



Mexican Journal of Technology and Engineering

e-ISSN: 2954-5161

Volumen 2 Número 1



Consejo editorial

Editor en jefe

Dr. Rafael Alejandro Angel Cuapio
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

Editores de área

Ciencias Químico-Biológicas

Dr. Francisco Javier Martínez Valdez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Dr. Raziel Jesús Estrada Martínez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Ciencia y Tecnología de Alimentos

Dr. Luis Víctor Rodríguez Durán
Universidad Autónoma de Tamaulipas-UAM Mante

Ciencias Agropecuarias

Dr. José Miguel Angel Castillo Minjarez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Ingeniería y Desarrollo Tecnológico

Dr. José Fernando Méndez González
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

Ciencias Sociales y Humanidades

Dr. Cesaire Chiatouchoua
Instituto Politécnico Nacional-ESE

Comité editorial

Dr. Jesús Gerardo Saucedo Castañeda
Universidad Autónoma Metropolitana

Dr. Gerardo Atlantis Gómez Ramos
Universidad Veracruzana

Dra. María del Carmen Lozano Arizmendi
Universidad la Salle México

Dr. Daniel Trujillo Ramírez
Universidad Autónoma de Tamaulipas-UAM Mante

Dra. Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
Universidad Autónoma de Tamaulipas-UAM Mante

Dra. Enaim Aída Vargas León
Universidad Tecnológica de Tecámac

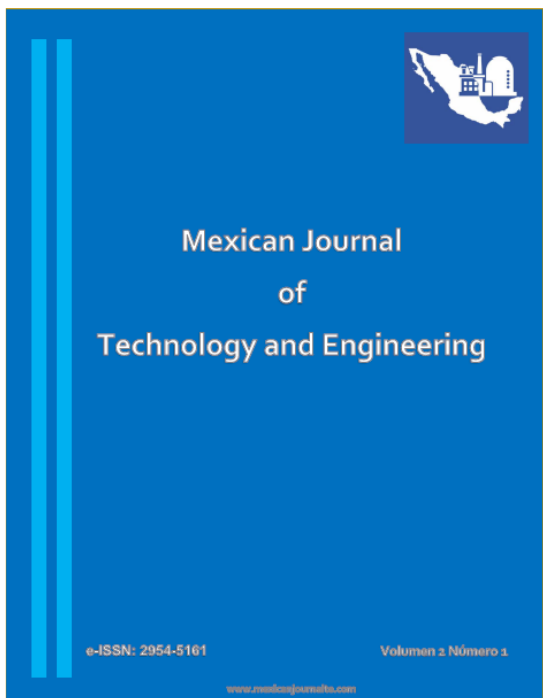
Dra. Erika Lagunes Fortiz
Universidad Autónoma de Chapingo

Dr. Paul Misael Garza López
Universidad Autónoma de Hidalgo

Dra. Josefa Espitia López
Universidad Autónoma de Hidalgo

Dra. Esperanza Trenado Sánchez
Universidad Autónoma de Querétaro

Mtra. Lucía Beltrán Castillo
Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán



Mexican Journal of Technology and Engineering es una publicación cuatrimestral (Vol. 2, No 1, Enero-Abril de 2023) editada por el Dr. Rafael Alejandro Angel Cuapio y su Consejo Editorial. Difusión y soporte digital vía internet www.mexicanjournalte.com, editorial@mexicanjournalte.com. Editor Responsable: Dr. Rafael Alejandro Angel Cuapio, con dirección en Norte 8, #214, Col. Santa Cruz, Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México, CP 56617, angelcuapio@gmail.com. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2021-063018102800-102, e-ISSN: 2954-5161, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. El responsable de la última actualización de este número fue el Dr. José Fernando Méndez González. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de la manera de pensar del Consejo y/o Comité Editorial. Queda explícitamente prohibida la reproducción total o parcial del contenido de la revista sin previa autorización expresa del Comité Editorial, podrá hacerse siempre y cuando se cite la fuente, incluyendo el título completo del artículo, el nombre del autor o autores, así como, el nombre, la fecha y el número de la revista.



Contenido

Artículos de divulgación científica

Desarrollo de biorrefinerías para el manejo sostenible del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en los canales de Xochimilco.....4-13
E. Favela-Torres.

Sargazo, el potencial recurso del Mar Caribe.....14-17
F. Méndez-González y J.J. Buenrostro-Figueroa.

Publicaciones regulares

Ciencias Sociales y Humanidades

Proteccionismo Americano: Efectos y consecuencias para Venezuela.....18-29
C. Chiatichoua, J. A. Tapia-Alba y R. Ávila-Romero.

Ciencia y Tecnología de Alimentos

Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de almidón de maíz (*Zea mays*) y harina de yuca (*Manihot esculenta crantz*).....30-43
P. López-Ordaz, J. Yáñez-Fernández, E.A. Vargas-León, F.J. Martínez-Valdez, J.M. Castillo-Minjarez, A. Totosa-Sánchez, M.E. Rodríguez-Huezo y I. García-Martínez.

Ciencias Agropecuarias

The salt content is not a limitation for ensiling sargassum collected in the mexican caribbean
44-52
F. Méndez-González, B. Hernández-Zarco, and E. Favela-Torres.

Anexos de la publicación

Guía para autores.....53-56



Artículo de divulgación

<https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.0413>

Favela-Torres, 2023

Recibido: 27-04-2023

Revisado: 28-04-2023

Aceptado: 28-04-2023

Publicado: 30-04-2023

DESARROLLO DE BIORREFINERÍAS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LIRIO ACUÁTICO (*Eichhornia crassipes*) EN LOS CANALES DE XOCHIMILCO

DEVELOPMENT OF BIOREFINERIES FOR THE SUSTAINABLE MANAGEMENT OF THE WATER LILY (*Eichhornia crassipes*) IN THE CHANNELS OF XOCHIMILCO

E. Favela-Torres^{1,*}^{1,*} Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, Ciudad de México.

Correspondencia: favela@xanum.uam.mx

Resumen

El lirio acuático es una planta invasiva que genera problemas en actividades de turismo, pesca, generación de energía eléctrica y, sobre todo, afecta los ecosistemas en los que está presente en abundancia. En este documento se presentan dos estrategias de manejo sustentable de lirio acuático, que resultaron de las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto “Desarrollo de biorrefinerías para el manejo sostenible de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en los canales de Xochimilco” financiado por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México. Las actividades de dicho proyecto se realizaron del 1 de noviembre de 2019 al 30 de julio de 2022. El objetivo del proyecto fue “Diseñar, construir y operar una biorrefinería de lirio acuático que se localizará en el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco”. Esta biorrefinería podrá servir como “vitrina” para su replicación en otros sitios de las alcaldías aledañas a Xochimilco. Como resultado del proyecto se desarrollaron estrategias de manejo sustentable de lirio acuático. La primera estrategia de alcance “local” propone el manejo de 500 a 1000 kg de lirio fresco por semana para la producción de composta, lombricomposta y material absorbente. La segunda estrategia de alcance “regional” propone el manejo de 5 a 50 o más toneladas de lirio fresco por semana para la producción de composta, lombricomposta, material absorbente y biogás. En ambos casos, el propósito fundamental es reducir significativamente los problemas asociados a la presencia



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

excesiva del lirio acuático en cuerpos de agua a través de estrategias para su manejo sustentable.

Palabras clave: malezas acuáticas, manejo sustentable, valorización.

Abstract

The water lily is an invasive plant that causes problems in tourism activities, fishing, and electricity generation and, above all, affects the ecosystems in which it is highly present. This document presents two strategies for the sustainable management of water lily, which resulted from the activities carried out during the execution of the project "Development of biorefineries for the sustainable management of water lily (*Eichhornia crassipes*) in the channels of Xochimilco" financed by the Secretariat of Education, Science, Technology, and Innovation of Mexico City. The project activities were carried out from November 1, 2019, to July 30, 2022. The objective of the project was "Design, build and operate a water lily biorefinery that will be operated in the Cuemanco Biological and Aquaculture Research Center". This biorefinery may serve as a "showcase" for its replication in other sites in the municipalities surrounding Xochimilco. As a result of the project, sustainable management strategies for water lilies were developed. The first "local" outreach strategy proposes the management of 500 to 1000 kg of fresh lily per week to produce compost, vermicompost, and absorbent material. The second "regional" scope strategy proposes the management of 5 to 50 or more tons of fresh lily per week to produce compost, vermicompost, absorbent material, and biogas. In both cases, the fundamental purpose is to significantly reduce the problems associated with the excessive presence of the water lily in bodies of water through strategies for its sustainable management.

Keywords: Aquatic weeds, sustainable management, valorization.

1. Introducción

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una planta acuática originaria de Sudamérica y está presente en más de 140 países tropicales y subtropicales (desde los 40°N hasta los 45°S) y prácticamente en todo el territorio mexicano. Es una planta de muy rápido crecimiento, capaz de duplicar su biomasa en 10 días a 30°C. Por ello, la planta es capaz de cubrir completamente la superficie de cuerpos de agua (ríos, lagos, lagunas, presas) en tiempos muy cortos [1] presentando problemas ambientales, económicos y sociales. En efecto, el lirio acuático es una planta invasiva que ha sido considerada como una plaga. Por ello, es de vital importancia la existencia de programas de manejo de lirio

acuático para mantener la vocación de los cuerpos de agua; que puede ser recreativa, productiva y de conservación ambiental. Ejemplo de ello, son los lagos de Chapala, Valle de Bravo y Xochimilco que representan, entre otras actividades, un gran interés para el turismo nacional e internacional. Por otro lado, tenemos ríos, lagos y embalses usados para la navegación y actividades productivas como la pesca y la generación de energía eléctrica.

Como buena parte de la biomasa vegetal los componentes mayoritarios del lirio acuático son hemicelulosa, celulosa, lignina, proteína y cenizas [2]. Los biopolímeros lignocelulósicos representan hasta el 80 % de la biomasa del lirio en base seca. Estos biopolímeros representan una importante



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

fuelle de materias primas para la producción de una gran cantidad de productos que van desde productos artesanales y de construcción hasta nanopartículas de celulosa de uso en el sector salud.

Las estrategias utilizadas para el control de la presencia de lirio acuático en cuerpos de agua

consisten en su remoción (manual o mecánica), su trituración mecánica y hundimiento, adición de herbicidas y control biológico. Cada una de ellas representa diferentes costos, tiempo de efectividad e impacto ambiental (Tabla 1).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los métodos disponibles para el control del lirio acuático en cuerpos de agua.

| <i>Ventajas</i> | | |
|---------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------|
| Mecánico | Químico | Biológico |
| Rápido | Barato | No presenta efectos negativos para el hombre, cultivos o ambiente |
| Remueve grandes cantidades de biomasa | Acción rápida | Mantiene la proporción de lirio a niveles manejables |
| Moderadamente selectivo | Dosis bajas | |

| <i>Desventajas</i> | | |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Mecánico | Químico | Biológico |
| Mano de obra intensiva | Los productos usados son parcialmente degradables | Tiempos de respuesta largos (de 1 a 3 años) |
| Caro | Mala imagen pública | Su efectividad depende de las condiciones geográficas y climáticas del sitio |
| Provoca azolvamiento en cuerpos de agua | Cambia la composición de especies animales y vegetales | Búsqueda permanente de agentes de control |
| No considera la disposición del lirio | Genera resistencia en la planta | |
| | Persistencia y bioacumulación | |

Entre los productos que pueden obtenerse a partir del lirio tenemos artesanías, material de construcción, papel, fertilizantes y substitutos de suelos (composta y lombricomposta), biocombustibles (bioetanol y metano), enzimas, prebióticos, aditivos para nutrición animal, material absorbente, entre otros (Fig. 1) [2,3].

2. Problemática a resolver

El lirio acuático es una planta invasiva de rápido crecimiento que debe de ser controlada para

evitar los problemas asociados a su presencia excesiva en cuerpos de agua. En el momento actual, la mejor opción para el control de la planta es su extracción mecánica, asegurando que, dependiendo de la vocación de cada cuerpo de agua, la presencia del lirio no ocupe una superficie mayor al 20 % del cuerpo de agua. Está magnitud deberá ser evaluada para cada cuerpo de agua en el que se propongan estrategias de control. Actualmente, una vez extraído el lirio, éste es depositado a la orilla de los cuerpos de agua o transportado a sitios de disposición



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

temporal o definitiva. En ambos casos, el depósito del lirio en sitios no designados para ello puede generar problemas de putrefacción y generación de lixiviados que afectan negativamente el entorno. Por otro lado, su traslado a sitios de disposición temporal o final genera altos costos de transporte debido al muy alto contenido de agua (95 %) en el lirio. Por lo que, el lirio debe de ser extraído de los cuerpos

de agua para evitar los problemas asociados a su presencia excesiva y debe ser sometido a una estrategia de manejo sustentable para evitar los problemas asociados a su disposición intermedia o final. Lo anterior, de realizarse en las cercanías del cuerpo de agua para evitar altos costos de transporte.

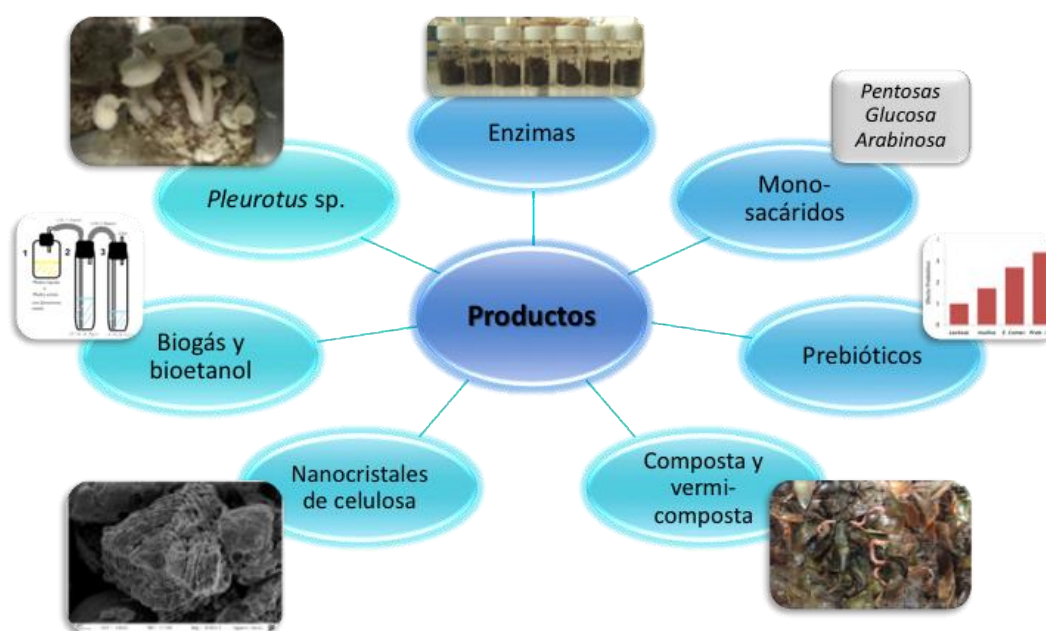


Fig. 1. Usos y aplicaciones del lirio acuático.

3. Propuesta

Para atender a la problemática asociada a la extracción, transporte y disposición del lirio, se proponen dos estrategias biotecnológicas de pequeña y gran escala a través del desarrollo, instalación y operación de biorrefinerías de lirio acuático que, además de dar un manejo sustentable a la planta, contribuirán a compensar los actuales gastos de manejo. Ambas estrategias, de pequeña y gran escala, consideran operaciones biotecnológicas de baja inversión que generan productos susceptibles de ser introducidos al mercado para la generación de bienes y servicios. Concretamente, las

operaciones propuestas a ambas escalas involucran la producción de i) composta, ii) lombricomposta, iii) biogás y iv) material absorbente.

Biorrefinería de lirio acuático

La estrategia biotecnológica general para el aprovechamiento del lirio acuático considera el esquema de Biorrefinerías que operan en régimen de cero residuos (Fig. 2).



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

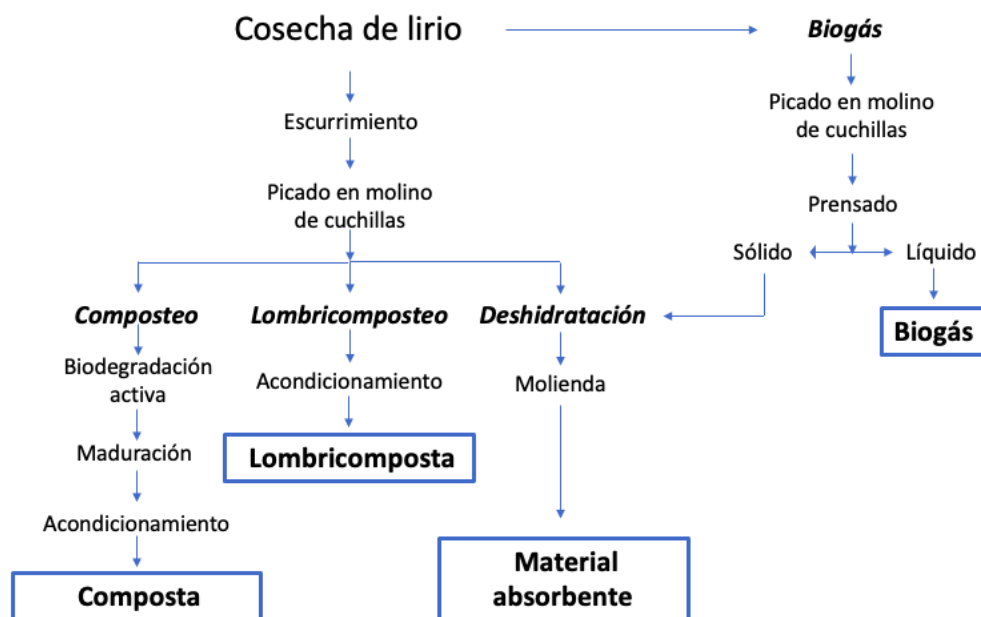


Fig. 2. Estrategia biotecnológica de manejo sustentable de lirio acuático.

A continuación, se define brevemente cada una de las operaciones unitarias consideradas en la biorrefinería:

Composta. Es el producto de la degradación microbiana de la materia orgánica. Puede ser utilizado como fertilizante o para mejorar suelos con diferentes propósitos.

Lombricomposta. Es el producto de la degradación de la materia orgánica por lombrices y microorganismos. Puede ser utilizado como fertilizante o para mejorar suelos con diferentes propósitos.

Material absorbente. Es el producto de la deshidratación controlada del lirio acuático. Es utilizado para el control de derrames de líquidos acuosos u orgánicos.

Biogás. Es un producto rico en metano y dióxido de carbono (60:40) que resulta de la degradación de la materia orgánica presente en el jugo de lirio por una mezcla compleja de microorganismos anaerobios. Es utilizado como combustible para diferentes propósitos.

Biorrefinería de pequeña escala

Esta biorrefinería está diseñada para ser operada por pequeños propietarios y/o agricultores de campos de cultivo localizados a las orillas de cuerpos de agua con presencia de lirio. Los productos propuestos a esta escala son composta, lombricomposta y material absorbente.

La materia prima de la biorrefinería de pequeña escala (Biorrefinería PE) es el lirio acuático que se acumula en los linderos del cuerpo de agua (canal, lago, río) aledaño al terreno o campo de cultivo del pequeño propietario y/o agricultor. Se pueden cosechar semanalmente de 500 a 800 kg de lirio fresco equivalentes al lirio acuático presente en una superficie de 20 a 35 m² del cuerpo de agua con una temperatura promedio de 20 °C. Una vez extraído el lirio del cuerpo de agua, se recomienda su escurrimiento por 1 o 2 días. A continuación, se reduce el tamaño de la planta con el uso de machetes y el lirio triturado se destina a los procesos destinados para la Biorrefinería PE.



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

Los cajones de composteo de la Biorrefinería PE tienen una capacidad de operación de 400 a 500 kg de lirio escurrido y triturado para producir de 30 a 36 kg de composta por semana (Fig. 3). Para ello, se requiere de una batería de 4 cajones contruidos con tarimas de madera. Cada cajón tiene una capacidad de 1 m³ (1m de ancho, 1 m de fondo y 1 m de alto). La operación de la planta de composteo consiste en depositar semanalmente entre 400 y 500 kg de lirio fresco, escurrido y triturado en el cajón 1. Semanalmente, se transfiere el material del cajón 4 a la zona de maduración, el material del cajón 3 se transfiere al cajón 4, el material del cajón 2 se transfiere al cajón 3 y, el material del cajón 1 se transfiere al cajón 2. Esto permitirá la aireación y eventual enfriamiento de la composta en cada uno de los cajones.

El material destinado a la zona de maduración se usará para la formación de pilas de 1 m de ancho, 0.6 m de alto y hasta 8 m de longitud. Este material en maduración debe de ser movido con palas cada 4 semanas para favorecer la maduración homogénea del producto. Se considera un tiempo de maduración de 12 a 20 semanas, pudiendo ser este mayor sin afectar la calidad del producto. Una vez concluido el tiempo de maduración, la composta puede ser homogeneizada mecánicamente con una pala y usada directamente como composta o almacenada para su uso posterior.

Por otro lado, en la Biorrefinería PE se pueden cosechar de 50 a 100 kg de lirio fresco para producir semanalmente de 3.6 a 7.2 kg de lombricomposta. Para ello, se construirán zanjas o pilas de lombricomposteo de 0.6 m a 1 m de ancho y de 2.5 a 4 m de largo con una altura de 0.4 a 0.6 m y que la base tenga una inclinación de 5° para la recuperación de lixiviados. El lirio fresco, escurrido y triturado semanalmente se coloca en el extremo de la pila de lombricomposteo de tal manera que la pila vaya creciendo vertical y longitudinalmente al ir adicionando semanalmente el material que se someterá a lombricomposteo. Para la obtención de la lombricomposta se considera un tiempo de biodegradación de 16 a 32 semanas.

El modo de operación de la pila de lombricomposteo de la Biorrefinería PE se describe a continuación:

- 1) Construir una zanja de 1 m de ancho, 0.5 m de alto y 3 m de largo. Procurar que el fondo de la zanja tenga una inclinación de 5° para recoger lixiviados en cada módulo de 0.5 m de largo
- 2) En el módulo 1 colocar un bloque de 200 kg de lombricomposta fresca (rica en lombrices) que ocupe un volumen de 0.2 m³. En el módulo 2 colocar 0.05 m³ de lirio fresco, escurrido y triturado (alrededor de 25 kg).
- 3) Durante las próximas 9 semanas adicionar en el módulo 25 kg a la semana de lirio fresco, escurrido y triturado.
- 4) En la semana 11 pasar 0.005 m³ de lombricomposta de la parte superior del módulo 1 a la parte superior del módulo 2 y adicionar al módulo 3, 0.05 m³ de lirio fresco, escurrido y triturado.
- 5) Continuar la alimentación del módulo 3 durante las próximas 10 semanas y repetir la operación del punto 4 para ir alimentando el módulo 4.
- 6) A partir de este momento, después de 18 semanas ya se puede cosechar la lombricomposta del módulo 1; y así sucesivamente.

Ambos productos, composta y lombricomposta, pueden ser utilizados por el pequeño propietario para su autoconsumo.

Adicionalmente, en la Biorrefinería PE se pueden procesar entre 50 y 100 kg de lirio fresco para producir semanalmente de 4 a 8 kg de material absorbente que puede ser usado localmente para la contención de derrames líquidos. Para ello, se debe de contar con una superficie de terreno de 20 m² a 40 m², colocando a razón de 2.5 kg de lirio fresco, escurrido y triturado por metro cuadrado y dejarlo al sol hasta que el peso se mantenga constante. Esta operación deberá hacerse en días soleados, al abrigo de la lluvia y con baja humedad relativa en el medio ambiente.



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

El tiempo de secado puede durar de 48 a 96 h. El secado se llevará a cabo más rápido si el lirio se coloca en malla de plástico localizada a 50 cm del nivel del suelo. Esto favorecerá el flujo de aire caliente a través del lirio.

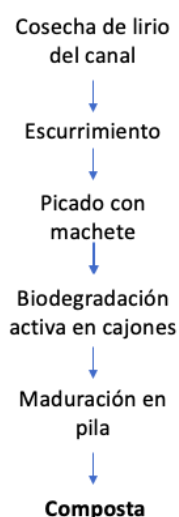


Fig. 3. Diagrama de flujo del proceso de producción de composta en la Biorrefinería de pequeña escala.

Biorrefinería de mediana y gran escala

La biorrefinería de mediana y gran escala está diseñada por ser operado por los sectores privado y público. Los productos propuestos para este tipo de biorrefinerías son composta, lombricomposta, material absorbente y biogás. La materia prima de la biorrefinería de mediana y gran escala (Biorrefinería GE) es el lirio acuático que se acumula en cuerpos de agua en el país (canales, lagos, ríos, presas, entre otros). La capacidad de operación de este tipo de Biorrefinerías GE depende de la superficie del cuerpo de agua y de la tasa de duplicación de la biomasa del lirio; siempre considerando que las instalaciones de la biorrefinería deben estar lo más cerca del cuerpo de agua del que se cosechará el lirio acuático. Además, es importante localizar la biorrefinería en un sitio

cercano al lugar de acumulación natural (por viento y/o corrientes de agua) del lirio acuático. Lo anterior es importante para reducir los costos de cosecha y transporte del lirio acuático.

Por lo anterior, en esta sección no dimensionaremos los procesos de transformación del lirio en la Biorrefinería GE; en lugar de ello, describiremos la estrategia de manejo sustentable de lirio acuático a gran escala (Fig. 4).

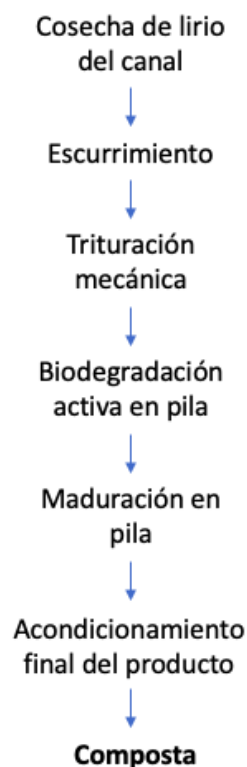


Fig. 4. Diagrama de flujo del proceso de producción de composta en la Biorrefinería de mediana y gran escala.

Cómo parte de la extracción del lirio acuático se recomienda depositarlo en transportadores ligeros (TL) de 24 a 45 m³ (3 m de ancho, de 4 a 5 m de largo y de 2 a 3 m de altura) con capacidad para escurrir y transportar de 4 a 6 ton de lirio fresco por TL. Además de transportar el lirio del sitio de cosecha a la biorrefinería, los TL servirán



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

para el escurrimiento del exceso de agua en el lirio. Como se mencionó anteriormente, se recomiendan 48 h de escurrimiento en sitios al abrigo de la lluvia. El lirio escurrido es transportado de la zona de escurrimiento a la zona de trituración; en donde, el lirio será fragmentado en un triturador y posteriormente transportado a las zonas de composteo, lombricomposteo, secado o de producción de biogás.

En las biorrefinerías de gran escala el lirio triturado es composteado en pilas de composteo que, dependiendo de la capacidad de operación de la planta de composteo, pueden ser pilas de 1.4 m de ancho, 0.8 m de alto y hasta 100 m de largo; hasta pilas de 5 m de ancho, 2 m de alto y hasta 100 m de largo. En términos de las condiciones de manejo del lirio en la zona de compostaje, el proceso se divide en dos etapas: Biodegradación activa y maduración. El lirio escurrido y triturado es transportado a los patios de composteo en los que se lleva a cabo la primera etapa (Biodegradación activa) que tiene una duración de 4 semanas. Para esta etapa se arman las pilas de composteo, cuyas dimensiones dependerán de la capacidad de operación de la biorrefinería. El material en las pilas es volteado con una volteadora de composta o con una pala mecánica de 1 a 2 veces por semana durante 4 semanas. Durante esta etapa de 4 semanas hay una reducción de 70 a 80 % en el volumen del material. Al finalizar la etapa de biodegradación activa, el lirio es transportado a los patios de maduración, en donde se lleva a cabo la 2ª etapa del composteo. Esta etapa tiene una duración de 3 a 4 meses durante los cuales el material es volteado con una volteadora de composta o con una pala mecánica de 1 a 2 veces por mes. Al finalizar la etapa de maduración, el material es transportado a la zona de acondicionamiento final, en donde el producto es homogeneizado y preparado para su presentación final; que puede ser a granel o en costales de 20 a 30 kg. Se procurará que el contenido de humedad del producto final sea de 30 a 40 % (p/p).

Para la producción de lombricomposta, el lirio escurrido y triturado es transportado a la zona de

lombricomposteo. Las dimensiones y número de lombricomposteadores (LCo) dependerá de la capacidad de operación de la Biorrefinería GE. En términos generales, se proponen dos modelos de operación de lombricomposteadores; estos pueden operar en régimen de lote alimentado o en régimen de flujo pistón. En ambos casos la tasa de alimentación de los LC va de 20 a 50 kg de lirio escurrido y triturado por semana y por m² de superficie de lombricomposteador y el tiempo de residencia del material en los LC va de 18 a 24 semanas. Una vez extraído el material de los LC se recomienda un periodo de estabilización en pila durante 4 semanas; seguido de la etapa de acondicionamiento final para tener un producto estable con 10 a 40 % (p/p) de contenido de humedad.

Para la obtención del material absorbente se usa la misma estrategia propuesta para la Biorrefinería PE; a saber, el lirio escurrido y triturado es transportado a la zona de secado en donde se distribuye en mallas de plástico localizadas a 50 cm del nivel del suelo. Para dimensionar la zona de secado se considera una tasa de alimentación del lirio a los secadores de 2.5 a 10 kg de lirio fresco y triturado por semana por metro cuadrado. Una vez deshidratado, el lirio puede ser tamizado para eliminar partículas menores a 2 mm y empacado en costales de 2.5 a 10 kg de materia seca u homogeneizado en molino de martillos previo a su empaque en costales de 5 a 20 kg de materia seca. La patente otorgada a la empresa Tecnología Especializada en el Medio Ambiente S.A. de C.V. [4] describe con detalle la producción y uso del material absorbente obtenido a partir de lirio acuático y presenta los desarrollos históricos de la empresa TEMA S.A. de C.V. relacionados con el aprovechamiento de lirio acuático como material absorbente.

La producción de biogás en la Biorrefinería GE dependerá esencialmente de la vocación y necesidades energéticas de la Biorrefinería. El biogás es un producto rico en metano (metano/CO₂, 60/40) que puede ser utilizado como combustible para actividades domésticas (estufas, calentadores) o industriales (secadores y



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

generadores de energía eléctrica). Por su baja compresibilidad el metano presenta problemas de almacenamiento; por lo que, es recomendable producirlo y usarlo simultáneamente. La cantidad de lirio destinado a la producción de biogás estará directamente relacionada con el consumo de energía en la biorrefinería; en la que puede ser utilizada para los secadores de lirio acuático, como combustible en algunos de los motores de la biorrefinería o para la generación de energía eléctrica en generadores alimentados con biogás. La estrategia de producción de biogás a partir de lirio acuático (Fig. 5). El lirio escurrido y triturado es transportado a la zona de producción de biogás en donde es sometido a un proceso de extrusión y separación líquido sólido por medio de un extrusor diseñado y construido para ese propósito. Del extrusor se obtiene de 50 a 70 % de líquido rico en materia orgánica (JLA) y de 30 a 50 % de sólido extruido húmedo (SEH) que puede ser usado para la producción de un material absorbente de mejor calidad que el obtenido con el lirio integro. El JLA es diluido con agua del cuerpo de agua para obtener una concentración de DQO de 20 a 100 g/L y alimentado a un biorreactor anaerobio de flujo ascendente que opera con un tiempo de residencia hidráulico de 24 h. El biogás obtenido deberá ser directamente utilizado en las instalaciones de la biorrefinería o en zonas habitacionales aledañas a la biorrefinería.

Es muy importante mencionar que la infraestructura de la Biorrefinería GE puede ser utilizada para el procesamiento de la fracción orgánica de residuos orgánicos urbanos (FORSU) o para el tratamiento de aguas residuales.

4. Conclusión

El lirio acuático es una planta invasiva con gran presencia en cuerpos de agua en México. Su presencia excesiva genera problemas de índole social, ambiental y económico. La única estrategia para su manejo sustentable es la extracción manual o mecánica y su transformación en productos bajo el concepto de cero residuos. Esta transformación puede ser a pequeña, mediana o gran escala bajo el esquema de operación de

biorrefinerías para producir composta, lombricomposta, material absorbente y/o biogás; que puede ser usados por pequeños propietarios, productores, inversionistas o las propias instancias municipales, estatales y federal. Entre mayor sea la capacidad de operación de la biorrefinería mayor es el margen de utilidad asociada a la comercialización y uso de los productos arriba descritos. La infraestructura de la biorrefinería de lirio acuático puede ser utilizada para el procesamiento de FORSU y aguas residuales; contribuyendo al saneamiento integral del medio ambiente.

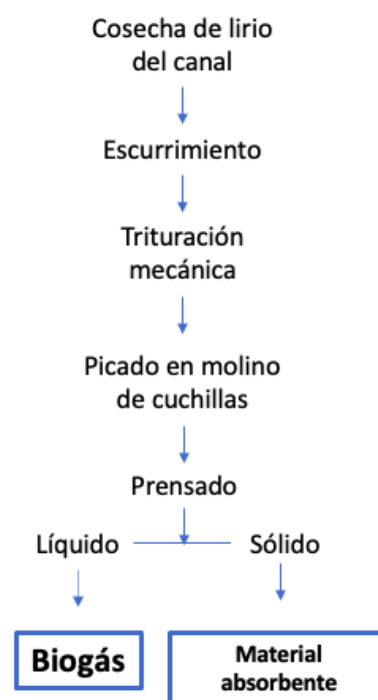


Fig. 5. Diagrama de flujo del proceso de producción de composta en la Biorrefinería de mediana y gran escala.

5. Agradecimientos

El proyecto contó con el apoyo financiero de la SECTEI-CDMX (Proyecto 283-2019).



Artículo de divulgación

Favela-Torres, 2023

6. Referencias

[1] Abdelhamid AM y Gabr AA Evaluation of water hyacinth as feed for ruminants”, Archives of Animal Nutrition. 1991, 41 (7/8), 745–756.

[2] Gunnarsson CC y Mattsson PC. “Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review”, Waste Management. 2007, 27: 117-129.

[3] Méndez-González F, Pichardo-Sánchez A, Espinosa-Ramírez BH, Rodríguez-Durán N, Bustos-Vázquez G y Rodríguez-Durán LV. Valorization of non-native aquatic weeds biomass through their conversion to biofuel, en Ríos González JL, Medina-Morales MA, Rodríguez-de-la-Garza JA y Aguilar CN (editores), Consolidated processes: bioenergy, biomolecules and biomaterials, Florida, Apple Academic Press. 2021, pp 271-282.

[4] Vargas-Soto JE, Vargas-Soto JL y Vargas-Soto JC. Lirio acuático procesado y acondicionado alternativa en la generación de energía. 2017, OMPI WO 2007/094651 A1.



Artículo de divulgación

<https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.1417>

Méndez-González y Buenrostro-Figueroa, 2023

Recibido: 27-04-2023

Revisado: 28-04-2023

Aceptado: 28-04-2023

Publicado: 30-04-2023

SARGAZO, EL POTENCIAL RECURSO DEL MAR CARIBE

SARGASSUM, THE POTENTIAL RESOURCE OF THE CARIBBEAN SEA

F. Méndez-González^{1,*} y J.J. Buenrostro-Figueroa¹

^{1,*}Laboratorio de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Coordinación Delicias, Chihuahua, México, 33088.

Correspondencia: fernando.mendez@ciad.mx

Resumen

A partir del 2011, se han incrementado los arribazones de sargazo provenientes del Mar de los Sargazos en diversas zonas del Mar Caribe. Estos arribazones atípicos infestan las playas obstaculizando las actividades económicas y causando desequilibrio ambiental y daños a la salud humana. La remoción del sargazo es costosa y está fuera del alcance de la mayoría de las zonas afectadas. Por ello, se han estudiado estrategias para utilizar su biomasa en la generación de productos cuya comercialización contribuya amortizar los costos de recolección y a la disminución de la población de sargazo.

Palabras clave: Valorización, malezas acuáticas, manejo sustentable.

Abstract

Since 2011, sargassum arrivals from the Sargasso Sea have increased in various areas of the Caribbean Sea. These atypical sandbanks infest the beaches, hindering economic activities and causing environmental imbalance and damage to human health. Sargassum removal is expensive and out of reach for most affected areas. Therefore, strategies have been studied to use biomass in the generation of products whose commercialization contributes to amortizing the collection costs and the sargassum population decrease.

Keywords: Valorization, aquatic weeds, sustainable management.



Artículo de divulgación

Méndez-González y Buenrostro-Figueroa, 2023

1. Introducción

El sargazo es un alga marina de color pardo cuya población regularmente se concentraba en una zona denominada Mar de los Sargazos. A partir de esa región se generaban pequeños arribazones de sargazo a costas colindantes con el Océano Atlántico pertenecientes a los continentes americano y africano. Sin embargo, a partir del 2011, los arribazones de sargazo han permitido la formación y propagación de una región denominada el Gran Cinturón de Sargazo del Atlántico. Actualmente, esta región se extiende desde las costas de Brasil hasta los Estados Unidos, concentrando una gran cantidad de sargazo (aprox. 20 millones de toneladas). Los arribazones periódicos provenientes de esta nueva población de sargazo infestan las costas, causando daños al medio ambiente [1], la salud humana y las actividades económicas [2]. Entre ellos, causa erosión en las playas, limita el transporte de oxígeno en el agua, dificulta la movilidad de las embarcaciones (para diferentes propósitos), genera un mal aspecto en las playas turísticas y, su descomposición, emite gases de olor desagradable con potencial toxicidad para el ser humano. Por lo anterior, diferentes servicios (gubernamentales y privados) se han encargado de la remoción del sargazo en la costa. Sin embargo, los arribazones de sargazo presentan una alta variabilidad estacional, lo que dificulta la logística y disposición de recursos para su recolección, a la vez complica generar estrategias viables para su disposición [3].

El proceso más común para la remoción del sargazo incluye el monitoreo satelital o por drones, la colocación de barreras marinas, la recolección en aguas costeras, traslado, trituración y disposición final. Este proceso representa un costo mensual aproximado de 1'800, 000 pesos (MXN) por km de línea costera [3]. En la mayoría de las costas del Mar Caribe, ese tipo de servicios es incosteable, por lo que, tienden manualmente a apilar el sargazo y dejarlo descomponer en la playa, lo que genera focos de infección o potencializa su daño ambiental. Ante ello, es necesario implementar estrategias para

convertir al sargazo de un problema a un recurso mediante su valorización. La clave para la valorización del sargazo se encuentra en su composición química, ya que a partir de ella se podrían generar productos con valor agregado.

2. Estrategias para la valorización del sargazo

El sargazo contiene diferentes compuestos que le permiten ser incorporado a procesos simples y elaborados para la obtención de productos con valor agregado, algunos de ellos se describen a continuación:

Material absorbente. Los alginatos contenidos en el sargazo le confieren la capacidad de absorber diferentes compuestos contaminantes como iones metálicos y colorantes. Por ello, se han diseñado filtros de sargazo, los cuales, han mostrado efectividad en la remoción de esos compuestos en agua [4]. Los filtros de sargazo podrían ser una alternativa efectiva y de bajo costo para el tratamiento de agua residual proveniente del sector industrial.

Fertilizantes agrícolas. El alto contenido de minerales en el sargazo abre la posibilidad de utilizarlo como un fertilizante agrícola. Extractos y harina de sargazo han sido aplicados sobre cultivos. Entre los efectos se ha observado mejoras en la elongación de las raíces y generación de hojas, flores y frutos.

Alimento pecuario. El sargazo que arriba a las costas mexicanas contiene 39% de carbohidratos, 8% de proteína cruda y cerca del 1% de compuestos vitamínicos que incluye retinol y ácido ascórbico. Por ello, puede ser utilizado como complemento alimenticio para ganado. Se han obtenido buenos resultados a utilizar la harina de sargazo como suplemento para alimentar gallinas y cabras. Sin embargo, estacionalmente el sargazo puede contener altas concentraciones de arsénico [5], lo cual, puede ser una limitante para este uso.



Artículo de divulgación

Méndez-González y Buenrostro-Figueroa, 2023

Extracción de alginatos y fucoidanos. Los polisacáridos de la pared celular de las algas cafées las protegen de la deshidratación y le confieren resistencia y flexibilidad estructural. Entre ellos, el sargazo contiene una alta concentración de alginatos y fucoidanos [6]. Los alginatos tienen aplicaciones como espesantes y estabilizantes en la elaboración de productos alimenticios y farmacéuticos. Por otro lado, los fucoidanos presentan actividad antiviral, anticancerígena, antiinflamatoria, antimicrobiana y anticoagulante, por lo que son de interés farmacéutico. Ambos polisacáridos se pueden extraer de forma simple para su aprovechamiento.

Biocombustibles. El sargazo contiene una alta concentración de carbohidratos y una baja concentración de lignina, por lo cual, es susceptible de emplearse como materia prima en los procesos de digestión anaerobia y fermentación alcohólica para la obtención de biogás y etanol (respectivamente). A partir del sargazo se han obtenido rendimientos de metano de hasta 260 L/kgsv (sv, sólido volátil) [7]. Este rendimiento puede ser incrementado mediante tratamientos biológicos y fisicoquímicos que disminuyan el contenido de alginatos, sulfuros, polifenoles y sales en el sargazo. Por otro lado, el sargazo puede ser utilizado para producir etanol, alcanzando rendimientos cercanos a 20 g/L. Para ello, es necesario implementar un pretratamiento para hidrolizar los polisacáridos y convertirlos en azúcares fermentables [8]. Microorganismos como *Saccharomyces cerevisiae* y *Hanseniaspora opuntiae* se han utilizado para la producción de etanol a partir del sargazo. Con el sargazo se han obtenido mayores rendimientos de etanol en comparación con otras malezas acuáticas (algas y plantas) como *Saccharina latissimi*, *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* L. [8].

3. Panorama para la disposición y uso del sargazo

Debido a sus usos potenciales, los masivos arribazones de sargazo podrían fomentar el desarrollo de actividades económicas que

consideren el uso de sargazo como materia prima para la obtención de productos con alto valor agregado que permitan su comercialización y, con ello, solventar los costos de su remoción y beneficiar económicamente a la región. Sin embargo, previo a implementar estrategias para la valorización del sargazo, primero se debe establecer un marco legal que lo caracterice apropiadamente (como recurso natural, materia prima o desperdicio). Por lo anterior, es necesaria una caracterización estructural continua del sargazo, a manera de determinar su manejo más adecuado. Lo anterior, debe acompañarse de información precisa acerca de las zonas de acumulación para facilitar su recolección, almacenaje y procesamiento que, en el caso de considerarse al sargazo como materia prima debe existir una coordinación entre academia, industria y gobierno a fin de generar e implementar estrategias para su valorización. Esta coordinación podría generar la instalación de biorrefinerías donde el sargazo sea incorporado a una cadena de procesos en la que, se aproveche el sargazo completamente (sin residuos) y se obtengan diversos productos valorizados. El sistema de biorrefinerías ha sido implementado para el procesamiento de otras malezas acuáticas (como el lirio acuático) y ha permitido generar fuentes de empleo y beneficios económicos en las comunidades donde son instaladas [9]. Por ello, su edificación, podría beneficiar a los habitantes de las zonas infestadas por el sargazo, sobre todo donde el turismo no es la principal actividad económica. Además, el consumo industrial de sargazo por parte de las biorrefinerías contribuiría al control poblacional del alga y a mitigar los daños asociados con su acumulación [10].

4. Conclusión

Los arribazones de sargazo ocasionan serios daños ambientales, económicos y de salud humana en diversas playas del Mar Caribe. No obstante, por su composición el sargazo puede ser utilizado para la obtención de diversos productos con valor agregado. Los diferentes procesos diseñados para la valorización del



Artículo de divulgación

Méndez-González y Buenrostro-Figueroa, 2023

sargazo pueden incorporarse en biorrefinerías, lo que permitiría la explotación del sargazo a gran escala y con un enfoque de cero residuos. Lo anterior contribuiría en la amortización de costos de recolección y en la generación de ingresos y fuentes de empleo en la región, convirtiendo al sargazo de una plaga a un recurso aprovechable.

5. Referencias

- [1] van Tussenbroek BI, Hernández Arana HA, Rodríguez-Martínez RE, Espinoza-Avalos J, Canizales-Flores HM, González-Godoy CE, et al. Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Mar Pollut Bull.* 2017;122(1-2):272-81.
- [2] Chávez V, Uribe-Martínez A, Cuevas E, Rodríguez-Martínez RE, van Tussenbroek BI, Francisco V, et al. Massive Influx of Pelagic *Sargassum* spp. on the Coasts of the Mexican Caribbean 2014-2020: Challenges and Opportunities. *Water (Basel).* 2020; 12(10): 2908.
- [3] López Miranda JL, Celis LB, Estévez M, Chávez V, van Tussenbroek BI, Uribe-Martínez A, et al. Commercial Potential of Pelagic *Sargassum* spp. in Mexico. *Front Mar Sci.* 2021; 8.
- [4] López-Miranda JL, Silva R, Molina GA, Esparza R, Hernandez-Martinez AR, Hernández-Carteño J, et al. Evaluation of a Dynamic Bioremediation System for the Removal of Metal Ions and Toxic Dyes Using *Sargassum* Spp. *J Mar Sci Eng.* 2020; 8(11): 899.
- [5] Rodríguez-Martínez RE, Roy PD, Torrescano-Valle N, Cabanillas-Terán N, Carrillo-Domínguez S, Collado-Vides L, et al. Element concentrations in pelagic *Sargassum* along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019. *PeerJ.* 2020; 8: e8667.
- [6] Sanjeewa KA, Kang N, Ahn G, Jee Y, Kim YT, Jeon YJ. Bioactive potentials of sulfated polysaccharides isolated from brown seaweed *Sargassum* spp in related to human health applications: a review. *Food Hydrocoll.* 2018; 81, 200-208.
- [7] Soto M, Vázquez MA, de Vega A, Vilariño JM, Fernández G, de Vicente MES. Methane potential and anaerobic treatment feasibility of *Sargassum muticum*. *Bioresour Technol.* 2015; 189:53-61.
- [8] Méndez-González F, Pichardo-Sánchez A, Espinosa-Ramírez B, Rodríguez-Durán N, Bustos-Vázquez G, Rodríguez-Durán LV. Valorization of Nonnative Aquatic Weeds Biomass Through Their Conversion to Biofuel. En: Ríos-González L, Rodríguez-de-la-Garza A, Medina-Morales M, Aguilar C, editores. *Handbook of Research on Bioenergy and Biomaterials.* 1st ed. New York: Apple Academic Press; 2021. p. 271-282.
- [9] Nega DT, Ramayya AV, Maneti F, Amaral AF. Turning curse into cure: Potential of water hyacinth for bio-refining. A contextual investigation of Lake Tana. *Environmental Challenges;* 2021; 5: 1000387.
- [10] Martínez-Ruiz JA, Méndez-González F. Biorrefinería: control y aprovechamiento del lirio acuático. *Ciencia.* 2022; 73 (2): 79-84.



Artículo de investigación

Chiatchoua et al., 2023

<https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.1829>

Recibido: 08-12-2022

Revisado: 17-01-2023

Aceptado: 26-01-2023

Publicado: 30-04-2023

PROTECCIONISMO AMERICANO: EFECTOS Y CONSECUENCIAS PARA VENEZUELA

AMERICAN PROTECTIONISM: EFFECTS AND CONSEQUENCES FOR VENEZUELA

C. Chiatchoua^{1,*}, J. A. Tapia-Alba¹ y R. Ávila-Romero².

¹Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

²Facultad de Negocios Internacionales Logística Internacional, Universidad Popular Autónoma de Puebla, Puebla, México.

*Correspondencia: cchiatchoua@ipn.mx

Resumen

Los Estados Unidos han practicado políticas proteccionistas, ya sea como impulsora en su crecimiento o como estrategia comercial. Esto se ve reflejado en su actual relación con la economía venezolana. El objetivo de este trabajo es analizar los efectos de las medidas proteccionistas del gobierno norteamericano sobre la economía venezolana. Para esto, se utilizaron datos de varias fuentes principalmente los indicadores del desarrollo mundial (2019). Los resultados muestran que la gasolina siendo el producto de mayor exportación presenta una caída de 78% en 2019 comparado a 2018; el PIB per cápita cayó 12.8% respecto a 2015; Para 2017, la situación no mejoró, mostrando una caída todavía importante de 48.8%, entre tanto, que para las perspectivas del año 2017 prevé un incremento inflacionario de 2.200%. Finalmente, la inflación para 2019 se estima a 10.000.000%. Frente a empeoramiento de la situación en Venezuela, voltear en búsqueda del apoyo de aliados históricos como China, Rusia y algunos países latinoamericanos como Cuba y Bolivia le permitirá sortear la presión de los EE UU.

Palabras clave: Sanciones, Comercio, Relaciones internacionales, América Latina, Política.

Abstract

The United States has practiced protectionist policies, either as a driver of growth or as a trade strategy. This is reflected in its current relationship with the Venezuelan economy. The objective of this work is to analyze the effects of the protectionist measures of the North American government on the Venezuelan economy. For this, data from various sources were used, mainly



Artículo de investigación

Chiatchoua et al., 2023

the world development indicators (2019). The results show that gasoline, being the largest export product, shows a 78% drop in 2019 compared to 2018; GDP per capita fell 12.8% compared to 2015; For 2017, the situation did not improve, showing a still important fall of 48.8%, meanwhile, which for the perspectives of the year 2017 foresees an inflationary increase of 2,200%. Finally, inflation for 2019 is estimated at 10,000,000%. Faced with the worsening of the situation in Venezuela, turning to seek the support of historical allies such as China, Russia, and some Latin American countries such as Cuba and Bolivia will allow it to avoid pressure from the United States.

Keywords: Sanctions, Trade, International relations, Latin America, politics.

1. Introducción

Los Estados Unidos (EE. UU.) han desatado una serie de medidas proteccionistas (conjuntos de acciones para proteger el mercado nacional de las amenazas exteriores en materia comercial), basadas en su política de *America First*. Los países latinoamericanos han sido los perjudicados de esta política proteccionista, por ejemplo, el peso mexicano se ha debilitado. Al respecto, [1] menciona que las políticas proteccionistas de EE. UU. son resultados del bajo crecimiento económico, desempleo y déficit de comercio exterior en muchos países, dejando a un lado los acuerdos comerciales multilaterales y optando por acuerdos bilaterales para tomar ventaja, frenar el crecimiento de importaciones y encarar sus problemas económicos. [1] añade que, la economía mexicana saldrá seriamente afectada, dada su gran dependencia de la economía de EE. UU. por lo que recomienda la necesidad de cambio de estrategia de desarrollo; además, México se favorecería al salirse del TLCAN, pues tendría la posibilidad de tener una política económica para crecer hacia el mercado interno y sustituir a las importaciones.

Para el caso de Venezuela, el gobierno norteamericano ha impuesto sanciones comerciales, financieras, económicas y políticas. Estas sanciones se relacionan con el comportamiento de los últimos mandatarios en Venezuela, Chávez y Maduro; que han defendido una forma de administrar el poder basándose en una nueva ideológica y política denominada

revolución bolivariana o bolivarianismo [2]. Esta ideología promueve el nacionalismo, el socialismo, el antiimperialismo y la participación ciudadana emergente [3].

Estas sanciones han traído una inestabilidad que afecta toda la economía del país. Derivado del anterior, cabe preguntarse: ¿Cuáles son las sanciones como medidas proteccionistas en los ámbitos financieros, comercio, y económicos aplicadas por el gobierno americano en Venezuela?, o más ¿Cuáles son los efectos del neo-proteccionismo americano sobre el comercio, las inversiones, el empleo y el crecimiento económico en Venezuela? La respuesta a estas preguntas constituye el objetivo de este documento, que se traduce en un análisis de los efectos de las medidas proteccionistas del gobierno norteamericano sobre la economía venezolana.

La estructura del trabajo es la siguiente. En el primer apartado se presenta la introducción, en un segundo apartado se detalla las principales medidas proteccionistas norteamericanas aplicadas en Venezuela. En el tercer apartado se detalla las consecuencias del proteccionismo americano en distintas dimensiones como comercio, exportaciones, inversiones, empleo y PIB Per cápita. Finalmente, se discuten los resultados y se presentan las conclusiones y recomendaciones relevantes.



Artículo de investigación

Chiatchoua et al., 2023

2. Principales medidas proteccionistas norteamericanas

El planteamiento central de la nueva estrategia de poder de la geopolítica y geoestrategia norteamericana bajo el mandato de Donald Trump ha sido hacer nuevamente grande a los EE. UU. en el mundo. El país del norte ha sido el principal promotor de la globalización de la economía mundial, favoreciendo a las grandes empresas transnacionales norteamericanas. Para Trump, el liderazgo estadounidense estaba amenazado principalmente por la presencia de China, por lo que plantea una "nueva era de rivalidad" con base en las tensiones geopolíticas y contradictorias de la globalización neoliberal, evidenciando el carácter neoconservador y hegemónico de la política estadounidense [4].

2.1. Ofensivas de los EE. UU. en contra de Organismos Internacionales

A continuación, se describen las acciones ofensivas adoptadas por Estados Unidos en contra de organismos internacionales tales como la ONU, UNESCO, OTAN.

El presidente Trump calificó la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) de obsoleta y pidió a los países miembros de aumentar sus presupuestos militares, al no hacerlo, amenazó de negarles su ayuda. También, oficialmente no apoyó la organización en la aplicación del artículo 5º que estipula que los aliados deben auxiliar a uno de los suyos en caso de agresión exterior. Por eso, el mandatario afirmó que Estados Unidos no piensa proteger a los miembros de la OTAN que tengan relaciones tensas con otros Estados como Rusia, por ejemplo, si no contribuye lo suficiente al presupuesto anual según la [5].

Asimismo, Estados Unidos criticó a la Organización de las Naciones Unidas (ONU) por la alta burocracia y la mala administración. Según [6] el presidente Trump comentó que la ONU debe centrarse más en la gente y menos en la burocracia y buscar sobre todo resultados. Luego, añadió que esta organización fue fundada con

metas verdaderamente nobles, pero que se ha convertido en un club de junta, charla y diversión de la gente. Finalmente amenazó con reducir el financiamiento a la institución en caso de no revertir la situación.

Estados Unidos decidió retirarse de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) el 31 de diciembre de 2018 debido a la actitud anti-Israel de la organización; cabe señalar que EE. UU. ha sido hasta ahora el principal financiador de la UNESCO con contribuciones del 22% en los últimos años [7]. Además, no es la primera vez que se retira de la organización, lo anterior ocurrió en 1984 con el presidente Reagan argumentando una mala administración y fue reintegrado en 2007. Oficialmente, los puntos de discordancia entre ambas partes se sitúan en la educación, la ciencia y la cultura, reprochan a la organización la admisión de la palestina (en 2011) y la posible inclusión de la Ciudad de Hebrón como sitio patrimonial de la humanidad [8].

Finalmente, en 2018 el presidente Trump anunció el fin de su colaboración en la Declaración de Nueva York, adoptada en 2016 por 193 países de la ONU, y que se asocia con la mejora en la gestión internacional de los migrantes. Los argumentos de su salida son que los acuerdos no son compatibles con las políticas migratorias y de refugiados de su país [9].

Básicamente los programas como "Deferred Action for Childhood Arrivals" (DACA) y "Central American Minors" (CAM) orientados a apoyar jóvenes migrantes llamados los "DREAMERS" y jóvenes Centroamericanos, no cumplen con la visión del programa nacionalista estadounidense *America First*. Los EE. UU. justifican su desacuerdo y divergencia con los Organismos y tratados mencionados por cuestiones de seguridad nacional (Véase tabla 1).

2.2. Medidas proteccionistas de los EE. UU. en contra de Venezuela

Las medidas o sanciones de los EE. UU. han sido aplicadas a varios países como la Unión Europea, China, Turquía, Rusia, Corea del Norte, Ruanda y



Artículo de investigación

Chiatichoua et al., 2023

países latinoamericanos, como Venezuela. En materia comercial, las sanciones comerciales estadounidenses en contra del gobierno venezolano han causado una contracción del comercio exterior del país. Sobre todo, si tomamos en cuenta que, aun en el presente, EU. UU. es el principal socio comercial de Venezuela, como se observa en el Tabla 2. Por ejemplo, la exportación de gasolina de EE. UU. hacia Venezuela, cayeron 78% en 2019 respecto al 2018, siendo el producto de mayor exportación. Note también, que Venezuela importa electrónica (sobre todo telefonía) producto que registró un incremento de 102%.

El 42% de las exportaciones del país sudamericano van a EE. UU. (Véase Tabla 3); mientras que el 38% de las importaciones venezolanas tienen procedencia estadounidense [10]. En contraste, de acuerdo con el informe, ya citado, de US Trade Numbers señala que esta relación comercial con EE. UU. convierte a Venezuela en el mercado número 59 a nivel mundial, esto en comparación con el año anterior que ocupaba el puesto 31. Se observa que en la columna de productos una disminución del petróleo de 61%, siendo el principal generador de ingreso para el país. Venezuela sigue siendo altamente dependiente de los ingresos del

petróleo, que representan casi todos los ingresos de exportación y casi la mitad de los ingresos del gobierno.

Retomando el tema del petróleo, con un 85% de participación en 2014 (una cifra que fue del 89% en 2010), es el principal y casi único intercambio con Estados Unidos, pero los cambios en el precio del crudo han hecho variar los ingresos. En 2009 se recibieron 26.500 millones de dólares en ese concepto, que subieron hasta 40.000 en 2011 y bajaron hasta 28.200 en 2014. A gran distancia, la segunda materia más exportada son los químicos, 496 millones de dólares en 2014 [11].

Desde 2017, Trump viene apretando el alicate de las sanciones en contra del gobierno de Venezuela como se puede apreciar en el Tabla 4. Por ejemplo, las restricciones a la venta de petróleo impuestas en 2018 bajo la orden ejecutiva 13850 y en el sector del oro significaron una disminución sustancial del flujo de efectivo para el país y desataron una crisis por la escasez de combustible. Además, las sanciones sucesivas en el sector financiero bajo la Orden Ejecutiva 13808 en 2017, después el Orden Ejecutiva 13827 en 2018 y finalmente la Orden Ejecutiva 13835 en el mismo año.

Tabla 1. Medidas de seguridad nacional de los EE. UU.

| | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Medida Migratoria | <ul style="list-style-type: none"> - Control de fronteras - Construcción de un muro en la frontera sur para detener el flujo de migrantes - Prohibición de entrada a EE UU de personas de origen musulmán - Deportación de inmigrantes ilegales - Reconocimiento a Jerusalén como capital de Israel |
| Medida Comercial | <ul style="list-style-type: none"> - Relaciones económicas libres y justas - Retiro de EEUU del Acuerdo transpacífico de Cooperación económica (TPP) - Retiro de EEUU del Acuerdo de París - Eliminación de los desequilibrios comerciales con China - Imposición de elevados aranceles a las importaciones - Fortalecimiento de las relaciones internacionales con base en los intereses norteamericanos |

Fuente: Elaboración propia con base en [4].



Artículo de investigación

Chiatchoua et al., 2023

Tabla 2. Las exportaciones estadounidenses a Venezuela.

| Producto | Diferencia 2018-2019 (%) | Monto 2018 (Millones de dólares) |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Gasolina | -78.92 | 248.5 |
| Teléfonos celulares y accesorios | +102.36 | 26.2 |
| Éteres, alcoholes y peróxidos | -58.68 | 17.8 |
| Gas licuado | -73.64 | 16.8 |
| Soya y derivados | -55.71 | 15.3 |

Fuente: US Trade Numbers Worldcity. Disponible en: <https://www.ustradenumbers.com/country/venezuela/>

Tabla 3. Las exportaciones venezolanas a Estados Unidos.

| Producto | Diferencia 2018-2019 (%) | Monto 2018 (Millones de dólares) |
|----------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Petróleo | -61.47 | 1,360 |
| Gasolina y derivados | -66.51 | 267.4 |
| Alcoholes acrílicos | -25.43 | 36.9 |
| Camarones y mariscos | +6.46 | 20.5 |
| Cable aislante | -29.69 | 10.2 |

Fuente: US Trade Numbers Worldcity. Disponible en: <https://www.ustradenumbers.com/country/venezuela/>

Tabla 4. Medidas de EE. UU. VS Venezuela.

| Medidas | Consiste en | Fundamento Legal |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Sector petrolero y Oro | 5 personas y la Compañía Estatal Minera fueron sancionadas por un escándalo de corrupción que generó 2.4 mil millones de dólares por especulación con oro | Orden Ejecutiva 13850 (2018) |
| | La estatal Petróleos de Venezuela (PDVSA) es sancionada por el Departamento del Tesoro. Sus activos en EE. UU. son congelados y se prohíbe a personas de ese país hacer transacciones con la empresa | Orden Ejecutiva 13850 (2018) |
| | Se amplían las sanciones contra PDVSA y Evrofinance Mosnarbank, banco en co- propiedad de Rusia y Venezuela para financiar operaciones de la empresa | |
| | 44 navío, pertenecientes a 6 navieras, son sancionados por hacer envío de petróleo a Cuba | |
| | Se prohíbe el acceso de dólares al Banco Central de Venezuela | |
| financieras adicionales | Restricción al mercado estadounidense de deuda y bonos para empresas y organismos públicos de Venezuela. | Orden Ejecutiva 13808 (2017) |
| | Prohibición a empresas a llevar a cabo operaciones con Venezuela mediante el uso de criptomonedas. Maduro creó el petro en 2018 | Orden Ejecutiva 13827 (2018) |
| | Prohibición al gobierno de EE. UU. y empresas a comprar bonos de deuda del gobierno venezolano. | Orden Ejecutiva 13835 (2018) |

Fuente: In Focus. Congressional Research Service. Venezuela: Overview of U.S. Sanctions. Disponible en: <https://fas.org/sgp/crs/row/IF10715.pdf>



Artículo de investigación

Chiatchoua et al., 2023

3. Las consecuencias del proteccionismo estadounidense en los ámbitos de Económicos y Sociales de Venezuela

La presidencia de Maduro está inmersa en un contexto de inflación económica, desempleo y desabastecimiento de mercados, a los que se suma una serie de protestas sociales frecuentes, una baja popularidad. [12] y una alta inseguridad ciudadana, causada por los robos, la delincuencia callejera y los saqueos [3].

Cabe señalar que El PIB se contrajo 12% en 2017, la inflación superó el 2000%, las personas enfrentaron una escasez generalizada de bienes de consumo y medicamentos, y las reservas internacionales del banco central disminuyeron. A fines de 2017, Venezuela también ingresó en incumplimiento selectivo en algunos de los bonos de su compañía petrolera estatal, Petróleos de Venezuela, SA, (PDVSA). La producción nacional y la industria continúan teniendo un desempeño

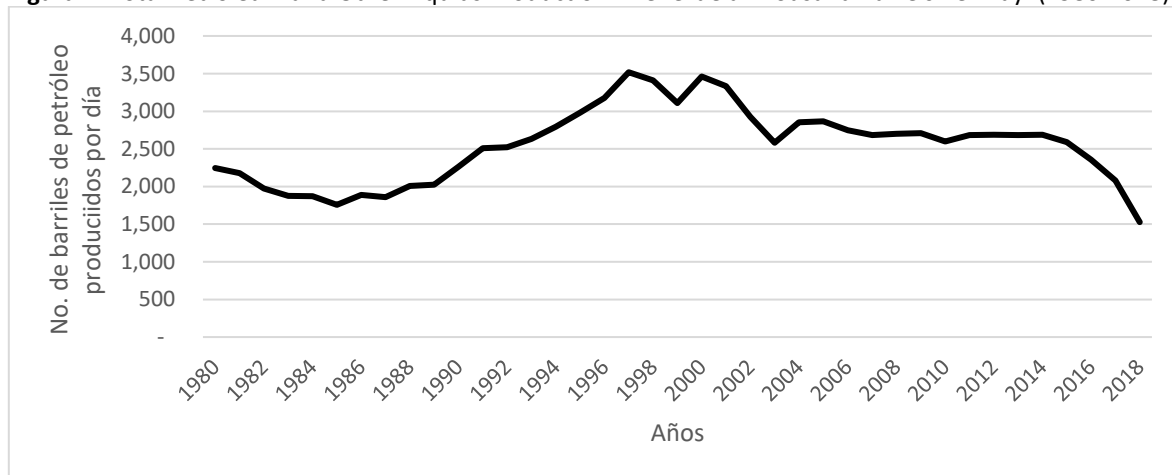
muy bajo y el gobierno venezolano continúa confiando en las importaciones para satisfacer sus necesidades básicas de alimentos y bienes de consumo.

A partir de estas observaciones, en este apartado se presentan los efectos de las medidas norteamericanas sobre la sociedad venezolana en su conjunto.

3.1. Económicos

La caída de los precios del petróleo desde 2014 ha agravado la crisis económica de Venezuela. El acceso insuficiente a dólares, los controles de precios y las rígidas regulaciones laborales han llevado a algunas empresas multinacionales y estadounidenses a reducir o cerrar sus operaciones en Venezuela. La incertidumbre del mercado y el pobre flujo de efectivo de PDVSA han reducido la inversión en el sector petrolero, lo que ha provocado una disminución en la producción del mismo (Véase figura 1).

Figura 1. Total Petroleum and Other Liquids Production - Venezuela Thousand Barrels Per Day. (1980-2018).



Fuente: Elaboración propia con base en U.S. Energy Information Administration.

La caída de los precios de petróleo combinada con la llegada a la presidencia de Donald Trump y sus diferentes sanciones cambiaron el contexto. Para 2016 el PIB per cápita cayó 12.8% respecto a 2015; Para 2017, la situación no mejoró,

mostrando una caída todavía importante de 48.8%, según datos de [13]. Finalmente, durante el primer semestre de 2019 continuó el desplome de la producción petrolera y de la economía, que



Artículo de investigación

Chiatchoua et al., 2023

además acumula su sexto año consecutivo de recesión.

Al cierre de 2018, la economía venezolana ya arrastraba una caída acumulada del ingreso per cápita cercana al 50% desde 2013 (tan solo en 2018 cayó 18%), representando así el mayor desplome experimentado en tiempos modernos

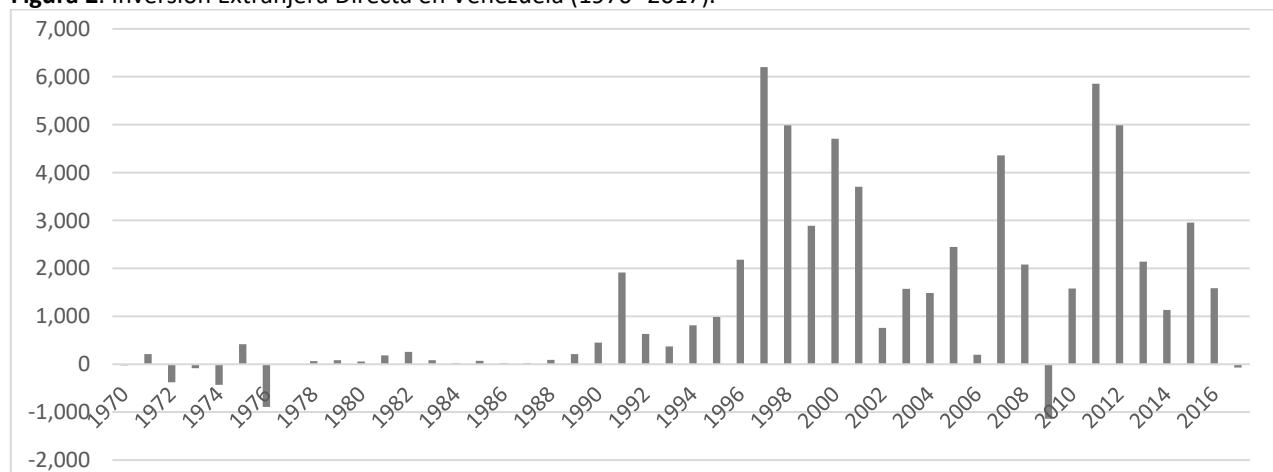
por país alguno que no haya estado en situación de guerra. El ingreso per cápita es hoy incluso inferior al del año 1950. Esta caída se ha exacerbado durante el primer semestre de 2019, estimando el Fondo Monetario Internacional que la economía declinará nuevamente en 2019 [14].

Tabla 5. Proyecciones para América latina y el caribe (Crecimiento del PIB real; Porcentaje).

| Países | 2017 | Estimaciones | Proyecciones | | Proyecciones | |
|-------------------------------|-------|--------------|--------------|-------|--------------|------|
| | | 2018 | 2019 | 2020 | 2019 | 2020 |
| América Latina y el Caribe | 1.2 | 1.0 | 0.6 | 2.3 | -0.8 | -0.1 |
| Excluida Venezuela | 1.9 | 1.6 | 1.3 | 2.5 | -0.7 | -0.1 |
| América del Sur | 0.6 | 0.4 | 0.1 | 2.2 | -1.0 | -0.2 |
| Excluida Venezuela | 1.6 | 1.3 | 1.2 | 2.6 | -0.8 | -0.2 |
| CAPRD | 4.0 | 3.9 | 3.7 | 3.9 | -0.1 | 0.0 |
| CARIBE | | | | | | |
| Dependientes del turismo | 0.9 | 1.6 | 1.9 | 1.9 | -0.1 | 0.0 |
| Exportaciones materias primas | -1.0 | 1.0 | 0.8 | 6.5 | 0.0 | 0.9 |
| AMÉRICA LATINA | | | | | | |
| Argentina | 2.7 | -2.5 | -1.3 | 1.1 | -0.1 | -1.1 |
| Brasil | 1.1 | 1.1 | 0.8 | 2.4 | -1.3 | -0.1 |
| Chile | 1.3 | 4.0 | 3.2 | 3.4 | -0.2 | 0.2 |
| Colombia | 1.4 | 2.6 | 3.4 | 3.7 | -0.1 | 0.1 |
| México | 2.1 | 2.0 | 0.9 | 1.9 | -0.7 | 0.0 |
| Perú | 2.5 | 4.0 | 3.7 | 4.1 | -0.2 | 0.1 |
| Venezuela | -15.7 | -18.0 | -35.0 | -10.0 | -10.0 | 0.0 |

Fuente: FMI, base de datos de perspectivas de la economía mundial y cálculos del personal técnico del FMI.

Figura 2. Inversión Extranjera Directa en Venezuela (1970- 2017).



Fuente: Elaboración propia con base en [15].



Artículo de investigación

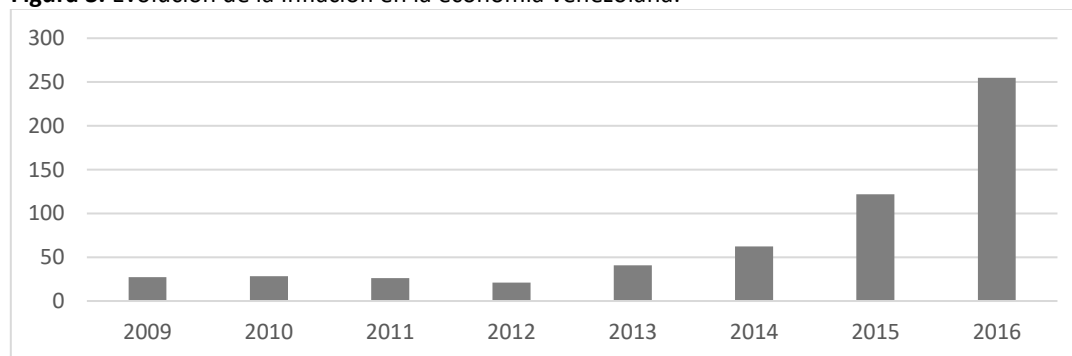
Chiatchoua et al., 2023

En América Latina la inversión extranjera directa (IED) ha sido considerada, oficialmente, como un factor indispensable para el desarrollo, de la que se espera la modernización industrial, la importación de tecnología, la creación de empleos y se ha destacado su importante contribución al ahorro y al equilibrio de la balanza de pagos [12]. La figura 2 muestra la evolución de la IED en Venezuela, se observa la importancia en el país después de la apertura comercial en general en el continente, después una dura caída en 2006, 2010 y en 2017. Las dos primeras fechas se pueden explicar por la crisis financiera en los EE. UU. dado que 42% de las exportaciones del país sudamericano van al país mencionado.

Después de 2014, se observa una inestabilidad de la IED provocada por las sanciones aplicadas por los EE. UU. que consisten básicamente en

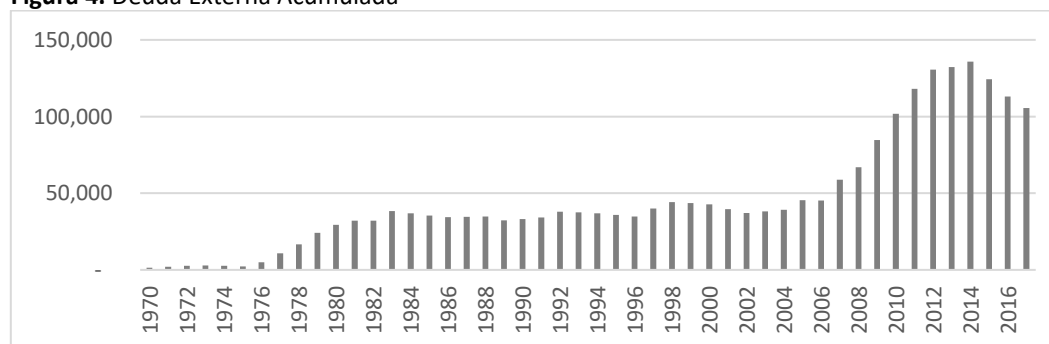
prohibir a las empresas estadounidenses hacer negocios con Caracas e impedir la entrada de la cúpula del régimen a su territorio. Además, las firmas extranjeras que también se arriesgan a ser sancionadas si tienen vínculos con el chavismo o “*madurismo*”. Además, la divisa a precio de mercado negro pasó de 100 bolívars fuertes por dólar a mediados de 2014. [16], a más de 1.000 bolívars fuertes por dólar a principios de 2016. [17], aproximadamente cuatro veces más que la tasa oficial de cambio más alta; no obstante, una gran parte de la economía ha venido utilizando dicho precio como valor de referencia para una inmensa cantidad de bienes y servicios. De ese modo, el precio del dólar negro sigue siendo determinado en función del valor publicado en una página web perseguida por el gobierno [18] (Véase la figura 3).

Figura 3. Evolución de la Inflación en la economía venezolana.



Fuente: Elaboración propia con base en [15].

Figura 4. Deuda Externa Acumulada



Fuente: Elaboración propia con base en [15].



Artículo de investigación

Chiatchoua et al., 2023

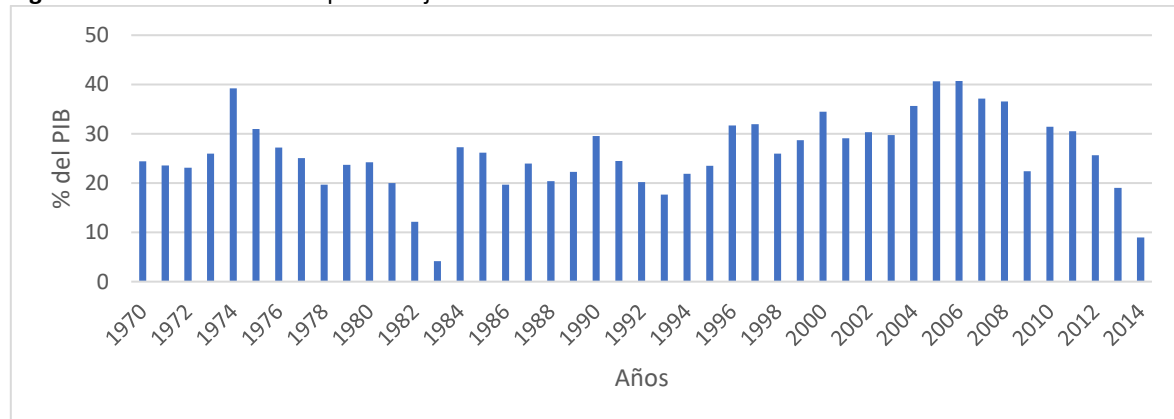
Para [19] en el año 2015, la inflación registró un crecimiento de 180,9%, siendo los alimentos y bebidas no alcohólicas con un incremento de 315,0%. Así también, en marzo de 2016, la inflación fue de 16,2% y la acumulada del 1er trimestre 2016 fue de 57%, entre tanto, que la tasa acumulada marzo16/marzo15, daba un aumento de precios de 355,0%. Por otra parte, la inflación subyacente, se estimaba en 940,0%. Todo ello, viene a reconfirmar la desbocada aceleración de precios en el país. Cuando, se consulta las previsiones del FMI, refiere que la inflación para 2016, será de 720%, entre tanto, que para las perspectivas del año 2017 prevé un incremento inflacionario de 2.200%. Finalmente, la inflación para 2019 se estima a 10.000.000%. Un panorama muy oscuro que contablemente lleva al país directamente a la indeseable hiperinflación [20].

Para [21] es relevante estudiar la propuesta de dolarización que fue la salida adoptada por Zimbabwe después de la hiperinflación que padeció en 2008. De hecho, según [22] la mayoría de los costes de la economía venezolana ya están dolarizados, pero no los salarios de los trabajadores. El dólar es la moneda necesaria para la compra de viviendas, automóviles y para

las adquisiciones a plazo por lo que la economía del país ya está dolarizada de manera informal.

La [23] menciona que la deuda externa directa del gobierno central se incrementó 4.229 millones de dólares en 2016, lo que supone un alza del 10% con respecto al saldo de fines de 2015. En tanto, la deuda interna del gobierno central evaluada en dólares se contrajo un 21% ese mismo año, producto de la devaluación del bolívar. En 2017, el fisco venezolano, PDVSA y algunas empresas públicas enfrentaron un elevado servicio de la deuda externa. En el caso del gobierno central, los pagos superan los 2.500 millones de dólares y en 2018, 2019 y 2020 superarán los 5.000 millones de dólares por año (Figura 4). Por otra parte, la situación de crisis afecta también el nivel de ahorro bruto como porcentaje del PIB (véase Figura 5), se puede observar que para 2010 el nivel era de 31.4% del PIB, ese nivel se vino a la baja hasta alcanzar 8.9% en 2014, es decir más de 23 puntos porcentuales en solo 4 años. No se pudo conseguir datos después de la crisis petrolera y de las sanciones, no obstante, no hay mucho que esperar dado que Venezuela atraviesa una profunda crisis [24].

Figura 5. Ahorro bruto como porcentaje del PIB en Venezuela.



Fuente: Elaboración propia con base en [15].

3.3. Social

La crisis económica y humanitaria continúa ahondándose en el país latinoamericano. Se

proyecta que el PIB real caerá un 35% en 2019 con lo cual la contracción acumulada desde 2013 superaría el 60%. Se espera asimismo que la



Artículo de investigación

Chiatchoua et al., 2023

hiperinflación continúe, y que la emigración se intensifique, previéndose para fines de 2019 una cifra total de migrantes venezolanos que rebasaría los 5 millones. Este éxodo está teniendo considerables repercusiones en otros países de la región. En este apartado se detallan algunas repercusiones en la economía de Venezuela.

la [25] si bien no se dispone de datos sobre el mercado laboral venezolano, los recientes patrones migratorios, en especial de mano de obra especializada, ha impuesto severas restricciones a la oferta laboral en el país, afectando de manera significativa los sectores de salud, educación, y en particular, al sector petrolero. Las cifras de desempleo y los problemas sociales son cada vez más alarmantes, convirtiéndose en la situación más grave del venezolano común.

La congelación de las empresas y los señalamientos a involucrados en los Clap (Comités Locales de Abastecimiento y Producción), el programa asistencial con el que ha paliado desde hace tres años la escasez con alimentos importados vendidos a precios subsidiados, tras un complejo plan de corrupción, suponía un duro golpe al instrumento que ha usado el chavismo para el control político. De él dependen al menos 16,3 millones de venezolanos, un número que ha ido en aumento, según datos de la encuesta de condiciones de vida del venezolano de 2018. Este mismo estudio reveló que, en medio de la peor crisis económica que atraviesa el país, al 90% de los venezolanos no le alcanzan los ingresos para cubrir los alimentos y que el 51% de los hogares está en situación de pobreza.

Un posible embargo económico total encontraría al país en su peor momento, con una hiperinflación que cumplirá dos años en noviembre de 2019, una de las más prolongadas. Además, el sector productivo está totalmente postrado, especialmente el sector agrícola, y la reconversión de la moneda realizada hace apenas un año ya ha sido devorada por el dólar, que es la moneda de facto. En Caracas, desde una carrera de taxi hasta un perrito caliente callejero,

pasando por una consulta médica, ropa y zapatos en centros comerciales, se pagan en dólares [26].

Finalmente, para [27] a pesar de la profunda crisis económica y una hiperinflación histórica, las presiones de Estados Unidos, la crisis política junto a los intentos de golpe de Estado y las medidas de los nuevos gobiernos neoliberales por aislar regionalmente al país, el “chavismo” obtuvo de. Esta nueva victoria electoral del chavismo –que recibe el apoyo económico de China y político de Rusia, además de Cuba y Bolivia en la región– le permite por el momento sortear la presión de Washington y sus aliados.

4. Conclusiones y perspectivas

El 20 de enero de 2017, Donald Trump se convirtió en el 45to presidente de los EE UU. Veinte meses más tarde, ha impuesto aranceles sobre las lavadoras y paneles solares, sobre el acero y el aluminio y también sobre miles de productos chinos, turcos, mexicanos y venezolanos. Y prepara nuevos aranceles sobre automóviles. Estas acciones fueron acompañadas por sanciones a Venezuela relativas al terrorismo, al tráfico de drogas, a las prácticas antidemocráticas, relativas a las violaciones a los derechos humanos y corrupción, al sector petrolero y oro y finalmente al sector financiero.

Estas sanciones han provocados daños muy importantes en el país sudamericano, por ejemplo, las cifras de desempleo cada vez más alarmantes, las altas tasas de conflictividad y homicidios y una grave crisis política también caracterizada por confrontaciones, polarización, elecciones de dudosa convocatoria y resultados, parcialidad institucional, desconfianza en los actores políticos; en el sector económico se observa una pérdida del PIB de -38% acumulado, a una tasa de inflación mensual del 85% en 2017, siendo la inflación más alta del mundo.

Otra consecuencia de las sanciones, para 2016 el PIB per cápita cayó 12.8% es decir de 9,696 euros en 2015 pasó a 8,453 euros en 2016. Para 2017, la situación no mejoró al contrario se observó una



Artículo de investigación

Chiatchoua et al., 2023

caída todavía importante de 48.8%, es decir de 8,453 euros a 4,332 euros. Además, la IED pasó de 2015 de 2956 MDD a 1587 MDD en 2016; la divisa a precio de mercado negro pasó de 100 bolívars fuertes por dólar a mediados de 2014 a más de 1.000 bolívars fuertes por dólar a principios de 2016.

Los resultados muestran que la intención del gobierno norteamericano es hacer todo lo posible para provocar que la situación en Venezuela se complique, de tal forma, que Maduro y su régimen abandonen el poder del país sudamericano. No tan ajeno a esta situación, hemos sido testigo de este tipo de práctica en Brasil con el encarcelamiento de Lula Da Silva, el apoyo a Macri en Argentina, el Aislamiento de Evo Morales en Bolivia y otros. El empoderamiento de América Latina basándose en la doctrina de Monroe pudiera ser el plan detrás de todo este movimiento. Solo, hay que hacer una reflexión.

De tal forma, que no es de extrañarse que la gran migración de los venezolanos en estos últimos años, son de carácter social y económico. Por lo que, si no hay vuelta al régimen, podría haber soluciones en términos económicos de rescatar a grandes aliados y potencias económicas como China y Rusia, que le permitirían sustituir la codependencia económica en materia de exportaciones e importaciones con los EEUU. Sin dejar de mencionar los países latinoamericanos, llámese Cuba o Bolivia, que le permitiría a Venezuela, sortear la presión de los EE UU.

5. Referencias

- [1] Huerta, A. Impacto de la política proteccionista de Estados Unidos en la economía mexicana. *Economíaunam*. 2017; 14(42),118. <http://www.scielo.org.mx/pdf/eunam/v14n42/1665-952X-eunam-14-42-118.pdf>
- [2] López, M, M. Venezuela: Hugo Chávez y el bolivarianismo. *Revista Venezolana de Economía y Ciencia Sociales*. 2008; 14(3), 55-82. bit.ly/1WH7CTt.
- [3]. Lovón, M, A., Pita, P, S. Los términos de la crisis venezolana. *Boletín de Lingüística*. 2016; 28(45-46), 79-110.
- [4] Roncal Vattuone, X y Calderón Collazos, C. Los dilemas proteccionistas de Trump. *Investigación Negocios*. 2018; 11(18) http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2521-27372018000200004&lng=es&nrm=iso
- [5]. HISPANTV Nexo Latino. Trump: EE. UU. no ayudará a los miembros de la OTAN que no pagan. 2018. <https://www.hispantv.com/noticias/ee-uu-/362090/trump-otan-presupuesto-conflicto-pagar>
- [6]. Nuevo Diario. Trump critica la "burocracia" que atrofia a la ONU. Consultada el 10 de octubre 2018 en: <https://www.elnuevodiario.com.ni/internacional/es/440617-trump-critica-burocracia-que-atrofia-onu/>
- [7] BBC Mundo. Estados Unidos anuncia su salida de la Unesco por preocupaciones que incluyen "un sesgo contra Israel" del organismo. 2017. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-41599664>
- [8]. Tassé, L. Les Etats-Unis sortent de l'UNESCO, Opinions. 2018. <https://www.journaldemontreal.com/2017/10/13/les-etats-unis-sortent-de-lunesco>
- [9]. Le Monde.fr. Migrants, Unesco, climat: comment les Etats-Unis sortent des accords internationaux. 2018. https://www.lemonde.fr/donald-trump/article/2017/12/03/migrants-unesco-climat-comment-les-etats-unis-se-desengagent-des-accords-internationaux_5223890_4853715.html



Artículo de investigación

Chiatchoua et al., 2023

- [10]. Technology, M, I. *Observatory of Economic Complexity*. 2019. <https://atlas.media.mit.edu/en/profile/country/v/en/>
- [11]. El País. Las ventas latinoamericanas a EE. UU. en riesgo por el proteccionismo de Trump. 2017.
- [12]. Morales, P, C. Maduro está en picada y el chavismo no halla la salida para frenar la crisis. *El deber mundo*. Santa Cruz. 2015. <http://bit.ly/29UuCjO>.
- [13]. Expansión. datos macro.com. Evolución PIB per cápita de Venezuela. 2019. <https://datosmacro.expansion.com/pib/venezuela>
- [14]. Centro de Estudios Latinoamericanos. Informe de situación y perspectivas de la economía de Venezuela. 2019. <https://www.cesla.com/informe-economia-venezuela.php>
- [15]. Indicadores del Desarrollo Mundial. "Gasto en Investigación y desarrollo (% del PIB); Ahorro bruto (% del PIB); Deuda externa acumulada total; Inflación, precios al consumidor (% anual); Inversión Extranjera Directa, entrada neta de capital y PIB per Cápita.". 2019.
- [16]. Reuters. 2014. [http://www.reuters.com/article us-venezuela-currency-id USKCN0HL2GW20140926](http://www.reuters.com/article/us-venezuela-currency-id USKCN0HL2GW20140926)
- [17]. El País. "El dólar Paralelo se Dispara en Venezuela". 2016. http://internacional.elpais.com/internacional/2016/02/03/america/1454533918_502436.html
- [18]. El Nuevo Herald. "Venezuela demanda a 'Dólar Today', sitio web del dólar negro". 2015. <http://www.elnuevoherald.com/noticias/mundo/america-latina/venezuela-es/article41243667.html>.
- [19]. Sánchez, R. A. (2016). Venezuela: Un régimen híbrido en crisis. *Revista de Ciencia Política*. 2016; 36(1), 365-381.
- [20]. Morillo, N. Indicadores de la coyuntura-Venezuela. *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura*. 2016; 22(1), 177-186.
- [21]. Echarte F, M, A., Martínez H, M., y Zambrano, O. (2018). Un análisis de la crisis económica de Venezuela desde los postulados de la Escuela Austríaca de Economía. *Revista lasallista de Investigación*. 2018; 15(2). DOI: [10.22507/rli.v15n2a5](https://doi.org/10.22507/rli.v15n2a5)
- [22]. Cordeiro, J.L. *La segunda muerte de Bolívar y el renacer de Venezuela*. 2016. Cedice Libertad.
- [23]. Comisión Económica Para América Latina. Balance Preliminar de las Economías de América Latina y el Caribe. 2017. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42651/64/BPE2017_Venezuela_es.pdf
- [24]. Acosta, Y. Sufrimiento psicosocial del siglo XXI: Venezuela y la Revolución. *RIP*. 2018; 19, 111 - 133. http://www.scielo.org.bo/pdf/rip/n19/n19_a09.pdf
- [25]. CEPAL. Estudio Económico de América Latina y el Caribe. 2018. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43964/105/EEE2018_Venezuela_es.pdf
- [26]. El País. Trump congela todos los activos del Gobierno venezolano en Estados Unidos. 2019. https://elpais.com/internacional/2019/08/06/america/1565055325_220193.html
- [27]. Merino, G. E. (2019). Guerra comercial y América Latina. *Revista de Relaciones Internacionales de la UNAM*. 2019; 134, 67-98. <file:///D:/Usuarios/ad016301/Downloads/70083-206702-1-PB.pdf>

**Artículo de investigación**<https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.3043>

López-Ordaz et al., 2023

Recibido: 07-02-2023

Revisado: 17-03-2023

Aceptado: 26-04-2023

Publicado: 30-04-2023

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE PELÍCULAS COMESTIBLES A BASE DE ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea mays*) Y HARINA DE YUCA (*Manihot esculenta crantz*)

PHYSICALCHEMICAL CHARACTERIZATION OF EDIBLE FILMS BASED ON CORN STARCH (*Zea mays*) AND CASSAVA FLOUR (*Manihot esculenta crantz*)

P. López-Ordaz^{1*}, J. Yáñez-Fernández¹, E.A. Vargas-León², F.J. Martínez-Valdez², J.M. Castillo-Minjarez³, A. Totosaus-Sánchez⁴, M.E. Rodríguez-Huezo⁴ y I. García-Martínez⁴.

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Biotecnología Alimentaria. Av. Acueducto S/N Col. Barrio la Laguna, Ticomán, C.P. 07340, Ciudad de México, México.

²División Química Biológicas, Universidad Tecnológica de Tecámac, Carretera Federal México-Pachuca Km 37.5, Col. Sierra Hermosa, C.P. 55740, Tecámac, Estado de México, México.

³División de Electromecánica Industrial, Universidad Tecnológica de Tecámac, Carretera Federal México-Pachuca Km 37.5, Col. Sierra Hermosa, C.P. 55740, Tecámac, Estado de México, México.

⁴Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Av. Tecnológico y Hank González, Ecatepec de Morelos 55210, Estado de México, México.

*Correspondencia: pedroordaz@hotmail.com

Resumen

El aprovechamiento de nuevos materiales para elaborar películas comestibles (PC) ha suscitado en la actualidad el interés de reducir problemas de contaminación y reciclaje, además han cobrado un gran interés debido a su capacidad para conservar los alimentos manteniendo sus propiedades físicas y organolépticas durante más tiempo. Por lo que, estos nuevos materiales deben tener buenas propiedades mecánicas y de barreras aceptables (flexibles y una estructura elástica) para facilitar su aplicación. El objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos de la composición sobre las propiedades mecánicas, así como, opacidad, permeabilidad al vapor de agua y microestructura de películas comestibles (PC) de almidón de maíz (*Zea mays*) y harina de yuca (*Manihot esculenta crantz*). Las concentraciones de almidón y harina fueron de 1 y 2%, respectivamente, mezclándose con albumina de huevo (0.75 mg/mL), usando glicerol al 3%



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

como plastificante. Las PC con mejores propiedades mecánicas y ópticas fueron obtenidas con la mezcla al 1% de almidón de maíz (AM) y harina de yuca (HY), requiriendo una fuerza de 15 N de esfuerzo a la punción con 0.35 cm de deformación, 35% de elongación y 10 Kg/mm² de resistencia a la ruptura. Además, mostraron una opacidad de 5.2 Au*nm/mm y 1.2x10⁻¹⁴ g/m s Pa de permeabilidad al vapor de agua (WVP). Estos resultados mostraron que las PC a base de AM - HY al 1% podrían ser usadas como una alternativa para recubrir frutas y hortalizas, prolongando su vida útil.

Palabras clave: Almidón de maíz, harina de yuca, deformación, elongación, permeabilidad al vapor de agua.

Abstract

The use of new materials to elaborate edible films (PC) has currently raised the interest to reduce contamination, and recycling problems, in addition they have gained great interest due to their capacity to preserve food maintaining their physical, and organoleptic properties for a long time. Therefore, these new materials must have good mechanical properties, and acceptable barriers (flexible and elastic structure) to facilitate their application. The objective of this work was to study the effects of composition on the mechanical properties, as well as opacity, water vapor permeability, and microstructure of edible films (PC) of corn starch (*Zea mays*), and cassava flour (*Manihot esculenta cranz*). The concentrations of starch, and flour were 1 and 2%, respectively, mixed with egg albumin (0.75 mg/mL), using 3% glycerol as plasticizer. The PC with the best mechanical, and optical properties were obtained with the 1% mixture of corn starch (AM), and cassava flour (HY), requiring a force of 15 N of puncture stress with 0.35 cm of deformation, 35% of elongation and 10 Kg/mm² of breaking strength. In addition, they showed an opacity of 5.2 Au*nm/mm and 1.2x10⁻¹⁴ g/m s Pa water vapor permeability (WVP). These results showed that 1% AM-HY based PC could be used as an alternative for coating fruits and vegetables, prolonging their shelf life.

Keywords: Corn starch, cassava flour, deformation, elongation, water vapor permeability.

1. Introducción

Las películas (PC) y recubrimientos comestibles (RC), son una capa delgada de material biodegradable que proporciona barreras al oxígeno, humedad y actividad de los solutos en alimentos [1,2]. En los últimos años las PC están adquiriendo mayor interés en su uso como empaque de alimentos, debido a su manejabilidad y carácter biodegradable, reduciendo la contaminación ambiental, con respecto al uso de películas sintéticas. Además, la

incorporación de aditivos en su formulación puede extender la vida útil, mejorando y conservando la calidad de los alimentos durante su almacenamiento. Las PC pueden demorar el proceso de madurez de las frutas y hortalizas controlando la pérdida fisiológica de peso (PFP), mejorando la apariencia, tanto en frescura, brillo y firmeza, características deseables en productos perecederos. Dentro de las macromoléculas más utilizadas para la obtención de PC y RC, se pueden encontrar polisacáridos (celulosa, gomas



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

y almidón), proteínas (caseína, colágeno y gelatina) y lípidos (grasas vegetales y animales) [3].

El polisacárido más utilizado en la elaboración de PC y RC es el almidón, ya que es el biopolímero más abundante en la naturaleza, renovable, de bajo costo y biodegradable [4], teniendo una gran diversidad de fuentes botánicas para su obtención, con características funcionales específicas. La harina de yuca es usada en la industria alimentaria para la fabricación de pastas, como espesante de sopas deshidratadas, como relleno para carnes procesadas, en galletería, condimentos y papillas. Su uso en mezclas instantáneas y harinas precocidas ha incrementado gracias a sus propiedades funcionales, por lo que su evaluación en la formulación de PC y RC, se ha convertido en una excelente alternativa de interés para la investigación. En la actualidad la tendencia es combinar diferentes macromoléculas, aprovechando sus propiedades, mejorando las características de las PC. Las PC y RC han demostrado tener diversas aplicaciones, aprovechando sus propiedades como recubrimientos activos (Active Coating Systems), al incorporar agentes antimicrobianos, enzimas, antioxidantes, indicadores de pH, que permitan conservar las propiedades organolépticas de las frutas y hortalizas [3], ya que uno de los problemas que se presentan en la recolección de estos productos en su madurez, son los cambios metabólicos que aceleran la senescencia y destrucción del tejido celular. Asimismo, después de la recolección se produce pérdida de turgencia y cambios fisicoquímicos que demeritan la calidad del producto haciendo necesaria la búsqueda de opciones, que prologuen su vida útil. Por lo que, la finalidad de este trabajo fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas, mecánicas, ópticas y microestructurales de las PC formuladas a base de almidón de maíz (*Zea mays*) y harina de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

2. Materiales y métodos

Para la elaboración de las PC se utilizó almidón de maíz (*Zea mays*) (Sigma Aldrich, USA) y harina de

yuca (*Manihot esculenta* Crantz) adquirida en un mercado de la Ciudad de México y glicerol anhidro (J.T. Baker, USA).

2.1. Películas comestibles

Las PC, a partir de la mezcla binaria de AM-HY, se obtuvieron siguiendo la metodología reportada por Mali et al., [5]. Las formulaciones se establecieron tomando en cuenta como variable independiente, la concentración AM y de HY (1 y 2%, respectivamente). La concentración del plastificante fue de 3%, tomando como base un volumen de 35 mL de albumina de huevo a una concentración de 0.75 mg/mL, todos los tratamientos se efectuaron por triplicado. Las suspensiones se mezclaron calentando desde 30 hasta 95 °C en agitación, por 10 min, para producir la gelatinización, posteriormente se adicionó la proteína hasta obtener una solución homogénea que se vertió en cajas Petri de vidrio, que se llevaron a sequedad en un horno de convección forzada (Lab-line modelo Imperial V, USA) a 40 °C durante 12 h.

2.2. Propiedades Fisicoquímicas

2.2.1. Permeabilidad de vapor de agua (WVP)

La WVP se determinó según el método propuesto por Senturk et al., [6], basado en la prueba ASTM E96-80 (ASTM, 1989). La permeabilidad de las PC se midió con muestras de 3 pulgadas cuadradas, que fueron colocadas en frascos de vidrio con un gradiente de humedad relativa al 100% a temperatura ambiente (24 ±1°C). Los frascos se pesaron cada 24 h durante 15 días, tomando el valor de la temperatura. La WVP (g/m s Pa) se calculó empleando la ecuación (1). Se realizaron tres ensayos por cada PC.

$$WVP = \frac{W \cdot L}{A \cdot T \cdot \Delta P} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

W= Cantidad de penetrante que atraviesa la película

L= Espesor de la película,

A= Área de la película

T= Tiempo



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

ΔP = Diferencia de presión parcial a través de la película

2.2.2. Porcentaje de solubilidad (materia soluble total)

El porcentaje de solubilidad (%S) se determinó por el método reportado por Pereda et al., [7]. Se cortaron muestras de PC de 2x2 cm y se pesaron, posteriormente se colocaron en vasos de precipitados con 30 mL de agua destilada en condiciones ambientales (24°C y 55% humedad relativa) durante 24 h. Finalmente, las muestras no disueltas se llevaron a 105 °C durante 24 h. El %S se calculó mediante la ecuación 2.

$$\%S = \frac{P.I.P. - P.F.P.S.}{P.I.P.} \times 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

% S= Porcentaje de solubilidad

P.I.P.= Peso inicial de la película

P.F.P.S.= Peso final de la película seca

2.2.3. Proteína soluble

La proteína soluble se determinó por el método descrito por Jangchud et al., [8], considerando la cuantificación de la proteína soluble por la técnica de Biuret [9], de acuerdo con la ecuación 3.

$$\%P.S. = \frac{C.P.}{P.I.P. \times \%P.T. \times \%M.S.O.} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde

% P.S.= Porcentaje de proteína solubles

C.P. = Concentración de la proteína

P.I.P.= Peso inicial de la película

% P.T.= Porcentaje de la proteína total

%M.S.P.= Porcentaje de la materia seca de la película

2.3. Propiedades mecánicas

2.3.1. Espesor

Los espesores de las PC se midieron con un micrómetro (Mitutoyo modelo Digimatic, Japón) con una precisión de 0.001 mm; midiendo 4 puntos centrales y 6 puntos laterales de cada muestra.

2.3.2. Esfuerzo y deformación a la punción

Para determinar la resistencia a la punción se utilizó la metodología descrita por Senturk et al., [6], usando un texturometro (TA-XT2i Texture Analyser, Stable Micro System, UK). Se cortaron muestras de 2.5 cm de diámetro, las cuales se sujetaron a través de dos placas de acrílico de 1.6 cm de diámetro. Para perforar las PC se utilizó una celda esférica de 1.27 cm de diámetro con una velocidad constante de 5 mm/s. Se utilizó la ecuación 4 para calcular la deformación a la punción.

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\sqrt{D^2 - l_0^2}}{2a} - l_0 \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde

$\frac{\Delta l}{l_0}$ = Deformación a la punción

D = Desplazamiento de la sonda

F= Fuerza de punción

l_0 = Radio de la celda

2.3.4. Resistencia a la tensión de ruptura

La resistencia a la tensión de ruptura (RTR) y el porcentaje de elongación (%E) se determinaron utilizando el texturometro descrito anteriormente, de acuerdo con lo reportado por Chen et al., [10]. Para determinar la tensión de ruptura de las PC se ejerció una carga máxima de 25 Kg a una velocidad de 50 mm/min. Las muestras fueron de 100 mm de largo y 25 mm de ancho. Para calcular la RTM y %E se utilizaron las ecuaciones 5 y 6, respectivamente.

$$RT = \frac{C}{A} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde

RT= Resistencia a la tensión en la ruptura

C= Carga máxima

A= Área trasversal inicial (espesor por el ancho de la película) en mm²

$$\%E = \frac{D_a - D_i}{D_i} \times 100 \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde

%E = Porcentaje de elongación



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

D_a = Distancia de alargamiento hasta la ruptura (mm)

D_i = Distancia inicial (50 mm)

2.4. Propiedad óptica

2.4.1 Opacidad

La determinación de la opacidad de las PC se hizo de acuerdo por el método reportado por Salgado et al., [11]. Para esta determinación se tomaron muestras de 2 x 3 cm y se colocaron en una celda de un espectrofotómetro (Cary 50 BIO UV-visible, Agilent Technologies, Australia) en forma perpendicular al paso del haz de luz a una longitud de onda de 600 nm absorbancia, la opacidad se calculó usando la ecuación 7.

$$\text{Opacidad} = \frac{\text{Absorbancia (600 nm)}}{\text{Espesor (s)}} \quad \text{Ec. (7)}$$

2.5 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Se realizaron cortes transversales y longitudinales de las PC, que se recubrieron con oro-paladio mediante sputtering (Desk IV, Denton Vacuum, EUA), para obtener micrografías a una magnificación de 1000X, utilizando un microscopio electrónico de barrido (JEOL JEM-6390LV, JEOL, Japón), en modo de alto vacío.

2.6 Temperatura de fusión

La temperatura de fusión de las PC se determinó de acuerdo por la metodología descrita por Vieyra et al., [12]. Se pesaron de 3-5 mg de PC en capsulas de aluminio (No. 0219-0062), se sellaron herméticamente y se llevaron a una rampa de calentamiento de 40-250 °C con una velocidad de calentamiento de 5°C/min, usando un calorímetro diferencial de barrido (DSC) (Pyris 1, Perkin Elmer, USA) calibrando la temperatura y el flujo de calor, utilizando el material de referencia (Indio, No. 0319-0033).

2.7 Análisis estadístico

Las diferencias significativas ($p < 0.0001$) entre las réplicas se verificaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) empleando diferencias mínimas significativas de prueba de Duncan. Dicho análisis se realizó a través del Software

Sigma Plot (versión. 12, Systat Software, Inc., USA).

3. Resultados y discusión

3.1. Permeabilidad de vapor de agua

Las PC de AM 1% y AM-HY 1% mostraron baja permeabilidad al vapor de agua (WVP) con 1.221×10^{-14} g/m s Pa y 1.256×10^{-14} g/m s Pa respectivamente, sin embargo, la permeabilidad al vapor de agua de las PC de AM 2% y HY-2% fue de 1.59×10^{-14} g/m s Pa y 1.815×10^{-14} g/m s Pa, respectivamente, esto quiere decir que a mayor concentración de sólidos, mayor será la permeabilidad al vapor de agua. Así también, estas diferencias podrían estar relacionadas con las modificaciones inter-intramoleculares de las cadenas poliméricas presenets en las PC causadas por el carácter hidrofílico del glicerol, lo que, favorecería la absorción y desorción de moléculas de agua. Además, esto se podría asociar con el espesor, de acuerdo a lo reportado por Vázquez-Luna et al., [13] quienes mencionan que, a mayor espesor, la WVP incrementa en función a la capacidad de adsorción que tiene el material. Esto coincide con los resultados obtenidos en las PC AM 2% y HY 2%, que presentan espesores mayores (0.1329 y 0.1548, respectivamente), observando un efecto significativo ($P < 0.0001$). No obstante, los resultados de WVP obtenidos en este trabajo son menores a lo previamente reportado por Mali et al., [5] en PC de almidón de ñame-glicerol (1.8×10^{-10} g/m s Pa), en PC de metilcelulosa-glicerol 0.5×10^{-10} g/m s Pa determinado por Turhan & Sahbaz, [14], en PC a base de mucilago de nopal-grenetina-cera de abeja 7.578×10^{-11} g/m s Pa reportado por Salazar et al., [15], en PC de almidón de maíz-álcohol polivinílico-nano cristal de celulosa 1.9×10^{-10} g/m s Pa descrito por Noshirvani et al., [16], en PC de almidón de maíz-nano fibra de celulosa 8.3×10^{-11} g/m s Pa determinado por Li et al., [17], y en PC de almidón de papa-nano partículas de zeína 3.56×10^{-11} g/m s Pa reportado por (Farajpour et al., [18]).



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

3.2 Porcentaje de solubilidad

Las PC de HY al 2% mostraron 55.01% de solubilidad, las de AM 2% fueron de 53.97% y las de la mezcla AM-HY al 2%, fue de 53.28%. El análisis estadístico (Tabla 1) indica que la solubilidad es mayor al incrementar el espesor de la PC, esto debido al incremento de la concentración de sólidos de cada formulación. Estos % de solubilidad son mayores a lo reportado por Wang et al., [18] en películas de colágeno-almidón (26.61 y 35.83%). Además, Wang et al., [19] reportó que la solubilidad en agua permite determinar la resistencia de las PC, al exponerse a altos porcentajes de humedad, como las que tienen las frutas y hortalizas de manera habitual, lo que condiciona el éxito o fracaso de los recubrimientos.

3.3 Proteína soluble

La PC de HY al 2% mostro un 35.6% de proteína soluble, mientras que en la PC de AM al 1% disminuyo a 32.4%. No obstante, que la concentración de proteína se mantiene constante en todas las PC, se observa diferencias significativas en la determinación de proteína (tabla 1). La diferencia se produjo por el contenido de proteína del AM, que es bajo, esto es debido a la purificación previa a su comercialización. Mientras que la HY, al no estar purificada, cuenta con una mayor cantidad de proteína en su composición, por lo que, tiene la PC con mayor porcentaje de proteína.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de películas comestibles a diferentes formulaciones

| Formulación | Espesores (mm) | % Solubilidad | % Proteína Soluble | P(g/m s Pa) |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|
| A.M. 1% | 0.1071± 0.003 ^a | 51.59± 0.086 ^a | 32.4± 0.180 ^a | 1.221 x10 ⁻¹⁴ ±0.099 ^a |
| A.M. 2% | 0.1329 ± 0.001 ^c | 53.97± 0.086 ^c | 34.4± 0.217 ^c | 1.59 x10 ⁻¹⁴ ± 0.095 ^b |
| H.Y. 1% | 0.1225 ± 0.001 ^b | 52.89± 0.017 ^b | 33.4 ± 0.278 ^b | 1.435 x10 ⁻¹⁴ ± 0.086 ^c |
| H.Y. 2% | 0.1548± 0.001 ^d | 55.01± 0.086 ^d | 35.6± 0.264 ^d | 1.815 x10 ⁻¹⁴ ±0.086 ^d |
| A.M.-H.Y. 1% | 0.1021± 0.001 ^a | 51.15± 0.017 ^a | 32.2± 0.212 ^a | 1.256 x10 ⁻¹⁴ ± 0.108 ^a |
| A.M.-H.Y. 2% | 0.1259 ± 0.001 ^b | 53.28± 0.015 ^c | 33.2± 0.215 ^b | 1.432 x10 ⁻¹⁴ ± 0.086 ^b |

^{a, b, c, d} Valores en la misma columna con letras diferentes muestran diferencias significativas (P<0.0001)

3.4. Propiedades mecánicas

3.4.1 Esfuerzo a la punción

Esta prueba determina el esfuerzo al impacto y la resistencia de las PC, lo que, permite establecer su durabilidad. En la Figura 1, se puede observar que las PC de almidones no combinadas como AM y HY 1 y 2% presentaron menor esfuerzo a la punción. Por otro lado, las PC combinadas de AM-HY 1 y 2% requieren mayor esfuerzo mecánico (15-14 N, respectivamente), expresando mayor resistencia y flexibilidad. Esto es causado por la presencia del glicerol, ya que tiene la capacidad de enlazar moléculas de agua a las cadenas poliméricas, reduciendo las interacciones que

generan el espacio inter e intramolecular, denominado volumen libre, lo que, provoca una mayor movilidad de las cadenas. Estos resultados concuerdan con lo reportado por [20, 21] para las PC elaboradas a base de almidón de chícharo y las PC de almidón de yuca, las cuales se encuentran en un intervalo de 2 a 24 N respectivamente. Además, Aguilar-Méndez et al., [22] reportaron que para películas de gelatina-carboximetilcelulosa se requiere un esfuerzo a la punción de 25 a 50 N. Sin embargo, al incrementar los sólidos en la formulación las PC son más frágiles y quebradizas.



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

3.4.2. Deformación a la punción

La deformación de las PC mostró diferencia significativa mínima ($p < 0.0001$), lo cual fue influenciado por el incremento de concentraciones de AM y HY, presentando fragilidad. Además, la influencia del glicerol en la capacidad de deformación se observa a bajas concentraciones de AM y HY mostrando una disminución a la resistencia y deformación de las PC. Tapia-Blacido et al., [23], reportaron incrementos en la deformación de PC, con aumentos de concentraciones de almidón y

glicerol, esto se puede atribuir a que, al disminuir las interacciones intermoleculares, se favorece la movilidad de las macromoléculas, lo cual también, contribuye a la disminución de las fuerzas que existen con macromoléculas adyacentes (Sobral et al., [24]). Asimismo, estos resultados coinciden por lo reportado por Coughlan et al., [25], quienes mencionan que las combinaciones proteína-polisacárido presentan propiedades funcionales más efectivas.

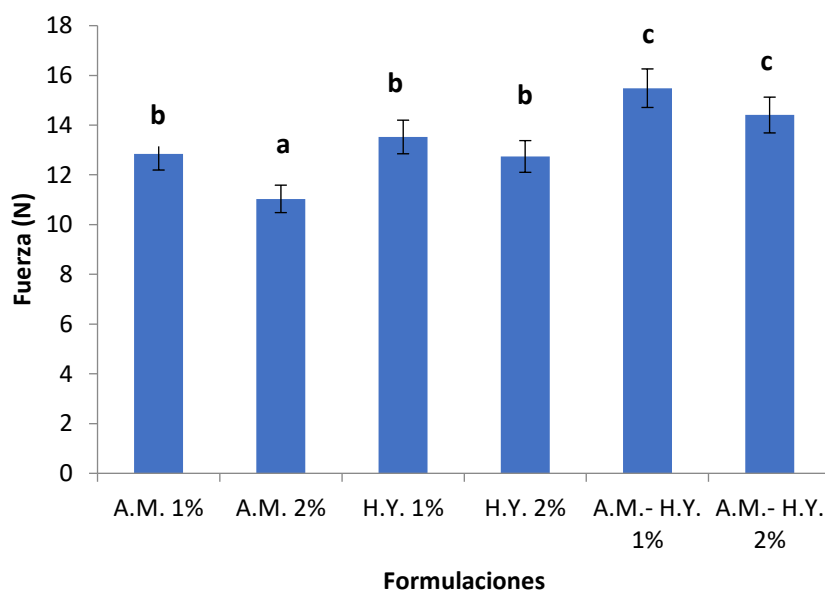


Figura 1. Variación del esfuerzo a la punción con respecto a la composición de las películas comestibles. Las barras marcadas con las mismas letras no presentan diferencias significativas entre sí ($P > 0.0001$).



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

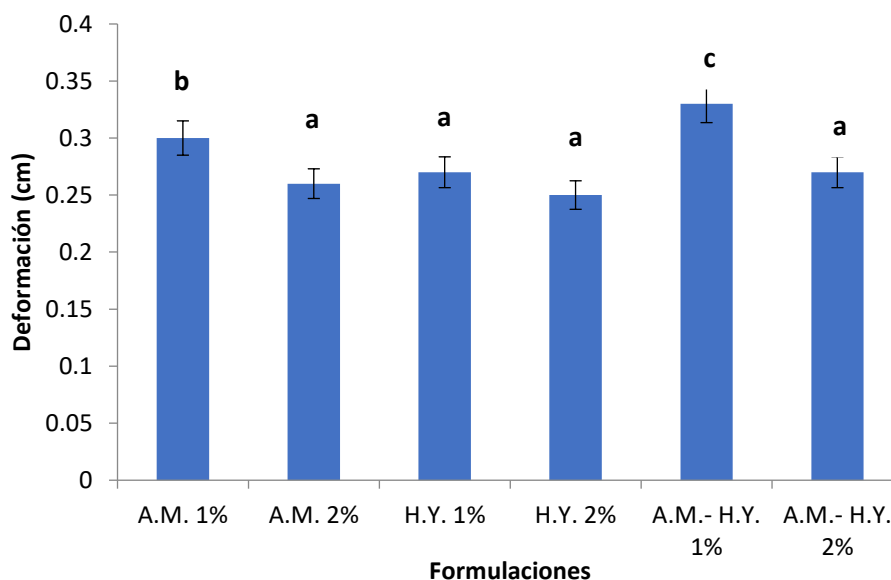


Figura 2. Variación de la deformación con respecto a la composición de las películas. Las barras marcadas con las mismas letras no presentan diferencias significativas entre sí ($P > 0.0001$).

3.4.3. Resistencia a la tensión de ruptura y % de elongación

Los resultados de RTR y %E se traducen como la fuerza máxima que puede soportar una PC ante un esfuerzo de tensión y su capacidad de estiramiento. Las PC de AM y HY al 1% presentaron las mejores propiedades de RTR con 10 Kg/mm², mientras que su %E fue del 35%. El resto de las formulaciones presentaron un efecto negativo significativo, esto se debe posiblemente a la interacción de la albumina y los almidones que propicia una menor cavidad en sus estructuras, (Figura 6). Los resultados obtenidos de elongación a la ruptura fueron superiores a lo

reportado por Mali et al., [21] para películas elaboradas con almidón de yuca-sorbitol, cuyos valores estuvieron entre el 3 y el 30%. Por otro lado, Chang et al., [26] reportaron una mínima capacidad de hidratación de las películas a base de almidón, cuando la concentración de glicerol se encuentra en el intervalo de 10 a 15% p/p. Además, mencionan que esto pudiera atribuirse a factores como la estacionalidad, el grado de madurez y las características propias de cada almidón, así como un efecto antagónico del plastificante en los sistemas de mezclas evaluados.



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

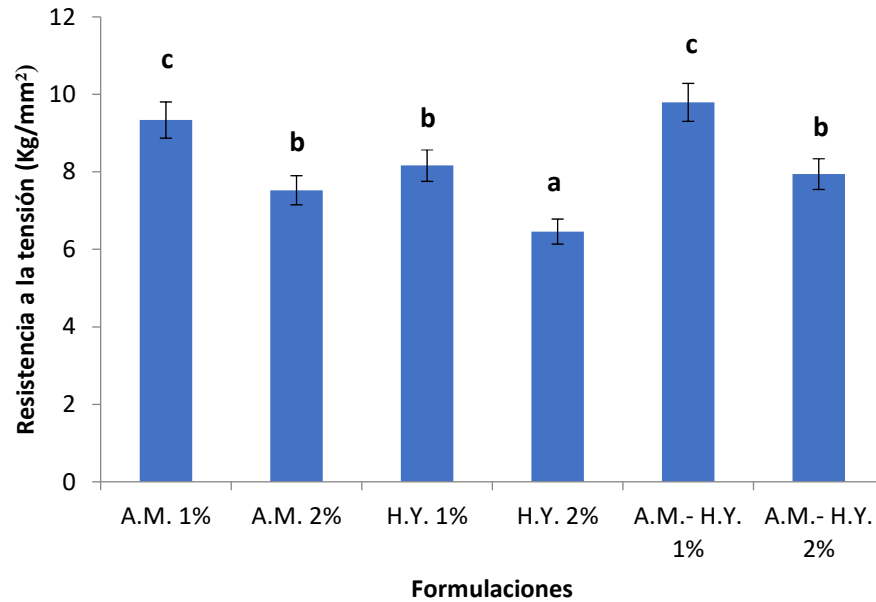


Figura 3. Variación de la resistencia a la tensión de ruptura con respecto a la composición de las películas comestibles. Las barras marcadas con las mismas letras no presentan diferencias significativas entre sí ($P>0.0001$).

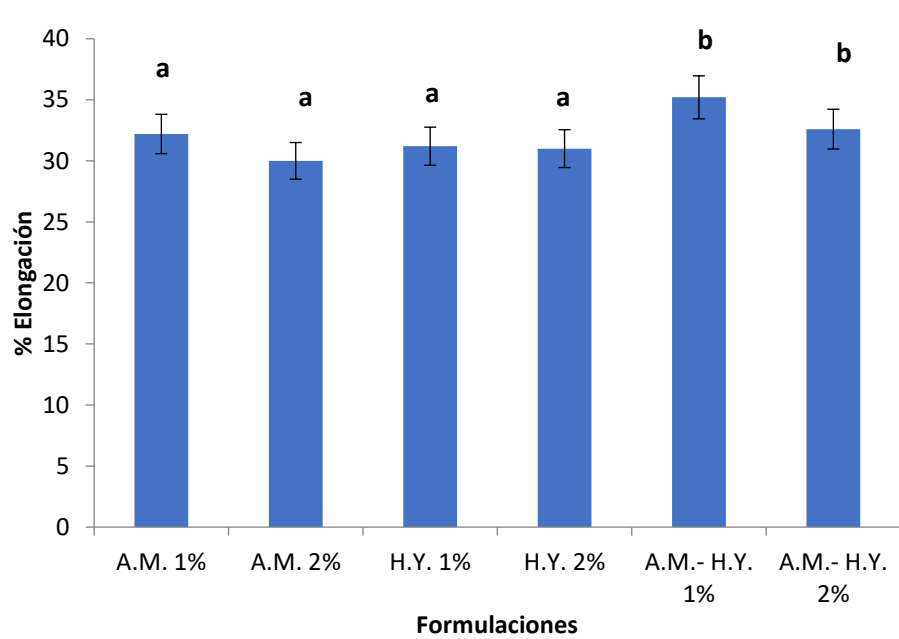


Figura 4. Variación del porcentaje de elongación con respecto a la composición de las películas. Las barras marcadas con las mismas letras no presentan diferencias significativas entre sí ($P>0.0001$).



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

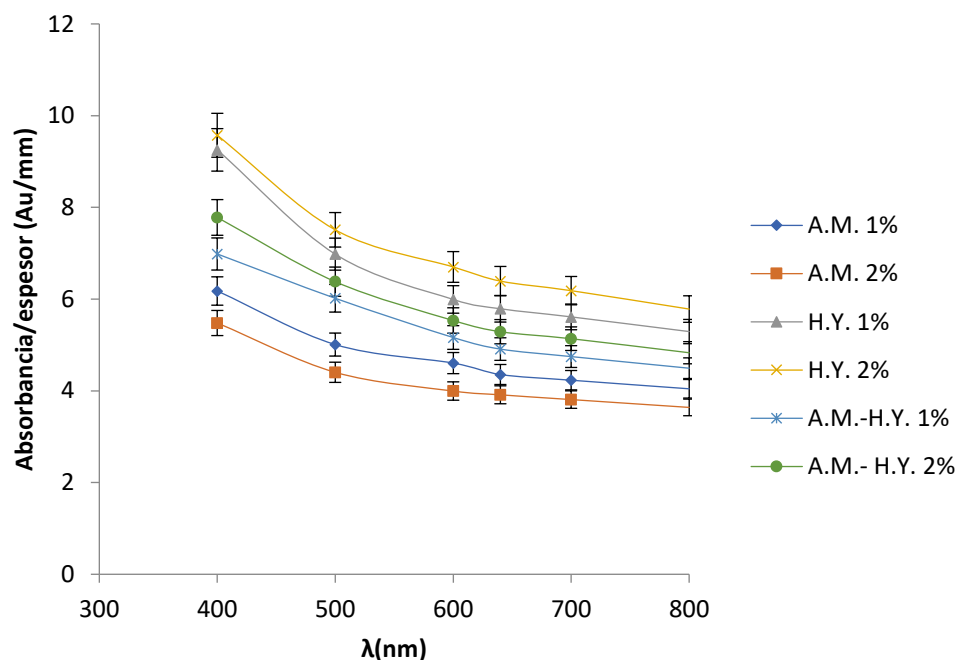


Figura 5. Variación de opacidad con respecto a las formulaciones en las películas comestibles.

3.5. Propiedad óptica

Las formulaciones de HY al 1 y 2% presentan un valor de opacidad significativamente mayor ($P < 0.0001$) en comparación con las películas de AM 1 y 2%. Sin embargo, las PC de AM-HY 1 y 2%, tuvieron opacidad intermedia debido a la buena interacción inter-intramolecular de los almidones y la albumina. Lo anterior, puede ser asociado a la interacción de las cadenas poliméricas de almidones y proteínas, al respecto, Olu-Owolabi et al., [27], señalan que la transparencia o claridad de las PC de almidón se incrementa a medida que disminuye el contenido de amilosa, interfiriendo con el paso de luz en la estructura de la PC, generando una apariencia opaca. Contreras-Pérez et al., [28] reportaron que, la opacidad en el caso de las PC de almidón es afectada por las fuentes de almidones.

3.6 Microscopia electrónica de barrido (SEM)

En los resultados de los estudios de microestructura mediante SEM de la PC de AM y HY al 1%, se observan algunas regiones rígidas

(estructura cristalina) y gomosas (Figura 6a), provocadas por la presencia del glicerol, que influyó significativamente. Por otro lado, en la figura 6b se observa una estructura característica del almidón de maíz, mostrando gránulos de forma esférica y poliédrica en su mayor parte. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Aguilar-Méndez et al., [29] en PC a base de almidón-gelatina. Además, se observa una estructura compacta de la PC, lo que permite menor permeabilidad al vapor de agua (Tabla 1), mayor esfuerzo de punción, tensión, elongación y resistencia de tensión a la ruptura (Figuras 1-4). De esta manera se observa que las combinaciones de almidones a baja concentración con proteína, presenta una buena interacción con el glicerol. Esto se debe a que el glicerol tiene la capacidad de enlazar moléculas de agua a la estructura polimérica, reduciendo de esta forma la interacción entre sus cadenas que generan el espacio inter e intramolecular ya mencionado previamente, provocando una mayor movilidad en las cadenas poliméricas [20].



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

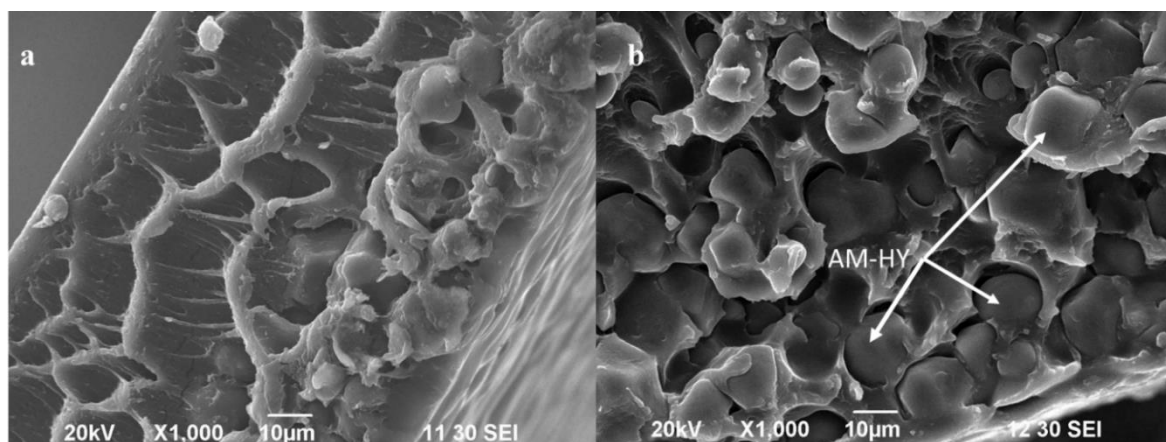


Figura 6. Imágenes de microscopía electrónica de barrido a 1000X de películas comestibles AM-HY 1% a) corte transversal, b) corte longitudinal. La barra de escala corresponde a 10 µm.

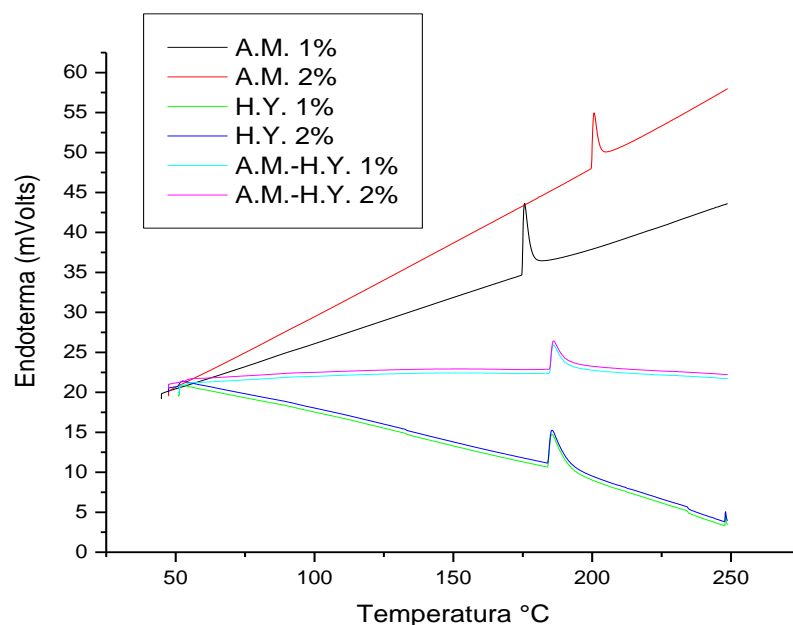


Figura 7. Termogramas de las diferentes formulaciones

3.7 Temperatura de fusión

Los termogramas obtenidos del DSC (Figura 7), no mostraron una transición vítrea o T_g en las PC. [30], indicando que es difícil detectar la transición vítrea en sistemas muy complejos, tales como gelatina-almidón-poliol-agua, en particular a bajos contenidos de humedad (<7%). Las PC de

AM 1 y 2%, HY 1% y AM-HY 1 y 2% no mostraron diferencia significativa en la temperatura de fusión (180 °C). Sin embargo, la formulación HY al 2% aumenta su temperatura de fusión a 200 °C debido al aumento de concentración. Esto es posible debido a la interacción de las cadenas poliméricas AM y HY y la albumina, expresando



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

un incremento en la temperatura de transición térmica en la cual ocurre un cambio de sólido cristalino a líquido, provocando la movilidad de las moléculas. Las temperaturas de fusión obtenidas en PC elaboradas en la presente investigación, fueron similares a las reportadas por [12, 31], (180 a 220 °C).

4. Conclusiones

Las concentraciones de almidón y harina de yuca propuestas en esta investigación tuvieron efecto significativo en las propiedades fisicoquímicas, mecánicas, ópticas y microestructurales de las películas comestibles. La formulación de AM-HY 1%, en comparación de las demás formulaciones, presentó una menor permeabilidad al vapor de agua, así como, mayor esfuerzo y deformación a la punción, resistencia a la ruptura y porcentaje de elongación. Por otro lado, todas las PC propuestas muestran una buena interacción entre el almidón y la albumina. Por lo tanto, la PC AM-HY 1% podría aplicarse como recubrimiento para frutas y hortalizas. Con este trabajo se abre paso a investigaciones científicas futuras enfocadas a la conservación de alimentos.

5. Agradecimientos

Pedro López Ordaz y colaboradores agradecen a CONACyT y Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México, así como, el apoyo económico brindado por CONACyT proyecto 2542765 en la estancia posdoctoral modalidad académica 2022. Así también, agradecemos a la Universidad Tecnológica de Tecámac y al Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec por la grata colaboración.

6. Referencias

[1] Wu, Y., Weller, C. L., Hamouz, F., Cuppett, S. L., & Schnepf, M. Development and application of multicomponent edible coatings and films: A review. *Adv. Food Nutr. Res.* 2002; 347-394.

[2] WU, Feng; Misra, Manjusri; Mohanty, Amar K. Challenges and new opportunities on barrier

performance of biodegradable polymers for sustainable packaging. *Prog. Polym. Sci.* 2021, vol. 117, p. 101395.

[3] Cui, C., Ji, N., Wang, Y., Xiong, L., & Sun, Q. Bioactive and intelligent starch-based films: A review. *Trends Food Sci Technol.* 2021; 116, 854-869.

[4] Ji, N., Ge, S., Li, M., Wang, Y., Xiong, L., Qiu, L., & Sun, Q. Effect of annealing on the structural and physicochemical properties of waxy rice starch nanoparticles: Effect of annealing on the properties of starch nanoparticles. *Food Chem.* 2019; 286, 17-21.

[5] Mali, Susana., Grossmann, E. M. Victoria., García, A. María., Martino, N. Martino y Zaritzky, E. Noemi. Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydr. Polym.* 2002; 50, 4, 379-386.

[6] Senturk Parreidt, T., Müller, K., & Schmid, M. Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications. *Foods.* 2018; 7(10), 170.

[7] Pereda, Mariana., Amica, Guillermina. y Marcovich, E. Norma. Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films. *Carbohydr. Polym.* 2012; 87, 2, 1318-1325.

[8] Jangchud, A. y Chinnan, M.S. Peanut protein film as affected by drying temperature and pH of film forming solution. *J. Food Sci.* 1999; 64, 1, 53-157.

[9] G., Gornall., C. J., Bardawill., and M.M., David. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *JBC.* 1949; 177, 751-766.

[10] Chen, H., Wang, J., Cheng, Y., Wang, C., Liu, H., Bian, H., ... & Han, W. Application of protein-based films and coatings for food packaging: A review. *Polymers*, 2019; 11(12), 2039.



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

- [11] Salgado, R. Pablo., Fernández, B. Graciela., Drago, R. Silvina., and Mauri, N. Adriana. Addition of bovine plasma hydrolysates improves the antioxidant properties of soybean and sunflower protein-based films. *Food Hydrocoll.* 2011; 25, 6, 1433-1440.
- [12] Vieyra Ruiz, H., Martínez, E. S. M., & Méndez, M. A. A. Biodegradability of polyethylene starch blends prepared by extrusion and molded by injection: Evaluated by response surface methodology. *Starch-Stärke*, 2011; 63(1), 42-51.
- [13] Vázquez-Luna, A., Santiago, M., Rivadeneyra-Domínguez, E., & Díaz-Sobac, R. Edible films based on nanostructured starch as barrier material moisture. *CienciaUAT*, (2019). 13(2), 152-164
- [14] Turhan, K. N., & Sahbaz, F. Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose based edible films. *J. Food Eng.* 2004; 61(3), 459-466.
- [15] Salazar, V. M. S., Márquez, M. A. T., & Vargas, A. L. Propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas comestibles a base de mucílago de Nopal como alternativa para la aplicación en frutos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 2015; 16(2), 193-198.
- [16] Noshirvani, N., Hong, W., Ghanbarzadeh, B., Fasihi, H., & Montazami, R. Study of cellulose nanocrystal doped starch-polyvinyl alcohol bionanocomposite films. *Int. J. Biol. Macromol.* 2018; 107, 2065–2074.
- [17] Li, J., Ye, F., Lei, L., & Zhao, G. Combined effects of octenyl succination and oregano essential oil on sweet potato starch films with an emphasis on water resistance. *Int. J. Biol. Macromol.* 2018; 115, 547–553.
- [18] Farajpour, R., Emam Djomeh, Z., Moeini, S., Tavakolipour, H., & Safayan, S. Structural and physico-mechanical properties of potato starch-olive oil edible films reinforced with zein nanoparticles. *Int. J. Biol. Macromol.* 2020; 149, 941–950.
- [19] Wang, K., Wang, W., Ye, R., Liu, A., Xiao, J., Liu, Y., & Zhao, Y. Mechanical properties and solubility in water of corn starch-collagen composite films: Effect of starch type and concentrations. *Food chem.* 2016; 216, 209-216.
- [20] Zhang, Y., & Han, J. H. Plasticization of pea starch films with monosaccharides and polyols. *J. Food Sci.* 2006; 71(6), E253-E261.
- [21] Mali, S., Grossmann, M. V. E., García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. Antiplasticizing effect of glycerol and sorbitol on the properties of cassava starch films. *J. Food Technol.* 2008; 11(3): pp. 194- 200.
- [22] Aguilar-Méndez, M. A., Martín-Martínez, S., Espinoza-Herrera, N. L., Sánchez-Flores, M., Cruz-Orea, A., & Ramírez-Ortiz, M. E. Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina-carboximetilcelulosa para la preservación de frutos de guayaba. *Superficies y vacío*. 2012; 25(1), 1-7.
- [23] Tapia-Blácido, D., Sobral, P. J., & Menegalli, F. C. Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (*Amaranthus caudatus*). *J. Food Eng.* 2005; 67(1-2), 215-223.
- [24] Sobral, P. D. A., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., & Roques, M. A. Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food hydrocoll.* 2001; 15(4-6), 423-432.
- [25] Coughlan, K., Shaw, N. B., Kerry, J. F., & Kerry, J. P. Combined effects of proteins and polysaccharides on physical properties of whey protein concentrate-based edible films. *J. Food Sci.* 2004; 69(6), E271-E275.
- [26] Chang, Y. P., Abd Karim, A., & Seow, C. C. Interactive plasticizing-antiplasticizing effects of water and glycerol on the tensile properties of



Artículo de investigación

López-Ordaz et al., 2023

tapioca starch films. *Food Hydrocoll.* 2006; 20(1), 1-8.

[27] Olu-Owolabi, B. I., Afolabi, T. A., & Adebawale, K. O. Pasting, thermal, hydration, and functional properties of annealed and heat-moisture treated starch of sword bean (*Canavalia gladiata*). *Int. J. Food Prop.* 2011; 14(1), 157-174.

[28] Contreras-Pérez, R. K., De la Torre-Gutiérrez, L., González-Cortés, N., & Jiménez-Vera, R. Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *Eur. Sci. J.* 2018; 14(30), 82-97.

[29] Aguilar-Méndez, M. A., Martín-Martínez, E. S., Ortega-Arroyo, L., & Cruz-Orea, A. Application of differential scanning calorimetry to evaluate thermal properties and study of microstructure of biodegradable films. *Int. J. Thermophys.* 2010; 31, 595-600.

[30] Mendes, J. F., Paschoalin, R. T., Carmona, V. B., Neto, A. R. S., Marques, A. C. P., Marconcini, J. M., ... & Oliveira, J. E. Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion. *Carbohydr. Polym.* 2016; 137, 452-458.

[31] Aguilar-Méndez, M. A., Martín-Martínez, E. S., Tomas, S. A., Cruz-Orea, A., & Jaime-Fonseca, M. R. Gelatine-starch films: Physicochemical properties and their application in extending the post-harvest shelf life of avocado (*Persea americana*). *J. Sci. Food Agric. J SCI FOOD AGR.* 2008; 88(2), 185-193.



Artículo de investigación

Méndez-González et al., 2023

<https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.4452>

Recibido: 20-03-2023

Revisado: 15-04-2023

Aceptado: 28-04-2023

Publicado: 30-04-2023

THE SALT CONTENT IS NOT A LIMITATION FOR ENSILING SARGASSUM COLLECTED IN THE MEXICAN CARIBBEAN

EL CONTENIDO DE SALES NO ES UNA LIMITANTE PARA ENSILAR EL SARGAZO RECOLECTADO EN EL CARIBE MEXICANO

F. Méndez-González^{1,*}, B. Hernández-Zarco², and E. Favela-Torres³

¹ Laboratorio de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Coordinación Delicias, C.P. 33089, Chihuahua, México.

² Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, 04960, México.

³ Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, 09340, México.

* Corresponding author: mg.fernandomendez@gmail.com

Abstract

Since 2011, sargassum has been infesting the coasts of the Mexican Caribbean, affecting the environment, human health, and economic activities. However, sargassum can be used via different processes to obtain alginates, fucoidans, biofuels, agricultural fertilizers, and livestock feed. Nevertheless, the quantity and composition of the sargassum that reaches the coasts of the Mexican Caribbean present a high seasonal variation, which hinders its industrial exploitation. Therefore, to ensure a supply of sargassum susceptible to industrial processing, the pretreatment conditions for its conservation through ensiling were determined. Among them, inoculum addition, sargassum desalination, and the incorporation of additives were evaluated. In sargassum without pretreatment, inoculum addition cannot effectively lower the pH in the silo. In contrast, glucose addition (~261 mg/gdm) in washed sargassum enriched with nutrient solution allows a pH decrease up to ~4.8, reaching an average glucose bioconversion to lactic acid above 68 %. Similar results were obtained when ensiling sargassum without washing, reaching the maximum decrease in pH after 10 d. In addition, low contents of acetic acid (< 20 mg/gdm) and ethanol (< 8 mg/gdm) were registered in these silos, indicating a low activity of other microorganisms. Therefore, adequate sargassum silage requires the addition of inoculant, glucose, and nutrient.



Artículo de investigación

Méndez-González et al., 2023

Keywords: *Lactobacillus casei*, lactic fermentation, silage additives, sargassum management, solid-state fermentation.

Resumen

Desde el 2011, el sargazo infesta las costas del Caribe Mexicano, afectando al medio ambiente, la salud humana y la economía. Sin embargo, el sargazo puede ser aprovechado para la obtención de alginatos, fucoidanos, biocombustibles, fertilizantes y alimento pecuario. No obstante, la cantidad y composición del sargazo que arriba a la costa presenta alta variación estacional; lo cual, dificulta su explotación industrial. Por lo tanto, para asegurar el suministro de sargazo susceptible de procesarse industrialmente, se determinaron las condiciones de pretratamiento para su conservación por ensilaje. Entre ellas, se evaluó la desalinización e incorporación de aditivos. La adición de inóculo no fue efectiva para disminuir el pH del sargazo sin pretratamiento. En contraste, adicionando glucosa (~261 mg/gms) al sargazo lavado y enriquecido con nutrientes, se disminuye el pH hasta ~4.8, alcanzando una bioconversión de glucosa a ácido láctico superior al 68 %. Resultados similares se obtuvieron ensilando sargazo sin lavar, alcanzando una máxima disminución de pH después de 10 d. Además, en ambos se registró bajo contenido de ácido acético (< 20 mg/gms) y etanol (< 8 mg/gms), indicando baja actividad de otros microorganismos. Por lo tanto, para ensilar el sargazo se requiere la adición de inóculo, glucosa y nutrientes.

Palabras clave: *Lactobacillus casei*, fermentación láctica, aditivos de ensilaje, manejo del sargazo, fermentación en estado sólido.

1. Introduction

Sargassum is a marine alga included in the division Phaeophyta [1] and whose population is concentrated in the Sargasso Sea [2]. From that region, small sargassum swarms arrive on the coast of the American and African continents. However, since 2011, sargassum has been accumulating and proliferating in the Great Atlantic Sargassum Belt [2]. This region concentrates approximately 2×10^7 t of algal mass and extends from the coasts of Brazil to the United States [3]. From the Great Atlantic Sargassum Belt, sargassum periodically arrives to infest the coast, with harmful effects on the environment [4], human health, and economic activity [5]. Within the infestation area is the Mexican Caribbean, which, from 2018 to 2019, reached a monthly sargassum arrival greater than 1.7×10^3 m³ per km of coastline [5]. In Mexican Caribbean, the efforts aimed at sargassum removal and final disposal have been

unsuccessful and expensive [6,7]. Therefore, to mitigate the damage and costs caused by sargassum infestation, different strategies have been developed for sargassum valorization. Among them are the extraction of alginates and fucoidans [8,9], bioconversion to ethanol and methane [1,10,11], and the incorporation into formulations of agricultural fertilizers [12–15] and livestock feed [16–18]. However, the quantity and composition of the sargassum arriving in the Mexican Caribbean present high seasonal variability, making its collection and viable disposal difficult [6]. This irregular sargassum supply is a great challenge for its industrial valorization. Therefore, it is necessary to establish methods for biomass conservation. One alternative could be ensiling, which is a simple, low-cost, and useful method for organic matter conservation under different climatic conditions [19]. Among the sargassum properties that make ensiling difficult are the associated microflora



Artículo de investigación

Méndez-González et al., 2023

[20], high salinity [21], and low fermentable sugar content [22]. Therefore, it is necessary to develop a pretreatment method that allows the ensiling of sargassum. Implementing ensiling as a sargassum conservation method could contribute to its industrial exploitation.

2. Materials and methods

2.1 Sargassum and silos

Sargassum biomass was collected (August 2019) on the coast of Puerto Morelos (Mexico), dried (up to ~8 %), cut into 1-cm-long pieces, and stored in sealed plastic bags. Falcon tubes (50 mL) with a capacity of ~40 g of wet sargassum (moisture content ~80 %) were used for sargassum ensiling.

2.2 Selection of the moisture content of the sargassum bed

The initial moisture content of the sargassum bed was selected by its water activity (a_w). Sargassum samples were prepared with different moisture contents (8 %, 50 %, 80 %, and 92 %). The water activity (a_w) was measured in three samples (5 g) for each moisture level with the AquaLab equipment (CX-2).

2.3 Inoculant addition effect

The inoculant effect was evaluated by the addition of *Lactobacillus casei*. Silos were packed with moist sargassum (moisture content 80 % and pH 7.4) without inoculation and inoculated with $\sim 1 \times 10^6$ CFU per gram of dry sargassum (gds) (four silos per treatment). The silos were incubated in the darkness at 30°C. After 20 d, the pH of the fermented material in each silo was measured in duplicate.

2.4 Sargassum washing

To determine the process for washing sargassum, samples of ~5 gds were placed in 500-mL beakers, and 200 mL of deionized water (pH = 5.99 and EC = 148.90 $\mu\text{S}/\text{cm}$) was added to each sample and stirred with a magnetic bar for 10 min. Subsequently, the water was decanted, and the sargassum was drained and washed again (up to completing five washes). At the end of each

washing cycle, the pH and electrical conductivity (EC) in the residual water were measured.

2.5 Effect of the carbon source addition on the silage of washed sargassum beds enriched with nutrients

Glucose and nutrient solution (NS) were used as additives. NS was composed of Casein Peptone (10 g/L), Meat Extract (8 g/L), Yeast Extract (4 g/L), Magnesium Sulfate (0.2 g/L), Manganese Sulfate (0.2 g/L). To evaluate the effect of glucose addition, NS was prepared with different glucose concentrations (20, 50, and 100 g/L). The three medium configurations were used to impregnate washed and dried sargassum up to 80 % w/w for prepared silos with 1.6 %, 4 %, and 8 % glucose (wet basis). Subsequently, the impregnated sargassum was inoculated with $\sim 1 \times 10^6$ CFU of *L. casei*/gds and packed in the silos, followed by incubation in the dark at 30°C. At 3, 7, 10, and 14 days of incubation, silos were taken from each treatment for the determination of electrical conductivity, pH, and lactic acid production in the fermented mass.

2.6 Silage process sensitivity to washing and nutrient addition

To determine the effects of sargassum washing and nutrient addition, a 2×2 factorial design was implemented (Table 1); the evaluated factors were washed (WS) and unwashed (US) sargassum and addition of distilled water (W) or nutrient solution (NS). NS were supplemented with 10 % glucose (w/v) and added to the sargassum up to 80 % w/w. All treatments were inoculated with *L. casei* ($\sim 1 \times 10^6$ CFU/gds) and packed in silos for incubation (at 30°C). At 3, 7, 10, 14, 17, and 21 days, silos were taken from each treatment for the measurement of pH as well as lactic acid (LA), acetic acid (AA), and ethanol (Et) production in the fermented mass.

2.7 Analytical methods

The pH, EC, and the contents of LA, AA, and Et were measured in suspensions of 1 gram of sample (wet mass) in 10 mL of distilled water. For that, the suspension was stirred in a vortex for 30 s. The pH and EC were measured in the



Artículo de investigación

Méndez-González et al., 2023

supernatant with a potentiometer (HANNA Instruments, HI5522). Subsequently, the suspension was filtered and centrifuged. Finally, the contents of LA, AA, and Et were determined with a high-performance liquid chromatography (HPLC) system (Perkin Elmer LC-250), using an isocratic method. An Aminex HPX-87H ion-exclusion column (BioRad, Hercules, CA, USA) eluted with 5 mM H₂SO₄ solution supply at 0.6 mL/min and 40°C was used, and the metabolites were detected with a refractive index (IR) detector (Perkin Elmer LC-30).

2.8 Statistical analysis

Continuous variables related to nominal variables were analyzed with the Shapiro-Wilk goodness of fit test. Datasets with normal distribution were analyzed with ANOVA ($\alpha = 0.05$), whereas those that did not correspond to normal distribution were analyzed with the Kruskal-Wallis's test. Subsequently, datasets with significant differences were analyzed by Tukey's test.

Table 1. Silage treatments with and without washing and nutrient solution addition.

| Treatment | Washing | Impregnation medium |
|-----------|---------|---------------------|
| USW | No | Water |
| USNS | No | Nutrient solution |
| WSW | Yes | Water |
| WSNS | Yes | Nutrient solution |

Table 2. Sargassum water activity with different moisture content.

| Moisture content (%) | Water activity |
|----------------------|----------------|
| 8.3 | 0.32 ± 0.01 |
| 50 | 0.84 ± 0.07 |
| 80 | 0.90 ± 0.05 |
| 92.4 | 0.95 ± 0.01 |

3. Results and discussion

To determine the pretreatment to sargassum silage, inoculant addition, sargassum desalination, and additive incorporation (carbon and nutrient source) were evaluated. Once the initial ensiling conditions were determined, the effects of removing the sargassum desalination and nutrient addition were evaluated to make the process more efficient.

3.1 Selection of the moisture content of the sargassum bed

The water availability in the silage bed is essential for lactic acid bacterial growth and biological activity [23]. The water availability in sargassum samples with different moisture contents was determined by its a_w . Sargassum samples with

moisture contents from 80 % to 92 % presented an a_w from 0.90 to 0.95 (Table 2). Therefore, to avoid water limitations, sargassum must be moistened to at least 80 %. However, a high moisture content could limit fermentable sugar availability [24], reducing the production of AL and AA in the silo and increasing the possibility of the propagation of microorganisms that affect ensiling [23]. This makes it necessary to implement strategies that promote an effective pH decrease. Among them, inoculant addition will be evaluated in the next section.

3.2 Inoculant addition effect

The effect of adding *Lactobacillus casei* was evaluated in sargassum silos with a moisture content of 80 % and an initial pH of 7.4. After



Artículo de investigación

Méndez-González et al., 2023

ensiling for 20 d, the pH values of sargassum with and without inoculant were similar (ANOVA, $\alpha = 0.05$), reaching values of 6.807 ± 0.16 and 6.968 ± 0.30 , respectively. In both treatments, the pH tended to be neutral and was not suitable for sargassum conservation via ensiling. In crops and forage silages, inoculant addition (from 1×10^5 to 1×10^8 FCU per gram of wet mass) promotes the decrease of the pH [25]. Among the microorganisms used, *L. casei* was suitable for this process [26,27]. Therefore, ensiling could depend on sargassum properties such as salt, fermentable sugar, and nutrient content [23].

The predominant sargassum species in the Mexican Caribbean (*S. fluitans* and *S. natans*) contain high concentrations of sodium (17–38 g/kg), calcium (96–133 g/kg), and magnesium (10–18 g/kg), which are even higher than those reached in seawater (10.6, 0.40, and 0.38 g/kg for Na, Ca and Mg, respectively) [21]. The presence of these elements reflects a high salinity level, which could hinder the biological activity of *L. casei*. In contrast, the glucose content in sargassum dry mass is ~5 % [22], which is insufficient to reach an LA concentration typical of that of other silage materials (6 %– 10 % on a dry basis) [23]. The above shows that sargassum without pretreatment cannot be used as a substrate for lactic fermentation. Therefore, in the following sections, sargassum washing and additive incorporation (glucose and nutrients) are evaluated.

3.3 Sargassum washing

To remove the salt contained in sargassum, a washing process was developed. The salt content was indirectly measured by electrical conductivity (EC). In the first wash cycle, the EC reached 8.943 ± 0.176 mS/cm, which was reduced by ~85 % at the second wash (1.363 ± 0.022 mS/cm) (Fig. 1). From the third wash cycle, the EC presented similar values from 0.207 to 0.362 mS/cm. This indicates that two washing cycles are sufficient to remove up to 85 % of the initial salt concentration. Therefore, this pretreatment was implemented for sargassum ensiling.

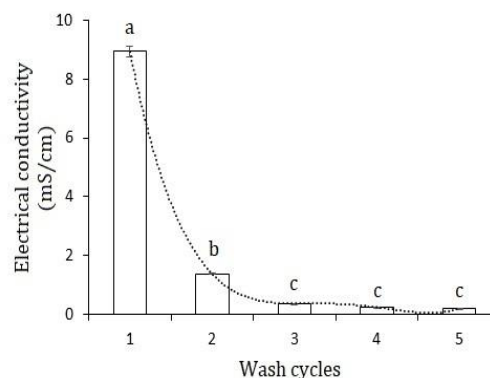


Figure 1. Electrical conductivity in washed sargassum. Different letters indicate significant differences (Tukey's test, $\alpha = 0.5$).

3.4 Effect of the carbon source addition on the silage of washed sargassum beds enriched with nutrients

In Section 3.2, it was determined that the contents of fermentable sugars and nutrients in sargassum are not sufficient for ensiling. For that, the effect of glucose addition on the silage of washed sargassum spiked with NS was evaluated. Sargassum silos with a glucose content of 1.6 %, 4 %, and 8 % on a wet basis (equivalent to 66, 149, and 261 mg per gram of dry mass (gdm), respectively) were evaluated. During ensiling (14 d), the material in the silos presented an EC between 3.5 and 8 mS/cm (Fig. 2A). After 3 days of ensiling, the pH decreased in all treatments (Fig. 2B) due to lactic acid production (~50 mg/gms) (Fig. 2C). However, after 7 days, the pH decreased, and LA production only continued in silos with at least 149 mg of glucose/gdm. At the end of the process, the lowest pH (~4.8) and the highest lactic acid production (~178 mg/gdm) were obtained by adding 261 mg of glucose/gdm. Increasing the glucose addition from 149 to 261 mg/gdm produced ~41 % more lactic acid, with a bioconversion rate of ~68 %.

The NS addition increased the sargassum EC; however, this did not affect the ensiling process. This suggests that non-washed sargassum could be ensiled by *L. casei* with the addition of an easily assimilated carbon source, such as glucose. The glucose content required to ensile sargassum



Artículo de investigación

Méndez-González et al., 2023

is higher than that required to ensile forages such as alfalfa (70–120 mg/gms) (Muck 1990). The above could be due to the sargassum buffer capacity, which limits the pH decrease [23]. Therefore, despite the high LA production in sargassum silos with a glucose content of 261 mg/gdm, the pH did not decrease to the value typically obtained in forage and crop silages (between 3.7 and 4.3) [23,29]. However, the conditions generated allow stability in the silo (Fig. 2B and 2C); therefore, the 8 % glucose addition (~261 mg/gms) is recommended for sargassum silage.

3.5 Silage sensitivity to washing and nutrient addition

To improve the process efficiency, its sensitivity to washing and NS addition was evaluated. For this, four treatments were implemented: 1) unwashed and water-impregnated (USW), 2) unwashed and NS-impregnated (USNS), 3) washed and water-impregnated (WSW), and 4) washed and NS-impregnated (WSNS) (Table 1). During ensiling, NS addition was essential for the pH decrease in the sargassum silo (Fig. 3A) since it increases the total production of AL (Fig. 3B) and AA (Fig. 3C). On the other hand, sargassum washing increases the AL production velocity without affecting the total production. Likewise, the washing of sargassum does not affect the production of AA (Fig. 3C) and ethanol (Fig. 3D).

After ensiling, the treatments USNS and WSNS reached an AL: AA ratio of 8.5 and 7.9, respectively. These values are higher than those obtained in other silage processes (from 2.5 to 3). The above could be due to the inoculant addition and the high initial glucose concentration, which promotes LA production, reaching AL: AA ratio values greater than 7 [23,30]. In this case, the heterolactic facultative *L. casei* [31] favors LA production when there are no substrate limitations [30]. In contrast, in the USNS and WSNS silos, AA and Et production remained within the ranges of 1 %–3 % and 0.5 %–1.5 % (dry basis), respectively. This indicates an appropriate ensiling process and a low or no propagation of microorganisms such as

enterobacteria, clostridia bacteria [32], and/or yeasts [31]. The above results demonstrate that *L. casei* requires nutrient addition for proper sargassum ensiling, independent of sargassum washing.

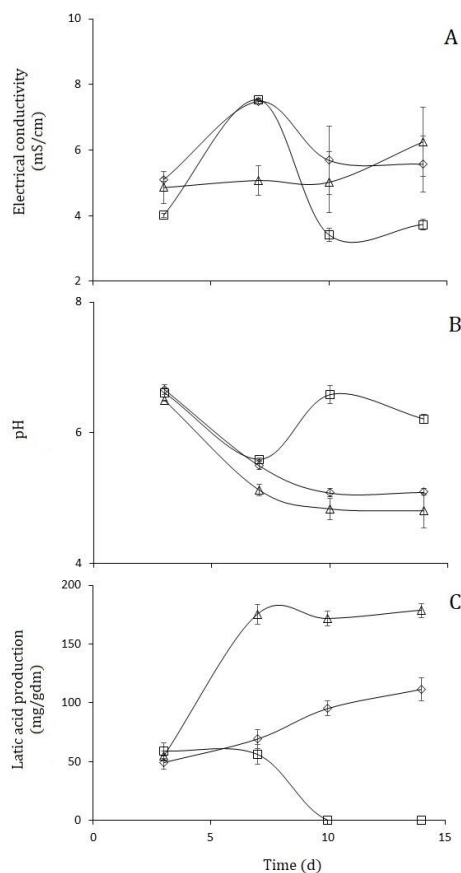


Figure 2. Kinetics of electrical conductivity (A), pH (B), and lactic acid production (C) in silos with 1.6 (squares), 4 (diamonds), and 8 % (triangles) glucose.

4. Conclusions

Sargassum conservation through ensiling may be the key to its industrial exploitation. The addition of an easily assimilable carbon source, such as glucose and a nutrient (NS) allows sargassum silage by *Lactobacillus casei*, decreasing the pH to ~4.8 and reaching a high bioconversion of glucose to lactic acid. Under these conditions, ensiling is



Artículo de investigación

Méndez-González et al., 2023

independent of the salt content in the sargassum, making desalination unnecessary.

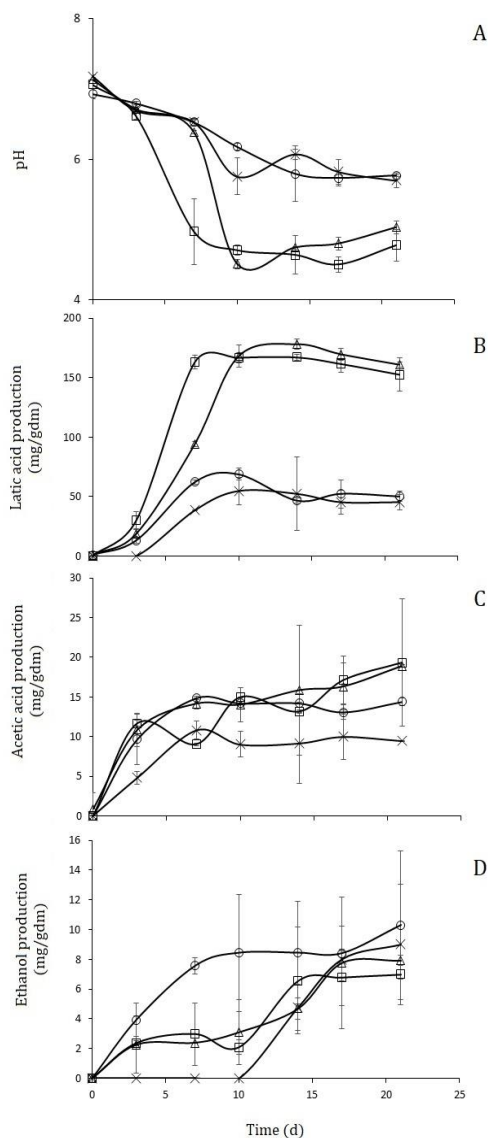


Figure 3. Kinetics of pH (A), lactic acid (B), acetic acid (C), and ethanol (D) production in silos packed with unwashed and water-impregnated (crosses), unwashed and NS-impregnated (triangles), washed and water-impregnated (circles), and washed and NS-impregnated (squares) sargassum.

5. Acknowledgments

Hernández-Zarco B. thanks the Mexican National Council for Science and Technology (CONACyT) for the scholarship.

6. References

- [1] F. Méndez-González, A. Pichardo-Sánchez, B. Espinosa-Ramírez, N. Rodríguez-Durán, G. Bustos-Vázquez, L.V. Rodríguez-Durán, Valorization of nonnative aquatic weeds biomass through their conversion to biofuel, in: L. Ríos-González, A. Rodríguez-de-la-Garza, M. Medina-Morales, C. Aguilar (Eds.), *Handbook of Research on Bioenergy and Biomaterials*, 1st ed., Apple Academic Press, New York, 2021: pp. 271–282.
- [2] N.F. Putman, R. He, Tracking the long-distance dispersal of marine organisms: sensitivity to ocean model resolution, *J R Soc Interface*. 10 (2013) 20120979. <https://doi.org/10.1098/rsif.2012.0979>
- [3] M. Wang, C. Hu, B.B. Barnes, G. Mitchum, B. Lapointe, J.P. Montoya, The great Atlantic Sargassum belt, *Science* (1979). 365 (2019) 83–87. <https://doi.org/10.1126/science.aaw7912>
- [4] B.I. van Tussenbroek, H.A. Hernández Arana, R.E. Rodríguez-Martínez, J. Espinoza-Avalos, H.M. Canizales-Flores, C.E. González-Godoy, M.G. Barba-Santos, A. Vega-Zepeda, L. Collado-Vides, Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities, *Mar Pollut Bull*. 122 (2017) 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>
- [5] V. Chávez, A. Uribe-Martínez, E. Cuevas, R.E. Rodríguez-Martínez, B.I. van Tussenbroek, V. Francisco, M. Estévez, L.B. Celis, L.V. Monroy-Velázquez, R. Leal-Bautista, L. Álvarez-Filip, M. García-Sánchez, L. Masia, R. Silva, Massive influx of pelagic *Sargassum* spp. on the coasts of the Mexican Caribbean 2014–2020: Challenges and opportunities, *Water* (Basel). 12 (2020) 2908. <https://doi.org/10.3390/w12102908>



Artículo de investigación

Méndez-González et al., 2023

- [6] J.L. López Miranda, L.B. Celis, M. Estévez, V. Chávez, B.I. van Tussenbroek, A. Uribe-Martínez, E. Cuevas, I. Rosillo Pantoja, L. Masia, C. Cauich-Kantun, R. Silva, Commercial potential of pelagic *Sargassum* spp. in Mexico, *Front Mar Sci.* 8 (2021).
<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.768470>
- [7] F. Méndez-González, J.J. Buenrostro-Figueroa, Sargazo, el potencial recurso del Mar Caribe, *Mexican Journal of Technology and Engineering.* 2 (2023) 14–17.
- [8] K.K.A. Sanjeewa, N. Kang, G. Ahn, Y. Jee, Y.-T. Kim, Y.-J. Jeon, Bioactive potentials of sulfated polysaccharides isolated from brown seaweed *Sargassum* spp in related to human health applications: A review, *Food Hydrocoll.* 81 (2018) 200–208.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.040>
- [9] G.A. Molina, M.A. González-Reyna, A.M. Loske, F. Fernández, D.A. Torres-Ortiz, M. Estevez, Weak shock wave-mediated fucoxanthin extraction from *Sargassum* spp. and its electrochemical quantification, *Algal Res.* 68 (2022) 102891.
<https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102891>
- [10] J.J. Milledge, P.J. Harvey, Ensilage and anaerobic digestion of *Sargassum muticum*, *J Appl Phycol.* 28 (2016) 3021–3030.
<https://doi.org/10.1007/s10811-016-0804-9>
- [11] K. Saravanan, S. Duraisamy, G. Ramasamy, A. Kumarasamy, S. Balakrishnan, Evaluation of the saccharification and fermentation process of two different seaweeds for an ecofriendly bioethanol production, *Biocatal Agric Biotechnol.* 14 (2018) 444–449.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.03.017>
- [12] S. Surtharsan, S. Nishanthi, S. Srikrishnah, Effects of foliar application of seaweed (*Sargassum crassifolium*) liquid extract on the performance of *Lycopersicon esculentum* Mill. in Sandy Regosol of Batticaloa District Sri Lanka, *Am Eurasian J Agric Environ Sci.* 14 (2014) 1386–1396.
- [13] A. Kumar, B. Vanlazarzova, S. Sridhar, M. Baluswami, Effect of liquid seaweed fertilizer of *Sargassum wightii* grev. on the growth and biochemical content of green gram (*Vigna radiata* (L.) R. wilczek), *Recent Research in Science and Technology.* 4 (2012) 40–45.
- [14] C. Kalaivanan, V. Venkatesalu, Utilization of seaweed *Sargassum myriocystum* extracts as a stimulant of seedlings of *Vigna mungo* (L.) Hepper, *Spanish Journal of Agricultural Research.* 10 (2012) 466–472.
<https://doi.org/10.5424/sjar/2012102-507-10>
- [15] P. Vaghela, K. Trivedi, K.G.V. Anand, H. Brahmbhatt, J. Nayak, K. Khandhediya, K. Prasad, K. Moradiya, D. Kubavat, L.J. Konwar, V. Veeragurunathan, P.G. Grace, A. Ghosh, Scientific basis for the use of minimally processed homogenates of *Kappaphycus alvarezii* (red) and *Sargassum wightii* (brown) seaweeds as crop biostimulants, *Algal Res.* 70 (2023) 102969.
<https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.102969>
- [16] S. Carrillo, A. Bahena, Casas M, Carranco M, Calvo C, E. Ávila, F. Pérez-Gil, El alga *Sargassum* spp. como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo, *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 46 (2012) 181–186.
- [17] H. Gojon-Báez, D. Siqueiros-Beltrones, H. Hernández-Contreras, In situ ruminal digestibility and degradability of *Macrocystis pyrifera* and *Sargassum* spp. In bovine livestock, *Cienc Mar.* 24 (1998) 463–481.
<https://doi.org/10.7773/cm.v24i4.762>
- [18] K.Y. Park, Y.H. Jo, J. Ghassemi Nejad, J.C. Lee, H.G. Lee, Evaluation of nutritional value of *Ulva* sp. and *Sargassum horneri* as potential eco-friendly ruminants feed, *Algal Res.* 65 (2022) 102706.
<https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102706>
- [19] J. Vijayakumar, R. Aravindan, T. Viruthagiri, Recent trends in the production, purification and application of lactic acid, *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly.* 22 (2008) 245–264.



Artículo de investigación

Méndez-González et al., 2023

- [20] V. Hervé, J. Lambourdière, M. René-Trouillefou, D.A. Devault, P.J. Lopez, Sargassum differentially shapes the microbiota composition and diversity at coastal tide sites and inland storage sites on Caribbean Islands, *Front Microbiol.* 12 (2021). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.701155>
- [21] F. Fernández, C. Boluda, J. Olivera, L. Guillermo, E. Echeverría, A. Gómez, Análisis elemental prospectivo de la biomasa algal acumulada en las costas de la República Dominicana, *Revista Centro Azúcar.* 44 (2017) 11–22.
- [22] A. Desrochers, S. Cox, H. Oxenford, B. van Tussenbroek, Sargassum uses guide: A resource for Caribbean researchers, entrepreneurs and policy makers, Centre for Resource Management and Environmental Studies, Barbados, 2020.
- [23] L. Kung, R.D. Shaver, R.J. Grant, R.J. Schmidt, Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages, *J Dairy Sci.* 101 (2018) 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- [24] R.E. Muck, Factors influencing silage quality and their implications for management, *J Dairy Sci.* 71 (1988) 2992–3002. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79897-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79897-5)
- [25] G. Borreani, E. Tabacco, R.J. Schmidt, B.J. Holmes, R.E. Muck, Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages, *J Dairy Sci.* 101 (2018) 3952–3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
- [26] T.W. Kang, A.T. Adesogan, S.C. Kim, S.S. Lee, Effects of an esterase-producing inoculant on fermentation, aerobic stability, and neutral detergent fiber digestibility of corn silage, *J Dairy Sci.* 92 (2009) 732–738. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0780>
- [27] K.G. Arriola, O.C.M. Queiroz, J.J. Romero, D. Casper, E. Muniz, J. Hamie, A.T. Adesogan, Effect of microbial inoculants on the quality and aerobic stability of bermudagrass round-bale haylage, *J Dairy Sci.* 98 (2015) 478–485. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8411>
- [28] R. E. Muck, Dry matter level effects on alfalfa silage quality II. fermentation products and starch hydrolysis, *Transactions of the ASAE.* 33 (1990) 0373–0381. <https://doi.org/10.13031/2013.31340>
- [29] T.F. Bernardes, L.G. Nussio, R.C. do Amaral, Top spoilage losses in maize silage sealed with plastic films with different permeabilities to oxygen, *Grass and Forage Science.* 67 (2012) 34–42. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00823.x>
- [30] L. Kung, M. Stokes, C. Lin, Silage additives, in: D. Buxton, R. Muck, J. Harrison (Eds.), *Silage Science and Technology*, American Society of Agronomy, Madison, 2003: pp. 305–360.
- [31] R.E. Muck, E.M.G. Nadeau, T.A. McAllister, F.E. Contreras-Govea, M.C. Santos, L. Kung, Silage review: Recent advances and future uses of silage additives, *J Dairy Sci.* 101 (2018) 3980–4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>
- [32] P. McDonald, A. Henderson, S. Heron, *The Biochemistry of Silage*, 2nd ed., Chalcombe Publications, Marlow, 1992. <https://doi.org/10.1017/S0014479700023115>



Anexos de la publicación

GUÍA PARA AUTORES

Los autores que sometan artículos a la revista deberán incluir una carta de exposición de motivos donde expongan la congruencia de su manuscrito con la revista, así mismo, en la misma carta, deben exponer que los autores están de acuerdo con las políticas editoriales de la revista.

Tipos de publicación

Artículos de investigación: Estos deberían incluir de forma completa, clara y concisa el estado del arte, metodología y los hallazgos experimentales obtenidos por el autor (o grupo de autores).

Artículos de revisión: Este tipo de publicación deberá ser producto de una rigurosa revisión bibliográfica y, como fruto de ella debe ofrecer una clara prospectiva del tema. La extensión deberá ser entre las 5000 y 10000 palabras (incluyendo bibliografía).

Contribuciones cortas: Esas serán aceptadas cuando se consideren un avance considerable de un hallazgo experimental y, por lo tanto, se hace de forma preliminar. Este tipo de contribución no debe exceder las 3000 palabras. También son aceptables artículos de revisión cortos (mini review) y estos no deben exceder las 5000 palabras (incluyendo bibliografía).

Artículos de divulgación: Se podrán abordar temas acordes a alguna de las áreas de la revista, su redacción deberá ser orientada hacia el público en general. Este tipo de contribución no debe exceder las 3000 palabras.

Lenguaje

La Mexican Journal of Technology and Engineering aceptará indistintamente contribuciones en español e inglés. Investigadores con lengua materna diferente al inglés, deben presentar un certificado de revisión emitido por alguna agencia de servicio de traducción y corrección de estilo.

Envío de manuscritos

Para enviar manuscritos a la revista es necesario que uno de los autores sea designado como autor de correspondencia. La dirección postal completa y correo electrónico debe señalarse dentro del manuscrito sometido. El autor de correspondencia deberá asegurarse de que el manuscrito sometido cumpla con todos los requerimientos señalados en la guía de autores y asegurarse de tener los siguientes documentos antes del envío:



Anexos de la publicación

- El Archivo en Word del manuscrito.
- Archivos individuales de las imágenes utilizadas en el manuscrito en formato JPG o TIFF.
- Archivo JPG o TIFF con el resumen gráfico (opcional).
- En caso de someter en idioma inglés, el certificado de revisión.
- En caso de utilizar recursos visuales provenientes de otras fuentes debe incluir una carta de permiso para el uso del material de los autores originales o de la editorial responsable.

Todos los archivos deberán enviarse al correo electrónico editorial@mexicanjournalte.com. Las notificaciones relacionadas con la decisión del editor y el proceso de revisión serán enviadas al correo electrónico del autor de correspondencia.

Árbitros

En todos los casos los manuscritos sometidos serán arbitrados de forma independiente. Para ello, los autores pueden enviar junto con el documento sometido, un escrito donde sugieran hasta tres árbitros; proporcionando, el nombre del investigador, adscripción y correo electrónico.

Revisión por pares

La revista opera con un proceso de revisión de simple ciego. Todas las contribuciones serán revisadas por el editor de área y, una vez determinada la idoneidad del escrito sometido, se enviará para su revisión a un mínimo de dos revisores expertos quienes evaluarán la calidad científica. El editor del área será el responsable de la decisión final (aceptación o rechazo) de cada manuscrito.

Estructura y formato de las contribuciones

Aspectos generales

Todas las contribuciones que se propongan para su publicación en la *Mexican Journal of Technology and Engineering* deberán ser escritas a doble espacio (incluyendo tablas, figuras y referencias) y usando Times New Roman, tamaño 12, en todo el manuscrito. Los márgenes en todos los costados serán de 2.5 cm. Todas las cuartillas estarán numeradas en la esquina inferior derecha y deben terminar con palabras completas. Numerar cada renglón iniciando con 1 en cada página.

Los artículos deben estar divididos en secciones y subsecciones del artículo deben estar claramente definidas y debidamente numeradas (secciones: 1, 2, 3, ...; subsecciones: 1.1, 1.2, 1.3...). Los apartados básicos de la estructura principal del manuscrito se definen a continuación:



Anexos de la publicación

Título. El título debe estar redactado en español e inglés. Deberá ser breve (20 palabras o menos), conciso e informativo, reflejando de forma sustanciosa el contenido de la contribución. El título deberá estar centrado, con mayúsculas (excepto por nombres científicos) y sin punto final. Evitar las abreviaciones, asteriscos y fórmulas a medida donde sea posible. Cuando sea el caso, nombres científicos de especies se escribirán con *itálicas* y con mayúscula en la primera letra del género.

Nombres de los autores. Los autores deben ser nombrados con un nombre y, posteriormente, el apellido (o apellido compuesto). Los autores deben estar separados por comas y al final del apellido se colocarán superíndices numéricos progresivos que indicarán la afiliación de cada autor. Su ubicación será centrada, inmediatamente debajo del título, sin grados académicos y sin cargos laborales.

Afiliaciones. Colocar las afiliaciones de forma numérica y en orden de aparición de los autores. Colocar la institución, el departamento, código postal y país.

Autor de correspondencia. El autor de correspondencia debe ser señalado con un asterisco en forma de superíndice. Sus datos de correspondencia deben contener: Institución, departamento, dirección postal, código postal, ciudad, país y correo electrónico.

Resumen. Debe ser redactado en español e inglés, con un máximo de 300 palabras de extensión. Debe estar redactado en el idioma en el que está escrito el artículo. Debe de englobar los contenidos y conclusiones relevantes del artículo.

Palabras clave. Incluir términos que faciliten la búsqueda del artículo en línea, se aceptarán de tres a seis términos simples o compuestos, con mayúscula sólo los nombres propios, separados por comas, con punto al final de la última. Se ubicarán abajo del resumen alineadas al margen izquierdo del texto.

Introducción. Redactar el estado del arte que sustente la relevancia de la investigación y establecer de forma clara los objetivos del artículo.

Materiales y métodos. Redactar de forma detallada los procedimientos utilizados en el trabajo experimental y, en el caso de realizar procedimientos provenientes de otras fuentes de información, referenciarlos adecuadamente.

Resultados y discusión. Se presentarán los hechos derivados de la aplicación de las metodologías descritas, ordenados de manera lógica y objetiva. Los resultados deben ser descritos de forma clara y precisa, sin recurrir a la repetición de datos de tablas y figuras. En la discusión, se debe interpretar la relevancia de los resultados obtenidos y su comparación con la literatura publicada.

Conclusiones. Deben presentarse de forma categórica, breve y precisa, mencionando las aportaciones específicas al conocimiento con base en los resultados más relevantes del manuscrito.

Agradecimientos. En caso de que los autores lo consideren adecuado, en esta sección podrán reconocer a personas o instituciones que financiaron, asesoraron o auxiliaron en la investigación.



Anexos de la publicación

Referencias. Las referencias deben presentarse en formato Vancouver.

Tablas. Colocar las tablas al final del manuscrito (como texto editable), en orden de aparición y debidamente numeradas. Las tablas deben de referenciarse en el manuscrito. Colocar encima de la tabla su descripción.

Imágenes. Las imágenes deben referenciarse en el manuscrito. Colocar al final del manuscrito los pies de imagen y enviar las imágenes en archivos independientes en formato JPG o TIFF. Las imágenes deben contener de 300 a 1000 dpi.