



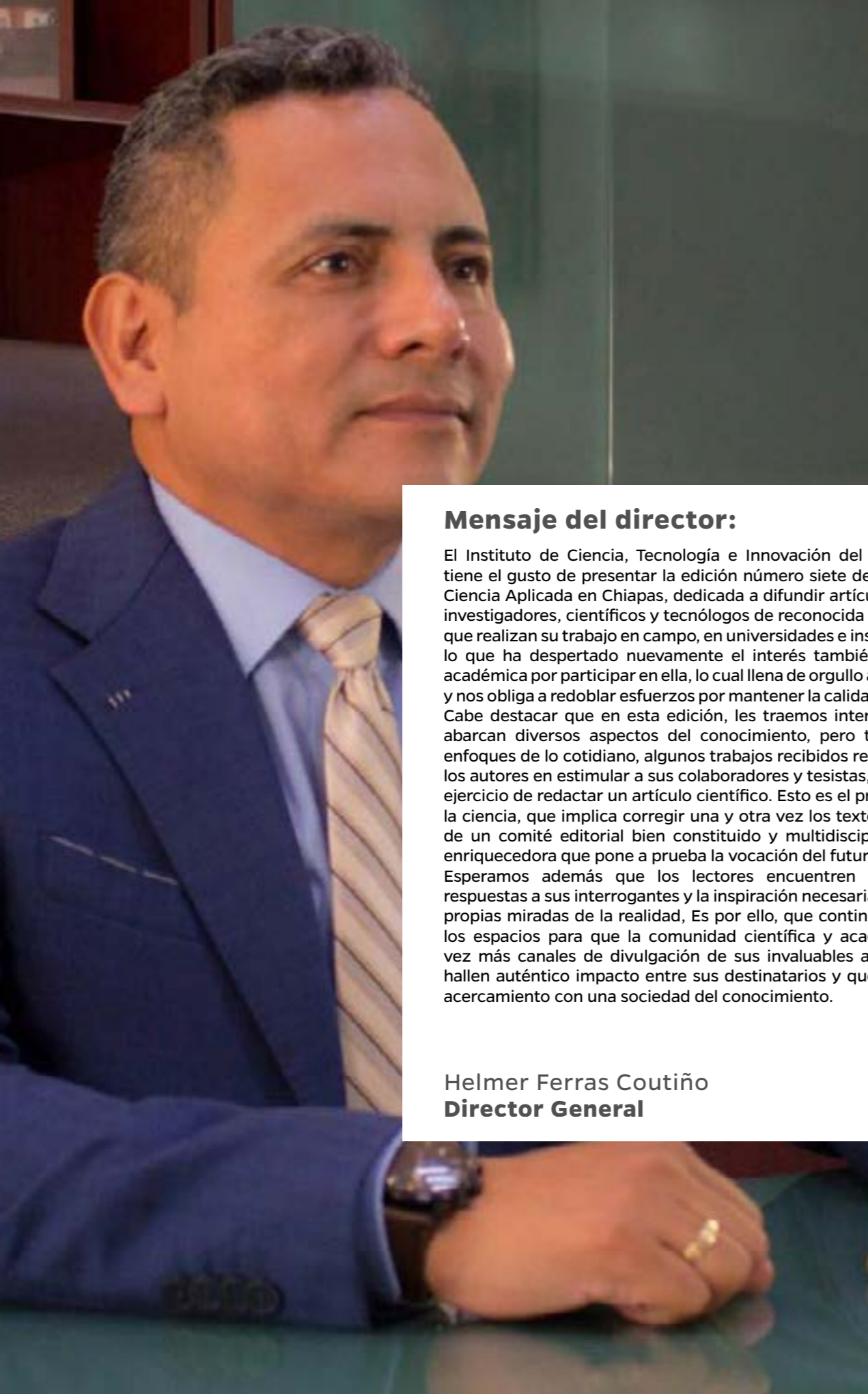
La  
**Ciencia**  
aplicada **en Chiapas**

Aullido a la  
**conciencia**

**Pág. 6**

Diseño e instrumentación  
de un Laboratorio Virtual  
empleando Raspberry Pi  
y Servicios en la Nube  
**Pág. 18**

Auto rehabilitador 3D  
de extremidades  
superiores ArMexs  
V3.0 **Pág. 18**



### Mensaje del director:

El Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas tiene el gusto de presentar la edición número siete de nuestra revista, La Ciencia Aplicada en Chiapas, dedicada a difundir artículos de prestigiados investigadores, científicos y tecnólogos de reconocida trayectoria; autores que realizan su trabajo en campo, en universidades e instituciones públicas, lo que ha despertado nuevamente el interés también en la comunidad académica por participar en ella, lo cual llena de orgullo a nuestra institución y nos obliga a redoblar esfuerzos por mantener la calidad de los contenidos. Cabe destacar que en esta edición, les traemos interesantes textos que abarcan diversos aspectos del conocimiento, pero también novedosos enfoques de lo cotidiano, algunos trabajos recibidos reflejan el empeño de los autores en estimular a sus colaboradores y tesis, a practicar el difícil ejercicio de redactar un artículo científico. Esto es el proceso formativo de la ciencia, que implica corregir una y otra vez los textos ante la exigencia de un comité editorial bien constituido y multidisciplinario; experiencia enriquecedora que pone a prueba la vocación del futuro investigador. Esperamos además que los lectores encuentren en estos artículos respuestas a sus interrogantes y la inspiración necesaria para sustentar sus propias miradas de la realidad, Es por ello, que continuaremos brindando los espacios para que la comunidad científica y académica tenga cada vez más canales de divulgación de sus invaluables aportes y que estos hallen auténtico impacto entre sus destinatarios y que se de el anhelado acercamiento con una sociedad del conocimiento.

Helmer Ferras Coutiño  
**Director General**

# Índice

**6**

**UN AULLIDO  
A LA CONCIENCIA**

**12**

**DETECTOR ELECTRÓNICO  
DE PARTICULAS ELEMENTALES  
APLICADO A VULCANOLOGÍA Y  
GEOCIENCIAS POR MEDIO DE  
TOMOGRFÍA DE MUONES  
EMPLEANDO TECNOLOGÍA IoT**

**18**

**DISEÑO E INSTRUMENTACIÓN  
DE UN LABORATORIO VIRTUAL  
EMPLEANDO RASPBERRY PI Y  
SERVICIOS EN LA NUBE**

**28**

**AISLAMIENTO Y CINÉTICA DE  
CRECIMIENTO DE MICROALGAS  
DE LA LAGUNA COSTERA  
“PAMPA EL CABILDO” PUERTO  
MADERO, CHIAPAS, MÉXICO**

**39**

**MOVILIDAD MÚLTIPLE Y  
SALUD EN EL TERRITORIO  
DE LA SUBCUENCA  
TRANSFRONTERIZA DEL RÍO  
GRANDE  
(GUATEMALA-MÉXICO)**

**48**

**AUTO REHABILITADOR 3D DE  
EXTREMIDADES SUPERIORES  
ARMEXS V3.0**

**56**

**APROVECHAMIENTO DE  
ÁRBOL DE PAN  
(ARTOCARPUS ALTILIS)  
Y MALANGA  
(XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM)  
PARA SU USO BIOTECNOLÓGICO**

La Ciencia Aplicada en Chiapas, año 4, revista No. 7; es una publicación semestral editada y distribuida por el Instituto de Ciencia Tecnología e Innovación del estado de Chiapas Calzada Cerro Hueco No. 3000. Col Cerro Hueco C.P 29094 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Tel. (01 961) 69 1 40 20 Ext. 67608. [www.icti.chiapas.gob.mx](http://www.icti.chiapas.gob.mx). Editor responsable: Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del estado de Chiapas. Número de Certificado de Reserva otorgado por el instituto nacional del derecho de autor: 04-2018-112218364400-102. Registro: ISSN 2448-5195

VEN Y EXPLORA EL UNIVERSO  
CON LAS NUEVAS

# visitas guiadas dramatizadas

DESDE GALILEO GALILEI,  
HASTA EL REY PAKAL, PODRÁS  
DISFRUTAR DE UN RECORRIDO ÚNICO

PLANETARIO TUXTLA

 PlanetarioTuxtla

 [www.icti.chiapas.gob.mx](http://www.icti.chiapas.gob.mx)



# SBEEL DINOSAURIOS

## ¡Ven a vivir la Aventura!

En el Museo de Ciencia y Tecnología

MARTES A DOMINGO  
DE 10:00 AM A 2:00 PM

(MIÉRCOLES EN LA ENTRADA DE UN ADULTO - 1 NIÑO GRATIS)

# Un aullido a la conciencia

## Resumen Abstract

En el presente trabajo se abordan datos elementales de los monos saraguatos, como su descripción física, como viven, qué comen, donde habitan y localización geográfica, además, se crea conciencia sobre el cuidado y conservación de esta especie, así como su importancia en las selvas tropicales de México.

In this work elementary data of the saraguato monkeys, for example, their physical description, how they live, what they eat, where they live and their geographic location are addressed, also, creates awareness about the care and conservation of this species, as well as its importance in Mexico tropical jungles.

### Palabras claves

*Saraguatos, monos aulladores, explotación, peligro de extinción, Chiapas.*

### Key words

*Saraguatus, howler monkey, animal abuse, endangered specie, Chiapas.*

## Introducción

«Cuando yo lo vi estaba en una jaula de 2 x 2 m, sin una rama, tenía desnutrición severa, pesaba 600 gramos y tenía chorrillo» palabras de la bióloga Adriana Martín del Campo extraído del documental *Aullidos importados* (Ruiz & Castelazo, 2021). En este documental, las periodistas Ivonne Castelazo y Regina Ruiz exponen las vivencias de explotación que sufren los monos saraguatos en México, como consecuencia del mercado negro en el suroeste del país. La historia se enfoca en “Mojito”, un mono saraguato que cuando tenía pocas semanas de vida presencié el asesinato de su familia entera, su captor desconocía que era hembra por lo que lo nombró como macho. La captura de monos saraguatos en Chiapas implica el ejercicio de la violencia para poderlos extraer de su hábitat natural y de esta forma acabar con el resto de la manada. Las crías son las que poseen un mayor atractivo por los compradores para ser adquiridas como mascotas en diferentes partes del país. Al llevarse a cabo esto, vivir en condiciones fuera de su ecosistema natural y separados de su manada puede ocasionar estrago de por vida. Según Castelazo, algunos padecimientos mentales que pueden desarrollar son ansiedad, ira y depresión, tal como sucede con los seres humanos, ya que su estabilidad

emocional impacta directamente en cómo se relacionan consigo mismos y con los demás.

En una entrevista exclusiva para National Geographic en español (Andrea Fischer, 2021), la periodista Regina Ruiz, resaltó que el tráfico de animales en México no se le da la suficiente importancia y considera que para frenar el tráfico de monos saraguatos de su hábitat natural en Chiapas es necesario potencializar los esfuerzos de protección a esta especie hechos por el Estado. Por ejemplo, de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, los monos saraguatos están catalogados como especies en peligro de extinción, es decir, que sus poblaciones en el territorio nacional han disminuido drásticamente debido a factores como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros (DOF, 2010). Su comercio y aprovechamiento se encuentra restringido por el Artículo 87 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como por el Artículo 85 de la Ley General de Vida Silvestre (LGV). Sin embargo, estos esfuerzos siguen siendo insuficientes, ya que las personas de la localidad en gran mayoría desconocen las multas y sanciones que pueden llegar a tener, en caso de ser detenidos traficando a los monos y de acuerdo

con el documental, un mono cría se vende en entre 500 y 1000 pesos aproximadamente y cuando llega al mercado negro esta misma cría llegaría a costar entre 30,000 y 70,000 pesos.

**Dulce K. Becerra-Paniagua(1), Araceli Hernández-Granados(2)**

(1) Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

(2) Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.



## Descripción de los monos saraguatos

Los saraguatos son conocidos como monos aulladores, debido a las fuertes vocalizaciones que emiten para dar aviso de su ubicación a otros grupos de monos. Estos aullidos se pueden escuchar a muchos kilómetros de distancia y se ha reportado que pueden vivir hasta 20 años (CONABIO, 2021, pág. 13).

En México habitan dos tipos de saraguatos: el mono aullador negro, nombrado por los científicos como *Alouatta pigra*; y el mono aullador de manto o pardo nombrado científicamente como *Alouatta palliata mexicana* (CONABIO, 2021, pág. 13). Las dos especies de monos aulladores, el pardo y el negro, son primates grandes en tamaño. Cuando son adultos los pardos pueden llegar a medir en promedio 112 centímetros; los machos pueden pesar en promedio 7.2 kilogramos mientras que las hembras los 5.3 kilogramos. Su cola supera la longitud promedio del cuerpo; su pelaje es de un color característico y denso, de color dorado en las laterales y la zona de axilas, las manos, patas y cola son zonas sin pigmento. La cara carece de pelaje (SEMARNAT & CONANP, 2012, pág.12).

Por otra parte, los monos negros machos llegan a pesar alrededor de los 10 kilogramos y las hembras los 6 kilogramos (Serio Silva & Vidal García, 2015, pág. 14). Estos poseen un pelaje mucho más suave, denso y de un color negro más homogéneo que los monos pardos. El tamaño de los monos negros es significativamente mayor que los monos pardos, los primeros suelen ser más grandes y pesados (SEMARNAT & CONANP, 2012, pág.13).

## Hábitat y alimentación

Los monos aulladores viven en familias o grupos y son muy unidos

entre sí. Los monos aulladores negros se reúnen en grupos reducidos de 3 a 12 individuos, mientras que el grupo de los monos aulladores pardos puede ser más grande de hasta 21 individuos. Tienen gran instinto maternal, ya que cuando uno de ellos nace toda la familia quiere cargarlo. La mamá saraguato lo carga en su vientre cuando es muy pequeño y cuando crece más lo carga en su espalda. Ésta cuida de él hasta los 1.5 años aproximadamente y a los 3.5 años comienzan a salir de la manada para formar su propia familia (CONABIO, 2021, pág. 15). Dentro de las actividades favoritas de los monos aulladores adultos están la de comer y descansar; y para lo más jóvenes los pasatiempos principales son jugar, correr y aventarse entre las ramas. Cuando se molestan, emiten un aullido más fuerte de lo normal, tiran ramas, orinan y excretan encima de quien los molesta; es una manera de expresar su malestar (CONABIO, 2021, pág. 16). Los monos aulladores pardos son primates arbóreos de hábitos diurnos, les gusta pasar el día trepados en los árboles, prefieren la vegetación primaria, aunque también se pueden encontrar en una amplia variedad de hábitats,

entre ellos la vegetación secundaria o pastizales (Rodríguez-Luna et al., 1996). Son considerados como folívoros, ya que su dieta se basa fundamentalmente en una amplia variedad de hojas. Sin embargo, especialistas han sugerido que más que un folívoro se le considere como un folívoro-frugívoro, es decir, que aparte de hojas también se alimentan de frutos (Crockett & Eisenberg, 1987; Kinzey, 1997). Al igual que los pardos, los monos aulladores negros también son considerados arbóreos de hábitos diurnos y se pueden encontrar en una amplia variedad de hábitats, como selvas tropicales a 250 metros sobre el nivel del mar y también son considerados folívoros, pero su dieta también puede estar basada en un alto consumo de fruta (Pavelka & Knopff, 2004). En condiciones extremas de fragmentación de su hábitat, los especialistas han observado que los monos se alimentan de plantas de papaya, guayaba, tamarindo, mango, ciruela (Pozo-Montuy & Serio-Silva, 2006, 2007). Asimismo, han observado alimentándose de plantas trepadoras, leguminosas y hasta de plantaciones forestales como el eucalipto para sobrevivir (Serio-Silva et al., 2006).



Figura 1: Curiosidades sobre los monos saraguatos. Las imágenes usadas se han diseñado con recursos de Flaticon.com y Freepik.com



## Localización geográfica

El mono aullador pardo se localiza en los estados de Veracruz, Tabasco, Oaxaca y Chiapas (Serio Silva & Vidal García, 2015). En este último estado, específicamente en Palenque, Bonampak, la Reserva de la Biosfera, la Selva el Ocote, el Ocozucuatla y la Cintalapa de Figueroa (CONABIO, 2021b). La distribución del mono pardo es más restringida que el mono negro, ya que éste se encuentra en el sureste de México, se extiende desde Tabasco hasta la Península de Yucatán, norte y centro de Guatemala, Belice y Honduras.

En particular a México, esta especie se ha localizado en los estados de Quintana Roo, Campeche, Tabasco, Yucatán y Chiapas, específicamente en Áreas de Protección de Flora y Fauna: Chankin, Nahá, Metzabok, Cascadas de Agua Azul; Parque Nacional Palenque; Monumentos Naturales Bonampak, Yaxchilán y Reservas de la Biosfera Montes Azules (CONABIO, 2021a).

## Importancia de los monos aulladores

Estos primates mexicanos juegan un papel clave en la naturaleza y son considerados como especies prioritarias, debido a que se

desempeñan como dispersores de semillas, es decir, ayudan a la germinación de las plantas existentes en las selvas de México. Los monos cuando comen los frutos se tragan las semillas y tienen un tiempo de tránsito digestivo de 21 horas, así las transportan dentro de su cuerpo a un sitio diferente de donde las ingieren para defecarlas, por lo que caen en lugares apropiados que ayudan al crecimiento y regeneración de una nueva planta. A esta acción se le denomina "dispersión de semillas". Si estos no lo hicieran, muchas plantas no podrían reproducirse (CONABIO, 2021c; Serio Silva & Vidal García,

2015). Además, estos primates se han reconocido como especies "sombrija", ya que las estrategias planteadas para su conservación ayudan a la recuperación de sus poblaciones, hábitats, ecosistemas y a otras especies que conviven con ellos. Su importancia radica en que mantienen saludables los ecosistemas tropicales, contribuyendo así a mantener la estructura y diversidad de la vegetación y favorecer su regeneración (CONABIO, 2021c). Así como las plantas y árboles que viven en las selvas son indispensables para los monos saraguatos, para los humanos también, pues generan oxígeno.

## Saraguatos, una especie en peligro

En la actualidad, los saraguatos enfrentan un alto grado de amenaza debido principalmente a la destrucción del hábitat, la cacería para su uso como alimento, el tráfico para ser adquiridos como mascotas y explotación. Y es importante recalcar, lo que la periodista Regina Ruiz comentó en su entrevista: “la ignorancia es una pieza clave en la explotación a la que los monos saraguatos están sometidos, ya que son considerados como atractivos visuales o de entretenimiento”. Los turistas y locales ignoran sobre el sufrimiento que tienen que pasar estos animales para ser extraídos de la selva chiapaneca. El hecho de vivir en jaulas pequeñas en lugar de entre los árboles, conduce a que sufran deshidratación, padecimientos

mentales como ansiedad, ira y depresión (Andrea Fischer, 2021). Es por ello que aconsejamos practicar un turismo responsable y como dijo una vez el gran maestro Mahatma Gandhi «La grandeza de una nación y su progreso moral pueden ser juzgados según la forma en que tratan a sus animales».

Figura 2: Localización geográfica de los monos aulladores pardo y negro. Las imágenes usadas se han diseñado con un recurso de Flaticon.com y el mapa con MapChart.net



## Lista de referencias

- Andrea Fischer. (2021, June 16). Los traficantes de saraguatos pagan 1,000 pesos por captura y los venden por 80,000 en México. *National Geographic en Español*. <https://www.ngenespanol.com/animales/aullidos-improntados-trafico-de-monos-saraguatos-en-chiapas/>
- CONABIO. (2021a). Mono aullador negro (*Alouatta villosa*). <https://enciclovida.mx/especies/34839-alouatta-villosa>
- CONABIO. (2021b). Saraguato de manto (*Alouatta palliata*). <https://enciclovida.mx/especies/34494-alouatta-palliata>
- CONABIO. (2021c). Sitios prioritarios para los primates. *Biodiversidad Mexicana*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/planeacion-para-la-conservacion/sitios-primates>
- Crockett, C., & Eisenberg, J. (1987). *Howlers: Variations in group size and demography*. *Primate Societies*.
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2010). *NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*.
- Kinzey, W. G. (1997). *New World Primates: Ecology, Evolution, and Behavior*. Transaction Publishers.
- Pavelka, M. S. M., & Knopff, K. H. (2004). Diet and activity in black howler monkeys (*Alouatta pigra*) in southern Belize: Does degree of frugivory influence activity level? *Primates*, 45(2), 105-111. <https://doi.org/10.1007/s10329-003-0072-6>
- Pozo-Montuy, G., & Serio-Silva, J. C. (2006). Comportamiento alimentario de monos aulladores negros (*Alouatta pigra* Lawrence, Cebidae) en hábitat fragmentado en Balacán, Tabasco, México. *Acta zoológica mexicana*, 22(3), 53-66.
- Pozo-Montuy, G., & Serio-Silva, J. C. (2007). Movement and resource use by a group of *Alouatta pigra* in a forest fragment in Balacán, México. *Primates*, 48(2), 102-107. <https://doi.org/10.1007/s10329-006-0026-x>
- Rodríguez-Luna, E., Cortés-Ortiz, L., Mittermeier, R., & Rylands, A. (1996). *Plan de acción para los primates Mesoamericanos: Borrador de trabajo*. Grupo Especialista en Primates--Sección Neotropical.
- Ruiz, R., & Castelazo, I. (2021, June 16). Aullidos Improntados. <https://www.youtube.com/watch?v=teuuWQ90YBK>
- SEMARNAT, & CONANP. (2012). *Programa de Acción para la Conservación de las Especies: Primates, Mono Araña (*Ateles geoffroyi*) y Monos Aulladores (*Alouatta palliata*, *Alouatta pigra*)* (pp. 1-53).
- Serio Silva, J. C., & Vidal García, F. (2015). *Saraguatos voces de la selva* (pp. 1-56). CONABIO.
- Serio-Silva, J. C., Rico-Gray, V., & Ramos-Fernández, G. (2006). Mapping Primate Populations in the Yucatan Peninsula, Mexico: A First Assessment. In A. Estrada, P. A. Garber, M. S. M. Pavelka, & L. Luecke (Eds.), *New Perspectives in the Study of Mesoamerican Primates* (pp. 489-511). Kluwer Academic Publishers. [https://doi.org/10.1007/0-387-25872-8\\_24](https://doi.org/10.1007/0-387-25872-8_24)

# UN UNIVERSO DE DIVERSIÓN Y CIENCIA TE ESPERA

Jueves  
9:00 - 16:00 hrs  
Viernes, sábados  
y domingos  
9:00 - 13:00 hrs  
y de 16:00 a 20:00hrs

El planetario contiene la más alta tecnología de proyecciones de imágenes de México y América Latina, donde podrás descubrir la magia de la astronomía y conocerás más acerca del universo.



# Detector electrónico de partículas elementales aplicado a vulcanología y geociencias por medio de tomografía de muones empleando tecnología IoT

Héctor Ricardo Hernández de León(1), Bruno Hernández López(2)

(1) y (2) Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Tuxtla, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 29050, México.

## Resumen Abstract

Los muones son partículas elementales radiactivas que están presentes en todo el universo y se producen de forma natural como consecuencia de la interacción de los rayos cósmicos con nuestra atmósfera [1]. La masa del muon es muy pequeña, pero casi 200 veces mayor que la del electrón, por lo que tienen gran capacidad de penetración. Son capaces de penetrar la roca varios metros antes de detenerse [2]. El objetivo de este trabajo es, en primer lugar, diseñar y simular el sistema detector de partículas elementales, posteriormente, se construirá el sistema por medio de centelladores y fotomultiplicadores de Silicio, después de esto, realizar la programación para visualizar la tomografía de los cuerpos geológicos e implementar una telemetría remota por medio de Internet de las Cosas (IoT). A partir de esto, se realiza una estimación empleando aprendizaje profundo.

Muons are radioactive elementary particles that are found throughout the universe and are produced naturally as a consequence of the interaction of cosmic rays with our atmosphere [1]. The mass of the muon is very small, but almost 200 times greater than that of the electron so they have great penetrating ability. They are able to penetrate rock several meters before stopping [2]. The objective of this paper is, first, to design and simulate the elementary particle detector system, then, the system will be built of Silicon scintillators and photomultipliers, after that, generate an interface to visualize the tomography of geological bodies and implement a remote telemetry using Internet of Things (IoT). From this, an estimation is performed using deep learning.

### Palabras claves

Muones, fotomultiplicadores de Silicio, tomografía, detector electrónico.

### Key words

Muones, fotomultiplicadores, tomografía, detector electrónico.

## Introducción

Una de las primeras aplicaciones de los muones atmosféricos la realizó el premio Nobel americano Luis Álvarez en 1969, que los utilizó para hacer una radiografía de la pirámide de Khafre en Giza, Egipto. Colocó cámaras de detección bajo la pirámide que medían el flujo que le llegaba de distintas direcciones. Las diferencias de flujo indicarían la existencia de cavidades o cámaras escondidas en la pirámide [3]. Un grupo de investigadores japoneses liderados por Tanaka realizaron una tomografía de la parte superior del volcán Asama en Hoshu, Japón, en donde la presencia de rocas de baja densidad pudo ser usada en simuladores para predecir posibles erupciones e indicar regiones de mayor peligrosidad en el interior de un volcán [4]. Este mismo proceso de detección ya

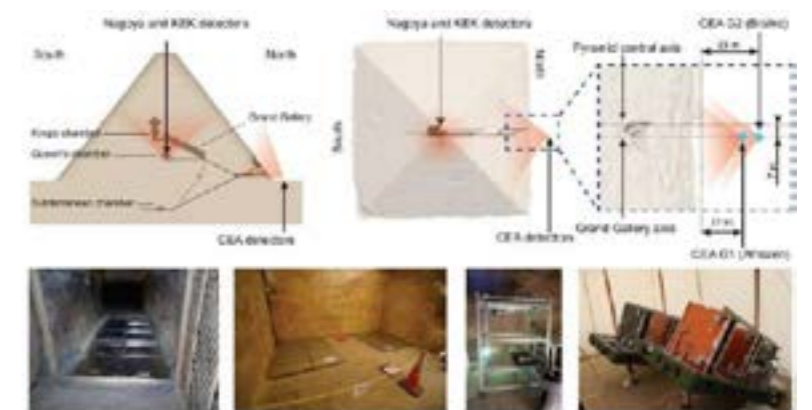


Figura 1. Detector de muones en búsqueda de cámaras ocultas en pirámides de Egipto

es posible realizarse de manera más rápida y de manera eficiente gracias a las tecnologías actuales, en donde se puede, 1) recopilar información de la actividad volcánica de manera remota utilizando IoT, 2) generar indicadores de estado de un volcán y 3) predecir utilizando aprendizaje profundo el comportamiento a corto y mediano plazo de estos cuerpos geológicos.

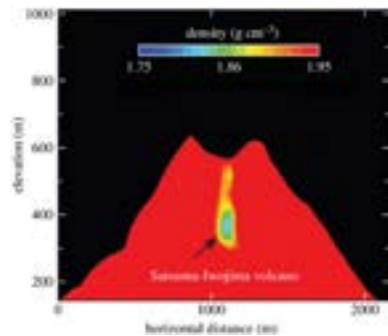


Figura 2. Tomografía de volcanes por medio de detección de muones

En este trabajo se presenta la propuesta de un sistema detector de partículas elementales, como lo es el muon, que sea capaz de realizar tomografías del interior de cuerpos geológicos, como el de volcanes, para analizar el comportamiento de estos cuerpos de acuerdo a los niveles de muones obtenidos, y ayude a predecir posibles erupciones e indicar regiones de mayor peligrosidad en el interior de un volcán. Una de las aplicaciones del sistema detector de partículas elementales es la de ser utilizado para realizar tomografías de cuerpos geológicos, en donde los elementos necesarios para realizar este sistema serán el multiplicador de Silicio (SiPM) y el centellador de plástico, los cuales brindarán a una tarjeta de adquisición de datos los parámetros necesarios para realizar la medición de partículas de muones.

Dicho sistema funcionará por medio de un indicador local que presente las mediciones por medio de una pantalla OLED, de igual manera, el sistema contará con una modalidad de uso remota, en la que, utilizando el Internet de las Cosas (IoT), se envíen la telemetría de los niveles de muones obtenidos

y se pueda realizar el monitoreo de los niveles medidos a distancia sin la necesidad de un operador en la zona en la que se instale el detector.

## Elementos de un detector electrónico de muones

El muon es una partícula elemental, lo que significa que no se descompone en otras partículas. Los muones producidos por los rayos cósmicos son una de las formas naturales de radiación a la que estamos expuestos diariamente. Hasta las últimas décadas, su estudio se centraba en entender su origen y propiedades, pero en la actualidad también se están realizando investigaciones para posibles aplicaciones, desde radiografiar pirámides y volcanes hasta detectar restos radiactivos para realizar limpiezas y reparaciones. La masa del muon es muy pequeña, pero casi 200 veces mayor que la del electrón [1]. Debido a su alta masa, los muones tienen gran capacidad de penetración. Son capaces de penetrar la roca varios metros antes de detenerse. Aunque muchos se crean en las capas altas de la atmósfera, pueden atravesar hasta alcanzar la superficie de la tierra [2].

Los muones llegan al nivel del mar con un flujo promedio de aproximadamente un muon por centímetro cuadrado por minuto. Esto es aproximadamente la mitad del fondo de radiación natural total típico [3].

En la figura 3 se observan las diferentes partículas elementales que se forman cuando los rayos cósmicos atraviesan la atmósfera, en donde, los muones son representados con una línea roja y, en contraposición a las otras, no se descompone en otro tipo de partículas, por el contrario, mantiene su dirección. Esta característica le da posibilidad de tener una alta penetración en cuerpos geológicos.

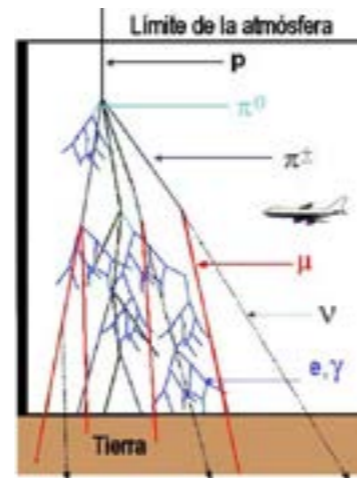


Figura 3. Tomografía de volcanes por medio de detección de muones

El término “tomografía computarizada” es usado en el campo médico para referirse a un procedimiento computarizado de imágenes por rayos X en el que se proyecta un haz angosto a un paciente y se gira alrededor del cuerpo, produciendo señales que son procesadas por computadora para generar imágenes transversales o “cortes” del cuerpo. Estos cortes se llaman imágenes tomográficas y contienen información detallada. Una vez que la computadora recolecta varios cortes sucesivos, se pueden “apilar” digitalmente para formar una imagen tridimensional del paciente que permita más fácilmente la identificación y ubicación de anomalías [8].

En relación a un detector de muones, se realiza un proceso similar al de una tomografía para realizar su detección. Esta tomografía es llamada muografía y sirve para estudiar el interior de pirámides, volcanes y otros cuerpos geológicos, así como para el control del tráfico de materiales radiactivos en puertos y fronteras.

Estas muografías están compuestas de dos elementos principalmente, que son el fotomultiplicador de Silicio y centelladores, que, en conjunto, hacen posible la detección de

muones en cuerpos geológicos. Los fotomultiplicadores de Silicio (o SiPM, por sus siglas en inglés Silicon photomultiplier) son dispositivos de detección de fotones. Consisten en diodos de avalancha (o APD por sus siglas en inglés Avalanche Photodiode), que constituyen el área de detección. Las celdas funcionan en modo Geiger, lo que quiere decir que cada APD cuenta fotones sin ninguna información sobre la energía o el número de eventos simultáneos [9].

Cada celda cuenta con una resistencia llamada resistencia de quenching, asociada a las características constructivas de cada celda, y representa un factor de pérdidas. Se suele colocar, en serie con el SiPM, una resistencia por la cual circula corriente cuando hay una cascada de electrones producida por la llegada de un fotón. Esta resistencia produce una caída de tensión sobre el SiPM, con lo cual disminuye y deja de conducir.

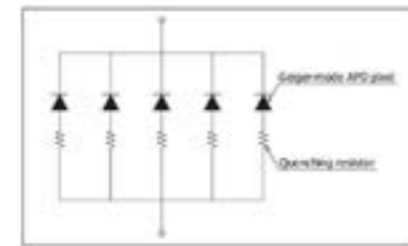


Figura 4. Estructura de un fotomultiplicador de Silicio (SiPM)

Llegado este punto, la tensión aplicada al SiPM aumenta nuevamente debido a que no hay caída de tensión sobre la resistencia. A partir de este comportamiento de aumento y disminución de corriente se pueden obtener unos pulsos de tensión, los cuales recibirá la placa de adquisición de datos para realizar el sistema detector [10]. Por otra parte, los detectores centelladores hacen uso de materiales que, al interactuar con radiación ionizante, emiten un pequeño destello de luz. En este proceso se excitan átomos y moléculas del material que, al volver a su estado original, emiten fotones típicamente en un rango de energía cercano al del espectro visible.

Estos materiales que componen a un centellador se encuentran disueltos en soluciones poliméricas, llamadas plásticos base, de forma homogénea. Los plásticos base más utilizados son el poliestireno y el polimetilmetacrilato. La ventaja de trabajar con centelladores plásticos es que son sencillos de fabricar y se los puede moldear a la forma deseada [10].

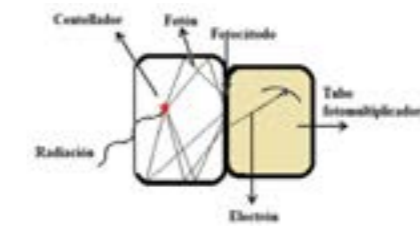


Figura 5. Funcionamiento de un centellador de plástico

## Integración de componentes al detector

Estos dos elementos principales se suman a otros componentes electrónicos para integrar el detector de muones, dichos componentes electrónicos conforman un circuito electrónico compuesto por varias secciones, en donde se tienen convertidores CD - CD, el cual el objetivo de esta sección es proporcionar una salida de tensión mayor a 5V, ya que la alimentación del fotomultiplicador de Silicio es de aproximadamente 40V, por lo que se necesita tener un elevador de voltaje, también conocido como booster. Por otra parte, la salida que ofrece el fotomultiplicador de Silicio es muy pequeña, por lo que si se desea obtener e interpretar datos a partir del voltaje de salida, resultaría casi imposible realizar la detección, sin embargo, para esta sección se emplea de igual manera una sección del circuito, en donde, para resolver esta problemática, se utiliza un amplificador operacional, el cual hará que la señal de salida de detección del SiPM sea legible y capaz de ser interpretada por medio de un microcontrolador.

El diagrama esquemático presentado en la figura 6 [11] se trata de un detector de muones aplicado a detección de altura sobre el nivel del mar.

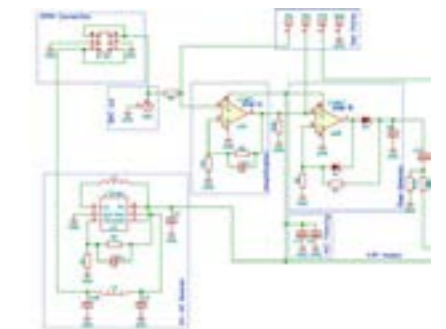


Figura 6. Diagrama esquemático de un detector de muones

En la figura 6 es posible observar un segundo amplificador operacional, el cual consiste en una sección de detector de picos. Esta sección es la que proporcionará información de cuando se haya detectado un nivel de muones mayor al establecido, generando una señal de trigger o de disparo que se envía al microcontrolador. Esta sección del circuito es elemental, sobre todo al tratarse de un detector de muones para observar el comportamiento de cuerpos geológicos, puesto que en esta parte se hará saber al usuario que existe una anomalía más allá del pico o límite establecido previamente. A continuación, en la figura 7 se presenta la simulación realizada para esta sección del circuito electrónico de detección.



Figura 7. Simulación de detector de pico de salida de fotomultiplicador de Silicio



# Editorial ICTI

Contenido editorial digital y coediciones descargables.



Dentro de la simulación se pueden observar cuatro parámetros distinguidos por líneas de colores diferentes. La primera de ellas, la señal con línea naranja, representa a la señal otorgada por el fotomultiplicador de Silicio; posteriormente, la gráfica formada por la línea celeste representa la señal amplificada, en donde se puede notar la diferencia entre Channel\_A (naranja), que es igual a 1.41V y Channel\_B (celeste) que tiene como salida 4.975V, es decir, una señal amplificada por un factor de aproximadamente 3,5. Después, se tiene dos señales, (verde y rojo) que corresponden al detector de picos, que, a su vez, se relacionan al momento en el que el detector de muones sobrepasa el límite establecido y genera una señal pico detectada y almacenada para ser enviada al microcontrolador para su lectura.

## Lectura y visualización remota de datos

El Internet de las cosas (IoT por las siglas en inglés de Internet of Things) es un tema emergente de importancia técnica, social y económica. Actualmente, se están combinando productos de consumo, bienes duraderos, automóviles y camiones, componentes industriales y de servicios públicos, sensores y otros objetos de uso cotidiano con conectividad a Internet y potentes capacidades de análisis de datos

que prometen transformar el modo en que se trabaja [12]. Por lo general, el término Internet de las Cosas se refiere a escenarios en los que la conectividad de red y la capacidad de cómputo se extienden a objetos, sensores y artículos de uso diario que habitualmente no se consideran computadoras, permitiendo que estos dispositivos generen, intercambien y consuman datos con una mínima intervención humana [12].

Esta etapa tiene la finalidad de agregar al sistema una forma de visualización de la telemetría de manera remota, en la que, por medio de protocolos de comunicación, el prototipo se conecte a una red de internet y envíe los datos obtenidos a un dispositivo móvil. Esto es realizado por medio de la plataforma ThingSpeak.

Una de las ventajas que proporciona ThingSpeak es que además de almacenar los datos de los parámetros a monitorear, ofrece una interfaz gráfica a nivel funcional, lo que permite realizar el monitoreo sin necesidad de crear otra interfaz gráfica. Cada campo es configurable y se actualiza cada cierto tiempo, permitiendo realizar el monitoreo en tiempo real.

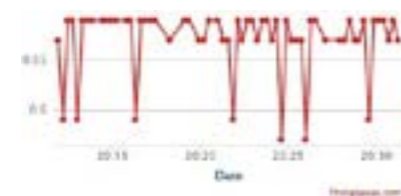


Figura 8. Datos enviados por IoT a plataforma ThingSpeak

La desventaja que cuenta la plataforma de ThingSpeak es que los valores no pueden ser consultados de manera accesible en dispositivos móviles como celulares o tabletas electrónicas, sin embargo, existen aplicaciones complementarias que permiten realizar la visualización de los parámetros por esos medios. Ejemplo de ello es la aplicación ThingView Free, aplicación que también nos permite visualizar los valores en tiempo real como se muestra en la figura 8.



Figura 9. Visualización de datos IoT en dispositivos móviles

## Conclusiones

Se ha presentado una metodología para proporcionar alerta volcánica usando tomografía de cuerpos geológicos y telemetría remota basada en un circuito electrónico detector de muones con tecnología IoT. Los usuarios potenciales de los resultados de este proyecto de investigación son las instituciones gubernamentales de protección civil, el Servicio Geológico Nacional y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), que es el organismo oficial en México que emite alertas volcánicas.

## Referencias

- [1] X. J. J. Senabre, «Actualidad, Física, Geología, Historia,» 10 febrero 2016.
- [2] E. Gibney, «Muones: las partículas poco conocidas que permiten sondear lo impenetrable,» 2018.
- [3] Foro de la Industria Nuclear en España, «¿Qué son los muones, y cómo pueden aplicarse a las técnicas de seguridad nuclear?».
- [4] J. A. B. M., «Medición Preliminar del Flujo de Muones en los alrededores del Volcán Galeras».
- [8] National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering (NIBIB), «Tomografía Computarizada (TC),» [En línea].
- [9] M. J. A. Antón, «EVALUACIÓN DE LOS FOTOMULTIPLICADORES DE SILICIO (SIPM) COMO ALTERNATIVA A LOS FOTOMULTIPLICADORES DE TUBO DE VACÍO (PMT)».
- [10] Y. Oda, «Sistemas de detección de partículas basados en fotomultiplicadores con matriz de Silicio, con aplicaciones a muongrafías de volcanes,» 2016.
- [11] S.N. Axani, J.M. Conrad y and C. Kirbyz. The Desktop Muon Detector: A simple, physics-motivated machine- and electronics-shop project for university students. Physics Department, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139. April 11, 2017.
- [12] K. Rose, «LA INTERNET DE LAS COSAS - UNA BREVE RESEÑA,» 2015.

# Diseño e instrumentación de un Laboratorio Virtual empleando Raspberry Pi y Servicios en la Nube



*Gómez Coronel Leonardo(1)*

*Cancino Escobar Manuel de Jesús(2), Madaín Pérez Patricio(3), Jorge Luis Camas Anzueto(4)*

*(1)Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, (2)Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, (3)Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, (4)Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.*

# Resumen Abstract

La actual pandemia de COVID - 19 impide que los estudiantes puedan asistir a la escuela. Esto ha generado un retraso en la experiencia de aprendizaje de una gran cantidad de alumnos. En el área de la ciencia e ingeniería esta situación tiene un impacto incluso mayor debido a que, en ciertas asignaturas, el desarrollo de prácticas de laboratorio es vital para cumplir con el programa académico. Como contribución a la solución de esta problemática se propone un sistema para facilitar el aprendizaje en temas de ingeniería siguiendo una metodología de trabajo en línea con una arquitectura cliente - servidor. El sistema integra varios sensores y utiliza una plataforma de desarrollo de tipo Raspberry Pi, con una programación basada en Python para asegurar un funcionamiento multiplataforma y accesible desde prácticamente cualquier dispositivo. Se efectuaron experimentos en donde múltiples alumnos son capaces de acceder a los datos de los sensores de forma simultánea, obteniendo como resultado la disminución del tiempo requerido para realizar las prácticas, y en un entorno en que múltiples alumnos pueden compartir el hardware sin necesidad de contar físicamente con el equipo.

## Introducción

La contingencia de salud que se presenta en la actualidad ha hecho difícil la asistencia a clases y el desarrollo de prácticas de laboratorio. Aún no se conoce el impacto académico que tendrá esta pandemia y es por eso la preocupación de las autoridades por el regreso a clases. Se asume que el impacto en las áreas de ingeniería debe ser mucho mayor. Por otro lado, la situación actual ha creado nuevas oportunidades y necesidades. El teletrabajo y la educación en casa (schoolhouse) se están posicionando como opciones muy importantes.

The current COVID - 19 pandemic prevents students from attending school. This has delayed the learning experience for a large number of students. In the area of science and engineering this situation has an even greater impact because, in certain subjects, laboratory practices are vital to comply with the academic program. As a contribution to solving this problem, a system is proposed to facilitate learning in engineering issues following an online working methodology with a client - server architecture. The system integrates various sensors and uses a Raspberry Pi-type development platform, with Python-based programming to ensure cross-platform operation and accessibility from virtually any device. Experiments were carried out in which multiple students were able to access the sensor data simultaneously, resulting in a reduction in the time required to carry out the practices, and in an environment in which multiple students can share the hardware without physically owning it.

### Palabras claves

*Laboratorio Virtual, instrumentación, mecatrónica, nube, sistemas embebidos, Internet de las Cosas*

### Key words

*Virtual laboratory, Instrumentation, Mechatronics, Cloud, Embedded systems, IoT*

Iniciativas como éstas se están desarrollando a nivel mundial, lo cual muestra su relevancia. En Nenov et al. (2021) se implementó un laboratorio virtual de sistemas eléctricos. En este artículo se determinan roles diferentes para los profesores y alumnos. De acuerdo a los autores, el modelo desarrollado sería la base para la implementación de los laboratorios virtuales eléctricos. Por otro lado, en Petrović et al. (2017) se implementó un laboratorio virtual de mecatrónica. Se modelaron matemáticamente un módulo de robótica y uno de hidráulica. Los resultados de la simulación son presentados en una interfaz con dibujos tridimensionales. Conforme esta tecnología avance, se necesitan protocolos para asegurar la interoperabilidad de los usuarios (Albeanu et al., 2010). Los laboratorios virtuales también pueden ser realizados utilizando realidad virtual, con lo que se mejora el aprendizaje (Bohne et al., 2021). En México también se han realizado esfuerzos para el uso de esta tecnología (Castillo et al., 2014). El análisis del estado del arte confirma la relevancia del tema abordado. Aun cuando ya hay algunos avances, aún no se cuenta con un laboratorio virtual para la enseñanza de la mecatrónica. Es por esto que se plantea en este proyecto la creación de un laboratorio virtual para la enseñanza de la mecatrónica en donde se implementen sensores y actuadores, los cuales podrán ser manipulados a través de un sistema web.

## Metodología

Para esta investigación se propuso un sistema como el que se muestra en la figura 1.



Fig. 1. Conexión entre sistemas

El sistema está compuesto por un conjunto de sensores conectados a una microcomputadora. La microcomputadora está conectada a internet y ejecuta un conjunto de programas para leer los sensores y para proporcionar esos datos a los usuarios. Se utiliza un servidor para acceder al dispositivo desde cualquier lugar. Los usuarios deben contar con dispositivos tales como computadoras o teléfonos inteligentes para acceder a los datos proporcionados por el sistema. Las responsabilidades del servidor y del usuario se encuentran repartidas de la forma que se aprecia en la Figura 2.

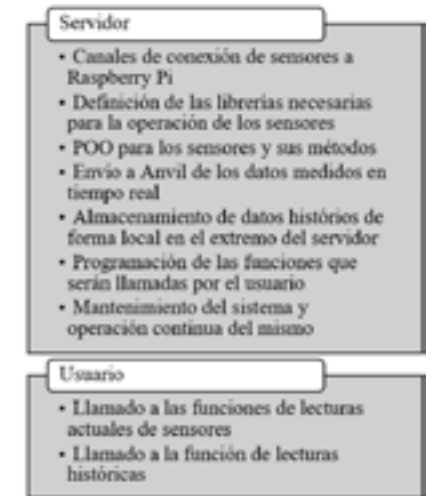


Fig. 2. Responsabilidades del servidor y del usuario

De la forma en que puede ser apreciada, en el modelo planteado las responsabilidades del usuario potencial únicamente se reducen a la lectura de los datos en el momento deseado, realizando su conexión de forma paralela al funcionamiento del sistema de medición, mismo que se pretende operando de forma continua en el tiempo.

En esta investigación se analizó el comportamiento del sistema para determinar el tiempo de respuesta ante una llamada al sistema de forma individual, así como cuando se presentan llamadas simultáneas desde diferentes dispositivos.

## Descripción del sistema

El hardware básico requerido para el sistema planteado consiste en: Raspberry Pi modelo 3b, un sensor DHT11 que mide temperatura y humedad relativa, un sensor BMP180 que mide parámetros atmosféricos y un sensor HC-SR04 para estimar la distancia a la que se encuentran los objetos.

Adicionalmente, para una mayor fiabilidad y protección, el sistema se encuentra embebido en una placa compacta que unifica las conexiones, sensores y microcomputadora. El modelo propuesto para el sistema embebido es el que se aprecia en la Figura 3.

## Programación

Debido a que el paradigma de programación que regirá el proyecto es la Programación Orientada a Objetos (POO), es posible crear objetos que engloben la definición de los sensores, puertos de conexión, métodos y funciones. De forma adicional, se ahorra el trabajo al potencial usuario con respecto a la instalación de las librerías necesarias para la operación de los sensores. La responsabilidad de todo ese trabajo es delegada al servidor y no al usuario.

La programación en el user - end requiere de la conexión al servidor de Anvil y la llamada a función cada uno de los sensores.

Las funciones que pueden ser llamadas por el usuario final son las siguientes:

- **tempDHT11=anvil.server.call("leerTemperatura")**

Crea un objeto de tipo DHT11, lee la temperatura actual del mismo y almacena el valor en la variable indicada.

- **humidity=anvil.server.call("leerHumedad")**

Crea un objeto de tipo DHT11, lee la humedad actual del mismo y almacena el valor en la variable indicada.

- **tempBMP180,presure,altitude=anvil.server.call(leerBMP180)**

Crea un objeto de tipo BMP180 y lee la temperatura, presión y altitud proporcionadas por el sensor. Almacena los valores en las tres variables proporcionadas.

- **distancia=anvil.server.call("leerDistancia")**

Crea un objeto para el HC-SR04 y lee la distancia actual del mismo. Almacena el valor en una variable proporcionada.

- **anvil.server.call("recibirMediciones")**

Requiere que se le pasen 7 listas vacías como variables. Escribe en cada una de las listas vacías los datos del archivo local de mediciones históricas, de tal forma que se tiene una lista para las mediciones de temperatura, otra para la humedad, otra para la presión y así sucesivamente.

Un ejemplo de medición de datos desde el Laboratorio Virtual empleando las funciones mencionadas anteriormente se aprecia en la Figura 4 a continuación:

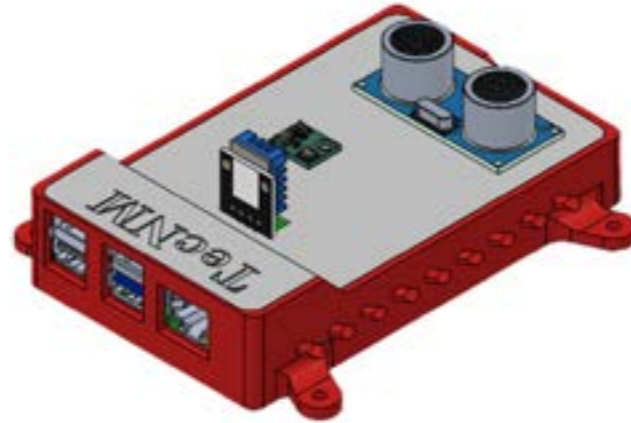


Fig. 3. Empaquetamiento del sistema

## Apartado experimental

Para determinar el comportamiento del sistema, se realizaron pruebas con uno o siete estudiantes en el mismo servidor. Las variables a determinar corresponden al tiempo de latencia del sistema ante una sola llamada, así como el tiempo de latencia ante llamadas simultáneas. Este proceso se realizó de forma completamente independiente por parte de cada uno de los estudiantes sin depender de la conexión de ninguno de los otros alumnos. La aplicación puede ser consultada en la siguiente liga: <https://laboratoriovirtual.anvil.app> En primer lugar, resulta importante responder a la cuestión relacionada con la cantidad de usuarios que pueden conectarse simultáneamente al sistema para recibir datos desde el mismo, ya sea que se trate de mediciones en tiempo real o bien del histórico de mediciones almacenado en la memoria interna de la Raspberry Pi. Para ello se llevaron a cabo pruebas empleando siete computadoras personales de los alumnos de la materia de Diseño de Sistemas Embebidos de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, en donde cada uno de los usuarios recibió en un promedio de 3.6 segundos la información contenida en los archivos de la microcomputadora. La información fue empleada para efectuar diversas operaciones de data science con apoyo de la librería de Python, Pandas.

Se obtuvo como resultado de estas pruebas una disminución del tiempo necesario para ejecutar las prácticas de la materia, pues los tiempos que anteriormente eran empleados para la programación de las funciones de los sensores (sumados a los posibles problemas de conexión que pudieran existir) ahora son empleados para ejecutar directamente las pruebas estadísticas necesarias para cumplir con el objetivo de la asignación. De igual forma al contar con los datos agrupados en un Dataframe estos mismos resultan más fáciles de manejar y visualizar para cualquier propósito estadístico que pueda surgir, factor que se traduce en una mejora en el rendimiento cognoscitivo de los estudiantes al brindar atención únicamente a los aspectos importantes del proyecto. Igualmente se realizaron pruebas de conexión desde múltiples dispositivos para probar la capacidad multiplataforma del sistema, con lo cual se programó un script sencillo en Python cuya intención es recibir los datos del Laboratorio Virtual e imprimirlos en pantalla. Es importante tomar en consideración que uno de los propósitos principales del proyecto se encuentra definido por la capacidad del sistema de devolver al usuario las mediciones obtenidas por parte de los sensores (ya sea en tiempo real o de forma histórica) hacia el usuario. El pseudocódigo planteado para dicha prueba de validación es el que se muestra a continuación en la Figura 4:

### INICIO

1. Pedir medición\_sensor\_1

2. Pedir medición\_sensor\_2

3. Pedir medición\_sensor\_3

4. Medir tiempo\_final

5. Mostrar tiempo\_inicial

6. Mostrar medición\_sensor\_1, medición\_sensor\_2, medición\_sensor\_3

### FIN

Fig. 4. Pseudocódigo planteado para la prueba de validación del sistema bajo peticiones de un sólo usuario.

Fig. 4. Medición de datos desde el Laboratorio Virtual

```
-----
Temperatura DHT11: 27
Temperatura BMP180: 29.4
Humedad: 60
Presion: 95045
Altitud: 536.47
Distancia: 3.465
-----
```



Para el dispositivo 1:

```
-----  
Wed Nov 10 11:11:26 2021  
Temperatura DHT11: 27  
Temperatura BMP180: 28.4  
Humedad: 47  
Presion: 95181  
Altitud: 524.55  
Distancia: 2265.931  
Wed Nov 10 11:11:29 2021  
-----
```

Fig. 9. Prueba de conexión desde el dispositivo 1

Para el dispositivo 2:

```
-----  
Wed Nov 10 11:11:31 2021  
Temperatura DHT11: 27  
Temperatura BMP180: 28.4  
Humedad: 47  
Presion: 95183  
Altitud: 524.38  
Distancia: 1838.173  
Wed Nov 10 11:11:34 2021  
-----
```

Fig. 10. Prueba de conexión desde el dispositivo 2

Como puede apreciarse, la solicitud del dispositivo 1 comenzó a las 11:11:26 y concluyó a las 11:11:29. Existió un periodo de tiempo de aproximadamente 2 segundos y posteriormente el dispositivo 2 comenzó su solicitud a las 11:11:31 y concluyó a las 11:11:34.

Es de esperarse que el sistema no pueda ejecutar la misma solicitud en el mismo periodo de tiempo para dos dispositivos diferentes, y queda en evidencia que existe un sistema de "prioridad" para aquel dispositivo que haya realizado la solicitud en primer lugar. En una aplicación verdadera con dispositivos conectados a diferentes redes de Wi-Fi e incluso desde ubicaciones geográficas distintas resulta evidente que la probabilidad de que dos solicitudes se realicen exactamente en el mismo periodo de tiempo es lo suficientemente baja como para asegurar una alta disponibilidad del sistema, e incluso así ocurrieran dos conexiones simultáneas el sistema asignará prioridad a alguno

de los dispositivos para responder a sus solicitudes en forma serial. En segundo lugar, se consideró la operación del sistema bajo repetidas demandas de envío de datos por parte de un sólo usuario, para lo cual se escribió un script en Python que hiciera una petición a cada uno de los sensores durante un cierto periodo de tiempo y se

#### INICIO

Comienza ciclo infinito

1. Medir tiempo\_inicial
2. Pedir medición\_sensor\_1
3. Pedir medición\_sensor\_2
4. Pedir medición\_sensor\_3
5. Medir tiempo\_final
6. Operación latencia = tiempo\_final - tiempo\_inicial
6. Mostrar tiempo\_inicial
7. Mostrar medición\_sensor\_1, medición\_sensor\_2, medición\_sensor\_3, latencia
8. Mostrar tiempo\_final

FIN

Fig. 11. Pseudocódigo planteado para la prueba de validación del sistema bajo peticiones iterativas de un solo usuario usuarios.

almacenó el dato del tiempo inicial (al comenzar el envío de datos) y el final (al recibir por completo los datos). Dentro del mismo script se calculó el tiempo promedio entre todas las mediciones iniciales y finales. El pseudocódigo para dicha prueba de validación se presenta a continuación en la Figura 11:

El promedio de tiempo obtenido (latencia de servicio) para una serie de mediciones por parte de múltiples usuarios realizando una gran cantidad de peticiones al sistema se aprecia a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Latencia de operación para los diferentes dispositivos conectados

Dispositivo	Latencia (segundos)
1	3.104
2	3.56
3	4.1
4	4.21
5	3.0
6	4.0
7	3.66
Promedio general	3.662

Resulta importante recordar que bajo condiciones normales de operación el sistema no experimentará múltiples peticiones por parte de un mismo usuario en un periodo de tiempo tan corto, de tal forma que se puede concluir que la respuesta del sistema bajo alta demanda es aceptable. Es probable que algunos factores tales como velocidad de conexión y hardware empleado afecten la latencia real de operación, sin embargo, este valor de 3.662 segundos es una aproximación aceptable para los tiempos de operación reales de la aplicación.

Para ciertas aplicaciones de alta precisión un tiempo de latencia de 3.662 segundos podría considerarse elevado, sin embargo, considerando que se está realizando el envío completo

de datos desde los sensores hacia la nube y desde la nube hacia el dispositivo conectado, y además tomando como hecho que el valor de las variables tales como la temperatura y la humedad relativa no presentarán una variación considerable en un periodo de tiempo tan corto, se considera un resultado aceptable.

La importancia del sistema radica principalmente en la capacidad de compartir el hardware entre múltiples usuarios sin importar el momento u orden que estos consideren para realizar conexiones al sistema, debido a lo cual es necesario validar su operación en condiciones de alta demanda por más de un usuario.

Es de esperarse que a causa del tipo de suscripción que se emplea para la aplicación web (suscripción gratuita) exista un incremento en la latencia y una disminución en la disponibilidad del servicio cuando la demanda se incrementa. Esto último puede apreciarse en la latencia calculada para el dispositivo de segundos (Tabla 1). Este incremento en 2-3 décimas de segundo puede considerarse relevante para otras aplicaciones, sin embargo, tomando en consideración el tipo de servicio que experimentará el sistema de forma cotidiana (un envío por dispositivo en una sola ocasión) este incremento en el tiempo de respuesta sería poco relevante en las operaciones ordinarias.

La operación del sistema no se encuentra limitada al número de usuarios que se encuentren conectados, pues como fue mencionado anteriormente se realizaron pruebas de forma satisfactoria con siete usuarios

simultáneamente, no obstante, existe la posibilidad de que en el caso de que dos peticiones se ejecuten al mismo tiempo, se le dará prioridad a aquella petición del usuario con una mejor calidad de conexión a internet, y una vez completado el envío de los datos correspondientes a esa petición se dará lugar al segunda y así sucesivamente.

## Conclusiones

Se comprobó la validez de la propuesta al fungir como laboratorio virtual de sensores, permitiendo que los datos puedan ser accedidos de forma remota por varios alumnos.

De igual forma se comprobó que los datos pudieron ser obtenidos desde cualquier dispositivo que sea capaz de ejecutar scripts de Python; una computadora personal, un teléfono celular basado en Android o incluso otra Raspberry Pi, abriendo la posibilidad para el alumno de cumplir con las prácticas que le sean requeridas sin contar físicamente con los equipos necesarios. Con este dispositivo, el retraso académico puede reducirse aun en condiciones adversas como las que se viven en la actualidad.

## Referencias

- Albeanu, G., Tarca, R., Popen iu-Vlădicescu, F., Ildiko Margit, P., (2010). Interoperability assurance for remote mechatronic laboratories used for virtual training.
- Bohne, T., Heine, I., Gurerk, O., Rieger, C., Kemmer, L., Cao, L.Y., (2021). Perception engineering learning with virtual reality. IEEE Trans. Learn. Technol. 1-1. <https://doi.org/10.1109/TLT.2021.3107407>
- Castillo, A., Ortegon, J., Vazquez, J., Rivera, J., (2014). Virtual Laboratory for Digital Image Processing. IEEE Lat. Am. Trans. 12, 1176-1181. <https://doi.org/10.1109/TLA.2014.6894017>
- Nenov, T., Evstatiev, B., Kadirova, S., (2021). Conceptual Model of a Remote Laboratory for Investigation of DC Motors, in: 2021 17th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA). Presented at the 2021 17th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/ELMA52514.2021.9503022>
- Petrović, V.M., Nikolić, B., Jovanović, K., Potkonjak, V., (2017). Development of Virtual Laboratory for Mechatronic Systems, in: Rodić, A., Borangiu, T. (Eds.), Advances in Robot Design and Intelligent Control, Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer International Publishing, Cham, pp. 622-630. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-49058-8\\_68](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49058-8_68)

# Aislamiento y cinética de crecimiento de microalgas de la laguna costera “Pampa El Cabildo”, Puerto Madero, Chiapas, México

## Resumen

Las microalgas son microorganismos fotoautotróficos que por su capacidad para capturar CO<sub>2</sub>, un gas de efecto invernadero, contribuyen en la mitigación del calentamiento global. La biomasa microalgal es rica en lípidos, proteínas, polisacáridos, vitaminas y pigmentos por lo que puede ser utilizada como suplemento alimenticio, biofertilizante o como alimento vivo en la acuicultura. Recientemente se ha descubierto que las microalgas producen compuestos bioactivos que actúan contra el virus SARS-CoV-2, causante del COVID-19. En este trabajo se aisló una microalga de la laguna costera “Pampa El Cabildo”, Puerto Madero, Chiapas, México, se evaluaron diferentes concentraciones de dos fertilizantes inorgánicos para su cultivo, Bayfolan® Forte y Poly-Feed™ y se obtuvo la cinética y los parámetros de crecimiento de este microorganismo. La microalga fue capaz de crecer únicamente con el fertilizante Poly-Feed, cuya concentración óptima fue de 5 g L<sup>-1</sup>. La cinética de crecimiento mostró que la microalga tuvo una fase de adaptación de dos días, la fase exponencial inicio en el tercer día y la fase estacionaria inició en el día siete de cultivo, durante la cual alcanzó una concentración celular de 63,022,499 células mL<sup>-1</sup>. La tasa de crecimiento específica, la velocidad de crecimiento, el tiempo de duplicación y el número de generaciones de la microalga en la fase exponencial fue de 0.63 día<sup>-1</sup>; 12,018,333 células mL<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>; 1.10 días y 4.56, respectivamente. Estos resultados indican que la microalga aislada tiene atributos de crecimiento competitivos para futuros estudios sobre la producción de biomasa y/o compuestos bioactivos de interés biotecnológico.

## Abstract

Microalgae are photoautotrophic microorganisms that, due to their ability to capture CO<sub>2</sub>, a greenhouse gas, contribute to the mitigation of global warming. Microalgal biomass is rich in lipids, proteins, polysaccharides, vitamins and pigments so it can be used as a food supplement, biofertilizer or as a live feed in aquaculture. It has recently been discovered that microalgae produce compounds with bioactives that act against the SARS-CoV-2 virus, which causes COVID-19. In this work, a microalgae was isolated from the coastal lagoon “Pampa El Cabildo”, Puerto Madero, Chiapas, Mexico, different concentrations of two inorganic fertilizers were evaluated for its cultivation, Bayfolan® Forte and Poly-Feed™, and the kinetics and the growth parameters of the microalgae were obtained. The microalgae was able to grow only with the Poly-Feed fertilizer with an optimal concentration of 5 mg L<sup>-1</sup>. The growth kinetics showed that the microalgae had an adaptation phase of two days, the exponential phase began on the third day and the stationary phase began on the seventh day of culture, during which it reached a cell concentration of 63,022,499 cells mL<sup>-1</sup>. The specific growth rate, the growth rate, the doubling time and the number of generations of the microalgae in the exponential phase was 0.63 day<sup>-1</sup>; 12,018,333 cells mL<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>; 1.10 days and 4.56, respectively. These results indicate that the isolated microalgae has competitive growth attributes for future studies on the production of biomass and/or bioactive compounds of biotechnological interest.

### Palabras claves

microalgas,  
fertilizantes  
inorgánicos, cinética  
de crecimiento,  
laguna costera

### Key words

microalgae,  
inorganic fertilizers,  
growth kinetics,  
coastal lagoon

Jalsen Iván Teco-Bravo (1), Edgar Tovar-Juárez (1), Yaneth Estrada-Santosa (1), Pedro Martín Negrete-Moreno (1) y María de los Ángeles López-Arroyob (2)

(1) Coordinación de la Licenciatura de Ingeniero en Sistemas Costeros, Universidad Autónoma de Chiapas.

(2) Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tapachula.

# Introducción

Las microalgas son microorganismos fotoautotróficos que contribuyen en la mitigación del calentamiento global debido a su capacidad para capturar CO<sub>2</sub>, un gas de efecto invernadero (Molazadeh et al., 2019). Las microalgas han demostrado ser más eficientes para la remoción de nutrientes de aguas residuales que otros microorganismos y que las plantas, debido a que los nutrientes presentes en diferentes aguas residuales, principalmente amonio, nitratos, nitritos, fosfatos, urea y los micronutrientes, son esenciales para el crecimiento de estos organismos (Salama et al., 2017). Por otra parte, la biomasa de las microalgas es rica en lípidos, proteínas, carbohidratos, vitaminas, pigmentos y minerales, por lo que puede ser utilizada como suplemento alimenticio para humanos, como biofertilizante para las plantas y como alimento vivo en la acuicultura ya que su pequeño tamaño celular facilita la ingestión para organismos que se alimentan de ellos como el zooplancton, larvas, alevines, moluscos en estadio juvenil, crustáceos y algunos peces (Apandi et al., 2019). Debido a su versatilidad metabólica, las microalgas producen ácidos grasos poliinsaturados (EPA y DHA) esenciales para el buen desarrollo infantil, así como diversos compuestos con actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana, anticancerígena y antihipercolesterolemia (Tang et al., 2020; Teco-Bravo et al., 2021), los cuales tienen aplicaciones en la industria de los cosméticos, de los alimentos, de la salud y la nutrición humana (Mobin et al., 2019). Recientemente, se ha reportado que las microalgas producen compuestos que actúan contra el virus SARS-CoV-2, causante del COVID-19, lo cual resulta alentador para enfrentar la actual pandemia ya que estos microorganismos tienen periodos cortos de crecimiento, de entre 8 y 24 horas, por lo que

la producción de los compuestos activos para combatir esta y otras enfermedades requerirá de menor tiempo que con otras alternativas (Chia et al., 2021; Wan Afifudeen et al., 2021). La producción en masa de microalgas ya sea para el tratamiento de aguas residuales, como alimento vivo en la acuicultura o para la producción de compuestos bioactivos requiere, además del conocimiento de la biología, ecología y del perfil nutricional, de la optimización de las condiciones de cultivo, de la cinética y de los parámetros de crecimiento de la cepa a utilizar (Salama et al., 2017). Las condiciones de cultivo, es decir, la concentración óptima de macro y micronutrientes, la agitación, el pH, la intensidad lumínica y el fotoperiodo, principalmente, tienen influencia sobre el crecimiento y la composición bioquímica de estos microorganismos (Liang et al., 2019). La cinética de crecimiento permite conocer las fases de crecimiento (Adaptación, exponencial y estacionaria), el número de células de cada fase así como los parámetros de crecimiento, es decir, el tiempo de duplicación, la tasa de crecimiento específica y la velocidad de crecimiento, lo cual en conjunto brindan información relevante para seleccionar las cepas con mejores características para la producción en masa (Aslan & Kapdan, 2006). Sin embargo, el perfil nutricional, las condiciones de cultivo y la cinética de crecimiento de las microalgas dependen de la especie de que se trate y estas diferencias interespecíficas se tienen que analizar caso por caso. Una alta tasa de crecimiento, corto tiempo de duplicación y la capacidad de crecer a gran escala, son los principales criterios de selección de especies de microalgas para la producción de biomasa para diversas aplicaciones (Salama et al., 2017). Muchas de las especies de microalgas disponibles en la

naturaleza no han sido estudiadas hasta ahora, por lo tanto, la exploración de la diversidad natural para el descubrimiento de especies o cepas con las características deseables para su aprovechamiento ofrece un amplio campo de investigación (Shanmugam et al., 2020).

Las lagunas costeras se caracterizan por ser espacios abiertos de aguas someras, de salinidad y volumen variables, estos ecosistemas son influenciados por la entrada de agua dulce proveniente de los ríos y salada proveniente del mar (Soria García & Sahuquillo Llinares, 2009). La diversidad de microalgas de las lagunas costeras del sureste de México ha sido poco estudiada y aprovechada, los escasos trabajos al respecto se han realizado principalmente en el Golfo de México y el Mar Caribe, como es el caso de cuatro lagunas costeras (Celestún, Chelem, Dzilam y Ría Lagartos) del estado de Yucatán (Aguilar-Trujillo et al., 2014), la laguna Tampamachoco en el estado de Veracruz (Okolodkov & Pérez Blanco, 2011) así como Pom-Atasta y Palizada en el estado de Campeche (Muciño-Márquez et al., 2015). En las lagunas costeras del estado de Chiapas, no existen estudios sobre el aislamiento, el cultivo y el aprovechamiento de microalgas, es decir, la diversidad natural de estos microorganismos en esos ecosistemas no ha sido explorada y permanece desaprovechada. La laguna costera “Pampa el Cabildo” (PEC) se ubica al oeste de la localidad de Puerto Madero, municipio de Tapachula, Chiapas, en ella se descarga un ramal del río Coatán y tres canales de riego de la zona agrícola adyacente, además, está conectada a la dársena de Puerto Chiapas mediante un canal artificial, por lo que los organismos de este ecosistema están influenciados tanto por la entrada de agua dulce proveniente del río como por el agua salada proveniente del mar

y, posiblemente, por la entrada de nutrientes provenientes de los suelos adyacentes de uso agrícola (Ochoa, 2003). En la laguna PEC se ha reportado una diversidad de 81 especies de microalgas (Broca-Zunún, 2017), sin embargo, éstas no han sido aisladas ni cultivadas y no se conocen las condiciones de cultivo, los parámetros de crecimiento ni su perfil nutricional, por lo que esta diversidad biológica no ha sido aprovechada hasta el momento. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue aislar, optimizar las condiciones de cultivo y obtener la cinética de crecimiento de una microalga de la laguna PEC para futuras aplicaciones biotecnológicas en la acuicultura, la producción de biocombustibles, el tratamiento de aguas residuales y en la producción de compuestos bioactivos para la salud humana.

## Materiales y métodos

El muestreo de microalgas se llevó a cabo en la laguna Pampa el Cabildo, localizada en la comunidad de Puerto Madero, Chiapas, en el pacífico tropical mexicano entre las coordenadas 14° 43' 09" N y 92° 25' 42" W. Se establecieron cinco zonas de muestreo, distribuidas a lo largo del gradiente de salinidad de la laguna, en dirección oeste-este. En cada zona se designaron dos sitios de muestreo, distribuidos en dirección norte-sur en las zonas 1, 2 y 3 y en dirección oeste-este en las zonas 4 y 5 (Figura 1).



Figura 1. Zonas y sitios de muestreo de microalgas en la laguna “Pampa el Cabildo”, Puerto Madero, Chiapas, México. Z = zona; S = sitio.

En cada sitio se tomaron cuatro muestras de agua de 1L, dos muestras fueron tomadas con una botella de “Van Dorn” y dos con una red de plancton con luz de malla de 60  $\mu$ m, en este último caso se filtraron aproximadamente 200 L de agua (López-Rosales et al., 2019). En cada sitio de muestreo se midieron los valores de oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, salinidad, sólidos disueltos totales y conductividad del agua, utilizando una sonda multiparamétrica (Hanna HI 98194). Las muestras fueron colocadas en botes de plástico transparente, se cubrieron con papel aluminio para evitar el contacto con la luz y se trasladaron en una hielera al laboratorio de investigación de la licenciatura en Ingeniería en Sistemas Costeros de la Universidad Autónoma de Chiapas, donde se mantuvieron en refrigeración durante 24 horas para permitir la sedimentación de las células, posteriormente se redujo el volumen de agua de cada una de las muestras, mediante decantación, hasta un volumen final de aproximadamente 50 mL. Posteriormente se prepararon dos muestras compuestas, una con la mezcla de todas las muestras de las zonas 1, 2 y 3 y otra con las de las zonas 4 y 5, esto debido a las diferencias en las propiedades fisicoquímicas del agua entre las zonas agrupadas, principalmente de la salinidad. Las células de las muestras compuestas se concentraron mediante centrifugación a 2000 rpm durante 5 minutos.

## Aislamiento e identificación de microalgas

Se aislaron dos microalgas, la más abundante de la muestra compuesta 1 (zona 1, 2 y 3) y la más abundante de la muestra compuesta 2 (zona 4 y 5), mediante diluciones seriadas en tubos de ensayo, utilizando una relación de volumen 1:10 (muestra:agua destilada). Se observó una muestra

de cada dilución en un microscopio óptico (40 $\times$ ) hasta encontrar la dilución que contuviera una sola cepa (López-Rosales et al., 2019). La cepa más abundante de cada muestra compuesta se identificó de acuerdo con su morfología básica, utilizando el catálogo de algas continentales de México (Ortega, 1984) y la guía de identificación de microalgas de Moreno et al. (1996).

## Optimización de las condiciones de cultivo

Se evaluaron dos fertilizantes inorgánicos agrícolas para el cultivo de las microalgas aisladas, Bayfolan® Forte líquido (Bayer de México S.A. de C.V.) y Poly-Feed™ soluble (Haifa México S.A. de C.V.). Las diferencias entre ambos fertilizantes son principalmente el mayor contenido de nitrógeno y potasio en Poly-Feed así como la presencia de ácido indol acético (fitohormona), tiamina (vitamina), azufre, calcio, cobalto y magnesio en Bayfolan a diferencia de Poly-Feed (Tabla 1). Se prepararon medios de cultivo líquido con diferentes concentraciones de ambos fertilizantes. En el caso del fertilizante líquido Bayfolan, se evaluó un rango de concentraciones de 1 a 10 mL L<sup>-1</sup> con intervalos 1 mL L<sup>-1</sup> mientras que para el fertilizante Poly-Feed se evaluó un rango de 1 a 10 g L<sup>-1</sup>, con intervalos de 1 g L<sup>-1</sup>. Para ambos fertilizantes se evaluaron diferentes concentraciones de dos fuentes de carbono, NaHCO<sub>3</sub> (1-5 g L<sup>-1</sup>) y CH<sub>3</sub>COOH (1-5 mL L<sup>-1</sup>) (Herrera-Valencia et al., 2011) y dos concentraciones de salinidad (el promedio de la registrada en las zonas 1, 2 y 3 y el promedio de las zonas 4 y 5), para simular la salinidad in situ. Para el caso del cultivo de diatomeas, se prepararon medios de cultivo con ambos fertilizantes, con las diferentes concentraciones y fuentes de carbono ya mencionadas, adicionado con Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, tiamina,



biotina y cianocobalamina. Para evitar la contaminación del medio de cultivo con bacterias, se utilizó el antibiótico dicloxacilina (100 mg L<sup>-1</sup>) (López-Rosales et al., 2019).

El pH de los medios de cultivo se ajustó a 7 y se esterilizaron en una autoclave a 15 psi durante 15 minutos.

Nutriente	Contenido	
	Bayfolan® Forte	Poly-Feed™
Nitrógeno total (N)	11.470%	20%
Potasio (K <sub>2</sub> O)	6.000%	30%
Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	8.000%	10%
Cobre (Cu)	0.040%	110 ppm
Hierro (Fe)	0.050%	1000 ppm
Molibdeno (Mo)	0.005%	20 ppm
Zinc (Zn)	0.080%	150 ppm
Clorhidrato de tiamina	0.004%	NC
Boro (B)	0.036%	100 ppm
Azufre (S)	0.230%	NC
Calcio (Ca)	0.025%	NC
Cobalto (Co)	0.002%	NC
Manganeso (Mg)	0.036%	500 ppm
Magnesio (Mg)	0.025%	NC
Ácido indol acético	0.003%	NC

Tabla 1. Composición de nutrientes de los fertilizantes inorgánicos evaluados para el cultivo de microalgas de la laguna “Pampa El Cabildo”. NC = no contiene. Fuente: fichas técnicas de ambos fertilizantes.

Para identificar la o las concentraciones de fertilizantes que permitiera el crecimiento de las microalgas, se inocularon 100 L, de la dilución donde se observó una sola cepa de microalga, en tubos de ensayo que contenían 1 mL de medio de cultivo con una determinada concentración de cada fertilizante. Se inocularon dos tubos para cada una de las cinco concentraciones de ambos fertilizantes. Los tubos se incubaron a 25°C, con un fotoperiodo de 16h/8h (luz/oscuridad) con iluminación de 90 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Contreras-Pool et al., 2016), hasta observar coloración verde en alguno de los tubos. Una vez que la microalga creció en los tubos de ensayo, se inocularon 100 L del cultivo en matraces Erlenmeyer

de 50 mL que contenían 10 mL del medio de cultivo con el fertilizante y la concentración donde se observó crecimiento previamente y se cultivaron bajo las mismas condiciones de los tubos de ensayo hasta observar crecimiento (coloración verde) lo cual sirvió como preinóculo para cultivos posteriores. La conservación de las microalgas aisladas se realizó en cajas Petri con medio de cultivo adicionado con agar (15 g L<sup>-1</sup>) incubadas bajo las condiciones previamente mencionadas hasta la aparición de colonias, posteriormente se mantuvieron en refrigeración a 4 °C.

## Cinética de crecimiento

La microalga más abundante de la muestra compuesta 2, se cultivó en matraces de 250 mL que contenían 50 mL del medio de cultivo preparado con el fertilizante Poly-Feed con una concentración de 5 g L<sup>-1</sup>, debido a que fue el único fertilizante y la única concentración donde creció previamente, adicionado con CH<sub>3</sub>COOH (5 mL L<sup>-1</sup>) como fuente de carbono con una concentración inicial de microalgas de 1x10<sup>4</sup> células mL<sup>-1</sup> (Teco-Bravo et al., 2019). Para el cultivo se utilizó el sistema de matraces en serie, en el cual estuvieron interconectados cuatro matraces, el primero de ellos contenía solo agua destilada estéril y los tres siguientes contenían medio de cultivo y microalgas, a través de los cuatro matraces circuló aire que fue suministrado por una bomba, para homogenizar el medio de cultivo (López-Rosales et al., 2019). Para evitar contaminación por el flujo de aire, se colocó un filtro estéril de 33 mm de diámetro con tamaño de poro de 0.22 μm (Millex-GS, Millipore, USA). Los matraces en serie fueron incubados a 25°C, con un fotoperiodo de 16h/8h (luz/oscuridad) e iluminación de 90 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Contreras-Pool et al., 2016). Se cuantificó el número de células en cada matraz, cada 24 h, con una cámara de Neubauer en un microscopio óptico (40x), hasta que no se observó incremento en el número de células (Teco-Bravo et al., 2019). Posteriormente, se graficaron los valores del tiempo (días), como variable independiente, contra los de la concentración celular, como variable dependiente, para identificar las fases de crecimiento (adaptación, exponencial y estacionaria) y el máximo número de células de la microalga en el medio de cultivo (Martinko et al., 2004). Posteriormente se calcularon los parámetros de crecimiento de la microalga: la tasa de crecimiento específica (μ), la

velocidad de crecimiento (V), el tiempo de duplicación (TD) y el número de generaciones durante el crecimiento exponencial (n), utilizando las ecuaciones 1, 2, 3 y 4, respectivamente (N. Kumar et

al., 2021; Sacristán de Alva et al., 2018).

$$\text{Tasa de crecimiento específica } \mu \text{ (d}^{-1}\text{)} = \frac{(\ln X_2 - \ln X_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

$$\text{Velocidad de crecimiento } V \text{ (células mL}^{-1} \text{ d}^{-1}\text{)} = \frac{X_2 - X_1}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

$$\text{Tiempo de duplicación } TD \text{ (d)} = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (3)$$

$$\text{Número de generaciones } n = \frac{\ln X_2 - \ln X_1}{\ln 2} \quad (4)$$

Donde X1 y X2 representan el número de células al inicio y al final de la fase exponencial (células mL<sup>-1</sup>), respectivamente, mientras que t1 y t2 representan el tiempo de inicio y fin de la fase exponencial (días), respectivamente.

## Resultados y discusión

### Aislamiento e identificación de microalgas

La microalga más abundante de la muestra compuesta 1, conformada por las zonas 1, 2 y 3 de la laguna PEC, fue la morfocepa perteneciente a la categoría Biráfido simétrico, de la clase Bacillariophyceae, orden Naviculales, especie *Craspedostauros neoconstrictus* Cox la cual fue aislada en la dilución -7, mientras que la microalga más abundante de la muestra compuesta 2, conformada por las zonas 4 y 5 de la laguna PEC, fue la morfocepa perteneciente a la división Chlophyta, clase Chrophyceae, subclase Chrophyceae, orden volvocales y familia Oocystaceae, la cual, por su tamaño y dificultades para su observación en el microscopio óptico, no fue posible identificar a nivel de género y especie, esta cepa fue aislada en la dilución -1.

### Optimización de las condiciones de cultivo de microalgas

Después de probar diferentes concentraciones de ambos fertilizantes, adicionados con diferentes fuentes de carbono, diferentes concentraciones de NaCl, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> y vitaminas para el cultivo de *Craspedostauros neoconstrictus* Cox, la microalga más abundante de la muestra compuesta 1 (zonas 1, 2 y 3), ninguno de los tratamientos evaluados permitió el crecimiento de esta microalga por lo cual no fue posible multiplicarla ni caracterizar su crecimiento.

Para el caso de la microalga más abundante de la muestra compuesta 2 (zonas 4 y 5), el único tratamiento que permitió su crecimiento (coloración verde del medio de cultivo), fue el fertilizante Poly-Feed, con una concentración de 5 g L<sup>-1</sup>, sin NaCl y adicionado con CH<sub>3</sub>COOH como fuente de carbono con una concentración de 5 mL L<sup>-1</sup>, mientras que el fertilizante Bayfolan no permitió el crecimiento de esta microalga en ninguno de los tratamientos evaluados (Figura 2). Los fertilizantes inorgánicos son fuente de macronutrientes (N, P y K, principalmente) y micronutrientes

(Ca, Fe, Cu, Mg, Mn, Zn, Cl, Mo, B, Co y Pb, principalmente) para las microalgas. Los fertilizantes inorgánicos pueden contener amonio, nitrato y urea como fuente de nitrógeno, ya sea juntos o solo uno de ellos, de este macronutriente depende la producción de proteínas, ADN y los fotosistemas esenciales para la fotosíntesis (Salama et al., 2017). De acuerdo con la ficha técnica del fertilizante Poly-Feed (<http://www.ferman.mx/producto/poly-feed-gg-20-30-10-1mgo-me-zn-saco-25-kg>), del nitrógeno total (20%), éste contiene nitrógeno nítrico N-NO<sub>3</sub> (2.8%), nitrógeno amoniacal N-NH<sub>4</sub> (5.9%) y nitrógeno ureico N-NH<sub>2</sub> (11.3%), sin embargo, en el caso del fertilizante Bayfolan Forte, la ficha técnica indica el porcentaje de nitrógeno total que contiene (11.470%) pero no especifica la o las fuentes de este macronutriente (<https://www.micultivo.bayer.com.mx/docbase/archivosProducto/Bayfolan-Forte-Ficha-tecnica.pdf>). Se ha reportado que la mayoría de las microalgas verdes utilizan principalmente amonio y nitratos como fuente de nitrógeno (Harris, 1989). Algunas microalgas pueden utilizar urea como fuente de nitrógeno, sin embargo, la asimilación de este compuesto implica un gasto de energía ya que es introducido a la célula mediante un mecanismo de cotransporte mientras que

otras especies no pueden utilizarla debido a que carecen de las enzimas y los sistemas de transporte correspondientes por lo cual no es una fuente de nitrógeno ampliamente utilizada por estos microorganismos (A. Kumar & Bera, 2020). Por lo anterior, es posible que Bayfolan contenga únicamente urea como fuente de nitrógeno y que la microalga bajo estudio no tenga la capacidad de asimilar este compuesto, sin embargo, se requiere analizar las fuentes de nitrógeno que contienen ambos fertilizantes para probar este planteamiento.

Por otra parte, como era de esperarse el CH<sub>3</sub>COOH ayudó al crecimiento de la microalga, a diferencia del NaHCO<sub>3</sub>. Se ha reportado la evaluación de varias fuentes de carbono para el cultivo de microalgas verdes, tales como la glucosa, la galactosa y la arabinosa, sin embargo, el CH<sub>3</sub>COOH es el único que permite el crecimiento de estos microorganismos en ausencia de fotosíntesis, este compuesto es la única fuente de carbono que contiene el medio de cultivo estándar Tris-Acetato-Fosfato, formulado originalmente para la microalga modelo *Chlamydomonas reinhardtii*, pero que ha sido reportado ampliamente para el cultivo de diversas especies de clorofitas (Harris, 1989). Las microalgas verdes utilizan el CH<sub>3</sub>COOH para sintetizar glucosa, mediante el ciclo del glioxilato, sin necesitar de la fotosíntesis para biosintetizar este azúcar, esta ruta metabólica también es utilizada por los vegetales, algunos hongos, bacterias y protozoos para el mismo propósito (Mitra et al., 2020).

## Cinética de crecimiento

Después de contar el número de células de la microalga cada 24 horas y graficarlo en función del tiempo de cultivo, se obtuvo la curva de crecimiento de este microorganismo, donde se observan las tres fases de crecimiento, es decir, la fase de latencia, la fase de crecimiento exponencial y la fase estacionaria (Figura 3). La curva de crecimiento de la microalga bajo estudio es la típica que se obtiene en un cultivo cerrado con medio no renovado, en el cual el agotamiento de los nutrientes del medio limita el crecimiento de los organismos cultivados. Esta curva de crecimiento típica, ha sido reportada en diversas especies de microalgas verdes tales como *Chlorella peruviana* (Tejido-Núñez et al., 2020); *Scenedesmus dimorphus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella sorokiniana* y *Chlorella vulgaris* (Chen et al., 2018); *Scenedesmus sp.* (N. Kumar et al., 2021); *Dunaliella sp.*, *Nannochloropsis sp.* y *Tetraselmis sp.* (Sacristán de Alva et al., 2018), utilizando medidas de crecimiento tanto directas (biomasa y concentración celular) como indirectas (absorbancia y contenido de clorofila).

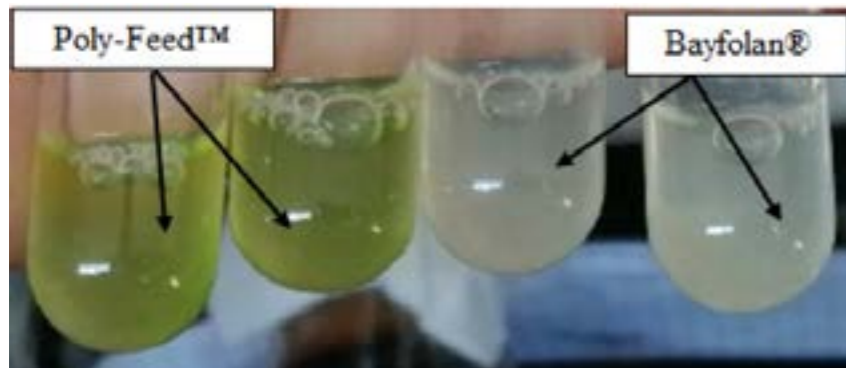


Figura 2. Comparación del crecimiento de la microalga más abundante de las zonas 4 y 5 de la laguna "Pampa el Cabildo", entre los fertilizantes inorgánicos Poly-Feed™ y Bayfolan® Forte.a

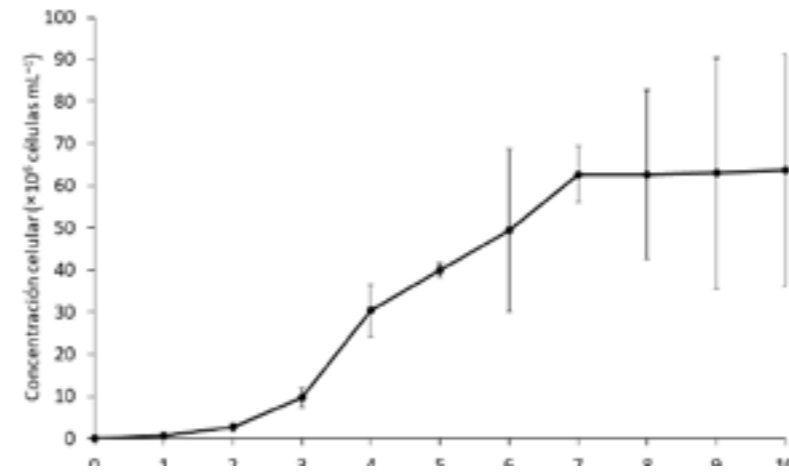


Figura 3. Curva de crecimiento de la microalga más abundante de las zonas 4 y 5 de la laguna "Pampa el Cabildo". Las células fueron incubadas en 50 mL de medio de cultivo preparado con el fertilizante Poly-Feed™. Valores promedio ± desviación estándar (n = 3).

La fase de latencia de la microalga tuvo un periodo de dos días, después de la cual inició el crecimiento exponencial (Figura 3). La fase de latencia de un organismo es el tiempo que le toma antes de iniciar el crecimiento exponencial en un medio y condiciones nuevas, lo cual se debe principalmente a que las células no cuentan con varios componentes estructurales ni con las enzimas para la síntesis de metabolitos necesarios para dividirse, lo cual requiere tiempo para sintetizarlos (Martinko et al., 2004). La fase de latencia puede ser breve o larga lo cual depende principalmente de la especie, la fase de crecimiento del inóculo, la disponibilidad de nutrientes en el medio y de las condiciones de cultivo. Comparado con otras microalgas de la clase Chlorophyta, la duración de la fase de latencia de la presente microalga (dos días) es igual a la reportada para *Chlorella zofingiensis*, *Chlorella vulgaris* y *Chlorella sorokiniana* (Chen et al., 2018; Zhu et al., 2013), es menor a la de *Chlorella peruviana*, *Scenedesmus obliquus*, *Dunaliella sp.* y *Scenedesmus sp.*, para las que se reportaron tres, tres, seis y cuatro días, respectivamente (N. Kumar et al., 2021; Mariano Astacondor et al., 2017; Qi et al., 2018). Por otra parte, también se han reportado fases de latencia menores (un día) a la de la presente microalga, en especies de la clase Chlorophyta tales como *Chlorella sp.* (Qin et al., 2016), *Tetraselmis sp.* y *Dunaliella sp.* (Sacristán de Alva

et al., 2018) y *Tetrademus obliquus* (Tejido-Núñez et al., 2020). La fase de crecimiento exponencial de la microalga bajo estudio, inició en el tercer día y tuvo una duración de cuatro días, dando inicio la fase estacionaria a partir del día siete de cultivo, en la cual alcanzó la concentración celular máxima promedio de 63,022,499±500047 células mL<sup>-1</sup> (Figura 3). Durante la fase de crecimiento exponencial, los organismos se multiplican de manera constante respecto al tiempo, es decir, el número de células se duplica en cada periodo fijo de tiempo, en esta fase, las células se encuentran en un estado fisiológico activo, es decir, las células sintetizan constantemente los metabolitos estructurales y las enzimas necesarias para su reproducción (Martinko et al., 2004). La microalga bajo estudio alcanzó su máximo crecimiento en menor tiempo comparado con otras microalgas de la clase Chlorophyta. Por ejemplo, *Tetraselmis sp.*, *Dunaliella sp.* y *Nannochloropsis sp.* alcanzaron la fase estacionaria a los 9, 13 y 13 días, respectivamente, cuando fueron cultivadas en agua residual sintética (Sacristán de Alva et al., 2018); *Scenedesmus sp.*, alcanzó la fase estacionaria a los 13 días cuando fue cultivada con el medio de cultivo estándar Tris-Acetato-Fosfato (N. Kumar et al., 2021) mientras que *Chlorella zofingiensis* (Zhu et al., 2013) y *Chlorella sorokiniana* (Chen et al., 2018) alcanzaron la fase estacionaria a los nueve y 10 días, respectivamente, ambas

cultivadas en el medio de cultivo estándar BG11. Por otra parte, la máxima concentración celular de la microalga bajo estudio fue mayor a la de *Chlorella peruviana*, para la cual se reportaron 42,000,000 células mL<sup>-1</sup> en un periodo de 19 días, cultivada con el medio de cultivo estándar F/2 (Mariano Astacondor et al., 2017). Durante la fase estacionaria se detiene el crecimiento de una población cuando es cultivada un sistema cerrado sin renovación del medio de cultivo, lo anterior ocurre principalmente porque en el medio de cultivo se agota un nutriente esencial para el crecimiento del organismo y/o porque en el medio se acumulan algunos productos del metabolismo hasta concentraciones que inhiben el crecimiento exponencial (Martinko et al., 2004). En esta fase no suele haber crecimiento celular, sin embargo, siguen ocurriendo algunos procesos celulares tales como el metabolismo energético y algunos procesos biosintéticos, en el caso particular de las microalgas, es en esta fase donde incrementa la biosíntesis de las moléculas de reserva de energía y de metabolitos de interés comercial tales como pigmentos, lípidos y carbohidratos (Sacristán de Alva et al., 2018). Los valores de la concentración celular en la fase exponencial se transformaron a logaritmo natural y se graficaron estos valores contra los días de cultivo en escala aritmética, resultando en una gráfica semilogarítmica en la cual se observa una línea recta (Figura 4). Esta función lineal indica el crecimiento exponencial de las células y a partir de ella se calcularon los parámetros de crecimiento de la microalga.

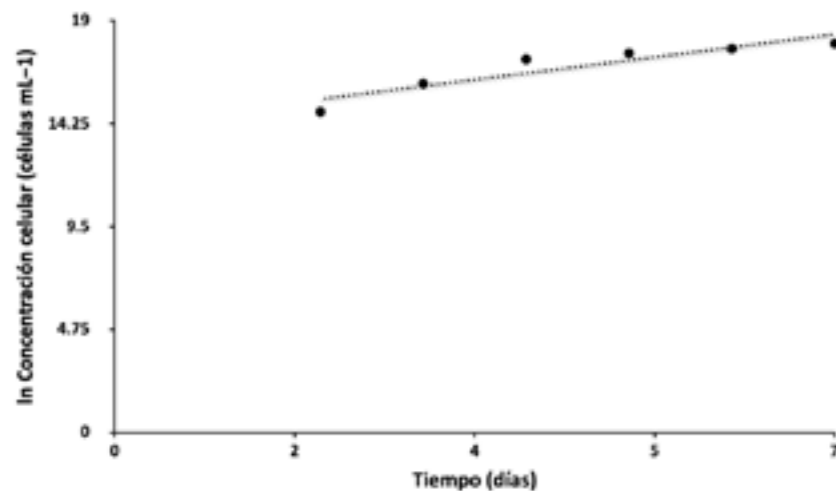


Figura 4. Curva de crecimiento semilogarítmica de la microalga más abundante de las zonas 4 y 5 de la laguna “Pampa el Cabildo”. Las células fueron incubadas en 50 mL de medio de cultivo preparado con el fertilizante Poly-Feed™.

Los valores de los parámetros de crecimiento del microalga bajo estudio pueden observarse en la Tabla 2. La tasa de crecimiento específica ( $\mu$ ) de la microalga fue de 0.63 día<sup>-1</sup> equivalente a 0.026 h<sup>-1</sup> (Tabla 2). La tasa de crecimiento específica es una medida del número de generaciones que ocurren por unidad de tiempo durante el crecimiento exponencial de un microorganismo, en este caso ocurrieron 0.63 generaciones la microalga cada día. La velocidad de crecimiento de la microalga, durante la fase exponencial, fue de 12,018,333 células mL<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> equivalente a 500,763 células mL<sup>-1</sup> hora<sup>-1</sup> (Tabla 2). La velocidad

de crecimiento indica el cambio en el número de células de un microorganismo por unidad de tiempo, para el caso de la microalga analizada significa que se produjeron doce millones de células por mililitro cada día, durante la fase exponencial, un número elevado debido a que en esta fase de crecimiento la microalga ya se había adaptado al medio de cultivo y a las condiciones de incubación, por lo que estaba fisiológicamente activa sintetizando los componentes estructurales de las células (Martinko et al., 2004). El tiempo de duplicación (TD) de la microalga fue de 1.10 días y el número de generaciones durante

la fase exponencial fue de 4.56 (Tabla 2). Durante el ciclo de la división celular se duplican todos los componentes estructurales de una célula y el intervalo para la formación de dos células a partir de una se denomina tiempo de duplicación, durante este periodo también se duplica la masa celular. El número de generaciones de un microorganismo durante el crecimiento exponencial es inversamente proporcional al tiempo de duplicación, es decir, cuanto menor sea el tiempo de duplicación, mayor será el número de generaciones en esa fase de crecimiento y viceversa (Martinko et al., 2004).

Tabla 2. Parámetros de crecimiento de la microalga más abundante de las zonas 4 y 5 de la laguna “Pampa el Cabildo”, cultivada con el fertilizante inorgánico Poly-Feed™.

Tasa de crecimiento específica ( $\mu$ )		Velocidad de crecimiento		Tiempo de duplicación (TD)		Número de generaciones (n)
0.63 día <sup>-1</sup>	0.026 hora <sup>-1</sup>	12,018,333 células mL <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	500,763 células mL <sup>-1</sup> hora <sup>-1</sup>	1.10 días	26.33 horas	4.56

Los parámetros de crecimiento varían entre cepas y/o especies de microorganismos y dependen, también, del medio de cultivo y de las condiciones de incubación. Por ejemplo, los valores de  $\mu$  (0.63 día<sup>-1</sup>) y del TD (1.10 días) de la presente microalga fueron similares a los reportados para *Chlorella peruviana* ( $\mu = 0.61$  día<sup>-1</sup> y TD = 1.14 días), cultivada con el medio de cultivo estándar F/2 (Mariano Astacondor et al., 2017). Sin embargo, la microalga bajo estudio tuvo mayor tasa de crecimiento específica y menor tiempo de duplicación, comparado con *Chlorella zofingiensis* con una  $\mu$  de 0.49 día<sup>-1</sup> y un TD de 1.41 días (Zhu et al., 2013); *Scenedesmus obliquus* con una  $\mu = 0.21$  día<sup>-1</sup> (Qi et al., 2018); *Dunaliella* sp. ( $\mu = 0.19$  día<sup>-1</sup> y TD = 3.21 días), *Nannochloropsis* sp. ( $\mu = 0.15$  día<sup>-1</sup> y TD = 4.13 días) y *Tetraselmis* sp. ( $\mu = 0.29$  día<sup>-1</sup> y TD = 5.83 días) (Sacristán de Alva et al., 2018) así como a la de *Scenedesmus* sp. con  $\mu = 0.22$  día<sup>-1</sup> (N. Kumar et al., 2021); en los dos primeros reportes las microalgas fueron cultivadas con el medio de cultivo estándar BG11, en el tercero con agua residual sintética y en el cuarto con el medio de cultivo estándar Tris-Acetato-Fosfato. Mientras que para *Chlorella sorokiniana*, cultivada con el medio de cultivo estándar BG11, se ha reportado una  $\mu$  mayor (0.713 día<sup>-1</sup>) a la de la presente microalga (Chen et al., 2018). Conocer las fases y los parámetros de crecimiento de un microorganismo resulta útil para optimizar las condiciones de cultivo, para evaluar el efecto del medio de cultivo y de las condiciones de incubación sobre su crecimiento, así como para comparar el crecimiento de diferentes organismos en un mismo medio y condiciones de incubación. En el caso particular de las microalgas, se ha demostrado que durante la fase estacionaria sintetizan biomoléculas de interés comercial, particularmente, lípidos, pigmentos, carbohidratos y compuestos con diferente

actividad biológica (Sacristán de Alva et al., 2018). Por otra parte, las microalgas candidatas para su aprovechamiento biotecnológico ya sea como alimento vivo, producción de biomasa o de metabolitos de interés comercial deben tener características deseables de crecimiento como lo son un corto tiempo de duplicación y altas tasas y velocidades de crecimiento (Salama et al., 2017). Es importante que las microalgas alcancen la fase estacionaria en poco tiempo con una alta concentración celular (células mL<sup>-1</sup>) ya que entre mayor sea el número de células, mayor será la producción de biomasa y, por lo tanto, se podrá obtener una mayor cantidad de biomolécula por cada lote de cultivo (Aslan & Kapdan, 2006). En este sentido, la microalga aislada de la laguna “Pampa el Cabildo”, reportada en el presente trabajo tiene parámetros de crecimiento igual o mayores a los reportados para muchas especies de microalgas que son una referencia mundial debido a que han sido ampliamente estudiadas durante muchos años. Por otra parte, el fertilizante evaluado en la presente investigación es adecuado para el cultivo de esta microalga ya que su crecimiento fue igual o mayor a los reportados con medios de cultivo estándar para microalgas tales como el Tris-Acetato-Fosfato, el BG11 y el F/2. Por lo tanto, la microalga aislada en la laguna PEC tiene las características de crecimiento deseables para su caracterización a futuro, utilizando el mismo fertilizante inorgánico Poly-Feed™, en aspectos como el contenido nutricional para su uso como alimento vivo en la acuicultura, la eficiencia en la remoción de nutrientes de aguas residuales, la captura de carbono, así como el contenido de lípidos y de metabolitos bioactivos de interés biotecnológico.

## Conclusión

La microalga aislada de la laguna “Pampa el Cabildo” tiene parámetros de crecimiento competitivos para la producción en masa, ya que su tiempo de duplicación es corto mientras que su velocidad y tasa de crecimiento específica son altas, lo cual le permite alcanzar una alta concentración celular en poco tiempo, comparado con otras microalgas de su misma clase. El fertilizante inorgánico Poly-Feed™, adicionado con CH<sub>3</sub>COOH como fuente de carbono, es adecuado para el cultivo de la microalga reportada en el presente estudio ya que le permitió alcanzar valores de sus parámetros de crecimiento iguales o mayores comparado con otras microalgas cultivadas con medios de cultivo estándar de alta pureza y de efectividad probada. El fertilizante inorgánico Bayfolan® resultó inadecuado para el cultivo de la microalga aquí reportada.

## Bibliografía

- Aguilar-Trujillo, A. C., Okolodkov, Y. B., Merino-Virgilillo, I., Osorio-Moreno, J., & Herrera-Silveira, J. (2014). Variación espacial de dinoflagelados bentónicos/epifíticos en aguas costeras del norte de Yucatán (agosto de 2011). En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. Benítez y G. Gold-Bouchot (Eds). Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, January 2015, 147-159.
- Apandi, N. M., Mohamed, R. M. S. R., Al-Gheethi, A., & Kassim, A. H. M. (2019). Microalgal biomass production through phycoremediation of fresh market wastewater and potential applications as aquaculture feeds. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(4), 3226-3242. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3937-3>
- Aslan, S., & Kapdan, I. K. (2006). Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological Engineering*, 28(1), 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.04.003>
- Chen, X., Li, Z., He, N., Zheng, Y., Li, H., Wang, H., Wang, Y., Lu, Y., Li, Q., & Peng, Y. (2018). Nitrogen and phosphorus removal from anaerobically digested wastewater by microalgae cultured in a novel membrane photobioreactor. *Biotechnology for Biofuels*, 11(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1190-0>
- Chia, W. Y., Kok, H., Chew, K. W., Low, S. S., & Show, P. L. (2021). Can algae contribute to the war with Covid-19? *Bioengineered*, 12(1), 1226-1237. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1910432>
- Contreras-Pool, P. Y., Peraza-Echeverría, S., Ku-González, Á. F., & Herrera-Valencia, V. A. (2016). The phytohormone abscisic acid increases triacylglycerol content in the green microalga *Chlorella saccharophila* (Chlorophyta). *Algae*, 31(3), 267-276.
- Harris, E. H. (1989). *The Chlamydomonas sourcebook: a comprehensive guide to biology and laboratory use*. Academic Press.
- Herrera-Valencia, V. A., Contreras-Pool, P. Y., López-Adrián, S. J., Peraza-Echeverría, S., & Barahona-Pérez, L. F. (2011). The Green Microalga *Chlorella saccharophila* as a Suitable Source of Oil for Biodiesel Production. *Current Microbiology*, 63(2), 151-157. <https://doi.org/10.1007/s00284-011-9956-7>
- Kumar, A., & Bera, S. (2020). Revisiting nitrogen utilization in algae: A review on the process of regulation and assimilation. *Bioresource Technology Reports*, 12(October), 100584. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100584>
- Kumar, N., Banerjee, C., & Jagadevan, S. (2021). Identification, characterization, and lipid profiling of microalgae *Scenedesmus* sp. NC1, isolated from coal mine effluent with potential for biofuel production. *Biotechnology Reports*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00621>
- Liang, M. H., Wang, L., Wang, Q., Zhu, J., & Jiang, J. G. (2019). High-value bioproducts from microalgae: Strategies and progress. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(15), 2423-2441. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1455030>
- López-Rosales, A. R., Ancona-Canché, K., Chavarria-Hernandez, J. C., Barahona-Pérez, F., Toledano-Thompson, T., Garduño-Solórzano, G., López-Adrián, S., Canto-Canché, B., Polanco-Lugo, E., & Valdez-Ojeda, R. (2019). Fatty acids, hydrocarbons and terpenes of nanochloropsis and nanochloris isolates with potential for biofuel production. *Energies*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/en12010130>
- Mariano Astacondor, M., Mayta Huatucó, E., Montoya Terreros, H., & Tarazona Delgado, R. (2017). Crecimiento Poblacional y Productividad de la Microalga Nativa *Chlorella peruviana* bajo Diferentes Salinidades. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 28(4), 976-986. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i4.13004>
- Martinko, J. M., Madigan, M. T., & Parker, J. (2004). Brock, biología de los microorganismos. (p. 1011).
- Mitra, M., Nguyen, K. M. A. K., Box, T. W., Gilpin, J. S., Hamby, S. R., Berry, T. L., & Duckett, E. H. (2020). Isolation and characterization of a novel bacterial strain from a Tris-Acetate-Phosphate agar medium plate of the green micro-alga *Chlamydomonas reinhardtii* that can utilize common environmental pollutants as a carbon source. *F1000Research*, 9. <https://doi.org/10.12688/f1000research.24680.1>
- Mobin, S. M. A., Chowdhury, H., & Alam, F. (2019). Commercially important bioproducts from microalgae and their current applications-A review. *Energy Procedia*, 160(2018), 752-760. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.183>
- Molazadeh, M., Ahmadzadeh, H., Pourianfar, H. R., Lyon, S., & Rampelotto, P. H. (2019). The use of microalgae for coupling wastewater treatment with CO2 biofixation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7(MAR). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00042>
- Muciño-Márquez, R. E., Figueroa-Torres, M. G., & Aguirre-León, A. (2015). Cianofitas de los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, adyacentes a la Laguna de Términos, Campeche, México. *Polibotánica*, 0(39), 49-78. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.39.3>
- Ochoa, E. P. (2003). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). 7(1999), 1-17.
- Okolodkov, Y. B., & Pérez Blanco, R. (2011). Diversidad de microalgas marinas y de aguas salobres. *La Biodiversidad En Veracruz Estudio de Estado*, May 2011, 59-69.
- Qi, F., Wu, D., Mu, R., Zhang, S., & Xu, X. (2018). Characterization of a Microalgal UV Mutant for CO2 Biofixation and Biomass Production. *BioMed Research International*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4375170>
- Qin, L., Wang, Z., Sun, Y., Shu, Q., Feng, P., Zhu, L., Xu, J., & Yuan, Z. (2016). Microalgae consortia cultivation in dairy wastewater to improve the potential of nutrient removal and biodiesel feedstock production. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(9), 8379-8387. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-6004-3>
- Sacristán de Alva, M., Luna Pabello, V. M., Orta Ledesma, M. T., & Cruz Gómez, M. J. (2018). Carbon, nitrogen, and phosphorus removal, and lipid production by three saline microalgae grown in synthetic wastewater irradiated with different photon fluxes. *Algal Research*, 34(February), 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.07.006>
- Salama, E. S., Kurade, M. B., Abou-Shanab, R. A. I., El-Dalatony, M. M., Yang, I. S., Min, B., & Jeon, B. H. (2017). Recent progress in microalgal biomass production coupled with wastewater treatment for biofuel generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(November), 1189-1211. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.091>
- Shanmugam, S., Mathimani, T., Anto, S., Sudhakar, M. P., Kumar, S. S., & Pugazhendhi, A. (2020). Cell density, Lipidomic profile, and fatty acid characterization as selection criteria in bioprospecting of microalgae and cyanobacterium for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 304(February), 123061. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123061>
- Soria García, J. M., & Sahuquillo Llinares, M. (2009). 1150 Lagunas Costeras. In *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*.
- Tang, D. Y. Y., Khoo, K. S., Chew, K. W., Tao, Y., Ho, S. H., & Show, P. L. (2020). Potential utilization of bioproducts from microalgae for the quality enhancement of natural products. *Bioresource Technology*, 304(January), 122997. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122997>
- Teco-Bravo, J. I., Barahona-Pérez, L. F., Peraza-Echeverría, S., Baas-Espínola, F. M., Reyes-Sosa, C. F., & Herrera-Valencia, V. A. (2021). Lipid profiles of acid-tolerant mutants of the green microalga *Chlorella saccharophila* reveal hydrocarbons and high-value lipids with potential industrial applications. *Bioresource Technology Reports*, 13(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100636>
- Teco-Bravo, J. I., Barahona-Pérez, L. F., Reyes-Sosa, C. F., Ku-González, Á. F., Herrera-Valencia, V. A., & Peraza-Echeverría, S. (2019). Enhanced production of triacylglycerols and polyunsaturated fatty acids in novel acid-tolerant mutants of the green microalga *Chlorella saccharophila*. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s00449-019-02153-2>
- Tejido-Nuñez, Y., Aymerich, E., Sancho, L., & Refardt, D. (2020). Co-cultivation of microalgae in aquaculture water: Interactions, growth and nutrient removal efficiency at laboratory- and pilot-scale. *Algal Research*, 49(May), 101940. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101940>
- Wan Affudeen, C. L., Teh, K. Y., & Cha, T. S. (2021). Bioprospecting of microalgae metabolites against cytokine storm syndrome during COVID-19. *Molecular Biology Reports*, November. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06903-y>
- Zhu, L., Wang, Z., Shu, Q., Takala, J., Hiltunen, E., Feng, P., & Yuan, Z. (2013). Nutrient removal and biodiesel production by integration of freshwater algae cultivation with piggery wastewater treatment. *Water Research*, 47(13), 4294-4302. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.004>

# Movilidad múltiple y salud en el territorio de la subcuenca transfronteriza del río grande (guatemala-méxico)

**Ms. C Griselda López Rivas (1) y Dr. Benito Salvatierra Izaba (2)**

(1) Estudiante de Doctorado en Ciencias en Ecología y Desarrollo Rural, (2) Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel II. Investigador titular "C" con definitividad y Coordinador del Departamento de Salud en El Colegio de la Frontera Sur.

# Resumen

Los motivos de la movilidad humana son múltiples van desde los más estudiados que remiten a cuestiones recreativas, laborales, políticas y por reivindicaciones territoriales, hasta los que tienen menos miradas académicas puestas sobre ellos, como el caso de las movi­lidades que se generan por atención a la salud. Dentro de este espectro hay una variedad de contextos, situaciones y rutas que hacen de la movilidad humana un proceso complejo en la cuenca transfronteriza del Río Grande de Comitán (Guatemala-México). Se analiza cualitativamente la forma en que los tipos de movilidad por razones sanitarias en la parte alta, media y baja de la cuenca configuran ciertas maneras tradicionales y emergentes de habitar el territorio, mismas que se circunscriben a una frontera político administrativa cuya naturaleza marca pautas culturales, económicas y políticas en la cotidianidad de las relaciones transfronterizas.

## Abstract

The reasons for human mobility are multiple, ranging from the most studied that refer to recreational, labor, political and territorial claims, to those that have fewer academic views placed on them, such as the case of mobilities that are generated by attention to health. Within this spectrum there are a variety of contexts, situations and routes that make human mobility a complex process in the transboundary basin of the Rio Grande of Comitán (Guatemala-Mexico). A qualitative analysis is made of the way in which the types of mobility for health reasons in the upper, middle and lower part of the basin, configure certain traditional and emerging ways of inhabiting the territory, which are limited to a political-administrative border whose nature sets guidelines cultural, economic and political in the daily life of cross-border relations.

### Palabras claves

*Movilidad humana, salud, cuenca transfronteriza del Río Grande de Comitán, territorio, frontera.*

### Key words

*Human mobility, health, transboundary basin of the Rio Grande of Comitán, territory, border.*

# Introducción

Centroamérica es una región especialmente marcada por las dinámicas fronterizas, a lo largo de sus 523 160 km<sup>2</sup>, coexisten siete estados que comparten alrededor de 3 455 km de fronteras (Matul, 2007: 77). Cada una de ellas tiene características y dinámicas particulares, sin embargo, se dividen política y administrativamente en dos grandes tipos, las fronteras terrestres e hídricas. En esta región hay 23 cuencas compartidas que cubren un 36.9% del territorio centroamericano (GWP, 2013), de ellas 6 continuums naturales denominados cuencas hidrográficas se encuentran en la frontera sur de México, entre México-Guatemala se comparten 4 cuencas (Suchiate, Coatán, Grijalva y Candelaria), y, entre México-Guatemala-Belice existen 2 la denominada del Río Hondo y la del Usumacinta, de esta última se desprende la subcuenca transfronteriza del Río Grande de Comitán cuyo interés nos convoca en este trabajo.

A pesar de tratarse de un solo espacio físico geográfico e hidrológico “el interés por las cuencas transfronterizas generalmente se acaba hasta la línea divisoria de los Estados nación... Es decir, los Estados tienden a considerar únicamente el territorio de la cuenca que se encuentra bajo su soberanía” (Kauffer y García, 2011:136). Tradicionalmente en las hidrofronteras, la rigidez de la frontera política contrasta con la fluidez de las aguas y las profundas interacciones locales transfronterizas asociadas a distintos factores socioculturales (Kauffer, 2017), territoriales, económicos-laborales-productivos y particularmente sanitarios, que históricamente han promovido el dinamismo y la movilidad humana en la frontera entre Guatemala-México y que es objeto de nuestro interés.

Aunque las cuencas hidrológicas han sido ampliamente estudiadas con especial interés debido al papel crucial que desempeñan

en el equilibrio ecológico regional (Ramakrishna, 1997), es importante también enfatizar en las diversas problemáticas que actualmente atañen a estos espacios y la complejidad que se acrecienta cuando de territorios transfronterizos se trata. Los procesos sociales, culturales, económicos, comerciales y sanitarios que se dan en las cuencas transfronterizas a nivel global han sido poco estudiados, los trabajos realizados se han enfocado mayoritariamente en su delimitación y cauce. Este hecho abre una posibilidad de análisis para ver el espacio físico de la cuenca como un solo territorio delimitado por sus características geográficas y topográficas, mediadas por una frontera político-administrativa, pero con relaciones transfronterizas permanentes.

En este trabajo se aborda justamente el espacio físico de la subcuenca del Río Grande de Comitán como uno solo, en el que coexisten muchas formas de habitar el territorio, donde confluyen relaciones sociales históricas entre la parte norte de Guatemala y el sur de México, mismas que se han ido renovando y transformando con el paso del tiempo, además, han conducido a formas particulares de habitar y posicionarse en el territorio. Particularmente para fines del presente trabajo interesa hacer énfasis en aquellas movi­lidades que son promovidas por cuestiones sanitarias en el interior de la cuenca, el propósito es analizar en etapas posteriores de la investigación los retos actuales para alcanzar la justicia social en materia de salud.

## Marco teórico

Con el ánimo efervescente de avanzar en las pretensiones de consolidación del nacionalismo identitario y las políticas de seguridad nacional, se firmó en 1882 el Tratado de Límites entre México y Guatemala. Esto significó la irrupción en la continuidad

territorial de los pueblos que ancestralmente habitaban estos espacios ahora fragmentados por la instauración de la línea fronteriza (Limón, 2009). La acotación es relevante dado que a partir de la delimitación de los Estado nación se gestan dinámicas que recurren a la categorización desde el límite, y de lo que va más allá, lo transfronterizo. De este modo, se entretienen una serie de relaciones sociales, culturales, comerciales, políticas y sanitarias en un espacio de movilidad continua que permite no solo mantener comunicación/contacto entre quienes habitan ambos lados de la frontera, sino también refrendar, revitalizar y hacer vigentes sus culturas, y con ello las formas de habitar el territorio.

La importancia del territorio ha tomado cada vez más potencia para explicar procesos de tipo político, socioeconómico, cultural, epidemiológico y sanitario. Según Castillo entre las diversas escuelas de estudiosos sobre territorio (anglosajonas, francófonas, brasileñas, entre otras) destaca la postura de Haesbaert, geógrafo brasileño quien clasificó las miradas sobre el territorio en “diversas escalas y en marcos de relaciones de poder desiguales con el Estado nación y otros actores sociales, el concepto de territorio da cuenta de procesos de apropiación y disputa del espacio entre diversos grupos sociales e instituciones, y en contextos de carácter político y económico” (2020:1), así también como aquellos que están bajo el cobijo de ciertos estatutos jurídicos, como el caso de las cuencas, se habitan como un continuum, sin embargo, en el mismo espacio existen territorialidades superpuestas, en términos estrictos de Haesbaert (2011) multiterritorialidades, es decir, las múltiples formas de habitar el mismo territorio que además se inscriben en diversas lógicas de poder.

Para abrir paso al tema de la movilidad humana es importante referir que las personas que llegaron a la cuenca provenientes de otros sitios primero tuvieron que desterritorializarse (en grados diferenciados, según sea el caso) de su lugar de origen, para poder reterritorializar en alguna parte de la cuenca. Las diversas formas de territorializar el mismo espacio tienen causas, orígenes o motivaciones distintas, lo cual se traduce en la especificidad que nos ocupa. La cuenca con sus diversas formas de apropiación, tensión y disputa es vista como un hidro-territorio vital que está habitado por múltiples formas de territorialización del espacio, para el caso de nuestro interés, por aquellas formas que son promovidas por motivos de acceso a los servicios de salud tanto al interior de los países como por las movilidades transfronterizas.

Existe una amplia lista de tipos en movilidades en las sociedades contemporáneas como las migraciones, el turismo, por cuestiones profesionales-académicas, virtuales, movilidades forzadas y aquellas por reivindicaciones territoriales (Augé, 2007). Además, un tipo de movilidad que ha sido cada vez más frecuente es aquella que se origina por motivos de salud y que tiene implicaciones en la planeación de la movilidad, la disposición de recursos económicos para gestionar el viaje, la complejidad de la interacción sociocultural en el lugar de destino, que para las personas es un reto poder accionar con los recursos que están bajo su control y orientarlos a un bienestar cuyo fin busca conducir a una buena salud.

La Organización Internacional para las Migraciones (OIM) define la movilidad humana como la movilización de las personas que van de un lugar a otro; sin embargo, esta definición es muy reduccionista, ya que se omiten las relaciones de poder, los factores coercitivos y la falta de libertades inscritas en el alma de las

movilizaciones, las movilidades por salud justamente se dan por la falta de opciones para acceder a los servicios de salud que promuevan mejoras para su bienestar.

Según Arriola, el paradigma de la movilidad en este contexto fronterizo del sur mexicano consiste en el estudio del movimiento de personas e información en toda su complejidad, es decir, con las personas se mueven sus sentimientos, significados, ideologías, (2016), aspiraciones y deseos, así como las formas de ser y habitar en el territorio. Además, una forma particular que se inscribe en estas movilidades es la promovida por la búsqueda de la salud. Y en este sentido “la movilidad es entendida como algo corporal, nunca virtual” (King, 2012). Cabe destacar que para fines del presente artículo lo que interesa es la movilidad física, que establece ciertas pautas en el habitar del territorio. Por ello, no se hace énfasis en las eventualidades de la telemedicina, lo que tiene implicaciones en la movilidad virtual con fines sanitarios, tampoco se repara en algunas interpretaciones culturales de la medicina que refieren a la celebración de ceremonias y rituales ofrecidas a una persona enferma que no está presente físicamente, sino que se encuentra del otro lado de la frontera. No se descarta retomar la movilidad virtual en la posteridad para fines complementarios de la investigación.

Así entendida, “la movilidad humana es un componente esencial de la vida, un medio valioso. Pero también es, en sí, un fin valioso en el campo de la existencia y de la actividad privada de cada individuo” (Peña & Ausín, 2015:15). Supone a la vez un elemento fundamental de la vida colectiva, sin embargo, encierra una trampa epistémica, al menos desde el campo de la salud, dado que no hay una libertad prístina, si es que esta fuera posible, la movilidad está preconcebida como una carencia de opciones dentro del mismo territorio en el que se habita y en consecuencia

surge la necesidad de movilizarse. La destreza para emprender la movilidad por motivos sanitarios podría calificarse como positiva en la medida en que contribuya a la articulación de conocimientos y habilidades para la búsqueda de una buena salud; sin embargo, esto no ocurre así en todos los casos. Dichos flujos en la región “se caracterizan por nuevos factores causales, las distintas modalidades, y particularmente, por las dinámicas transfronterizas que se vienen generando” (Bedoya, 2020:13). Entre estas emergentes causas que propician la movilidad están las que se llevan a cabo por razones de salud como respuesta a la falta de opciones para resolver efectivamente los problemas de salud que se presentan entre las comunidades de la Cuenca del Río Grande de Comitán, pero también cabe señalar que esta región representa una posibilidad viable para inmigrantes quienes han llegado de Guatemala a la parte media de la cuenca y que han generado interacciones de tipo sanitaria, así como un vínculo sociocultural y territorial que se ha fortalecido, generando migración e inmigración por motivos sanitarios en la Cuenca.

La movilidad múltiple tiene que ver desde esta óptica con la ruta multidireccional que se trazan los individuos para la atención sanitaria: la interacción entre la cuenca alta-media-baja, la relación con municipios vecinos, al interior de los países y los vínculos transfronterizos entre Guatemala y México. Estos tipos de interacción que se establecieron por causas de salud han permitido renovar las formas de habitar este territorio transfronterizo.

En el siguiente apartado se analizará brevemente la movilidad múltiple por motivos sanitarios que ha promovido en algunas partes de la cuenca particulares formas particulares de habitar el territorio, la información fue obtenida durante el trabajo de campo intermitente realizado durante el presente año 2021 las partes alta, media y baja de la Cuenca del Río Grande de Comitán, en México, además de una comunidad de la cuenca baja en Guatemala.

## Procedimiento metodológico

Los primeros recorridos a lo largo de la cuenca se realizaron con el objetivo de identificar las principales dinámicas, sociales, culturales y sanitarias que se generan en cada una de las partes de la cuenca, así como la presentación del proyecto y el visto bueno de las autoridades sobre nuestra presencia en sus comunidades. Posteriormente se seleccionaron cuatro comunidades, cada una de ellas son representativas de la parte de la cuenca en la que se encuentran. Estas son: Juznajib (cuenca alta) y El Prado (cuenca media) pertenecientes al municipio de Comitán de Domínguez, la localidad de El Triunfo (cuenca media) adscrita al municipio de La Independencia y Tziscão (cuenca baja) en La Trinitaria, todas del Estado de Chiapas. Finalmente, la comunidad de El Quetzal (cuenca baja) en el departamento de Huehuetenango, Guatemala.

Uno de los instrumentos de investigación que dan sustento al presente es la entrevista semiestructurada, por ser recursos que “presentan un grado mayor de flexibilidad...debido a que parten de preguntas planeadas, que pueden ajustarse a los entrevistados. Su ventaja es la posibilidad de adaptarse a los sujetos” (Díaz, Torruco, Martínez & Varela, 2013:163). Con este tipo de entrevista se amplían las posibilidades para aclarar términos ciertos términos a las personas que nos ofrecen su palabra, se pueden identificar ambigüedades en la interlocución y se han podido reducir formalismos. El diálogo más estrecho y menos estructurado ha posibilitado recabar información de calidad para poder caracterizar los tipos de movilidades y las rutas emprendidas, así como los impactos en las formas de habitar el territorio.

La información se ha obtenido de repetidas visitas realizadas a cada una de las comunidades durante todo el año 2021 y en las que se han

identificado personas clave quienes nos han compartido su experiencia en las rutas de movilidad que han emprendido ante una situación de salud personal o familiar. Así como las implicaciones que este tipo de movilidades han tenido para la dinámica de la vida comunitaria ante la experiencia de expulsión y acogida de nuevos miembros a la comunidad, quienes se han apropiado y modificado estos espacios trayendo consigo nuevas formas de habitar el territorio.

En el proceso de sistematización y análisis de la información se han identificado las rutas de movilidad múltiple que se establecen en cada una de las partes de la cuenca (alta-media-baja), las características que implican la planeación familiar y económica, las dificultades a las que se enfrentan durante el trayecto, así como los nuevos procesos de articulación territorial entre los habitantes de la cuenca y quienes recientemente han llegado a reterritorializar estos espacios. En este artículo se analiza una parte de la información obtenida desde el enfoque cualitativo, posteriormente podrá vincularse con la etapa en que se obtendrán datos cuantitativos.

## Resultados Tipos de movilidad

En la Cuenca Transfronteriza del Río Grande de Comitán se identificaron principalmente tres tipos de movilidad: primero, aquella que se lleva a cabo de manera inter regional (hacia municipios contiguos o cercanos dentro de los mismos Estados); segundo, nacional (dentro de las mismas naciones con ruta a diferentes estados o departamentos); y, el tercero, transfronterizo, que consiste en el cruce del límite político administrativo. Estos tipos de movilidad se realizan por motivos sanitarios y en cada una de las trayectorias existen implicaciones diferenciadas en la forma de habitar el territorio (ver diagrama 1). Las cuales son articuladas con

las prácticas culturales que se mueven junto a los individuos y que se depositan en los territorios de llegada, sin embargo, existen otras que trastocan e irrumpen en la cotidianidad de los habitantes de la cuenca, es entonces que las formas disruptivas de habitar el territorio entran en diálogo o tensión y van haciéndose camino para legitimarse entre los lugareños.



Los casos más emblemáticos de la tensión que se genera en el proceso de re territorialización entre las personas que recientemente han llegado a habitar la cuenca y los pobladores nativos tiene que ver con ciertas actividades económicas (cantinas, bares y servicios sexuales comerciales), culturales (estigmatización de personas extranjeras provenientes principalmente de Honduras), políticas (confrontación entre grupos locales en algunas comunidades de acogida), y finalmente los conflictos por la ampliación de la frontera agrícola, durante los últimos años se ha intensificado el cultivo de tomate, por demás conocido y estudiado dado el efecto que en la huella ecológica ha dejado, empero, desde las comunidades existe una disyuntiva entre la defensa del territorio y la precariedad laboral, lo cual hace factible la continuidad de dicho cultivo.

## Cuenca Alta

La comunidad de Juznajab se localiza en la parte sur del municipio de Comitán de Domínguez, a una longitud 16° 23' 15.0", a una latitud -92° 06' 19.0" y a una altitud de 1,840 metros sobre el nivel del mar (INEGI), se ubica en la parte Alta de la Cuenca del Río Grande de Comitán, comparte características con otras cuencas altas de otras regiones, como son las de una mayor conservación, compromiso comunitario con los sistemas de reforestación continua, cuidado y manejo adecuado del agua, mayor cohesión social y el vínculo territorial que se estrecha con la percepción del entorno como seres

integradores de la vida comunitaria. Se observa una apropiación del territorio más armoniosa y respetuosa con los seres de la naturaleza (recursos naturales). El vínculo con el territorio es más conservador que en las otras partes de la misma cuenca. Por consenso comunitario en la comunidad Juznajab se prohíbe la venta de tierras a personas ajenas a la comunidad y se niega la vecindad a personas extranjeras o foráneas. Por ello su territorio no se ve intervenido por emigrantes internacionales cuya llegada haya sido por causa de atención sanitaria. Sin embargo, ellos si

deben movilizar cuando se trata de algún tema de salud que no puede resolverse al interior de la comunidad. Según datos del Censo de Población y Vivienda 2020 en la comunidad hay un total de 1,016 habitantes y de estos el 53.64% se encuentran en un rango de edad productiva, pero a la vez, son quienes más retos de movilidad presentan cuando se trata de atención de algún padecimiento que requiera algún servicio médico de primer nivel ya que muy pocos cuentan con afiliación a algún tipo de seguridad social (ver gráfica 1), tan solo el 3.05% de la población total es derechohabiente del Seguro Social.



La comunidad está tipificada por las instituciones gubernamentales como de alto grado de marginación, además de la ausencia de servicios básicos de saneamiento como drenaje y recolección de basura, hay acceso limitado a transporte público y a las tecnologías de la comunicación, este hecho dificulta aún más la movilidad en esta zona, también indica la ausencia de opciones valiosas para la atención

médica en la parte alta de la cuenca; la ruta de movilidad múltiple promovida por la necesidad de atención médica se vive entre más elementos adversos que pueden postergar la recuperación de la salud. El señor Pedro lo expresa con las siguientes palabras, respecto a una experiencia reciente con un familiar enfermo:

“Cuando mi mamá se enfermó, le dio cáncer. Aquí no hay quien lo atienda. En la clínica hay dos enfermeras; ellas son las que están ahí; pero ni hay medicinas. A veces viene un doctor pero solo da la receta y uno tiene que comprarlo aparte. Por eso ay [ahí] nos fuimos a Comitán... Pero ahí los doctores nos dijeron que nos fuéramos a Tapachula porque ellos no podían hacer nada. Cuando llegamos allá, estábamos muy desorientados, no conocíamos, no llevábamos dinero. Estábamos en un rincón comiendo tortilla pura, con mi mamá ahí enferma, cuando se nos acercó un señor y me dio mil quinientos pesos, me dijo que como él ya se iba, que [como a] su familiar ya le dieron de alta pues a mí me iba a servir más el dinero... Aunque nos tuvimos que ir allá mi mamá falleció y pues de nada sirvió...”

Este testimonio que se obtuvo en la cuenca alta es muy similar a otros tantos de la misma comunidad en donde para movilizarse hasta la ciudad de Tapachula en donde se encuentra el hospital de alta especialidad más cercano en el Estado de Chiapas y hacia donde el trayecto puede implicar hasta 12 horas en transporte público. También se obtuvieron testimonios de personas que han establecido relaciones transfronterizas de carácter sanitario con el vecino país de Guatemala. Las personas de la cuenca alta son quienes más alejadas se encuentran de la capital centroamericana y quienes se enfrentan a más retos en cuanto a los múltiples tipos de movilidad con intereses sanitarios.

## Cuenca Media

Una comunidad representativa de esta parte de la cuenca es El Prado, se encuentra en las periferias de la cabecera municipal de la ciudad de Comitán de Domínguez, a una longitud de 16° 11' 59.3", latitud -92° 01' 6.2" y a una altitud de 1,544 metros sobre el nivel del mar. Su población total es de 496 habitantes (INEGI, 2010; 2015; 2020). Una de las principales

actividades productivas entre sus pobladores está asociada a la siembra de tomate rojo, factor que frecuentemente se ha asociado entre los mismos pobladores como determinante de ciertos padecimientos que han proliferado y evidentemente son causa de la movilidad promovida por la necesidad de atención médica.

En la parte media de la cuenca es en donde la exposición a contaminantes medioambientales se incrementa considerablemente, los factores que incrementan la contaminación están asociados con el hecho de que en esta parte de la cuenca se concentra el grueso de la población total, además de las prácticas productivas que se asocian al uso intensivo de agrotóxicos, estas condiciones dan características particulares a los tipos de movilidad y complejizan las rutas. La movilidad múltiple con fines sanitarios que se registró consiste en viajar a la ciudad de Comitán o a Tuxtla Gutiérrez (con médicos homeópatas y alopáticas) y eventualmente a Guatemala. Cabe destacar que se han identificado con mayor frecuencia la prevalencia de distintas experiencias a diversas partes de la misma región, municipios vecinos y algunos estados de la república.

Cuando nos enfermamos tenemos que ir a Comitán, porque aquí no hay nada, el centro de salud no sirve para nada. Luego vamos allá y tampoco encontramos solución tenemos que buscarle. Nosotros vamos a Tuxtla, ya tenemos nuestro médico allá que nos atiende... Hay gente también de nuestra comunidad que van a Guatemala a atenderse allá...”

La planeación de estas movilidades también se articulan con factores familiares, sociales, culturales, valoraciones identitarias (en algunos casos no es bien visto ir a Guatemala) que marcan la ruta para una atención sanitaria. Sin embargo, en esta región existe presencia de personas procedentes de países centroamericanos. A la comunidad de El Prado llegaron personas originarias de Guatemala, cuando lo hicieron la causa fue

por atenderse algún padecimiento de salud y finalmente decidieron asentarse ahí, con la previa autorización y aceptación de los residentes. Para ellos este proceso sí ha consistido en una mejora en las condiciones de vida con respecto a las que tenían en su país. Esa relativa libertad de moverse de un país a otro fortaleció sus capacidades para establecer una nueva vida en México, a decir de la comunidad y de ellos mismos.

“Cuando ellos llegaron se hizo un acuerdo con la comunidad que se les iba a dejar vivir aquí, porque los vimos que son gente que se porta bien, no hacen maldad, son trabajadores y eso es lo que se necesita para vivir bien, estar en acuerdo todos. Así fue que se quedaron y ya con el tiempo los señores compraron tierras aquí. Esas tierras las están trabajando, son productores de tomate y les va bien”.

La movilidad permite observar que un mismo contexto puede ser injusto, coartar libertades y limitar las capacidades individuales, sin embargo, para otras personas en condición de desventaja social aún mayor, estos espacios pueden consistir en nichos de oportunidades y le pueden atribuir valoraciones positivas y valiosas ya que les permite desarrollar sus capacidades y funcionalidades con mejores posibilidades, mejores opciones a las cuales se tiene acceso para vivir y sobre todo para mejorar su estándar de vida. Además, de alguna manera también están formando parte del territorio, apropiándose de éste y modificándolo.

“Aquí vinieron unas personas de Honduras. Al principio la gente se levantó y quisieron negarle que estuviera aquí, se juntó la gente y fueron a la casa donde estaban y les dijeron que se fueran, pero las autoridades dijeron que eso no se podía porque ellos ya habían comprado su casa... La gente se inconformó porque se estaban trayendo mujeres ahí y se dedicaban a la venta de alcohol, pero como la señora ya tenía su negocio fijo ahí

dejaron que se quedara”.

En este caso las nuevas dinámicas comerciales y sociales dan la pauta para nuevas formas de vivir y estar en el territorio, hay tensión y disputa por los espacios en que se expresan prácticas diferentes y/o adversas a lo que convencionalmente estaban acostumbrados los pobladores de esta comunidad. Mientras que en El Prado la acogida fue más armoniosa y se reconoce en los guatemaltecos un aporte valioso a la comunidad, en El Triunfo parece no ser de esta manera.

## Cuenca Baja

Lo transfronterizo se forja en la medida en que se establece una relación mediada por un límite político administrativo. La Sub Cuenca del Río Grande de Comitán trasciende los límites nacionales fronterizos tanto de Guatemala como de México. El espacio hidrogeográfico transfronterizo es la superficie sobre la cual se configura un entramado transfronterizo de relaciones sociales, culturales, políticas, epidemiológicas-sanitarias vinculadas al territorio como espacio vital que es más evidente en la cuenca baja.

Las comunidades que se seleccionaron fueron Tziscaco, la última comunidad mexicana de más de 1000 habitantes que colinda con el vecino país guatemalteco; y, El Quetzal, la comunidad más al norte de la parte guatemalteca de la cuenca, ambas son comunidades vecinas transfronterizas que mantienen continua relación en términos de salud comunitaria y cuyos habitantes en algún momento han cruzado los límites político administrativos para emprender una movilidad transfronteriza en busca de atención médica.

En la parte baja de la cuenca la movilidad transfronteriza es cotidiana aún más por las condiciones socioculturales y económicas históricas que han dado vigor a la región; sin embargo, estas movilidades se circunscriben al ámbito de lo “clandestino”, sobre todo para el caso de los

guatemaltecos que vienen a México por cuestiones de salud.

Nuestra informante en la comunidad de El Quetzal, Guatemala, explica las dificultades que enfrentan cuando tienen un problema de salud:

“Cuando tenemos la necesidad a veces vamos a Huehue [Huehuetenango] pero queda muy lejos de aquí, como a cinco o seis horas en bus. Por eso, a veces vamos a Comitán, nos queda como a una hora y media-dos horas de aquí... Pero ahí como nos ven que somos de Guatemala nos hacen de menos; tenemos que buscarle como hacerle. Una vez que fuimos tuvimos que prestar unos papeles con unas personas allá en Comitán, que ellos son de allá, para que pudiera entrar nuestro familiar al hospital materno, porque si no lo hacemos así no nos atienden o podemos estar horas o días esperando que nos hagan caso”

En esta región hay pocas posibilidades de hacer elecciones libres que contribuyan a mejorar la calidad de vida de las personas y que incida en su salud. Las condiciones de vulnerabilidad, injusticia y exclusión, son más agudas entre los guatemaltecos que se movilizan a México, por situaciones de rechazo, discriminación y estigma social. Aunque las estancias en México que nos reportaron en la comunidad de El Quetzal son por periodos cortos, cabe destacar la importancia del habitar el territorio en movimiento.

## Conclusiones

En las dificultades de la población del norte de Guatemala para el acceso a los servicios de salud intervienen relaciones de poder, intereses sociopolíticos, la lógica de mercado; todo circunscrito actualmente al limitado interés por la región, dado que hace tres décadas, las miradas nacionales e internacionales estaban sobre ella, fundamentalmente por la explosión de movimientos sociopolíticos en Centroamérica que dieron paso a la movilidad masiva de personas hacia estos territorios. A pesar de que la movilidad humana está sustentada en el ejercicio de la libre circulación, es importante detenerse en el análisis de esas libertades, ya que durante las

últimas décadas, las discusiones se han tornado en la causa primera que promueve la movilidad de las personas y parece haber cada vez más un mayor consenso en cuanto a que los factores que la alientan no son propiamente forjadores de libertades, sino elementos expulsivos que complejizan las movilidades. Las escalas en los tipos de movilidades podrían dar luces en la diferencia y desafíos a los que se enfrentan las personas que van de un lugar a otro para atenderse algún problema de salud, la que trabajamos en este artículo fue entre las partes de la cuenca, sin embargo, podría eventualmente contrastarse entre los niveles de ingreso, escolaridad y tipo de empleo.

Como hemos analizado, la movilidad

múltiple en las tres grandes partes de la cuenca (alta-media-baja) está circunscrita a una serie de factores como los culturales, políticos y económicos, mismos que determinan las formas de estar y habitar el territorio. Entre los procesos de desterritorialización y reterritorialización como relación dialéctica se configuran maneras particulares de territorializar los espacios mismas que se matizan con los elementos antes mencionados. Finalmente, los retos que enfrentan las personas cuando emprenden una ruta de movilidad por cuestiones sanitarias son grandes desafíos personales, familiares y que también frecuentemente tienen implicaciones comunitarias cuando las formas de habitar el territorio son modificadas o renovadas debido a las dinámicas de movilidad múltiple por motivos de salud.

## Referencias

- Augé, Marc. (2007). Por una antropología de la movilidad. México. 1ª Ed. GEDISA. Pp. 96.
- Arriola Vega, Luis Alfredo. (2016). Movilidad múltiple nacional e internacional de una población mexicano-guatemalteca. *LiminaR, Estudios Sociales y Humanísticos*. 14(2), julio-diciembre, pp. 131-149.
- Bedoya Bedoya, María Rocío. (2020). Desafíos del gobierno colombiano en materia de política migratoria: iniciativas ante la llegada masiva de migrantes venezolanos (2015-2019). En: *Movilidad humana en Latinoamérica: nuevos patrones, nuevos retos*. Eds. Pascual G. García Macías y José Salvador Cueto-Calderon. Transnational Press London. Pp. 11-28.
- Castillo, Guillermo (2020). El territorio como apropiación sociopolítica del espacio. Entre la desterritorialización y la multiterritorialidad. *Investigaciones geográficas*. Instituto de Geografía, UNAM. 1-13 p.
- Díaz, Bravo Laura. Uri, Torruco García. Mildred, Martínez Hernández. Margarita Varela Ruiz. (2013). La entrevista recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*. Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de México. 2(17). Pp. 162-167.
- Global Water Partnership. (2013). Situación de los recursos hídricos. Foro Gestión de Cuenkas Transfronterizas en Centroamérica. Guatemala. Disponible en: [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam\\_files/situacion-de-los-recursos-hidricos\\_fin.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/situacion-de-los-recursos-hidricos_fin.pdf)
- Haesbaert Rogerio (2011). El mito de la desterritorialización. Del “fin de los territorios” a la multiterritorialidad. México: Siglo XXI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Espacio y Datos de México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=070190067>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). México en cifras. Juznajib, Comitán de Domínguez Chiapas. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=07>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). México en cifras. El Prado, Comitán de Domínguez Chiapas. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=07>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Censo de población y vivienda.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Encuesta Intercensal.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Censo de población y vivienda.
- Kauffer Michel, Edith F. (2017). Entre rigidez política (hacia el conflicto) y fluidez hídrica (hacia la paz): Las fronteras de agua de México con Guatemala y Belice. *Revista de paz y conflictos*. 10 (1), pp. 61-86.
- Kauffer Michel, Edith y Antonio García García (2011) Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: Un acercamiento a su delimitación y problemática general. *Frontera Norte*. Vol. 23, núm. 45 enero-junio. Pp. 131-162
- King, Russell (2012). “Geography and Migration Studies: Retrospect and Prospect”. In: *Population, Space and Place*, 18(2), pp. 134-153.
- Limón Aguirre, Fernando (2009). Memoria chuj a contrapelo. Huellas de un pueblo con memoria. El Colegio de la Frontera Sur. México. 190p.
- Matul Daniel (2007). “Vecindad, cooperación y confianza mutua: una revisión”. *Revista Centroamericana de Ciencias Sociales*, Vol. IV, n°1:77-114. Costa Rica.
- Organización Internacional para las Migraciones (OIM). (2021). Nota de prensa. Disponible en: <https://mexico.iom.int/es/news>
- Peña, Lorenzo & Txetxu Ausin. (2015). Pasando fronteras: el valor de la movilidad humana. Plaza y Valdés. España. 300p.
- Ramakrishna, B. (1997) Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. San José, Costa Rica. Instituto Iberoamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 338p.



# Auto rehabilitador 3D de extremidades superiores

ARMexs V3.0

**Álvaro Hernández Sol (1), José Enrique Moreno Araujo (2), William Asís Raúl Ojeda Rodríguez (3), Luis Daniel López Cancino (4) y Luis Ángel Sánchez Pérez (5)**

- (1) *Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.*
- (2) *Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.*
- (3) *Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.*
- (4) *Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.*
- (5) *Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez.*

## Resumen

Se describe el diseño de un prototipo de rehabilitador de extremidades superiores aplicando Control Numérico Computarizado para dotarlo de ventajas técnicas que tienen efectos en la rehabilitación pasiva, como regulación de parámetros de fuerza, velocidad, intensidad y tipo de subrutina.

## Abstract

We describe the design of an upper rehab machine prototype applying Computer Numerical Control for giving it technical advantages that will have effect.

## Palabras claves

*Sistema electromecánico, control numérico computarizado, regulación de parámetros, rehabilitador pasivo de extremidades superiores.*

## Key words

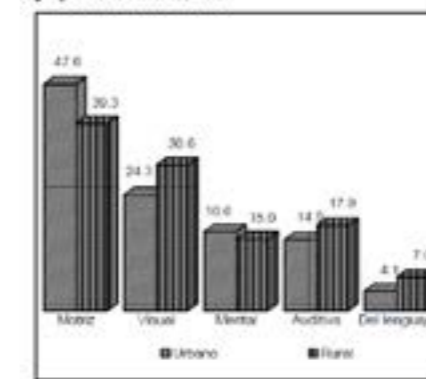
*Electromechanical system, computer numerical control, feature regulation, upper rehabilitation machine.*

## Introducción

La Discapacidad Motriz es una condición de vida que afecta el control y movimiento del cuerpo, la cual genera alteraciones en el desplazamiento, equilibrio y manipulación de las personas que la padecen, limitando su desarrollo íntegro.

De acuerdo con datos de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social y del Instituto Mexicano del Seguro Social sobre accidentes y enfermedades de trabajo, Cada año ocurren más de 400 mil accidentes laborales, de los cuales alrededor de una tercera parte 149 mil, afectan a extremidades superiores, incluyendo la muñeca y la mano. Todas aquellas personas involucradas en un siniestro de este tipo requieren de un terapeuta, un dispositivo y un tratamiento motriz. (Chong Jesús, 2016).

Un 39.3% de la población que cuenta una discapacidad motriz vive en un entorno rural de los cuales solo el 27.8% es derechohabiente en una institución de salud. Dejando un 11.5% de la población rural sin sanidad garantizada (CONEVAL, 2017). Entre 2000 y 2010 la discapacidad motriz aumentó un 11.3% en zonas urbanas y un 17.5% en zonas rurales. (INEGI, 2014).



NOTA: La suma de los tipos de discapacidad puede ser mayor a cien debido a la población con más de una discapacidad.  
FUENTE: INEGI, XP CIGPV 2010. Taboasco México.

Este rubro de la población requiere de rehabilitación en algún grado y por ende tiene que trasladarse hacia las ciudades donde existen aparatos terapéuticos, voluminosos y costosos, que les brinde tratamiento.

Por su parte, Julius Klein, presenta una propuesta de rehabilitador mecatrónico llamado BONES para brazo, el cual a través de un sistema neumático busca consolidar rutinas de movimientos repetitivos para rehabilitar Codo y Hombro. (J. Klein, 2008)

Existe una amplia variedad de dispositivos orientados a la

Gráfica 1. Incremento porcentual de la discapacidad.

rehabilitación funcional del MS. Los robots de tipo exoesqueleto presentan mayores complicaciones para la colocación del paciente, pero permiten mayor precisión en el control del movimiento. Los robots que permiten el tratamiento de la región proximal del miembro superior poseen un amplio desarrollo, aunque la movilidad de la cintura escapular se ha añadido en los dispositivos más recientes. Algunos dispositivos que se han comercializado en los últimos años permiten el trabajo de la región distal, incluida la mano del paciente. Los sistemas robóticos pretenden

incluir características de la terapia convencional a sus posibilidades. Es necesario un desarrollo que alcance mayor reproductibilidad de las AVD, incorporando tanto toda la amplitud de movimiento del miembro superior, como diferentes estímulos sensoriomotores. Finalmente, se señala la importancia de desarrollar sistemas de detección de la actividad del paciente más precisos, para fomentar la actividad durante la terapia de asistencia. Además, es necesario continuar con el desarrollo de sistemas de seguridad para evitar situaciones no deseadas. (L. Rodríguez, 2014).

Un motor a pasos, es un motor de CD especial, el cual divide una rotación completa en un número de pasos iguales (movimiento en pasos discretos) el cual con un sistema de control computarizado de pasos se puede generar un posicionamiento muy preciso y una regulación en la velocidad. (Ahmed M. T., 2019)

Existen 3 tipos fundamentales de motores a pasos: el motor de reluctancia variable, el motor de magnetización permanente, y el motor híbrido el cual combina elementos de ambos (Liptak, Bela G., 2005).

Los motores paso a paso se pueden ver como motores eléctricos sin escobillas cuyo factor principal de control son los grados por paso, también se le puede denominar como resolución del motor, ya que define la cantidad de grados que rotará el eje para cada paso completo (Eduardo J. Carletti, 2007).

La seguridad del usuario debe de ser una prioridad con los robots que interactúan con humanos, de forma particular en estos casos de robots orientados a rehabilitación, porque las personas con una lesión son frecuentemente más susceptibles a lastimarse más. (Peter R. Culmer, 2010).

## Desarrollo Primera etapa

Se realizó el montaje de la estructura externa empleando perfiles de aluminio para darle robustez al dispositivo. También se realizó el montaje de los motores

a pasos sobre piezas de madera con un diseño simple, únicamente para poder facilitar el diseño CAD computarizado.

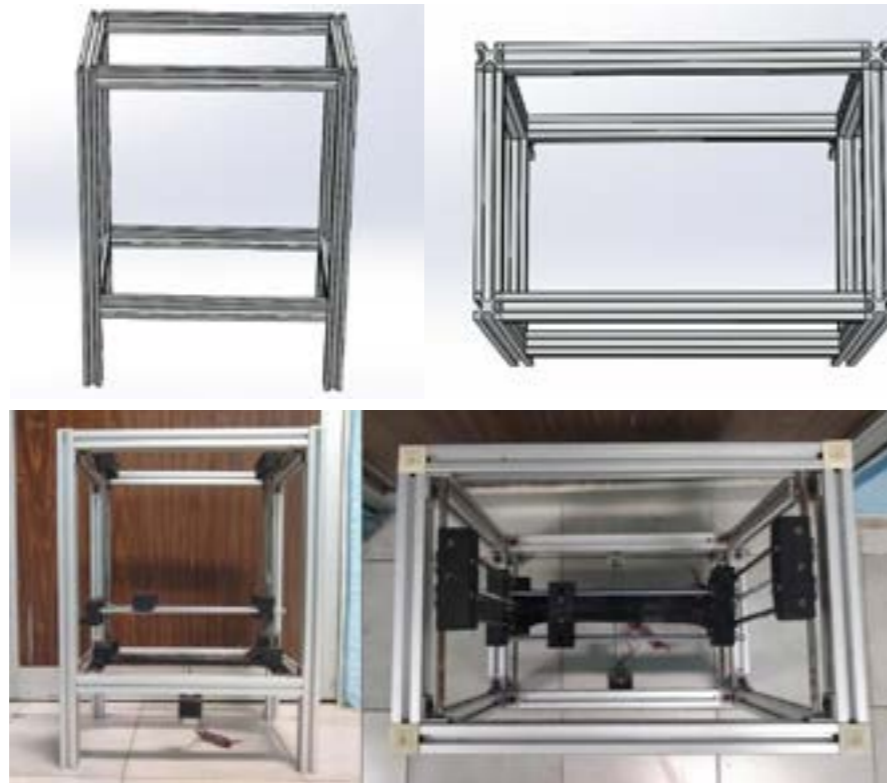


Figura 1. Construcción de la estructura con perfiles de Aluminio.

## Segunda etapa

Se realizaron las mediciones correspondientes de las piezas de madera y posteriormente se hicieron los diseños de las piezas en el software de cómputo.

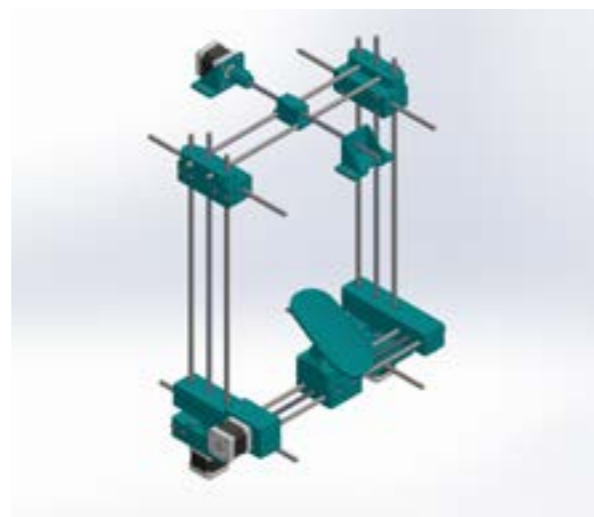


Figura 2. Diseño computarizado de las piezas del rehabilitador.

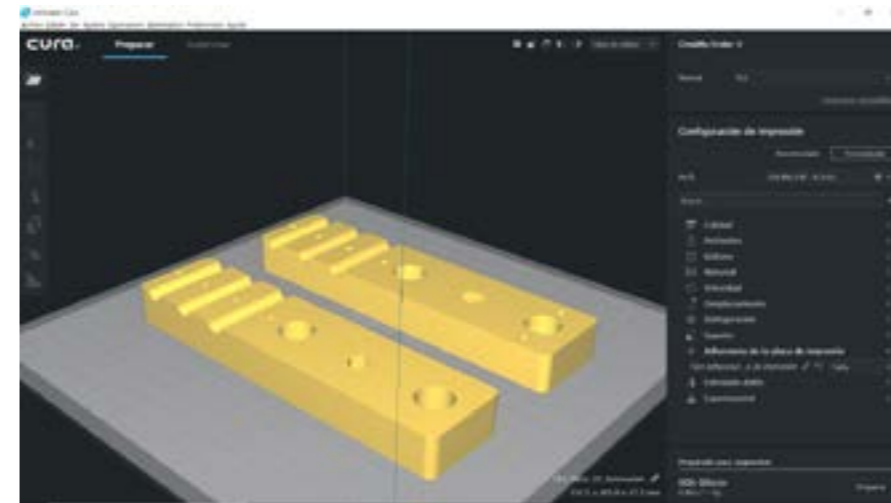


Figura 3. Piezas finales de soporte listas para impresión.

Al tener todas las piezas del dispositivo diseñadas, se realizó un ensamblaje computarizado para poder determinar la posición correcta de las mismas y hacer correcciones finales. Una vez verificado el sistema se imprimieron las piezas.

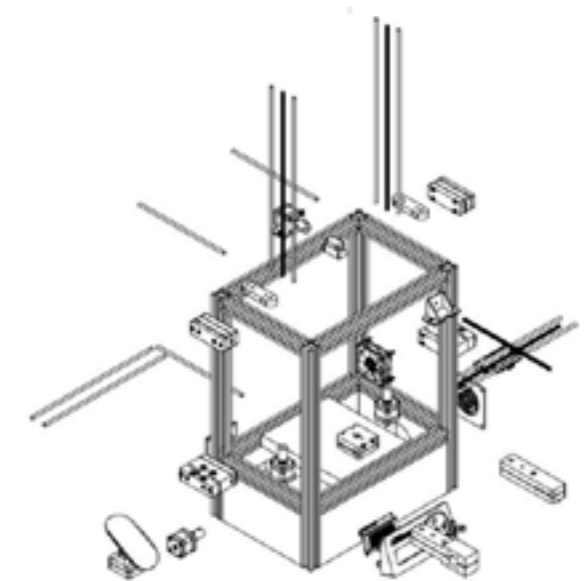
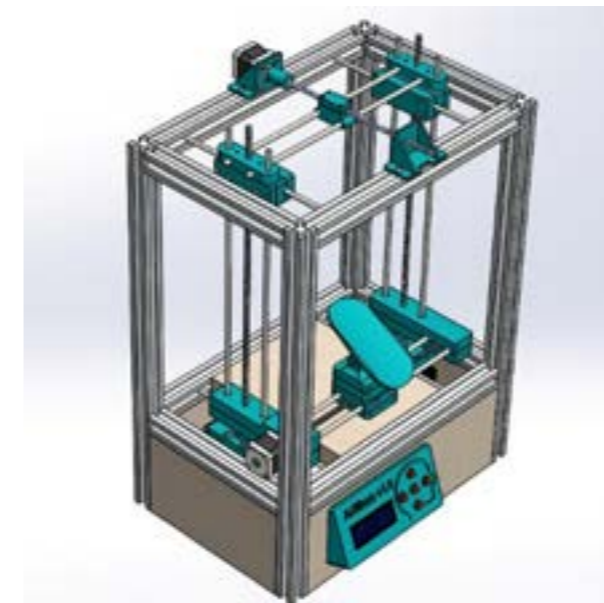


Figura 4. Ensamblaje de piezas y corrección de errores.



Figura 5. Impresión 3D de las piezas del rehabilitador.

## Tercera etapa

Sustitución de piezas de madera por las impresas en 3D, diseño e incorporación del sistema de control electrónico de los motores a pasos del dispositivo, pruebas de resistencia de peso.

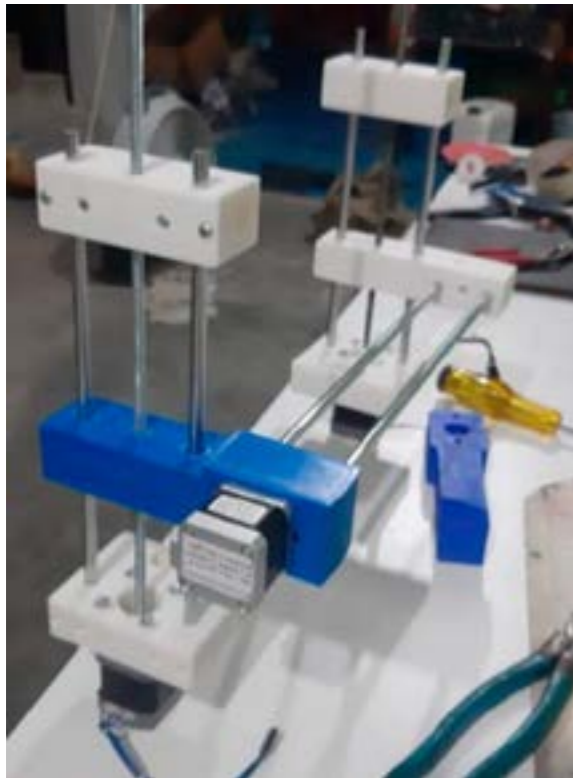


Figura 6. Montado de piezas.

El dispositivo de rehabilitación aprobó las pruebas de resistencia de peso de forma satisfactoria, para un brazo que tiene una masa suspendida de 0 a 20 kg.

## Cuarta etapa

Se agregó el panel frontal de configuración para seleccionar la rutina y los parámetros de rehabilitación, se protegió la circuitería de control en un compartimiento oculto, se etiquetó el dispositivo de rehabilitación, se le colocó el paro lateral de emergencia y se agregó conectividad bluetooth para comunicación inalámbrica.

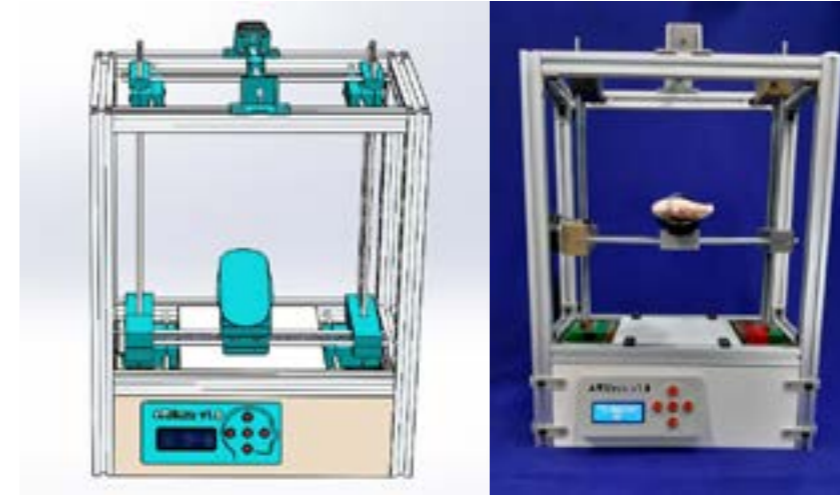


Figura 7. ARMexs V3.0 Prototipo funcional terminado.

## Resultados Quinta etapa

Pruebas médicas realizadas por profesionales de la rehabilitación.



Figura 8. ARMexs V3.0 Probado por doctores especialistas en rehabilitación motriz del CRIT Teletón de Tuxtla Gutiérrez y del Hospital General Gilberto Gómez Maza.

## Sexta etapa

Retroalimentación y adaptación de las sugerencias de los especialistas al dispositivo. Se agregó el botón de paro de emergencia móvil, sugerido para que esté cerca del paciente.

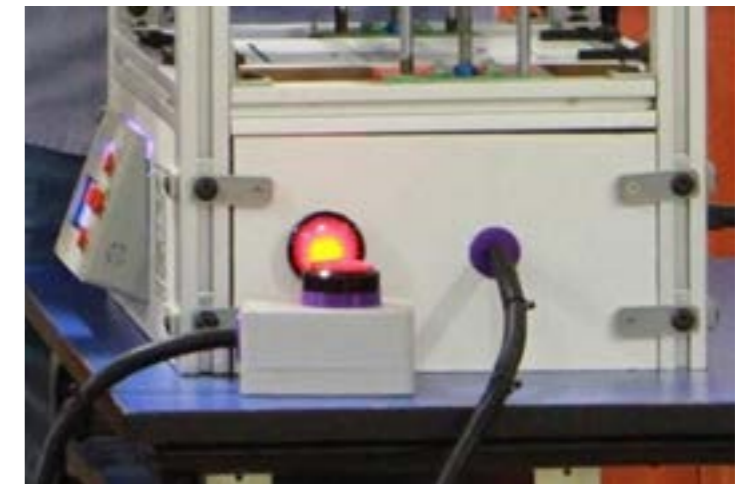


Figura 9. ARMexs V3.0 Con sus respectivos botones de emergencia, fijo lateral y móvil.

## Séptima etapa

Se simplificó el menú de selección para que el usuario pudiera hacer selección de sus rutinas de rehabilitación con regulación de parámetros.

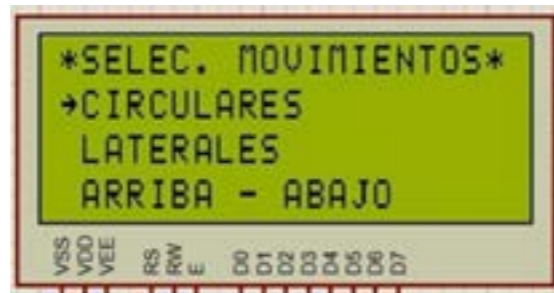


Figura 10. Menú del dispositivo de rehabilitación.

## Octava etapa Propiedad intelectual

Del mismo modo el dispositivo tiene en trámite el proceso de Protección de Propiedad Intelectual, de derechos de Autor con el INDAUTOR, y el proceso de protección de Patente con el IMPI, del mismo modo al tratarse de un aparato que interviene en la salud de las personas se busca la acreditación de la COFEPRIS para que sea comercializable.

El principal objetivo es que el aparato cumpla con el propósito de beneficiar a aquellas personas de zonas económicamente desfavorecidas y pueda ofrecer algún tipo de recuperación pasiva para extremidades superiores.

Se realizó el normalizado del dispositivo a las siguientes normas oficiales mexicanas;

Norma Oficial Mexicana NOM-241-SSA1-2012, Norma Oficial Mexicana NOM-137-SSA1-2008, Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999

## Conclusiones

El rehabilitador ARMexs V3.0 Es un dispositivo innovador que tiene como principal objetivo hacer frente al fenómeno de discapacidad en la población mexicana poniendo a disposición del país tecnología de vanguardia a un precio accesible. Actualmente ARMexs V3.0 presenta evaluaciones médicas básicas y buena aceptación con profesionales del sector salud tanto público como privado, puesto que el dispositivo en desarrollo busca desempeñarse como una herramienta adicional que mejore las condiciones laborales del personal de rehabilitación, no que desplace al personal médico de la industria.

## Bibliografía

- Ahmed M.T Ibraheem Al-Naib (2019). Motores a pasos. Noviembre del 2021, Sitio Web Researchgate: [https://www.researchgate.net/publication/332835189\\_Stepper\\_Motor](https://www.researchgate.net/publication/332835189_Stepper_Motor)
- Chong Jesús Enrique. (2016). El dispositivo que rehabilita a víctimas de accidentes laborales. Septiembre del 2019, de Tec Review, Sitio Web: <https://tecreview.tec.mx/mexicanos-crean-dispositivo-de-rehabilitacionpara-victimas-laborales>
- CONEVAL. (2017). Ingreso, Pobreza y Salario Mínimo. 13 de Septiembre del 2019, de CONEVAL Sitio web: <https://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Documents/INGRESO-POBREZA-SALARIOS.pdf>
- Eduardo J. Carletti. (2007). Motores paso a paso. Características. 21 de Noviembre del 2020. Robots Argentina. Sitio Web: [http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm)
- Hernández Álvaro, Moreno Enrique, Cancino López, Ojeda William (2020). Diseño de rehabilitador de extremidades superiores ARMexs V2.0, Revista Tecnología Digital Vol. 10, No 1, 2020, Págs 27-37, ISSN 2007-9400, Índice: LatIndex folio: 23658. [www.revistatecnologiadigital.com](http://www.revistatecnologiadigital.com)
- INEGI, (2014). Discapacidad en México datos al 2014, 13 de Septiembre del 2019, Sitio Web INEGI: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825090203>
- Julius Klein (2008). Biomimetic orthosis for the neurorehabilitation of the elbow and shoulder (BONES), 19 de Noviembre del 2021, Sitio Web Researchgate: [https://www.researchgate.net/publication/224376127\\_Biomimetic\\_orthosis\\_for\\_the\\_neurorehabilitation\\_of\\_the\\_elbow\\_and\\_shoulder\\_BONES](https://www.researchgate.net/publication/224376127_Biomimetic_orthosis_for_the_neurorehabilitation_of_the_elbow_and_shoulder_BONES)
- L. Rodríguez-Prunotto, R. Cano-de la Cuerda, A. Cuesta-Gómez, I.M. Alguacil-Diego y F. Molina-Rueda. (2014). Terapia robótica para la rehabilitación del miembro superior en patología neurológica. Elsevier España, S.L. y SERMEF. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rh.2014.01.001>
- Liptak, Bela G. (2005). Instrument Engineers' Handbook: Process Control and Optimization. CRC Press. p. 2464. ISBN 978-0-8493-1081-2.
- Peter R. Culmer, Andrew E. Jackson, Sophie Makower, Robert Richardson, J. Alastair Cozens, Martin C. Levesley, and Bipin B. Bhakta (2010). A Control Strategy for Upper Limb Robotic Rehabilitation With a Dual Robot System, IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 15, NO. 4, Noviembre 2021, DOI: 10.1109/TMECH.2009.2030796

# Aprovechamiento de árbol de pan

(*Artocarpus altilis*)

# y malanga

(*Xanthosoma sagittifolium*)

# para su uso biotecnológico

Herrera Escobar Haralt de Jesus (1), Salvador Albores Eloísa Raquel (1), Velázquez López Arturo Alberto (1) y Vela-Gutiérrez Gilber (1).

(1) Lab. de Investigación y Desarrollo de Productos Funcionales. Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

## Resumen

La fruta de árbol de pan (*Artocarpus altilis*), es un cultivo no convencional, que posee alta cantidad de agua, carbohidratos, proteínas y lípidos, considerada una de las frutas más carnosas y energéticas. Principalmente se cultiva en Chiapas, México como consumo familiar. La malanga es una raíz subterránea con muchas propiedades nutritivas, se consume hervida, esta vegetal contiene fructanos de interés industrial (inulina). En este proyecto se elaboraron bebidas fermentadas a partir de pulpa de *Artocarpus altilis* e inulina de *Xanthosoma sagittifolium*. Para ello se obtuvo jugo de la pulpa de *A. altilis* e inulina a partir del cormo de malanga, elaborando tres bebidas con diferente concentración de inulina (1, 1.5 y 2%). Se analizó el crecimiento microbiano de *Saccharomyces ellipsoideus* en las bebidas, obteniendo 2.5% de etanol en cada una de ellas; posteriormente las bebidas se sometieron a análisis sensorial usando escala hedónica con jueces no entrenados, obteniendo mayor aceptación la bebida elaborada con 2% de inulina. Indicando la posibilidad de aprovechar la pulpa de *A. altilis* y el cormo de *X. sagittifolium* para el desarrollo de bebidas funcionales sensorialmente aceptable.

## Introducción

Los procesos de fermentación relacionados con la industria de alimentos principalmente con la producción de pan y bebidas alcohólicas (vino, cerveza, etc.), están entre las técnicas biológicas más antiguas. Por muchos años, las bebidas fermentadas se han producido por la actividad biológica de enzimas y levaduras de origen natural presentes en los cereales y frutas. La Antigua China fue la primera en producir una bebida alcohólica destilada. El pan fermentado se conoce desde hace varios miles de años, al preparar este producto, vino o la cerveza,

## Abstract

Breadfruit (*Artocarpus altilis*) is an unconventional crop, which has a high amount of water, carbohydrates, proteins and lipids, considered one of the most fleshy and energetic fruits. Mainly this crop is grown in Chiapas as family consumption. Malanga is an underground root with many nutritional properties, it is consumed boiled, this root contains fruits of industrial interest (inulin). In this project, fermented beverages were made from *Artocarpus altilis* pulp and *Xanthosoma sagittifolium* inulin. Juice was obtained from the pulp of *A. altilis* and inulin from the taro corm, making three drinks with different concentrations of inulin (1, 1.5 and 2%). The microbial growth of *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus* in the drinks was analyzed, obtaining 2.5% ethanol in each one of them; Subsequently, the drinks were subjected to sensory analysis using hedonic scale with untrained judges, obtaining greater acceptance for the drink made with 2% inulin. Indicating the possibility of taking advantage of the pulp of *A. altilis* and the *X. sagittifolium* corm for the development of sensory acceptable functional drinks.

Key words: Breadfruit, taro, inulin, fermentation, functional beverage.

### Palabras claves

Fruta de árbol de pan, malanga, inulina, fermentación, bebida funcional.

### Key words

Breadfruit, taro, inulin, fermentation, functional beverage.

los hombres empleaban de una manera empírica, microorganismos útiles: las levaduras.

La fruta de árbol de pan (*Artocarpus altilis* fosberg) se considera una de las más carnosas y más energéticas debido a su alta cantidad de agua e hidratos de carbono (principalmente en forma de almidón), además de proteínas y lípidos que se presentan en cantidades superiores a otros frutos. El árbol de pan ofrece valioso sustento, sus frutos pueden prepararse de diversas formas y tienen un mayor contenido proteínico que otros alimentos

(yuca, papa o plátano). El fruto es feculoso y puede comerse crudo o frito, en consistencia y sabor se parece a la papa y en algunos sitios sustituye a la yuca. La fruta de pan de palo es un cultivo no convencional por lo cual existe poco conocimiento acerca del fruto.

La fruta de pan de palo, además de contener carbohidratos, lípidos y proteínas, este fruto contiene minerales, vitaminas o sustancias con actividad antioxidante los cuales aporta un beneficio al organismo (Natura, 2006). La malanga es un tallo subterráneo rico en nutrientes, contiene entre

un 15 y 39% de carbohidratos, de 2 a 3% de proteínas, 70 a 77% de agua con valor nutritivo comparable a las papas de mayor digestibilidad. (Escandón, 2013). En diversas investigaciones indican que la malanga podría poseer características prebióticas para el crecimiento de microorganismos

## 2. Métodos experimentales

### 2.1. Material vegetal

La fruta de árbol de pan se recolectó en la temporada agosto-septiembre en el municipio de Tapachula, Chiapas, mientras que la malanga en el municipio de San Fernando, Chiapas. Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Funcionales (LIDPF) de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos perteneciente a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

### 2.2 Lavado y desinfección

Se realizó un lavado al material vegetal con abundante agua, para eliminar material extraño. Posteriormente se desinfectó con plata coloidal y una solución de hipoclorito de sodio al 0.1%, el material desinfectado se dejó secar para su posterior tratamiento.

### 2.3 Preparación del material

Se obtuvo el jugo de la fruta de árbol de pan como se describe a continuación: la pulpa se licuó con agua purificada obteniendo 20° brix, se filtró y prensó hasta extraer todo el jugo posible. Se pasteurizó a 79°C por 30 min en recipientes previamente lavados y esterilizados, se almacena hasta su inoculación.

Para la obtención de inulina, la malanga se lavó y se desinfectó,

beneficios (Río, 2014), destacando el contenido de fructooligosacáridos. Los fructooligosacáridos son compuestos a los que se les asocia una serie de beneficios, destacando su efecto prebiótico, fortalecimiento de los mecanismos de defensa, mejoramiento del metabolismo de lípidos, así como la prevención de

se retiró la cáscara y se troceó en pedazos pequeños. Se maceraron 100 g de malanga con una solución de alcohol etílico (80%), se homogenizó y se dejó en reposo durante 48 horas, pasado el tiempo se recuperó el sobrenadante, este se secó a 60°C, obteniendo cristales de inulina (Cortez, 2017).

### 2.4 Activación de la cepa *Sacharomyces cerevisiae* var. *Ellipsoideu*

Para la reactivación, se inoculó 50 l de la cepa en 5 ml de medio YM (pH 4). Cuarenta y ocho horas después, se inoculó 1 mL del medio de la cepa reactivada en agar YM (DBICQ®) por técnica de vaciado en placa. Pasadas las 48 horas, se realizó una observación microscópica para corroborar la cepa, se inoculó en tubos inclinados mediante estría (8mL de PDA). Se guardaron los tubos para llevar a cabo la fermentación.

### 2.5 Elaboración de bebida fermentada

Previo a la elaboración de la bebida, se pasteurizó el jugo obtenido del fruto de árbol de pan (100 mL) y se mezcló con inulina (Tabla 1). Una vez homogenizadas las mezclas, el jugo obtenido se inoculó con *Sacharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus* para su fermentación durante 48 horas a 37°C. Durante

ciertas enfermedades (Ramirez, 2010).

Debido a las características y propiedades que presenta cada producto mencionado anteriormente, se desarrolló el siguiente proyecto en donde se busca el aprovechamiento de los mismos obteniendo así nuevas tecnologías aceptadas por el público para su consumo.

la fermentación se cuantificó el crecimiento microbiano y la producción de etanol.

Bebida	Inulina (g)	Abreviatura
1	1	BF-A1
2	1.5	BF-A2
3	2	BF-A3

Tabla 1. Mezclas de inulina en las bebidas elaboradas

### 2.6 Fermentación anaerobia

La fermentación se realizó en condiciones estériles. A la cepa reactivada se adicionó 1 ml de agua destilada desionizada estéril, se agito suavemente. Se inoculó 10% (respecto al mosto) en el jugo previamente ajustado a 21°Bx con sacarosa y pasteurizado. Se envasó en botellas de color ámbar y se pasteurizó a baño maría a 60°C por 20 minutos.

### 2.7 Cinética microbiana

Para el desarrollo de la cinética microbiana se tomaron alícuotas de 5 mL (por triplicado) cada dos horas durante 16 horas. El crecimiento microbiano se monitoreo mediante turbidez por espectrofotometría, utilizando una longitud de onda de 600 nm (VELAB, VE-5100UV, México). La cuantificación del alcohol etílico producido a las 16 horas, se realizó mediante destilación.

## 2.8 Evaluación sensorial

El análisis se realizó con una asistencia de jueces no entrenados y entrenados, se utilizó una escala hedónica para medir el nivel de aceptación de los fermentos obtenidos. Para ello los jueces realizaron una encuesta sobre opciones organolépticas, nivel de agrado: Bueno, medio o malo.

### 2.9 Análisis estadístico

Los datos obtenidos en la evaluación sensorial se compararán mediante ji-cuadrado ( $p < 0.05$ ), para estimar la diferencia percibida por los jueces en las dos bebidas elaboradas. Se utilizará el software estadístico de Minitab® versión 17.0 Express para IOS.

## 3. Resultados y discusión

El crecimiento microbiano de *Sacharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus* durante 16 horas se observa en la figura 1, el cual muestra que la fase exponencial se obtuvo a partir de las 2 horas, obteniendo un desarrollo máximo de 0.905 g/L (13 horas), en esta etapa el microorganismo se dividió hasta su nivel máximo, en función a su potencial genético, tipo de medio y condiciones en las cuales se desarrolló (Bosso et al., 2019). Durante el desarrollo de la levadura no desarrollo fase estacionaria debido a que el jugo presentó, de manera disponible, azúcares (20° Brix); sin embargo, *Sacharomyces cerevisiae* en la fase estacionaria son intrínsecamente más resistentes a las condiciones de estrés (salinidad, temperatura, pH, etc) en comparación con las levaduras en la fase exponencial (Mukherjee et al., 2020)

La identificación de la fase exponencial es importante, ya que podría mejorar la fermentación de la bebida, obteniendo algunos

parámetros cinéticos como velocidad máxima de crecimiento, rendimiento de sustrato, rendimiento de producto (Lip et al., 2020), además estas especies de hongos reducen factores antinutricionales y aumentan la disponibilidad de los nutrientes (Azrinnahar et al., 2021). Por otro lado, la levadura obtuvo una fase de muerte desde la hora 14 disminuyendo el crecimiento a 0.826 g/L, debido al consumo de carbohidratos que la bebida contenía. Es importante el análisis del crecimiento de levaduras ya que estas juegan un papel importante en mucha de los procesos de fermentación, dependiendo del tipo de levadura utilizada, puede afectar directamente la calidad y el sabor del producto final (Arroyo et al., 2009).

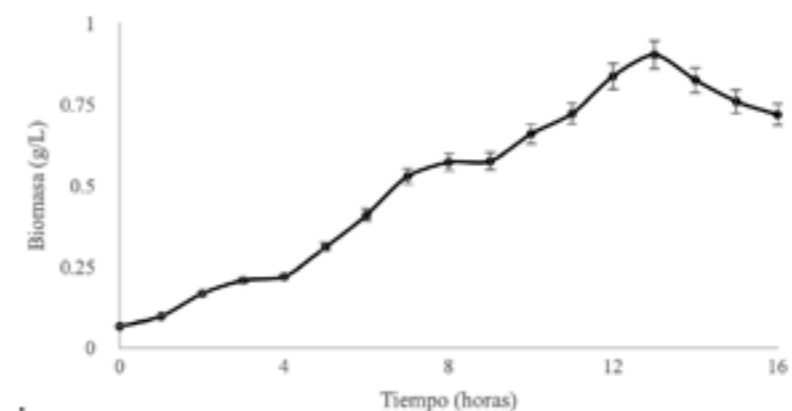


Figura 1. Crecimiento microbiano de *Sacharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus* durante 16 horas

En un tiempo de 16 horas de fermentación, se tomaron 3 mL de muestras con diferentes concentraciones de inulina para medir el grado de alcohol de cada una (Tabla 1), la prueba se realizó mediante un refractómetro alcoholímetro (CVQ.4012-A, México). La producción de etanol mejoraría con la optimización de las condiciones de cultivo, principalmente la temperatura (Lip et al., 2020). La inulina obtenida de la malanga (*Xanthosoma saggitifolium*),

es un tipo de fructano, esta es muy abundante en algunas plantas, se ha categorizado como "Generalmente reconocida como segura" (GRAS por sus siglas en inglés) para su uso como alimento, es un compuesto perteneciente a la fibra dietética que se utiliza para mejorar el valor nutricional de los alimentos manufacturados (Ni et al., 2019). Las fermentaciones son utilizadas principalmente para la preservación del alimento, incrementando la vida de anaquel, este proceso mejora el aroma,

sabor, textura y valor nutricional del producto fermentado (Robledo et al., 2021).

No se obtuvo diferencia significativa en los porcentajes de etanol obtenidos de las tres bebidas, en la tabla 2 se observa que se obtuvo 2.5% de etanol. Boons et al., 2015 mencionan que la levadura no usa dextranos, fructooligosacáridos como fuente de nutrientes. Algunas levaduras pueden consumir compuestos diferentes a monosacáridos (glucosa, fructosa, manosa), como gelatina (Abrusci et al., 2007) o Carbapol (Mertens et al., 2009) en condiciones de estrés. La presencia de inulina en las bebidas fermentadas permite la obtención de beneficios al consumidor, ya que la inulina no puede ser hidrolizada por las enzimas secretadas por el cuerpo humano, pero puede ser fermentada por bacterias presentes en el colón produciendo ácidos grasos de cadena corta (Wei et al., 2021). Además, la inulina tiene la habilidad de formar geles, mejorando los movimientos peristálticos del intestino, así como la mejora la calidad sensorial y la textura de los alimentos (Ni et al., 2019). La inulina, aparte de utilizarse en la producción de inulinasas, ácidos orgánicos, biocombustibles, se ha utilizado para la producción de muchos metabolitos importantes para la industria (manitol, pulúlanos, sorbitol, aceites), algunos de ellos son adicionados a algunos alimentos manufacturados (Singh et al., 2018)

Concentración	% de alcohol
BF-A1	2.5%
BF-A2	2.5%
BF-A3	2.5%

Tabla 2. Porcentaje de alcohol etílico en las bebidas fermentadas

En general, todas las bebidas fermentadas presentaron un color café característico, con un intenso aroma agradable. Las bebidas fermentadas comercializadas podrían tener altos niveles de dulzor (Yang et al., 2021).

Para el análisis sensorial se utilizó una escala hedónica con 20 jueces no entrenados, probando las diferentes bebidas realizadas (BF-A1, BF-A2, BF-A3). Evaluando las características de sabor, olor, apariencia y consistencia de la bebida. Los jueces indicaron que las bebidas obtuvieron un sabor suave, con textura óptima, además considerando que son jueces no entrenados, ninguno de los consumidores seleccionó la opción no me gusta.

En la figura 1-A, se observa que a la mayoría de los consumidores les agrada la consistencia de la bebida; se aprecia que en la bebida BF-A2 (figura 1-B) disminuye el impacto en el gusto del consumidor de la consistencia, sabor, aroma y apariencia de la bebida, mientras que la bebida BF-A3 (figura 1-C) presenta un aumento en el gusto de los evaluadores. Las levaduras juegan un papel importante mejorando la composición química y características sensoriales de las bebidas, por ejemplo, estos microorganismos influyen en la concentración y composición de antocianinas y taninos en vinos (Yang et al., 2021)

De las tres bebidas realizadas la que obtuvo mayor índice de aprobación y aceptación fue la bebida BF-A3, lo que quiere decir que la inulina proporciona un mejor sabor, consistencia y apariencia a la bebida (figura 2), resultando en una bebida benéfica para el organismo, ya que proporciona las características de un producto funcional agregando las cualidades y propiedades de la inulina destacado su efecto prebiótico.

El creciente interés por las bebidas nuevas y no tradicionales ha sido motivado por varias razones: el uso de excedentes, uso de productos sin estándar de calidad, exploración de frutos nativos de clima templado

y tropical, agregar valor a las cadenas productivas, y la necesidad de innovar destinos para sustratos generados a partir de plantas que aún no estén explotadas, como es el caso de la fruta del árbol de pan (Lopes et al., 2019).

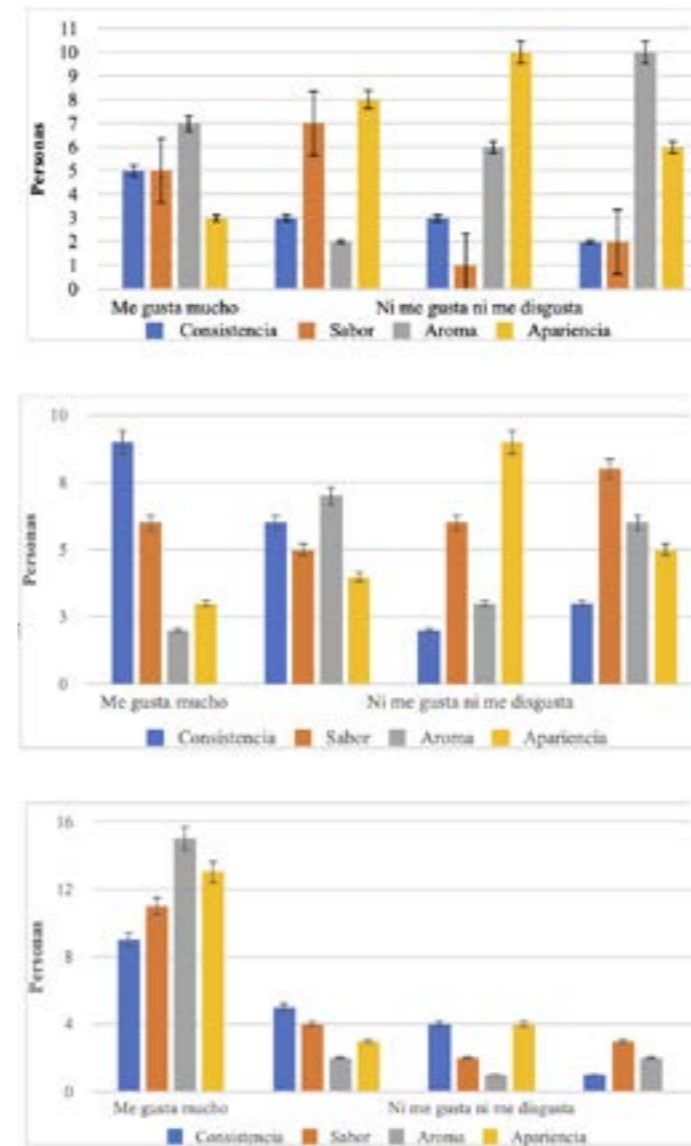


Figura 2. Aceptación sensorial de las bebidas fermentadas (A: Bebida con 1g de Inulina, B: Bebida con 2 g de inulina, C: Bebida con 2.5 g de inulina)

## Conclusiones

El fruto de árbol de pan y la malanga se pueden aprovechar para la obtención de bebidas fermentadas, con niveles de etanol y propiedades organolépticas aceptables. El contenido de carbohidratos del fruto es adecuado para la fermentación alcohólica. La inulina contenida en la malanga es un prebiótico que no puede ser hidrolizado por las levaduras. Los resultados de la evaluación sensorial muestran la viabilidad de obtener una bebida funcional a partir de estas dos especies vegetales dirigida al público en general.

## Referencias

- Azrinnahar, M., Islam, N., Shuvo, A. A. S., Kabir, A. K. M. A., & Islam, K. M. S. (2021). Effect of feeding fermented (*Saccharomyces cerevisiae*) de-oiled rice bran in broiler growth and bone mineralization. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(7), 476–481. doi:10.1016/j.jssas.2021.05.006.
- Bosso, A., Iglecias Setti, A. C., Tomal, A. B., Guemra, S., Morioka, L. R. I., & Suguimoto, H. H. (2019). Substrate consumption and beta-galactosidase production by *Saccharomyces fragilis* IZ 275 grown in cheese whey as a function of cell growth rate. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 101335. doi:10.1016/j.bcab.2019.101335
- Lip, K. Y. F., García-Ríos, E., Costa, C. E., Guillamón, J. M., Domingues, L., Teixeira, J., & van Gulik, W. M. (2020). Selection and subsequent physiological characterisation of industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains during continuous growth at sub- and supra optimal temperatures. *Biotechnology Reports*, e00462. doi:10.1016/j.btre.2020.e00462
- Mukherjee, M., Nandi, A., Chandra, K., Saikia, S. K., Jana, C. K., & Das, N. (2020). Protein extraction from *Saccharomyces cerevisiae* at different growth phases. *Journal of Microbiological Methods*, 172, 105906. doi:10.1016/j.mimet.2020.105906
- Arroyo-López, F. N., Orlić, S., Querol, A., & Barrio, E. (2009). Effects of temperature, pH and sugar concentration on the growth parameters of *Saccharomyces cerevisiae*, *S. kudriavzevii* and their interspecific hybrid. *International Journal of Food Microbiology*, 131(2-3), 120–127. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2009.01.035
- Boons, K., Noriega, E., Verherstraeten, N., David, C. C., Hofkens, J., & Van Impe, J. F. (2015). The effect of medium structure complexity on the growth of *Saccharomyces cerevisiae* in gelatin-dextran systems. *International Journal of Food Microbiology*, 199, 8–14. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2014.12.015
- Mertens, L., Geeraerd, A.H., Dang, T.D.T., Vermeulen, A., Serneels, K., Van Derlinden, E., Cappuyns, A.M., Moldenaers, P., Debevere, J., Devlieghere, F., Van Impe, J.F., 2009. Design of an experimental viscoelastic food model system for studying *Zygosaccharomyces bailii* in acid sauces. *Food Microbiol.* 28 (4), 736–745.
- Abrusci, C., Marquina, D., Santos, A., Del Amo, A., Corrales, T., & Catalina, F. (2007). A chemiluminescence study on degradation of gelatine. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 185(2-3), 188–197. doi:10.1016/j.jphotochem.2006.06.003
- Ni, D., Xu, W., Zhu, Y., Zhang, W., Zhang, T., Guang, C., & Mu, W. (2019). Inulin and its enzymatic production by inulosucrase: Characteristics, structural features, molecular modifications and applications. *Biotechnology Advances*. doi:10.1016/j.biotechadv.2019.01.002
- Wei, L., Sui, H., Zhang, J., & Guo, Z. (2021). Synthesis and antioxidant activity of the inulin derivative bearing 1,2,3-triazole and diphenyl phosphate. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 47–53. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.06.148
- Singh, R. S., TaranjeetSingh, & Larroche, C. (2018). *Biotechnological Applications of Inulin-rich Feedstocks*. *Bioresource Technology*. doi:10.1016/j.biortech.2018.11.031
- Robledo-Márquez, K., Ramírez, V., González-Córdova, A. F., Ramírez-Rodríguez, Y., García-Ortega, L., & Trujillo, J. (2021). Research opportunities: Traditional fermented beverages in Mexico. Cultural, microbiological, chemical, and functional aspects. *Food Research International*, 147, 110482. doi:10.1016/j.foodres.2021.110482
- Yang, W., Liu, S., Marsol-Vall, A., Tähti, R., Laaksonen, O., Karhu, S., Ma, X. (2021). Chemical composition, sensory profile and antioxidant capacity of low-alcohol strawberry beverages fermented with *Saccharomyces cerevisiae* and *Torulaspota delbrueckii*. *LWT*, 149, 111910. doi:10.1016/j.lwt.2021.111910
- Lopes, A. C. A., Eda, S. H., Andrade, R. P., Amorim, J. C., & Duarte, W. F. (2019). New Alcoholic Fermented Beverages—Potentials and Challenges. *Fermented Beverages*, 577–603. doi:10.1016/b978-0-12-815271-3.00014-2

# Normas Editoriales

La Ciencia Aplicada en Chiapas es una revista de difusión y divulgación científica y tecnológica del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del estado de Chiapas dirigida al público especializado que se interesa en fortalecer su conocimiento acerca de la ciencia, la tecnología y la innovación de las distintas disciplinas que promueven investigaciones sustanciales y relevantes del acontecer principalmente chiapaneco.

La revista abre un espacio que apoya y brinda la oportunidad a investigadores, académicos y especialistas mexicanos para publicar sus artículos que versen sobre temas comprendidos en cualquiera de las áreas del conocimiento científico y tecnológico, dando así la oportunidad a la sociedad lectora de conocer los resultados de los trabajos de los autores, y, al mismo tiempo, de reconocer ampliamente la realidad en la que se encuentra y de concertar democráticamente sus legítimas aspiraciones de desarrollo, es por ello que se:

## Convoca

A la comunidad académica, científica, tecnológica y de innovación, de cualquier institución pública o privada, que deseen dar a conocer artículos sobre su producción en el número 7.

El plazo de recepción de artículos es a partir de la fecha 3 de noviembre, con cierre al día 19 de noviembre del 2021.

## Instrucciones para autores

Para la publicación de los textos de difusión y divulgación científica y tecnológica en la revista La Ciencia Aplicada en Chiapas, se deberán seguir los siguientes lineamientos:

## Procedimiento de recepción

1 Todos los artículos para su publicación deberán ser originales e inéditos. El, la o los autores firmarán una carta de cesión de derechos a la revista y una declaración escrita en la que se especifique que el documento no ha sido publicado y que no se someterá simultáneamente a otras publicaciones.

2. El texto deberá abordar algún tema de las siguientes áreas de conocimiento: física, matemáticas, ciencias de la tierra, biología, química, ciencias de la salud, humanidades, artes, ciencias sociales, ciencias de la conducta, biotecnología, ingeniería y ciencias agropecuarias.

3. El archivo deberá enviarse en formato Word al correo electrónico: [difusion@icti.chiapas.gob.mx](mailto:difusion@icti.chiapas.gob.mx).



## Estructura de las contribuciones

1. La primera página del manuscrito deberá incluir el título, nombre completo del autor, autora o autores, la institución a la que pertenece(n), los datos de localización (teléfono y/o correo electrónico); así como un resumen en español e inglés en donde se resalten los aspectos más relevantes de la investigación, con un límite de 250 caracteres cada uno, seguido del apartado de palabras clave en línea aparte, en la que deberá encontrarse en minúsculas y separadas por comas con un máximo de 5 palabras (simples o compuestas).

2. El documento deberá incluir la introducción, desarrollo, resultados y conclusión que, en conjunto, no sobrepase los 40,000 caracteres (aproximadamente 20 cuartillas).

3. En dado caso que se presenten imágenes, tablas o gráficas en el texto, éstas tendrán que encontrarse en una resolución mayor o igual a los 300 dpi en formato jpg o png y presentar el pie de imagen correspondiente.

4. En una página aparte al final de la investigación, se presentará la lista de referencias con sangría francesa y enlistada alfabéticamente, regida por el manual de citación APA 7ta edición.

## Formato del texto

1. El texto deberá encontrarse justificado con la tipografía Times New Roman con 12 puntos y con interlineado de 1.5 cm.

2. La disposición de las hojas deberá estar en tamaño carta y los márgenes de las páginas tendrán que tener un valor de 1.5 cm.

3. El título deberá estar centrado en negritas con 14 puntos. Los subtítulos tendrán que estar alineados a la izquierda igualmente en negritas con 12 puntos.

4. Después de cada párrafo no se tendrá que dejar ningún espacio. En cambio, al inicio de cada párrafo consecutivo al primero, tendrá que dejarse una sangría de 2 cm.

5. Cada página del documento deberá enumerarse, incluida la primera hoja, con alineación a la derecha sobre el margen inferior.

6. Toda cita textual deberá llevar los datos correspondientes a su fuente (autor, año, número de página).

## Condiciones de aceptación

Las colaboraciones recibidas serán evaluadas por los miembros del Comité Editorial del ICTI y por expertos en la materia bajo los siguientes criterios:

a) Relevancia de la investigación y dominio del tema.

b) Excelente redacción y ortografía que ayuden a promover la claridad, precisión y calidad del tópico que se aborda.

c) Presentación, desarrollo (argumentación) y conclusión cohesionadas, coherentes y rigurosas en la investigación, así como la exposición adecuada de los resultados.

d) Fuentes bibliográficas confiables, disponibles, actualizadas y debidamente citadas bajo el manual de referencias APA 7ta edición.

## Proceso de publicación

Todo manuscrito original e inédito será sometido a una evaluación preliminar por parte del Comité Editorial cuando se haya verificado

que cumple con los requisitos formales establecidos en las Instrucciones para autores. El dictamen técnico del Comité Editorial será inapelable y se ajustará a las siguientes instrucciones:

a) publicar sin modificaciones: el texto cumple con todos los requerimientos.

b) publicar con ajustes lingüísticos: el texto será sometido para intervenir lingüísticamente en el texto para el adecuado entendimiento del estilo del autor o autores.

c) publicar con modificaciones: se enviará al autor o autores el texto correspondiente para que éste realice las modificaciones pertinentes acerca de aquellas inconsistencias que se llegaran a presentar en la investigación. Si la versión corregida no fuera devuelta en los tres meses posteriores a la recepción de la revisión, se considerará que el trabajo ha sido retirado para su publicación.

d) no publicar: el manuscrito será devuelto al autor, autora o autores con la justificación del dictamen del Comité Editorial en la que se explique las razones de la no publicación del texto.

El resultado de la revisión y aceptación de la investigación será presentado al autor, autora o autores por medio de su información de contacto en un plazo no mayor a los tres meses a partir de la recepción del manuscrito.

Cualquier duda o aclaración podrá ser atendida en la Dirección de Difusión y Divulgación de la Ciencia y Tecnología al número telefónico: 961 69 14020 Opc. 1 Ext. 67613 o bien al correo oficial: difusion@icti.chiapas.gob.mx



# Directorio

## Directorio

**Rutilio Escandón Cadenas**  
Gobernador Constitucional del Estado de Chiapas

**Helmer Ferras Coutiño**  
Director General del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del estado de Chiapas

**Brenda Jiménez Gordillo**  
Directora de Fortalecimiento Científico y Tecnológico

**Ángel Roberto Silva Lara**  
Directora de Difusión y Divulgación de la Ciencia y Tecnología

**Aida Gómez Sánchez**  
Directora del Museo Chiapas de Ciencia y Tecnología y Planetario Tuxtla

**Luis Alberto Aguilar Espinosa**  
Director de Infraestructura Tecnológica y Comunicaciones

**Erick Augusto Archila Moreno**  
Director de Innovación y Desarrollo Tecnológico

**Alberto Bргуete Faviel**  
Director de Normatividad Tecnológica

**Martín Berlaín González Alvarado**  
Jefe de la Unidad de Apoyo Administrativo

**Héctor Gildardo Aguilar Villalba**  
Jefe de la Unidad de Apoyo Jurídico

**Herminio Riyan Moreno Hilerio**  
Jefe de la Unidad de Planeación

## Comité Editorial 2019-2023

**Dr. Lorenzo Franco Escamiroso Montalvo**  
Profesor investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)

**Dra. Verónica C. Castellanos León**  
Profesora investigadora de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)

**Dr. Sergio López Mendoza**  
Profesor Investigador de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH)

**Dr. José Rubén Orantes García**  
Profesor Investigador del Centro de Investigaciones Multidisciplinarias sobre Chiapas y la Frontera Sur Universidad Nacional Autónoma de México (CIMSUR-UNAM)

**Dr. Eduardo Garrido Ramírez**  
Profesor Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

**Dr. Segundo Jordan Orantes Albores**  
Profesor Investigador de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

**Dr. José Bastiani Gómez**  
Profesor Investigador de la Universidad Intercultural de Chiapas (UNICH)

**Dr. Martín Dagoberto Mundo Molina**  
Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)

**Dra. Diana Placer Perdomo Suárez**  
Profesora Investigadora de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)

**Dr. José del Carmen Rejón Orantes**  
Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)

**Dr. Gonzalo Cóporo Quintana**  
Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)

**Dra. Jesús Esperanza López Cortéz**  
Profesora Investigadora de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)

**Mtro. José Humberto Castañón González**  
Profesor investigador del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG)



INSTITUTO  
**DE CIENCIA, TECNOLOGÍA  
E INNOVACIÓN**

GOBIERNO DE CHIAPAS

TODA NUESTRA  
**OFERTA DE SERVICIOS**  
LA PUEDES ENCONTRAR **AQUÍ**

[icti.chiapas.gob.mx](http://icti.chiapas.gob.mx)



Sigue nuestras redes sociales  
para **mantenerte informado**