Se realizaron la selección de materiales por alumnos de segundo semestre y cálculos de parámetros cinemáticos por alumnos de quinto semestre	Cinemática y dinámica de máquinas Ingeniería de materiales
Manufactura	Se fabricaron los diferentes componentes mediante sistemas CAM por alumnos de octavo semestre y se ensambló el robot con alumnos de sexto semestre	Procesos de manufactura Diseño de manufactura CAD - CAM
Sistema de control	Se programaron los diferentes movimientos de los motores en un microcontrolador de plataforma libre con alumnos de tercero, octavo y noveno.	Programación aplicada Sistemas de control secuencial Automatización

Resultados

A continuación se presentan las actividades que se realizaron en las diferentes unidades de competencia.

Para la asignatura de dibujo industrial asistido por computadora, se solicitó a los alumnos que modificaran en un software CAD las dimensiones de los dibujos base obtenidos a partir de la biblioteca libre. Con ello se pretende que el alumno aplique conocimientos como la interpretación de planos y que sea consciente de la importancia de la exactitud dimensional, ya que sin esta habrá problemas en el ensamblaje del robot.

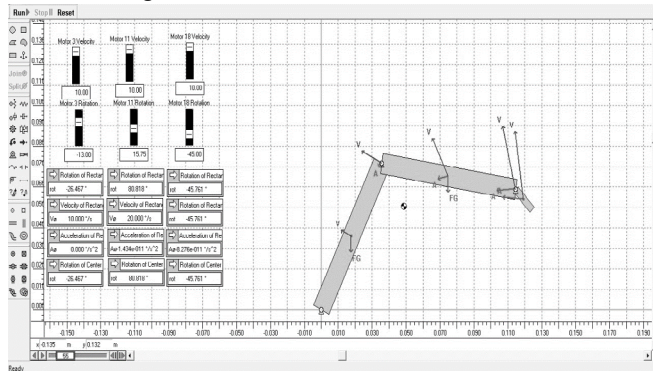
Figura 1. Plano de pieza



Fuente: elaboración propia a partir de dibujo base.

En la etapa de análisis se utilizaron las materias de cinemática y dinámica de máquinas ya que los alumnos realizaron análisis dinámico. Esto para conocer parámetros como velocidades, aceleraciones y desplazamiento en puntos de interés, con la finalidad de que el alumno pudiera visualizar las limitaciones y características finales del robot.

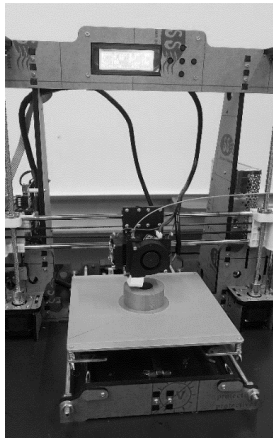
Figura 2. Análisis cinemático del brazo robótico



Fuente: elaboración propia en el software Working Model.

Para la modelación del prototipo se tomó como base el plan de estudio CAD-CAM, en el cual se le enseña al alumno los parámetros que debe tener un polímero para ser procesado. Además, aprende a manejar la interfaz software-máquina, como el uso de la impresora 3D. La finalidad es que el alumno al tener en cuenta la aplicaciones y limitaciones del prototipo, valore la configuración.

Figura 3. Impresora 3D en la impresión del modelo



Respecto a la unidad de competencia de automatización, el alumno se encargó de diseñar el sistema de control y programar los movimientos del brazo robótico con la plataforma libre Arduino.

Figura 4. Brazo robótico



Análisis de resultados

Mediante esta actividad se aplicó el conocimiento teórico a la resolución de problemas prácticos. A los alumnos involucrados se les realizó una encuesta para valorar el impacto de los conocimientos esperados en el autoconcepto. En general, los alumnos expresaron que la estrategia fue divertida y pudieron puntualizar la aplicación de sus conocimientos teóricos y la resolución de dudas específicas con apoyo del facilitador.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la elaboración del brazo manipulador para la enseñanza de la ingeniería fueron satisfactorios, porque se pudo comprobar que la respuesta de los estudiantes al trabajar con un método de enseñanza basado en proyectos les ayuda no solo a reforzar sus conocimientos adquiridos en clase, sino que lo hacen de una forma didáctica y entretenida, de manera que se motivan a ser autodidactas.

Por otro lado, con este trabajo se puede establecer que con una herramienta económica se puede impactar diferentes unidades de aprendizaje. Por ejemplo, para la elaboración de este proyecto se utilizó al menos un tema del 26.3 % de las materias ofertadas en la ingeniería.

Las situaciones más idóneas de aprendizaje son aquellas que permiten al sujeto realizar una actividad estructurante guiada por el docente y con la colaboración de otros compañeros. La aplicación de esta herramienta fortalece el trabajo colaborativo e identifica la necesidad de trabajar en coordinación con diferentes áreas del conocimiento.

Bibliografía

- Arnaldo, F. (2007, mayo). *Robótica, Informática, Inteligencia Artificial y Educación* [ponencia]. IX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/20504>
- Castra, M. y Acuña, A. (2012). Propuesta comunitaria con robótica educativa: valoración y resultados de aprendizaje. *Education in The Knowledge Society*, 13(2), pp. 91-119. doi: <http://dx.doi.org/10.14201/eks.9001>
- Fidalgo, A. (2011). La innovación docente y los estudiantes. *La Cuestión Universitaria*, 7, pp. 84-91. Recuperado de <http://polired.upm.es/index.php/lacuestionuniversitaria/article/view/3372>
- García, E. (2014). Robots herramientas para las aulas de clases. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 1(1), pp. 33-45. Recuperado de <http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/219>
- Ghitis, T. y Alba, J. (2014). Los robots llegan a las aulas. *Infancias Imágenes*, 13(1), pp. 143-147. doi: <https://doi.org/10.14483/16579089.8122>
- Marcelo, C. (2013). Las tecnologías para la innovación y la práctica docente. *Revista Brasileira de Educação*, (18), pp. 25-57. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rbedu/v18n52/03.pdf>
- Niño, J., Martínez, L., Fernández, F., Duarte, J., Reyes, F. y Gutierrez, G. (2017). Entorno de aprendizaje para la enseñanza de programación en Arduino mediado por una mano robótica didáctica. *Espacios*, 38(60), 23-40. Recuperado de <https://www.revistaespacios.com/a17v38n60/a17v38n60p23.pdf>
- Pittí, K.; Moreno, I.; Muñoz, L.; Rolando, J.; Quintero, J. y Quiel, J. (2012). La robótica educativa, una herramienta para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las tecnologías. *Education in The Knowledge Society*, 13(2), pp. 74-90. doi: <http://dx.doi.org/10.14201/eks.9000>
- Vavassori, F. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), pp. 978-988. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.006>



INVESTIGACIÓN PERMANENTE / TOMO 2

PENSAR LA CIENCIA DESDE LA FRONTERA: APROXIMACIONES MULTIDISCIPLINARIAS

Se terminó de editar en agosto de 2020 en el
Centro Universitario del Norte de la Universidad de Guadalajara,
Colotlán, Jalisco, México, y se terminó de digitalizar en
los talleres gráficos de Prometeo Editores, S. A. de C. V.
Libertad 1457, colonia Americana, C. P. 44160,
Guadalajara, Jalisco, México.

Hecho en México / *Made in Mexico*

Esta edición consta de un ejemplar

Fuentes tipográficas utilizadas:

Arial Narrow, Cabin, Calisto MT

Merriweather Sans, Patua One