



UASLP

Universidad Autónoma
de San Luis Potosí



COORDINACIÓN
ACADÉMICA REGIÓN
ALTIPLANO OESTE

**AGROINDUSTRIA EN LA ERA
DIGITAL ANTE LOS RETOS DE
LA CONTINGENCIA SANITARIA**



**LAURA ARACELI LÓPEZ MARTÍNEZ
EDGAR ALEJANDRO BERROSPE OCHOA
JOSÉ ANDRÉS GUTIÉRREZ VÁZQUEZ**



UASLP
Universidad Autónoma
de San Luis Potosí



LA AGROINDUSTRIA EN LA ERA DIGITAL ANTE LOS RETOS DE LA CONTINGENCIA SANITARIA

Laura Araceli López Martínez
Edgar Alejandro Berrospe Ochoa
José Andrés Gutiérrez Vázquez

Coordinadores

La agroindustria en la era digital ante los retos de la contingencia sanitaria

Primera Edición, marzo de 2021. Salinas de Hidalgo,
San Luis Potosí, México.

López Martínez, Laura Araceli; Berrospe Ochoa, Edgar Alejandro;
Gutiérrez Vázquez, José Andrés

E-BOOK

Agradecimientos

Edición: Brenda Lizeth Ramos Medina y Oscar Navarro González

Diseño de Portada: Oscar Joel Ruiz Piña

Se permite la copia y distribución por cualquier medio siempre que se mantenga el reconocimiento de sus autores, no se haga uso comercial de las obras y no se realice ninguna modificación a las mismas.

COORDINACIÓN ACADÉMICA REGIÓN ALTIPLANO OESTE.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

CUERPO ACADÉMICO “ADMINISTRACIÓN Y AGROINDUSTRIA” UASLP-CA-284.

Carretera Salinas-Santo Domingo # 200, C.P. 78600 Tel. +52(496)963.4030

Salinas de Hidalgo, S.L.P. México

Email: carao@cro.uaslp.mx

© 2021 Todos los derechos reservados

ISBN: 978-607-535-211-4

Impreso y hecho en México. Printed and made in Mexico.

COMITÉ CIENTÍFICO

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui
Dra. Laura Araceli López Martínez
Dr. Edgar Alejandro Berrospe Ochoa
Dr. Armando Sánchez Macías
Dra. Virginia Azuara Pugliese
Dr. Luis Javier Ontañón García Pimentel
Dr. Juan Ángel Morales Rueda
Dra. María Zenaida Saavedra Leos
Dra. Macrina Beatriz Silva Cazares

Dra. Claudia Álvarez Salas
Dr. Erich Dietmar Rössel Kipping
Dr. Genaro Olmos Oropeza
Dr. Gerardo Loera Alvarado
MC. Concepción López Padilla
MC. Héctor Reynoso Ponce
Dra. Mayra Aguilar Zárate
MC. Marco Antonio Cortés Chamorro
Dr. Héctor Hernández Mendoza

Todos los capítulos que se presentan en esta obra fueron sometidos a un arbitraje doble ciego por parte de los expertos del Comité Científico.

Presentación

En febrero de 2020 se detectó el primer caso de COVID-19 en México. El número de casos de esta enfermedad causada por el agente SARS-CoV-2 aumentó exponencialmente. En marzo de 2020 se comienza la contingencia sanitaria en México, lo que genera una nueva etapa generando retos para la sociedad. Esta pandemia mundial llegó para modificar la cotidianidad de todos los ciudadanos. En México, como en todo el mundo se tuvo que optar por cambiar la metodología de la educación con el fin de no afectar el proceso de aprendizaje en los estudiantes. Uno de los grandes retos de la educación en México es el ofrecer el acceso universal a la tecnología e internet. Además de la educación, la cuarentena implicó la paralización de gran parte de los sectores económicos. En el caso del sector agropecuario, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria, se decretó como un sector esencial que debía operar parcial o totalmente. Sin embargo, este sector tiene retos relacionados con el transporte de la producción, la adquisición de insumos, la contratación de mano de obra, la incertidumbre sobre precios y demanda, la falta de liquidez y créditos. Estos desafíos afectan en mayor medida a los pequeños productores. Debido a esta contingencia, además de la creciente necesidad de insumos alimentarios y no alimentarios para el aumento de la población, se ve la necesidad de adoptar avances tecnológicos para enfrentar los retos futuros. Se necesita adoptar medidas que permitan incorporar elementos sustanciales de la revolución industrial 4.0.

Algunas de las mejoras que se pueden incorporar en la agroindustria debidas a la tecnología son:

- Usar drones que transmitan los datos con más facilidad.
- Almacenar y procesar los datos con eficiencia.
- Interconectar todas las herramientas de la agricultura 4.0 a través de la nube.
- Automatizar procesos
- Disminuir tiempos de producción

Debido a lo anterior es importante realizar estudios que permitan incorporar nuevas tecnologías dentro de la agroindustria que permitan beneficios para la población ante diversas circunstancias como la pandemia que comenzó en 2020, o incluso para situaciones que también enfrentamos como el aumento de la población mundial. Es así como tras una convocatoria a la comunidad universitaria y con el apoyo de expertos en las disciplinas mencionadas tras una revisión doble ciego se seleccionaron los trabajos que aquí se presentan como un esfuerzo para la divulgación de la investigación que llevan a cabo estudiantes y profesores del estado de San Luis Potosí.

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

Salinas de Hidalgo, marzo de 2021

Índice de contenido

Presentación	1
Capítulo 1. Análisis y diseño para producción de condimento a base de residuos	4
<i>María Paz De la Rosa De Blas</i>	
<i>José Salvador III Lucio Juárez</i>	
Capítulo 2. Caracterización de lirio acuático y su potencial para la producción de biogás.	19
<i>Mónica Krystel Rodríguez Ramos</i>	
<i>Luis Manuel Rosales Colunga</i>	
Capítulo 3. Desarrollo de formulación para un condimento granulado a partir de la cáscara deshidratada de cebolla blanca (<i>Allium cepa</i>).	30
<i>Michelle Hermosillo Pérez</i>	
<i>Claudia Álvarez Salas</i>	
<i>Héctor Reynoso Ponce</i>	
Capítulo 4. Fenología de carrizo en humedales construidos de tratamiento de agua de electroplating.	43
<i>Ulises Juárez-Martínez</i>	
<i>Gerson Alonso Soto-Peña</i>	
<i>Daniela González-Pereyra</i>	
Capítulo 5. Formulación de un sustrato germinativo a base de bagazo (<i>Agave salmiana</i>).	56
<i>Guillermo Gómez Betancourt</i>	
<i>Cecilia Ylliana Garibay Flores</i>	
Capítulo 6. Elaboración de galletas con harina de quinoa y harina de maíz azul	67
<i>Yalma Guadalupe Blanco Fraga</i>	
<i>Claudia Álvarez Salas</i>	
Capítulo 7. Harinas de frutas y tubérculos para la elaboración de productos	77
<i>Andrea González Márquez</i>	
<i>Claudia Álvarez Salas</i>	
<i>Magdalena Alvarado Galván</i>	
Capítulo 8. Evaluación preliminar de polvos para la elaboración de una bebida prebiótica.....	86
<i>Francisco Monsivais Monsivais</i>	
<i>Claudia Álvarez Salas</i>	
Capítulo 9. Diseño de polvos de frutos del semidesierto para la elaboración de atoles	96
<i>Ana Hilda Ramírez Rodríguez</i>	
<i>Dalia Abigail García Flores</i>	
<i>Magdalena Alvarado Galván</i>	

Capítulo 10. Efecto de hormonas vegetales en calidad comercial de cebolla (*Allium cepa L.*). 105

Francisco Javier Galaviz Martínez

Edgar Alejandro Berrospe Ochoa

Laura Araceli López Martínez

Juan Ángel Morales Rueda

Capítulo 11. Análisis fitoquímico preliminar y evaluación antifúngica de extractos orgánicos de la planta *Struthanthus sp.* 115

Liliana Ivonne García Rosa

Gerson Alonso Soto Peña

Erika García Chávez

Capítulo 12. Control de una suspensión semiactiva basada en MRD 130

Nidia Lizcano Estrada

Francisco Javier Martínez López

Zaira Pineda Rico

Capítulo 1. Análisis y diseño para producción de condimento a base de residuos

María Paz De la Rosa De Blas

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
a264614@alumnos.uaslp.mx

José Salvador III Lucio Juárez

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
salvador.lucio@uaslp.mx

Resumen

El presente trabajo propone un plan de negocios para la fabricación de sal con cebolla, en el cual se desea evaluar la capacidad de producir utilidad económica al darle valor agregado a las mermas producidas por la maquila y selección de cebolla blanca de un productor en el estado de San Luis Potosí.

La idea surge al percibir la problemática ocasionada por los deshechos generados en la producción y maquila de cebolla blanca, ya que estos residuos son almacenados cerca de los campos de cultivo creando un foco de contaminación para la cosecha y los habitantes de la comunidad gracias al desprendimiento de olores poco agradables y al alto índice de producción de microorganismos.

Para lograr desarrollar el proyecto se realizan análisis que permiten la percepción objetiva de los aspectos físicos, económicos y de mercado que trae consigo la producción para venta a granel de sal con cebolla. Para iniciar se analiza el mercado disponible para el producto, en el cual entra como una mezcla de especies, encontrándose un mercado potencialmente insatisfecho. Se continua con el estudio técnico, en el que se desarrolla el proceso de producción y la selección de la maquinaria adecuada para la fabricación del producto. Además, se determina la formulación ideal para la sal con cebolla. Finalmente se realiza el estudio económico, dándole valor monetario y costo a todas las actividades descritas en el estudio anterior, así como los costos de materias primas para determinar la inversión inicial y el FNE anual.

Palabras clave: Análisis, mercado, producción, condimento, cebolla blanca

Introducción

Para lograr comprender los alcances de este plan de negocios se toman en cuenta los siguientes aspectos; San Luis Potosí tuvo una superficie sembrada de 1,661 hectáreas, de las cuales fueron cosechadas 1579 hectáreas, donde se obtuvo 80184 toneladas (SIAP 2019) convirtiéndose en el octavo productor de cebolla en México según lo informado por el gobierno del estado en abril del 2019 (Prosperemos juntos, 2019) Un 10% de la producción total se vende a la industria alimenticia, en esta, la cebolla es procesada y convertida en sazonadores, aderezos, deshidratada, granulada, etc.

Gracias a la maquila en fresco de esta hortaliza se produce una buena cantidad de residuos, los cuales los productores agrícolas tienen que absorberlos tanto en costos como en deshechos. Esta situación trajo consigo problemática para un productor de cebolla blanca, el cual se encarga de la limpieza de cada uno de los bulbos retirando hasta 3 capas superficiales de la hortaliza para su comercialización. Esta situación trajo la acumulación de residuos de cebolla blanca, los cuales son depositados cerca de los campos de cultivo y viviendas cercanas. Sabiendo que la cebolla produce un alto contenido de azufre, y gracias a la aW se desarrollan rápidamente hongos y mal olor que afecta tanto a los trabajadores agrícolas como a los habitantes de la comunidad.

Estudio de mercado

A continuación, se presentan los datos considerados para el estudio de mercado.

Análisis de la demanda

El mercado al que se ofrece este producto se encuentra en el área de condimentos, el cual según Arizio y Curioni 2014, el consumo de mezclas de especias depende de la magnitud de la población, el nivel de ingreso, el estado de su economía, de las costumbres culinarias y sociales. También mencionan que el consumo por habitante varía ampliamente de una zona a otra dependiendo de su cultura culinaria.

Proyecciones de la demanda

Para el año 2011 las importaciones mundiales de especias llegaron a alcanzar casi 7.3 millones de dólares, demostrando así la constante tasa de crecimiento anual del 8.1% durante los últimos 20 años y del 10.8% durante la última década considerada. Estos datos

demuestran que las importaciones mundiales de especias 1992-2011 han crecido a ritmos similares (Arizio y Curioni 2014).

Considerando que no se encontró la cantidad de sal con cebolla que las empresas comerciales de condimentos logran vender anualmente, se toman los últimos datos planteados en el crecimiento anual de la importación de condimentos como base para obtener un valor cercano al consumo anual.

Gracias a que México entra en el Ranking mundial de los 20 principales países importadores en 2018 con el 12° lugar según Fernández R. 2019, se propone lo siguiente;

Si se considera el crecimiento anual de 7.3 millones en importación mundial al año, y de ese valor pertenece un 4.9% a las mezclas de especias, tenemos alrededor de 0.3577 millón de dólares de crecimiento anual en la importación de mezclas de especias. Dato que se considera como el consumo anual de sal de cebolla para este proyecto. Este dato también se considera como el mercado insatisfecho en el país al ser un producto importado.

Análisis de oferta

En el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de marcas comerciales de sal con cebolla en México. Para este análisis se logran identificar diferentes vendedores y distribuidores de sal con cebolla basándose principalmente en la cercanía con el estado de San Luis Potosí. Entre estos se encuentra “Comercializadora L.H des-hidratados”, dedicada a la venta de sal con cebolla y otros productos, con ubicación en Guadalajara Jalisco México. “Piasa” productor y fabricante de sal de cebolla, ubicado en Apodaca Nuevo León México. “Grupo FERSAM hermanos”, productores y fabricantes de sal con cebolla, en Tecamac Estado de México.

Cabe destacar que las empresas mencionadas anteriormente se eligieron por ser productoras y distribuidoras de sal con cebolla a granel y por encontrarse en la zona centro del país.

Análisis de la comercialización

Para este análisis se consideran tres aspectos; el producto, la estrategia y la promoción necesaria.

En cuanto al manejo del producto, éste no requiere mayor cuidado para su almacenaje,

y transporte por lo que no es necesario plantear algún tipo de exigencias a distribuidor.

Respecto a la estrategia de introducción al mercado, el producto se plantea como un condimento hecho a base de residuos de cebolla, lo cual permite tener una plataforma publicitaria que el cliente potencial puede aprovechar como “Cuidado y aprovechamiento de los recursos naturales renovables para beneficio del medio ambiente”.

Análisis de precios de marcas comerciales de sal de cebolla

Para lograr evaluar los costos y presentaciones que se ofrecen en el mercado se comparan diferentes marcas ofrecidas al público en una presentación similar y con su respectivo costo. Entre estas se encuentra la marca McCORMICK® con “ONION SALT” de 126 g a \$21, ECOSA CONDIMENTOS Y ESPECIAS con “SAL CON CEBOLLA” de 134 g a \$21.90 y SASSON con “SAL CON CEBOLLA” de 110 g a \$21.90. Se propone esta comparación ya que no fue posible obtener un precio al cual se venden estos productos al primer intermediario, sin embargo, se supone una ganancia del intermediario de entre un 25 a 30%. El precio promedio para 110 gramos es de \$15.12, descartando, un 30% de ganancia del intermediario, donde este tendría una remuneración de \$6.48 aproximadamente, suponiendo que el precio de venta al consumidor sea de \$21.6.

Para suponer estas cantidades se tomaron en los precios de las marcas SASON, ECOSA Y MCCORMICK, ya que estas se encuentran dentro de la distribución normal.

Estudio técnico

Localización óptima de la planta

Para la ubicación de la planta se tiene la limitante de la disponibilidad de la materia prima del producto cuyos ingredientes principales son los residuos de cebolla y la sal de mesa.

En este caso el ingrediente problema son los residuos de cebolla ya que por ser frescos el riesgo de contaminación por microorganismos es más alto. Por lo tanto, el principal condicionante es ubicar la planta en una zona del estado productora de cebolla.

Se postula principalmente los municipios de Ébano, Villa de Ramos (elegidos por tener mayor extensión territorial dedicada a la agricultura según datos del INEGI) y el municipio de Villa de Reyes del estado de San Luis Potosí como candidatos para la ubicación

de la planta.

Según las características de cada uno de los municipios postulados se asigna una calificación para lograr evaluar las oportunidades que trae cada uno de los municipios en la instalación de la planta. Donde se califica la infraestructura industrial, la cercanía con proveedores, disponibilidad de materia prima, comunicación, clima y disponibilidad de mano de obra. Finalmente, Villa de Reyes resulta como la ubicación con mejores beneficios para la instalación de la planta, esto se considera gracias a que el municipio cuenta con una amplia zona destinada a la instalación de plantas industriales, así como la infraestructura, mano de obra y comunicación. También se considera por tener un clima seco, ya que el producto a fabricar tiende a deteriorarse rápidamente en contacto con humedad.

Determinación del tamaño óptimo de la planta

Tamaño de la planta y la demanda

La capacidad planeada para el tamaño de la planta es de un procesamiento de 1 tonelada al día de residuos de cebolla blanca, (a petición del productor interesado en el proyecto) dato que se considera variable dependiendo del resultado del estudio de mercado y del costo del procesamiento.

Tamaño óptimo de la planta y los suministros e insumos

Como principales insumos son los residuos de cebolla y la sal de mesa, los cuales se encuentran disponibles en cantidad suficiente y en sitios cercanos a la zona seleccionada.

Se considera una entrada de materia prima de alrededor de 1 tonelada por día, lo cual es considerado para el tamaño de la planta. Para el almacenamiento y entrada de las otras materias primas se considera un almacén donde se tengan registros para manejar sobre pedido el material.

En cuanto a los residuos producidos se esperan ser mínimos, ya que el objetivo del proyecto es minimizar las pérdidas de cebolla blanca, por lo cual no existe área de almacenamiento de cebolla, considerando el alto índice de descomposición que esta presenta al estar en contacto con el ambiente.

El producto terminado se almacena dentro de un área especializada para posteriormente ser transportada a su destino final.

La tecnología y equipos

El secador es una limitante tecnológica, ya que es el equipo más costoso y clave en el proyecto, el cual define la cantidad producida, y tiene una capacidad de 1000 a 1500 kg por lote

Se considera el uso de una lavadora para hortalizas con capacidad de 600 a 800 kg/hora para el lavado y esterilizado de la hortaliza la cual alimentara a la picadora marca DORPHY con capacidad de entre 300 y 1500 kg/hora., siendo este equipo, el proveedor de materia prima del secador.

Para el molido y tamizado se consideran los siguientes productos; MOLINO PULVERIZADOR SERIE MPV y TAMIZ MINI SIFTER, ya que el tamaño de partícula requerido es de 1.25mm de acuerdo con la NOM 24-M

Descripción del proceso productivo

De acuerdo con el estudio de mercado el condimento será en polvo y se utilizará como materias primas los residuos de cebolla, sal de mesa y anti aglomerante donde el proceso productivo será el siguiente:

1. Recepción de materia prima: 1 tonelada de residuos de cebolla descargados manualmente. La sal de mesa se recibe en sacos de 50 kg y son bajados manualmente para su almacenamiento en almacén.

2. Triturado: después del lavado los residuos de cebolla son pasados a un triturador donde estos son reducidos en tamaño, esto ayuda aumentar el área de contacto.

3. Colocación en charolas y transporte a secador: los residuos de cebolla se colocan en una mesa de acero inoxidable, operadores colocarán en charolas los residuos y se acomodan dentro del secador.

4. Deshidratación: las charolas son colocadas en el secador AIO-1600G durante 4 hrs a una temperatura de 75°C.

5. Transporte de cebolla deshidratada al molino: las charolas son retiradas del secador hacia un contenedor de acero inoxidable, donde, mediante espátulas de acero inoxidable se

separa la cebolla de la charola para evitar pérdidas. la cebolla encontrada en el contenedor es transportada hacia el molino mediante operadores para ser pulverizada.

6. Tamizado: la cebolla pulverizada, al salir del molino es colocada en directo al tamiz, donde se separa a un tamaño de partícula de 1.25 mm. Las partículas que no cumplan con este tamaño serán pasadas nuevamente al molino para ser retrabajadas.

7. Homogenización y mezclado: mediante la ayuda de una mezcladora son combinados; la cebolla pulverizada, previamente tamizada, la sal de mesa, y el anti aglomerante

8. Envasado: se envasa en una presentación de 50 kg.

Balance de materia prima

La elaboración del producto de sal con cebolla trae consigo diferentes tipos de pérdidas en el proceso de fabricación. Por esta razón se calcula el balance de materia prima considerando la entrada de 1 tonelada de residuos de cebolla por turno. La cual está representada en la figura 1.

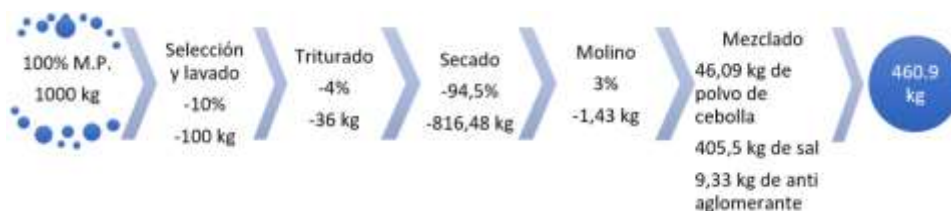


Fig. 1. Balance de materia

Fuente: Elaboración propia (2021)

Esta materia prima pasa por el proceso de selección, en la cual se retiran trozos de diferente color, partes superficiales de la planta y algún tipo de materia extraña que pudiera encontrarse. Posteriormente se lava y transporta a la siguiente área. En este proceso se pierde alrededor de 10% del peso inicial. A continuación, la cebolla pasa por un proceso de triturado en el cual se pierde alrededor del 4% de peso entrante y sale al área de secado. En esta área la materia prima pierde el 94.5% de su peso retenido en agua convirtiéndose en hojuelas. Dichas hojuelas pasan por el área de molienda donde se pierde un 3% de producto gracias a la impregnación del polvo en la superficie de la maquinaria y equipo. Finalmente se homogeniza y mezcla con 10% para ser empaquetada.

Optimización del proceso productivo y de la capacidad de producción de la planta

Se realizó el cursograma analítico el cual da seguimiento a la actividad y tiempo de cada área, el programa está validado por el simulador Flex Sim. En la tabla 1 se muestra la descripción de actividad y el tipo de proceso que conlleva cada uno, así como los tiempos utilizados.

Tabla 1.

Cursograma analítico

Descripción de la actividad	Símbolo	Tiempo (minutos)	Comentarios
	○ → □ ▽		
Recepción de materia prima	•	20	
Inspección de M.P	•	35	
Transporte de MP a lavadora	•	5	
Lavado residuos de cebolla	•	40	
Transporte al área de triturado	•	15	
Triturado de residuos	•	50	
Transporte a preparación de charolas	•	15	
Preparación y colocación de charolas en deshidratador	•	30	
Proceso de secado	•	240	
Transporte de charolas al molino	•	30	
Disminución al tamaño de partícula	•	20	
Tamizado	•	15	
Transporte de polvo de cebolla	•	5	
Homogenización y mezclado	•	5	Se adiciona la sales y anti aglomerante
Envasado	•	5	
Transporte a almacén	•	10	
Almacén de PT	•		

Fuente: Elaboración propia (2021)

En la figura 2 se puede observar la simulación del proceso, el cual está basado en las actividades descritas en el cursograma analítico. Se puede observar una línea de proceso principal con 3 obreros los cuales alternaran estratégicamente su posición en el área.

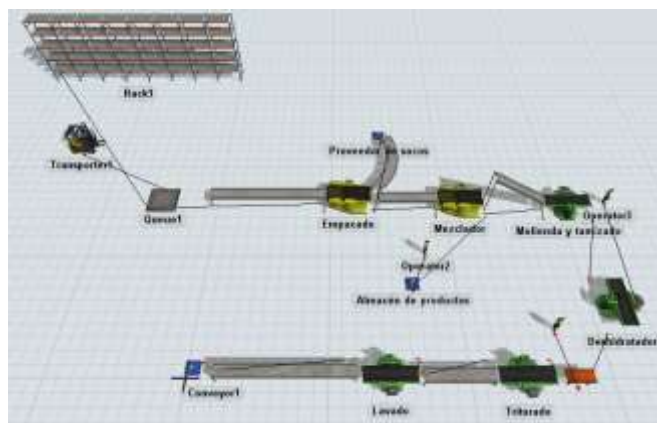


Fig. 2. Simulación de proceso de fabricación de sal con cebolla

Fuente: Elaboración propia (2021)

Equipo y maquinaria necesarias para el proceso de producción.

Para seleccionar el equipo adecuado para el proceso de producción se analizan las actividades a realizar, esto con el propósito de visualizar el equipo y la maquinaria que se adapte a las necesidades del operador y del producto a procesar.

Cálculo de mano de obra

Tomando el tiempo de operación y el equipo y su capacidad se determinan 930 minutos necesarios de trabajo continuo para transformar una tonelada de mano de obra.

Balance de mano de obra

De los 930 minutos necesarios de mano de obra, se obtiene que, un obrero tiene disponibles 384 minutos de trabajo efectivo por un turno de 8 horas (Baca 2013) por lo que se requieren;

$$(930 \text{ min}) / (384 \text{ min}) = 2.42 \text{ obreros} \approx 3$$

Tomando en cuenta que el resultado anterior determina que uno de los trabajadores trabajará a menos del 50% de su capacidad se toma como apoyo en caso de vacaciones, faltas sin justificación y ausentismos por enfermedad para los otros operadores más, los cuales

tendrían un % de aprovechamiento de:

Minutos disponibles de 3 obreros: 1152 minutos

Minutos necesarios por turno elaborando 1 lote de producto: 930 minutos

$$930/1152*100= 80.72$$

Estos cálculos indican que el trabajador en promedio va a trabajar un 80.72% del 80% total de tiempo aprovechado en el turno de 8 horas. En general es recomendable que el trabajador actúe al 80% de su capacidad ya que en el proceso existen actividades repetitivas como la preparación y acomodo de charolas, las cuales llegan a ser tediosas y físicamente agotadoras. Se recomienda la rotación de puestos durante la jornada de trabajo y que no exista personal especializado en una función única para que todos puedan ser cambiados de función durante la jornada diaria.

Determinación de las áreas necesarias de trabajo

A continuación, se mencionan las áreas que debe tener la empresa y se muestran el lay out planeado en la figura 3.

- Almacén M.P.
- Almacén de otras M.P.
- Producción
- Sanitarios
- Oficinas administrativas
- Área de tratamiento de residuos peligrosos

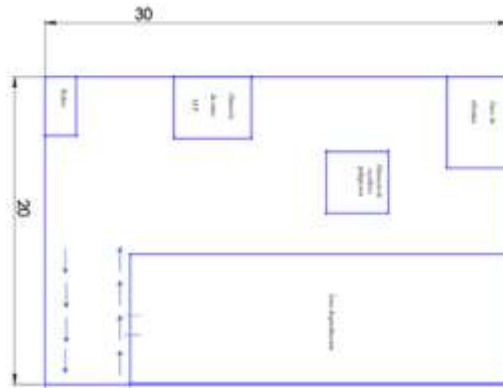


Figura 3. Lay Out de la empresa

Fuente: Elaboración propia (2021)

Organigrama de la empresa

Primeramente, se encuentra la rama administrativa, que está dirigido por cuatro gerencias: Gerente general, gerente de control de calidad, Gerente de producción y Gerente de ventas.

Como ramas auxiliares a la gerencia se encuentra el departamento de mantenimiento y contabilidad, el cual este último es realizado por un despacho externo a la empresa.

Gracias a la contratación de una compañía encargada del mantenimiento de la planta se evita la contratación de personal para el área de mantenimiento, por otro lado, se apoyará con el empleamiento de: 2 choferes, 1 almacenista, 1 persona encargada de la limpieza general, 1 persona de vigilancia. Tomando en cuenta el resultado obtenido en la sección de Cálculo de mano de obra, para el área de producción se establece la contratación de 3 operadores encargados de las labores del área.

Estudio económico

Costos de producción

La planta productora de condimento a base de sal con cebolla se planea, hasta ahora, con el objetivo de laborar un solo turno de trabajo.

De acuerdo con los datos de composición del producto la tecnología empleada y a petición de la persona interesada por el procesamiento de los residuos, se considera un solo turno de trabajo donde entraría a procesarse una tonelada de residuos de cebolla

convirtiéndose en polvo, a la que se le agrega 9.3 kg de anti aglomerante y 405.5 kg de sal.

Esto arrojan una cantidad de 460.9 kg de producto terminado, se tiene como objetivo vender a granel el producto en sacos con un contenido de 50 kg.

Presupuesto de costo de producción.

Gracias a la formulación mencionada en el balance de materia prima y considerando los costos de cada uno de los insumos utilizados se calculan \$1.455.497,25 pesos como costo de M.P. necesaria para la producción de 138000 kg por año de sal con cebolla.

Los costos de mano de obra directa para la producción de dichos kg de sal con cebolla se determinan a partir de los sueldos asignados a cada trabajador, considerando un mes laboral de 30 días y un salario mínimo de \$123.22, además del 35% extra que pertenece a gastos derivados de prestaciones sociales. En consecuencia, el total real de mano de obra directa es \$714.420.

El costo de envase y embalaje es de \$12.276, esto causado por la cantidad de 300 costales para el envasado individual con precio de \$21.12 y 32 tarimas para embalaje de \$158,40 cada una.

El consumo de energía eléctrica es un gasto calculado a través de los 28.900 Watts utilizados por turno dando un costo de \$18.900 pesos anuales.

Además de los costos ya mencionados, se identifican gastos derivados en la compra de equipo de protección personal para los trabajadores, material de limpieza y uniformes. Estos conceptos traen un costo de \$7.400 pesos anuales.

Para los servicios externos se tiene un presupuesto de \$174.000,00 pesos anuales.

Se aplica depreciación en línea recta, para los primeros 5 años con un total de \$62.420,6. Los porcentajes aplicados son los publicados en la Ley del Impuesto Sobre la Renta vigente en el país.

En conclusión, los datos mencionados reflejan un costo de producción de \$2.443.880,60 pesos anuales. Estos se muestran desglosados en la tabla 20.

Costos de administración y ventas.

En este caso se consideran los sueldos de administrativos, personal fuera del área de

producción y un 35% del total de estos dos, para cubrir gastos de prestaciones sociales, obteniéndose un costo de 750.060 pesos.

En los gastos de oficina se proponen \$20.000 anuales para sustentar la compra de material de oficina.

Costos totales

Para obtener los costos de administración, ventas y producción se suman los totales de Costo de producción y Costo de administración y ventas, dando como resultado \$ 1.758.443,35 pesos anuales.

Se calculan los activos fijos de la planta con una cantidad de 1.813.161,28. No se toma en cuenta transporte, aseguramiento, instalación, capacitación ni programación de la maquinaria.

Como activo diferido se encuentra una cantidad de \$150.00.00 pesos.

Inversión en terreno y construcción

El terreno tiene un área de 600 m2 con un costo de 510.00,00 y una construcción de alrededor de 2365,70 m2 dando un total de \$2.104.200,00 pesos de inversión.

Capital de trabajo

Para calcular el capital de trabajo se toman en cuenta el activo y el pasivo circulante, los cuales se componen básicamente de inventario, nómina, clientes y proveedores. Una vez que se haya instalado en la planta invirtiendo \$1.758.443,35 es necesario contar con el capital adicional de \$1.232.526,02 para comenzar a trabajar. Como escenario principal se supone la venta a granel del total del producto producido por la empresa.

Se pretende vender aproximadamente 27 600 kg de producto al año, siendo 5520 unidades anuales. Se toma en cuenta mantener en el inventario siete días hábiles de producto para continuar la producción en caso de algún inconveniente en la compra de la materia prima necesaria.

Programa de ventas (ingresos)

Para fijar el precio es necesario tomar en cuenta la venta total a granel de la producción de 300 días hábiles al año, por lo que se consideran cantidades mostradas

anteriormente. Se propone un precio de \$1443.16 derivado de los costos de producción que se calcula serán de \$3 063 940.60 anuales, a los cuales son divididos entre las 2760 piezas elaboradas y se les aumenta un 30% considerando como ganancia en el precio.

Estado de resultados

En la tabla 28 se muestran los cálculos correspondientes para proyectar el estado de resultados de la empresa, con inflación del 5% anual en los primeros 5 años. Donde se calcula los impuestos totales promedio como el 40% de la utilidad antes de impuestos, donde 28% son de impuestos sobre la renta (ISR) y 12% de reparto de utilidades de los trabajadores (RUT). Cabe destacar que los ingresos se obtienen de una producción y venta de 2760 piezas elaboradas durante 1 año de producción.

Conclusiones generales del estudio

Los resultados obtenidos en los estudios realizados reflejan que existe una demanda insatisfecha en el país en cuanto a la venta y distribución de condimentos en polvo, por lo cual el producto se abre a una comercialización a granel con un mercado en crecimiento constante. También se logran identificar las áreas de riesgo de embotellamiento en el proceso, como lo es la deshidratación de los residuos, así como la maquinaria adecuada para la correcta fabricación de la sal con cebolla, los tiempos y el personal adecuado para el área de producción. El análisis económico demuestra que la inversión inicial contando la compra del terreno, construcción, los costos totales y activos fijos es de \$5,675,804.63. Produciendo un flujo neto de efectivo de \$523,930 en el año 0 de producción y con un aumento del 5% anual durante 5 años.

Referencias

Baca Urbina, G. (2013). *Evaluación de proyectos. Séptima edición*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (s.f.). *Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por estado AÑO AGRICOLA 2019 RIEGO+TEMPORAL*.

Recuperado 18 octubre, 2019, de

http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do

S.L.P. Prosperemos juntos. (2019, abril). *Punto Único - San Luis Potosí 312 mdp el valor de la producción de cebolla en SLP 260419*. Recuperado 18 octubre, 2019, de <https://beta.slp.gob.mx/sitionuevo/Paginas/Noticias/2019/Abril%202019/260419/312-mdp-el-valor-de-la-producci%C3%B3n-de-cebolla-EN-SLP-260419.aspx>

Arizio, O. P., & Curioni, A. O. (2014, junio 3). *Intercambio mundial y regional de especias en términos de valor, 1992-2011*. Recuperado 27 de abril de 2020, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v8n1/v8n1a13.pdf>

Fernández, R. (2019, 24 junio). *Ranking mundial de los 20 principales países importadores en 2018*. Recuperado 12 de septiembre de 2020, de <https://es.statista.com/estadisticas/600238/ranking-de-paises-importadores-en/>

Capítulo 2. Caracterización de lirio acuático y su potencial para la producción de biogás.

Mónica Krystel Rodríguez Ramos

Área Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, UASLP
A263766@alumnos.uaslp.mx

Luis Manuel Rosales Colunga

Área Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, UASLP
luis.rosales@uaslp.mx

Resumen

El lirio acuático *Eichhornia crassipes* es una planta de rápido crecimiento, lo que puede ocasionar problemas en los cuerpos de agua en los que prolifera. La acelerada generación de biomasa de esta planta, la convierte en un candidato para la producción de biocombustibles. Debido a que la composición química de la planta puede variar, dependiendo de la zona geográfica, en este trabajo se realizó el análisis de humedad, sólidos volátiles y cenizas del lirio acuático recolectado en la presa de San José en San Luis Potosí, México, para evaluar su potencial en la producción de biogás. De acuerdo con los resultados, el lirio acuático es adecuado para la producción de biogás debido a su contenido de sólidos volátiles. Las partes con mayor potencial son las hojas y tallos, con 90.6 y 84.9 % de sólidos volátiles respectivamente en el lirio seco. Además, se propone el uso de desechos avícolas como inóculo, ya que, entre los inóculos que se han utilizado, es el que presenta los más altos rendimientos de biogás. También se propone realizar una co-digestión con rastrojo de leguminosas para tener un sustrato con una relación C/N adecuada para la producción de biogás.

Palabras clave: *Eichhornia crassipes*, metano, inóculo, sólidos volátiles, digestión anaerobia

Introducción

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una planta hidrófita libre flotadora que pertenece a la familia de las *Pontederiaceae*. Su distribución en México es sumamente amplia, ya que crece en una gran diversidad de hábitats dulceacuícolas localizados desde el nivel del mar hasta los 2,250 metros de altitud (Miranda y Lot, 1999). En las regiones fuera de su área natural de distribución, el lirio acuático es considerado maleza por la serie de problemas que acarrea su presencia y, sobre todo, por el crecimiento rápido de su población (Miranda y Lot, 1999). Los principales problemas causados por el crecimiento del lirio acuático son que impide la entrada de sol y oxígeno del medio donde se encuentra, modificando el ecosistema, asimismo obstruyendo el camino a pescadores. (McKinney, 2003; Miller, 1999).

Debido a su rápido crecimiento, el lirio acuático se ha utilizado para absorber gran cantidad de nutrientes disueltos, que toma directamente del agua, reduciendo la carga orgánica y eliminando los metales pesados (Brij, 1984; Jamil y col, 1984). Esta planta también puede ser utilizada en la fabricación de papel y fibras textiles, compost para otras plantas y algunos usos medicinales (Gallo G, 2020)

Uno de los posibles usos para el lirio acuático es como sustrato en la producción de biocombustibles, ya que el desarrollo de este tipo de combustibles ha tenido un crecimiento acelerado en los últimos años, debido a los problemas asociados al uso de los combustibles fósiles. Uno de los aspectos más importantes para la producción de biocombustibles es el sustrato que se utiliza. Para que un sustrato sea adecuado, debe cumplir con ciertas características, como alta disponibilidad, bajo costo y que no se utilice para la alimentación humana. Ya que el lirio cumple con estas características, se ha utilizado para la elaboración de briquetas energéticas (Koser et al. 1982) y biocombustibles como el biogás (Hudakorn & Sritrakul, 2020). Sin embargo, se han reportado variaciones en la composición química del lirio acuático recolectado en diferentes zonas geográficas, por lo que es importante realizar la caracterización del lirio acuático presente a nivel regional, evaluar su potencial en la producción de biocombustibles y proponer las mejores condiciones para aumentar la producción. Por lo tanto, en este trabajo se realizó el análisis de humedad, sólidos volátiles y cenizas del lirio acuático recolectado en la presa de San José en San Luis Potosí, México.

También se proponen algunas alternativas para aumentar la producción de biogás con este sustrato.

Metodología

Obtención del sustrato e inóculo

El lirio acuático *Eichhornia crassipes* se recolectó de la presa de San José, San Luis Potosí, S.L.P. México.

Limpieza y secado del lirio acuático

Las plantas de lirio fueron lavadas de acuerdo con lo reportado por (Ramírez F., 2017) donde al ser extraídas, se enjuagaron con el agua de la misma presa para remover sólidos adheridos en toda la planta.

Una vez extraídas se dejaron escurriendo un periodo de tiempo aproximado de media hora y se depositaron en bolsas negras de plástico, para posteriormente secarlas. Para secarlas se pusieron los lirios en una cama de periódico, puestos al sol directo por aproximadamente 1 semana.

Determinación de humedad y materia seca

La humedad y materia seca se determinaron por método gravimétrico secando 10g de muestra fresca en horno (Felisa Horno) por 3 horas a 110°C. pesados en una balanza analítica (OHAUS, Triple Beam TJ2611) y después se realizaron los cálculos. (AOAC,1960)

Determinación de cenizas y sólidos volátiles

La determinación de cenizas y sólidos volátiles se llevó a cabo por método gravimétrico, incinerando en mufla (OHAUS) 2g de muestra por partes por 4 horas a 650°C. pesados en una balanza analítica (OHAUS, Triple Beam TJ2611) y después se realizaron los cálculos. (AOAC, 2005)

Estimación de la producción de biogás a partir de lirio acuático

A partir de los datos obtenidos de sólidos volátiles, así como de otros obtenidos de la literatura se analizaron varios factores para la estimación de la producción de biogás y metano.

Resultados y discusión

Humedad

Con la finalidad de saber si se puede utilizar al lirio acuático como sustrato para la producción de biogás se realizó el análisis de humedad. Las muestras de lirio acuático recolectadas en la Presa de San José contienen un 16.63% de humedad utilizando la planta completa. Estos resultados son mayores a los reportados por Juárez Luna, 2011, ya que en este estudio obtuvo de 8 o 9% de humedad, en dicho estudio se determinó la humedad de hojas y tallos por separado y el secado se llevó a cabo en un secador de charolas a 60°C.

En el proceso propuesto en el presente trabajo se evita el secado en secador para disminuir la demanda energética del proceso.

Cenizas

Para saber si el lirio acuático es un buen sustrato para la producción de biogás en cuanto a los minerales que contiene y material no aprovechable para la digestión anaerobia, se realizó la determinación de cenizas de distintas partes de la planta; hojas, tallos y raíces después del secado. En la Figura 1 se muestra el porcentaje de cenizas de las diferentes partes de la planta: hojas 9.4%, tallos 15.1% y raíz 37.8%. El alto porcentaje de cenizas encontrado en las raíces es debido a que la función es precisamente la absorción de agua y minerales, concentrándose estos en esa parte de la planta. Los resultados son menores a los reportados por Juárez Luna, 2011, (12% en hojas y 18% en tallos) por lo que el contenido de cenizas (y de sólidos volátiles) está influenciado por la zona en donde crece y se recolecta el lirio acuático.

Sólidos volátiles

Para la producción de biogás, una de las características más importantes del sustrato son los sólidos volátiles porque son éstos los que se transformarán en biogás. Debido a estas razones se realizó la determinación de sólidos volátiles de tallo, raíz y hoja del lirio acuático. Como se muestra en la Figura 2, el lirio acuático recolectado en la Presa de San José de San Luis Potosí presenta un 90.6% de sólidos volátiles en hojas, un 84.9% en tallos y un 62.2% en raíces. Estos resultados son más altos a los reportados por Juárez Luna, 2011, (79% en hojas y 72% en tallos).

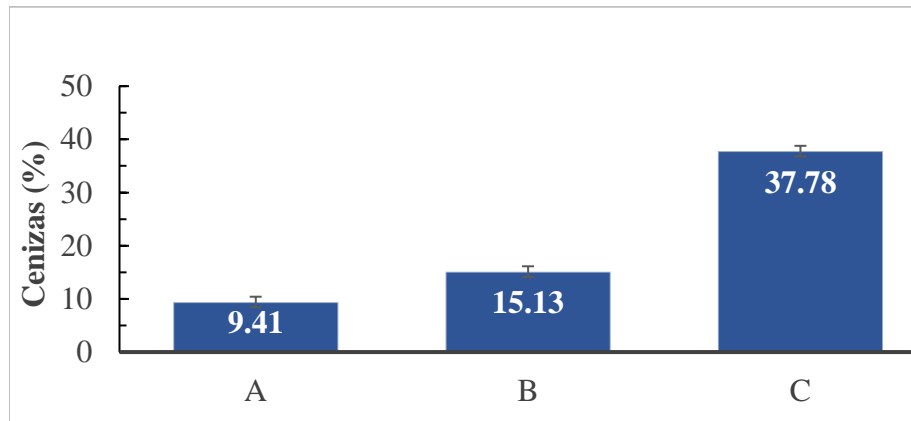


Fig. 1. Análisis de cenizas en el lirio acuático, promedio de los experimentos por triplicado; hojas (A), tallos (B) y raíces (C) de muestras de 2g secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

Fuente: Elaboración propia (2021)

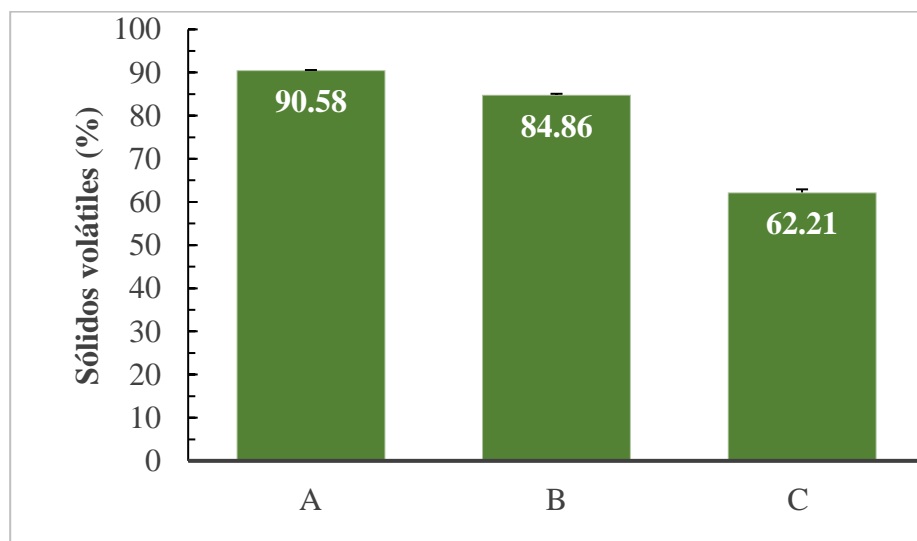


Fig. 2. Porcentaje de análisis de sólidos volátiles en el lirio acuático; promedio de los experimentos por triplicado; hojas(A), tallos (B) y raíces (C) de muestras de 2 gramos secos. Las barras de error representan las desviaciones estándar

Fuente: Elaboración propia (2021)

Como se mencionó anteriormente, los sólidos volátiles tienen el potencial de convertirse en biogás, por lo que el lirio acuático recolectado en la Presa de San José tiene un mayor potencial para la producción de biogás comparado con los lirios recolectados en otras zonas. Otros estudios han demostrado que existe una gran variabilidad en la composición química de los lirios recolectados en diferentes zonas geográficas y partes de la planta (Tovar et al, 2017), es por eso que es necesario hacer la determinación de sólidos volátiles para evaluar el potencial de producción de biogás de plantas recolectadas en la región. De acuerdo con los resultados del presente trabajo, de las partes del lirio, la que tiene un mayor potencial para la producción de biogás son las hojas.

Propuesta para mejorar la producción de biogás a partir de lirio acuático

Inóculo

En la Tabla 1 se muestran varios de los inóculos utilizados para la producción de biogás utilizando lirio acuático como sustrato. Uno de los inóculos más empleados es el estiércol de vaca, alcanzando rendimientos que van desde 0.2 hasta 0.304 L de biogás por gramo de sólido volátil. Otro de los inóculos comúnmente utilizados son los lodos, alcanzando un máximo de 0.35 L de biogás por gramo de sólido volátil. Sin embargo, de acuerdo con la Tabla 1, el mayor rendimiento de biogás (0.48 L de biogás por gramo de sólido volátil) se logra al utilizar desechos avícolas como inóculo. Por lo tanto, se propone este inóculo para la producción de biogás. De acuerdo con los rendimientos con este inóculo, un reactor de 100 L, con 80 Kg de hoja de lirio acuático como se trató en este estudio, podría producir hasta 30 000 L de biogás. Típicamente se reportan contenidos en el biogás de 52 a 69% de metano, por lo que se podrían producir entre 15 000 y 20 000 L de metano.

Tabla 1.

Inóculos utilizados para la producción de biogás a partir de lirio acuático.

Inóculo o co-sustrato	Rendimiento máximo de biogás L/g SV	Referencia
Lodo primario	0.35	Patil J. H, 2011
Desechos avícolas	0.48	Patil J. H., 2012.
Estiércol de vaca; desechos de papel	0.282	Momoh O.L. et al., 2011.
Estiércol de vaca	0.304	Madamwar, D., 1992.
Lodos	0.141	P. Priya, S.O, 2018.
Estiércol de vaca	0.2	Kivaisi, A. 1997.

Fuente: Elaboración propia (2021)

Otro potencial inóculo, que hasta donde conocemos no se ha evaluado al utilizar lirio acuático como sustrato es el líquido ruminal, el cual a sido utilizado en la producción de biogás con otros sustratos como desechos de naranja (Ramírez, 2015) teniendo ciertas ventajas como altas velocidades de producción y fases lag cortas.

Co-digestiones

Para aumentar la producción de biogás y metano se ha evaluado la co-digestion con una amplia variedad de sustratos orgánicos, sin embargo, en la mayoría de los estudios no se toma en cuenta la relación C/N. De acuerdo con Lupafilotaxia 2018, el lirio acuático tiene una relación Carbono/Nitrógeno (C/N) de 17:1. En otros estudios se ha reportado que la relación C/N del lirio acuático no varía considerablemente a pesar de que las plantas fueron cultivadas a diferentes concentraciones de nitrógeno (Jayawera, 2007). De acuerdo con la FAO 2019, el carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es

utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1, a pesar de que hay reportes en los que se menciona que no es necesario alcanzar este óptimo (Jayawera, 2007). La relación de C/N del lirio no entra en los rangos óptimos por lo que se propone hacer una codigestión entre el lirio acuático y rastrojo de leguminosas. Este último tiene una relación C/N de 29:1 (USDA, 2019) y, si mezclamos 50% de lirio acuático con 50% de rastrojo de leguminosas como sustratos se logra una relación C/N de 23:1 que ya se encuentra dentro de los rangos óptimos que la FAO, 2019 recomienda, lo que probablemente aumente la cantidad y/o calidad del biogás.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados, el lirio acuático recolectado en la Presa de San José en San Luis Potosí es adecuado para la producción de biogás debido al contenido de sólidos volátiles. Las partes con mayor potencial son las hojas y los tallos. Entre los inóculos que se han utilizado para la producción de biogás a partir de lirio acuático, el que presenta los más altos rendimientos es el compuesto por desechos avícolas. Debido a que la relación C/N del lirio acuático no es la adecuada, se propone realizar una co-digestión con rastrojo de leguminosas. Este sustrato es un desecho agrícola que no tiene otro uso más que para alimento de ganado en pocas proporciones y que su quema provoca contaminación en el aire dándole otro aprovechamiento a este sub-producto agrícola.

Referencias

- Association Of Official Agricultural Chemist, 1960. Official Methods Of Analysis. Association Of Official Agricultural Chemist, 9th Edition, 832 Pp. Washington (Usa).
- Brij, G., (1984). *Utilization of water hyacinth as a new source or for its control: some environmental considerations*. proceedings of the international conference on water hyacinth. united nations environmental program. nairobi, india, pp 193206.
- FAO. (2019). *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Colección

Documentos Tecnicos N° 12. Buenos Aires. 104 pp.

Gallo, G. (2020). *Lirio acuático (Eichhornia crassipes)*., Instituto de Ecología A. C. de inecol.mx México. Sitio web: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/planta-del-mes/37-planta-del-mes/1109-lirio-acuatico#:~:text=Otros%20usos%20incluyen%20la%20fabricaci%C3%B3n,y%20concentraciones%20de%20otros%20elementos>.

Hudakorn, T., & Sritrakul, N. (2020). *Biogas And Biomass Pellet Production From Water Hyacinth*. Energy Reports, 6, 532–538 <https://doi.org/10.1016/J.Egyr.2019.11.115>

Jagadish H. Patil, Malourdu Antony Raj, P. L. Muralidhara, S. M. Desai, and G. K. Mahadeva Raju, (2012). "*Kinetics of Anaerobic Digestion of Water Hyacinth Using Poultry Litter as Inoculum*," International Journal of Environmental Science and Development vol. 3, no. 2, pp. 94-98, 2012.

Juárez Luna, G. N. (2011). *Cambios en la composición del lirio acuático (Eichhornia crassipes) debidos a su grado de madurez y a su transformación biotecnológica*. 96. Instituto politécnico nacional, Escuela nacional de ciencias biológicas. México, D. F.

Kivaisi, A., Mtila, M. (1997). *Production of biogas from water hyacinth (Eichhornia crassipes) (Mart) (Solms) in a two-stage bioreactor*. World Journal of Microbiology and Biotechnology 14, 125–131 (1997). <https://doi.org/10.1023/A:1008845005155>

Koser, H. J. K., G. Schmalstieg y W. Siemers. (1982). *Densification of water hyacinth — basic data*. Fuel: 61 (9), 791-798, 1982

Lupafilotaxia. (2018). *Macrófitas acuáticas: Balance de la relación C/N (carbono/nitrógeno) en bioproductos a base de Eichhornia crassipes*. 18/nov/2020, de Steemit.com Sitio web: <https://steemit.com/stem-espanol/@lupafilotaxia/macrophytas-acuaticas-balance-de-la-relacion-c-n-carbono-nitrogeno-en-bioproductos-a-base-de-eichhornia-crassipes>

Madamwar, D., Patel, A., Patel, V. et al. (1992). *Effect of mixture of surfactants and adsorbents on anaerobic digestion of water hyacinth-cattle dung*. Appl Biochem Biotechnol 36, 163–169 (1992). <https://doi.org/10.1007/BF02921776>

Mahesh W. Jayaweera, Jayakodi A. T. Dilhani, Ranil K. A. Kularatne & Suren L. J.

- Wijeyekoon (2007) *Biogas production from water hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) grown under different nitrogen concentrations*, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 42:7, 925-932, DOI: 10.1080/10934520701369842
- McKinney, M.L. and Schoch, R.M., *Environmental Science, Systems and Solutions*. Third edition, University of Tennessee, Knoxville USA 2003
- Miranda A. M.y Lot H. A. 1999. *El lirio acuático, ¿una planta nativa de México?* Departamento de hidrobiología, UAM, Iztapalapa.
- Miller, G.T., *Living in the Environment: Principles, connections and solutions*. Fourth edition, Brooks/ Cole Publishing Company, Pacific Grove, USA 1999
- Momoh O.L. Yusuf, Nwaogazie L. Ify, (2011). *The effect of waste paper on the kinetics of biogas yield from the co-digestion of cow dung and water hyacinth*, Biomass and Bioenergy, Volume 35, Issue 3, 2011, Pages 1345-1351,
- Patil J. H., Molayan Lourdu Antony Raj, Bhargav S. and Sowmya S. R. Res.J.Chem.Sci.(2011). *Anaerobic co-digestion of water hyacinth with primary sludge*. ResearchGate. Sitio Web: https://www.researchgate.net/publication/269988110_Anaerobic_codigestion_of_water_hyacinth_with_primary_sludge
- P. Priya, S.O. Nikhitha, C. Anand, R.S. Dipin Nath, B. Krishnakumar, (2018), *Biomethanation of water hyacinth biomass*, Bioresource Technology, Volume 255, 2018, Pages 288-292,
- Ramírez F., (2017). *Digestión anaerobia de la fracción sólida de lirio acuático: hidrólisis y acidogénesis en un reactor hidrolítico anaerobio de lecho escurrido (RHALE)*. de: <https://mail.google.com/mail/u/1/#sent?projector=1>
- Ramírez P. (2015). *Obtención de biogás a partir de desechos de naranja*. 26/nov/2020, de Ingeniería uaslp.mx Sitio web: <http://www.ingenieria.uaslp.mx/agroindustrial/Documents/Proyectos/Presentaciones%20Taller%20III%202014-2015-I/Presentacio%CC%81n%20Biogas.pdf>
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 2540E.

Fixed and volatile solids ignited at 550°C. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Port City Press, Baltimore, Maryland, p. 2-59

Tovar-Jiménez, Xochitl, Favela-Torres, Ernesto, Volke-Sepúlveda, Tania Lorena, Escalante-Espinosa, Erika, Díaz-Ramírez, Ildefonso Jesús, Córdova-López, Jesús Antonio, & Téllez-Jurado, Alejandro. (2019). *Influence of the geographical area and morphological part of the water hyacinth on its chemical composition.* Ingeniería agrícola y biosistemas, 11(1), 39-52. Epub 24 de febrero de 2020.<https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.10.013>

USDA. (2019). *Relación Carbono-Nitrógeno en los agroecosistemas.* 26/nov/2020, de cultivosdeservicios.agro.uba.ar Sitio web: <http://cultivosdeservicios.agro.uba.ar/relacion-carbono-nitrogeno-en-los-agroecosistemas/>

Capítulo 3. Desarrollo de formulación para un condimento granulado a partir de la cáscara deshidratada de cebolla blanca (*Allium cepa*).

Michelle Hermosillo Pérez

Facultad de ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí
mhp_3@hotmail.es

Claudia Álvarez Salas

Facultad de ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí
claudia.salas@uaslp.mx

Héctor Reynoso Ponce

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí
hector.reynoso@uaslp.mx

Resumen

Objetivo: Desarrollar de una formulación de un condimento granular a partir de la cáscara deshidratada de la cebolla blanca.

Metodología: La cáscara de cebolla deshidrata a diferentes temperaturas (55, 60, 65, 70 y 75° C) se molió y tamizó para obtener un polvo con tamaño de gránulo uniforme. Se evaluaron diferentes formulaciones para elaborar el condimento mediante un diseño D-Optimal de Superficie de Respuesta, con el uso del software Design Expert 11, evaluando, el efecto de la temperatura de secado de la cáscara de cebolla, la cantidad de polvo de cebolla y la cantidad de sal. Finalmente, una vez obtenida la formulación del producto se realizó su caracterización fisicoquímica y se evaluó la calidad sensorial.

Resultados: Mediante el software, se obtuvieron 14 tratamientos para ser evaluados en un análisis sensorial. Los resultados generados arrojaron 2 tratamientos, el primero con una temperatura de 55°C y 50% de cebolla, mientras que, el segundo tratamiento con 75°C y 10% de cebolla.

Limitaciones / implicaciones: Existen limitaciones para garantizar la calidad de la materia prima, como son el estado de madurez y los factores climáticos.

Hallazgos / conclusiones: La cáscara de cebolla representa una materia prima viable para realizar un condimento granulado, siempre y cuando cumpla los requerimientos establecidos por las normas oficiales mexicanas y con una vida de anaquel deseable para garantizar la calidad del producto.

Palabras clave: Cáscara de cebolla, condimento, calidad sensorial.

Introducción

En México, la producción de hortalizas destaca gracias a su diversidad de climas y condiciones ambientales, lo cual permite la cosecha de una amplia variedad de productos en diferentes épocas del año. De un total de 22.2 millones de hectáreas sembradas, las hortalizas ocupan un 16.1%, de la cual el 1.4% es de cebolla blanca (Gaucín, 2015), alcanzando una producción de 44 mil hectáreas sembradas, dando como resultado un volumen de 1.4 millones de toneladas, lo cual genera entre 12 000 y 20 000 toneladas de residuos al año (Reho, 2015). Los agricultores producen una gran cantidad de residuos y excedentes durante la cosecha, que dan como consecuencia el aumentando del riesgo de propagación de plagas y enfermedades (Benítez, 2011). Algunos de estos residuos se utilizan para alimento de ganado y crear energía por medio de un biodigestor. Pero se ha demostrado que estos residuos tienen buenas propiedades nutricionales, por lo cual se pueden separar de manera que se utilicen como aditivos para enriquecer otros alimentos (Reho, 2015). Uno de los residuos más importantes es la cáscara de cebolla, debido a que es un poderoso antioxidante y, además presenta un alto porcentaje de quercetina, un flavonoide natural beneficioso que reduce el colesterol malo, previene el cáncer y otras enfermedades.

La cebolla se consume cruda, frita, hervida y asada, casi siempre como condimento. También se usan distintos derivados: cebolla deshidratada, usada en la industria alimenticia como saborizante en diversos alimentos; polvo de cebolla, para elaborar sal de cebolla; aceite de cebolla, que se diluye en aceite vegetal o se encapsula; cebollas enlatadas y embotelladas, aros de cebolla congelados y cebollas en vinagre. Además, se comercializan cebollas tiernas, que se venden frescas o en manojos.

Para poder comercializar estos derivados, se debe pasar por diferentes métodos de conservación, que nos ayuda a prolongar el tiempo de vida útil en ellos, uno de estos métodos es la deshidratación, que es un proceso de conservación de alimentos que impide actividad microbiana, el cual se basa en reducir la cantidad de agua para retardar los procesos de deterioro como fisiológicas, biológicas, químicas, por microorganismos, senescencia, autooxidación o durante la recolección y/o distribución (Interempresas, 2019).

La cáscara de cebolla presenta excelentes propiedades para la industria alimentaria y el consumidor actualmente busca regresar a lo natural, alimentos con beneficios adicionales,

es decir alimentos funcionales, como es la fibra (Flórez,2020). La cáscara de cebolla tiene un alto valor de fibra (1.7g/100g) y este tipo de fibra presente puede reducir la probabilidad de desarrollar enfermedades cardiovasculares, como presión arterial alta, accidentes cerebrovasculares, insuficiencias cardíacas e infartos. Además, ayuda a reducir el colesterol, según la Federación española del corazón (Penelo, 2018). Con base a lo anterior una alternativa para desarrollar un producto que aporte fibra en los alimentos, sería la cáscara de cebolla, que mezclado con diferentes ingredientes podrá enriquecer el alimento de manera saludable y sobre todo con un sabor espectacular. Por lo tanto, el presente proyecto tiene como objetivo dar un valor agregado a la cáscara de cebolla, desarrollando una formulación para la elaboración de un condimento granulado que sea sensorialmente aceptable.

Materiales y métodos

Materiales

La cáscara de cebolla blanca empleada para el presente estudio se obtuvo de agricultores locales del municipio de Villa de Reyes, San Luis Potosí, durante la época de otoño del año 2019. Las materias primas adicionales requeridas para la elaboración del condimento granular, así como los reactivos (grado reactivo) necesarios para la caracterización de la materia prima y el producto terminado se adquirieron con proveedores locales.

Métodos

Caracterización de la cáscara de cebolla seca y producto terminado. La caracterización de materia prima y producto terminado se realizó mediante los métodos oficiales de la AOAC (2000) humedad por el método gravimétrico en estufa (10.184) y cenizas por método gravimétrico en mufla (7.009). También se determinó la actividad de agua con un equipo AQUALAB. Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

Evaluación de las cinéticas de secado de la cáscara de cebolla. Las capas de desecho de la cebolla se lavaron en agua corriente y desinfectante. Para su deshidratación se utilizó un secador de bandejas marca Polinox modelo SEM-1. Se evaluaron cinco temperaturas de secado 55, 60, 65, 70 y 75 °C. Para la elaboración de las cinéticas una muestra de 2 gramos del producto se retiró del secador en intervalos de 1 hora, hasta obtener peso constante que correspondió al equilibrio dinámico de la muestra con el aire caliente.

Obtención de la cáscara de cebolla en polvo. Una vez seco el producto esté se pulverizó utilizando una licuadora (Marca Oster, modelo BVCB07-Z), y posteriormente se tamizó a través de una malla no.60, que tiene una abertura de partícula de 1.25 mm (NOM-24-M) para obtener un polvo con tamaño de partícula homogéneo. Los polvos obtenidos se guardaron en bolsas de plástico impermeables y con cierre hermético para su posterior uso.

Formulación de la sal con cebolla. Para la elaboración de la sal con cebolla se empleó la metodología de superficie de respuesta utilizando el software Desing Expert 11. Se evaluó el efecto de los factores de temperatura de secado de la cáscara de cebolla, proporción sal/cebolla, cantidad de estabilizante (antiaglomerante) sobre las características sensoriales de aroma, sabor, color y grado de aceptación. La tabla 1 muestra las formulaciones propuestas por el software que fueron 14 incluyendo duplicados, con la finalidad de tener un diseño robusto y confiable.

Tabla 1.

Formulación del producto granulado codificada

STD	Tratamiento	Temperatura	Relación sal/cebolla	Estabilizante
1	12	0.000	0.000	0.000
2	7	0.599	0.000	0.598
3	6	1.000	1.000	0.351
4	1	0.352	1.000	1.000
5	5	1.000	0.000	0.000
6	10	1.000	0.358	1.000
7	8	0.000	1.000	0.000
8	4	0.000	0.000	1.000
9	2	0.595	0.595	0.000
10	11	0.000	0.596	0.595
11	3	1.000	1.000	1.000
12	14	0.621	0.625	0.621
13	13	0.000	1.000	0.000
14	9	1.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia (2021)

Análisis sensorial de los tratamientos

La evaluación sensorial se llevó a cabo mediante una prueba de intensidad y aceptación donde para la intensidad se utilizó una escala numérica de 0 a 10 y para la aceptación una escala hedónica de 9 puntos. Para la intensidad se evaluó el gusto salado, el aroma a cebolla y un color aperlado. Esta evaluación se realizó con un panel semientrenado de 14 jueces (Tabla 2).

Tabla 2.

NOMBRE:				
EXPERIMENTO	Sal	Aroma	Color	Aceptación
	0-10	vegetal 0-10	0-10	1-9
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

Formato de análisis sensorial

Fuente: Elaboración propia (2021)

Resultados

Cinéticas de secado de la cáscara de cebolla

Las cinéticas de secado de la cáscara de cebolla se muestran en la figura 1. De acuerdo con la gráfica se puede observar que, es inversamente proporcional entre la temperatura y el tiempo secado, es decir conforme incrementa la temperatura el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio disminuye. Observando que a la temperatura de 55°C se requirió de 9 horas de secado mientras que la temperatura de 75°C se necesitó 4 horas.

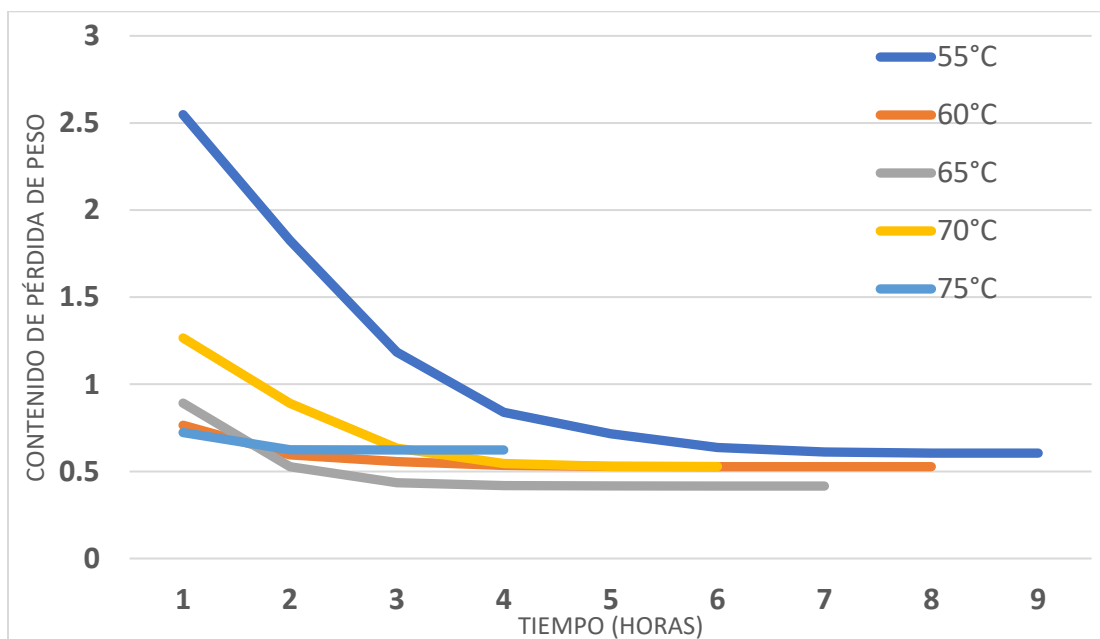


Fig. 1. Cinéticas de secado

Elaboración propia (2021)

Caracterización de la cáscara de cebolla seca

En la Figura 2, se muestran los resultados de la caracterización de la cáscara de cebolla deshidratada a las diferentes temperaturas para humedad, cenizas y actividad de agua. En lo referente a la humedad se puede observar que la temperatura de 55°C, se obtuvo un producto de 13.49%, mientras que la temperatura de 75°C obtuvo un producto de 8.5%, esto quiere decir que existe una relación directamente inversa con el contenido de humedad y la temperatura de secado, en cuanto al contenido de cenizas se observa que, no existe ninguna relación directa con la temperatura de secado como se esperaría de acuerdo a los resultados

obtenidos de la humedad, los cuales fluctúan de 6.27% a 13.49%, finalmente la actividad de agua se observa un comportamiento similar que para el contenido de humedad, observando que conforme aumenta la temperatura de secado, los porcentajes de humedad y actividad de agua van disminuyendo.

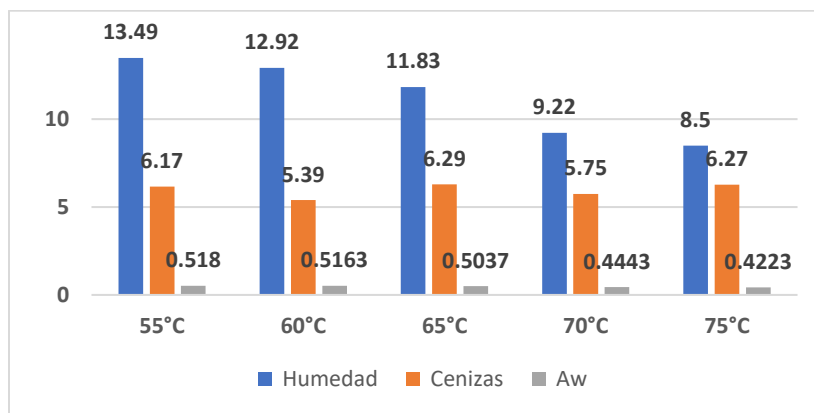


Figura 2. Muestras promedio de humedad, cenizas y actividad de agua

Elaboración propia (2021)

Obtención de la formulación de la sal de cebolla

Para elegir la formulación adecuada en base a evaluar los efectos de los factores de temperatura de secado de la cáscara de cebolla, proporción sal/cebolla, cantidad de estabilizante (antiaglomerante) sobre las características sensoriales de aroma, sabor, color y grado de aceptación, se presentan las gráficas correspondientes a las curvas de contorno para cada una de las variables evaluadas.

Cabe mencionar, que la escala con la que se manejan estos gráficos de contorno va de 1 a 9, siendo 1 el que menos gusta, el 5 el punto neutro y el 9 el que más le gusta al panel semientrenado.

La escala de los gráficos de contorno va de 0 a 1, donde 0 es la mínima temperatura que se utilizó en este estudio que es la de 55°C, mientras que la temperatura de 75°C, por ser la más alta que se utilizó se representa con el número 1, posteriormente las demás temperaturas se encuentran dentro de este rango que es .25, .50, .75, etc.

Perfil de aceptación

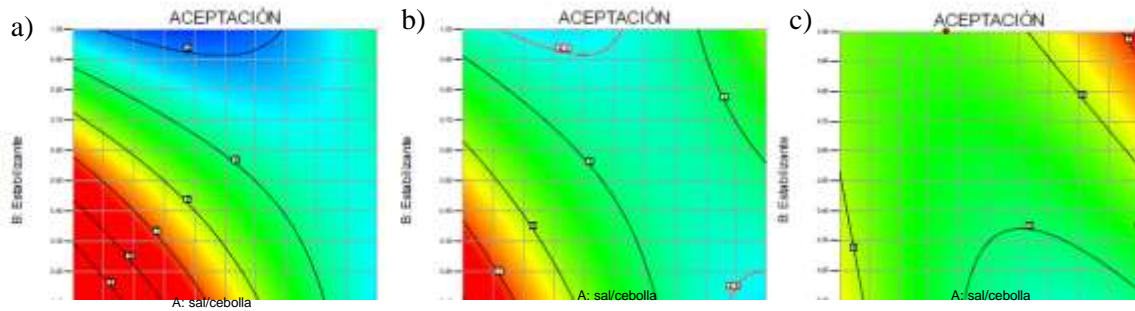


Figura 3. Gráficos de contorno del perfil de aceptación

Elaboración propia (2021)

En estos gráficos de contorno se pueden ver 3 variables, estabilizante, contenido de cebolla y aceptación del producto. En el gráfico a) de contorno se observa una zona sombreada con color rojo, lo cual significa que existe una buena aceptación en las temperaturas bajas, mientras vamos recorriendo al gráfico c) y aumentando la temperatura, se presenta nuevamente otra zona sombreada de color rojo, dando como resultado otra aceptación del producto en las temperaturas altas. Por lo tanto, existen dos formulaciones con gran aceptabilidad, la primera es en bajas temperaturas con un porcentaje alrededor del 50% de cebolla, mientras que la otra formulación existente es a altas temperaturas y con un 10% de cebolla.

Perfil de aroma

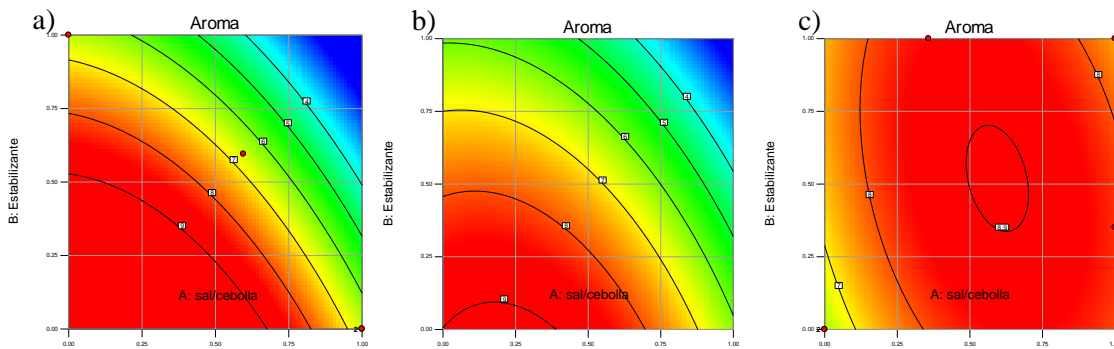


Figura 4. Gráficos de contorno del perfil de aroma

Elaboración propia (2021)

En los gráficos de contorno del perfil de aroma, se muestran 3 variables, estabilizante, contenido de cebolla y aroma a cebolla. Como se muestra en el gráfico a) una semejanza del gráfico con la de aceptación, esto se debe a que tiene una correlación muy fuerte la

aceptabilidad con el aroma. Se evaluó este parámetro ya que se necesitaba saber cómo el panel tenía la percepción de la cebolla en el producto.

En el gráfico a) se muestra la correlación con la aceptabilidad, aparece la zona sombreada color rojo, lo cual marca que las bajas temperaturas son aceptables en cuanto al aroma, posteriormente si aumenta la temperatura se llega a mostrar la zona sombreada roja nuevamente en el gráfico b) dando una aceptación del producto en altas temperaturas, ¿A qué se debe esto?, resulta que cuando la cáscara de cebolla se deshidrata a altas temperaturas, que en este caso nuestro rango limitante fue de 75°C, la cáscara de cebolla libera una nota tostada, lo cual el panel semientrenado lo confunde con el aroma característico de la cebolla, logrando de esa manera que tenga una aceptación.

Perfil de color

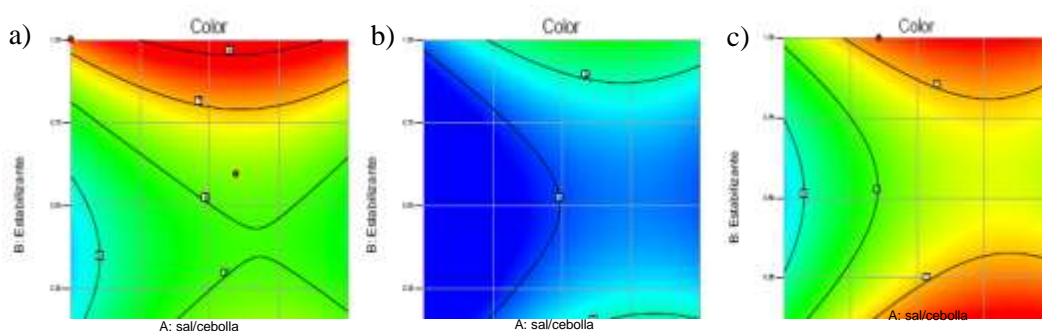


Figura 5. Gráficos de contorno del perfil de color

Elaboración propia (2021)

En estos gráficos de contorno se evalúan 3 variables, contenido de cebolla, estabilizante y color. Se puede observar a simple vista, que los gráficos de color no son similares, con los gráficos de aceptación y aroma, ya que en el gráfico a) marca una zona sombreada de color rojo, pero en la zona superior del gráfico, marcando que el color les gusta al panel, pero cuando el estabilizante es mayor que la cáscara de cebolla este tiene mayor aceptación y esto se debe a que la mayor cantidad de cebolla tiende a poner el producto de color amarillo mientras que a menor cantidad el color está en blanco porque el estabilizante lo oculta, posteriormente si aumentamos la temperatura se puede ver otra zona sombreada rojo de aceptación, esto quiere decir que existe otra formulación que les gusta en cuanto al color y se debe a que a mayor temperatura menos cantidad de cebolla existe, por ende el estabilizante oculta ese color amarillo.

Discusión de resultados

Cinéticas de secado de la cáscara de cebolla

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron del análisis sensorial de los 14 tratamientos y de los gráficos de contorno que arrojó la metodología de superficie de respuesta, se obtuvieron dos formulaciones, la primera debe tener como característica una temperatura baja (55°C a 65°C) con un 50% de contenido de cebolla, un 50% de contenido de sal y porcentajes bajos de potenciador y estabilizante, la segunda una temperatura alta (70°C a 75°C), con un contenido de cebolla alrededor del 10% y un contenido de sal de 90%, con porcentajes bajos de potenciador y altos en estabilizante para dar mayor volumen, en caso de tomar la primera formulación, se debe tomar en cuenta que el color es poco agradable para el consumidor, por lo tanto se debe agregar algún blanqueador de grado alimenticio dentro del proceso de elaboración del producto, o bien bajar la aceptabilidad de esta formulación para tener aceptabilidad en el color, por el contrario en tomar la segunda formulación, el color es ligeramente aceptable por los panelistas, y no sería un problema, en cuanto al aroma existe una correlación directa con las dos formulaciones, ya que ambas tienen una aceptabilidad, esto se debe a que la cebolla en bajas temperaturas no pierde su olor y sabor característico, pero mientras aumenta la temperatura existen notas tostadas que hacen que los panelistas se lleguen a confundir, logrando la aceptabilidad en ambas, y no sería problema para la elaboración del producto, además para hacer que predomine más el olor característico de la cebolla, se agregó como aditivo el potenciador de sabor (SiO₂), el cual hará que no se pierda de vista el objetivo de que el panelista perciba el aroma a cebolla. Cabe recalcar de acuerdo a las cinéticas de secado que se obtuvieron con anterioridad para el deshidratado de la cáscara de cebolla, que si tomamos la primera formulación, se tardaría alrededor de 9 horas de secado, mientras que si tomamos la segunda formulación tardaría alrededor de 4 horas, la cantidad de cebolla en la primera formulación es de alrededor de 50%, mientras que la segunda formulación es de alrededor del 10% y de acuerdo al rendimiento que se obtuvo fue de aproximadamente 1 kg de cáscara de cebolla en fresco equivalente a 55 gr de cáscara de cebolla deshidratada. Los rangos de temperatura que se tomaron, fueron de acuerdo a las referencias ya establecidas con Bejarano (2007), la cual habla que los intervalos para deshidratar hortalizas son de 53 a 97°C, dependiendo la especie, sin embargo, se debe tomar en cuenta la NOM-F-233-1982, los parámetros sensoriales que

rigen la cebolla deshidratada, menciona que el color de la cebolla debe ser entre blanco y amarillo claro, cuando la muestra aumenta a temperaturas de 70 y 75°C, se observan cambios de coloración café, esto quiere decir que se encuentra fuera de los requerimientos de la norma, por lo tanto, la cebolla blanca no puede pasar de 75°C.

Caracterización de la cáscara de cebolla seca

La determinación de humedad, cenizas y actividad de agua son requisitos obligatorios para los análisis fisicoquímicos de los alimentos (Masson,2016), donde la humedad es un punto de control principal debido a que el producto es deshidratado y granulado, por medio de esta determinación se puede obtener la formulación adecuada. Para la determinación de cenizas, se determina el porcentaje de minerales que existen en la cebolla de acuerdo con la NOM-F-233-1982, donde se encuentran los límites permisibles para la elaboración de la formulación. Por último, Los microorganismos necesitan la presencia de agua, en una forma disponible, para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas. La mejor forma de medir la disponibilidad de agua es mediante la actividad de agua (A_w). Esta es de gran importancia ya que nos deducirá si existe o no crecimiento de microorganismos. Los condimentos granulados entran en una A_w inferior de 0.60 debido a que la materia prima que es la cáscara de cebolla tiene el proceso de deshidratado y, por ende, las hortalizas secas y/o deshidratadas tienen baja proliferación de microorganismos.

La humedad y actividad de agua tienen una fuerte relación debido a que la humedad influye en la velocidad de multiplicación de los microorganismos, provocando su descomposición y por lo tanto la pérdida de la calidad sanitaria. Mientras que la actividad de agua es la medida de agua disponible que existe en un alimento y depende del tipo, así como la cantidad de interacciones del agua con otros componentes del alimento, está influye en el crecimiento, la resistencia y la supervivencia de microorganismos, y la tasa de reacción de la mayoría de los procesos de degradación de la calidad. Ya que un factor importante que se debe de cuidar es la textura, ya que cuando el producto empieza a captar humedad, el sistema se altera provocando el apelmazamiento de este.

Obtención de la formulación de sal con cebolla

Se podría decir que de las dos formulaciones que se obtuvieron del análisis sensorial, la segunda sería la óptima, tardaría menos tiempo en deshidratar, utilizando menos contenido

de cebolla en el producto (10%), conteniendo más estabilizante para mayor volumen y esto daría mejores beneficios en cuanto a la viabilidad del producto, bajando costos para que cualquier persona pueda comprarlo y aumentando la producción.

Conclusión

De los factores evaluados, los únicos que tuvieron efecto directo sobre las variables asociadas a la calidad sensorial del producto, fue el porcentaje de estabilizante y la relación sal-cebolla, observando que evaluando estos factores se obtiene que las mejores formulaciones con las características sensoriales se obtienen cuando se trabaja con un porcentaje de 0.25% de estabilizante sobre el porcentaje de cebolla a usar.

Referencias

- Gaucín, D. (2015). Las frutas y hortalizas en México. 27/04/19, de El economista Sitio web: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Las-frutas-y-hortalizas-en-Mexico-I-20151028-0005.html>
- Reho, A. (2015). Uso del desperdicio de la cebolla. [Online] Hortalizas. Available at: <https://www.hortalizas.com/cultivos/uso-del-desperdicio-de-la-cebolla/> [Accessed 28 Apr. 2019].
- Benítez, V. (2011). Caracterización de Subproductos de Cebolla como Fuente de Fibra Alimentaria y otros Compuestos Bioactivos. Madrid, España: Departamento de Química Agrícola.
- Interempresas. (2019). Cebolla. 09 March 20, de Frutas y Hortalizas Sitio web: <https://www.frutas-hortalizas.com/Hortalizas/Efectos-saludables>
- Redacción énfasis alimentación. (2012). Alimentos funcionales, lo que busca el consumidor. Retroved (09 March 20). From <http://www.alimentacion.enfasis.com/articulos/63830-alimentos-funcionales-lo-que-busca-el-consumidor>
- Mason, H., Southgate, D., Burlingame, B. and Charrondiere, U., 2006. Datos De Composición De Alimentos. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- Bejarano, N. (2007). Manual de microbiología de los alimentos. Retroved (09 March 20).
From <http://www.unsa.edu.ar/biblio/repositorio/malim2007/>
- Flórez. (2020). Naturopatía. Retroved (09 March 20). From <https://mejorconsalud.as.com/9-usos-de-la-cascara-de-cebolla-que-no-te-imaginabas-que-existian/>
- Penelo, L. (2018). Cebolla: propiedades, beneficios y valor nutricional. Retroved (11 March 20).
From <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20180716/45869914237/cebolla-alimentos-propiedades-beneficios-valor-nutricional.html>

Capítulo 4. Fenología de carrizo en humedales construidos de tratamiento de agua de electroplating.

Ulises Juárez-Martínez

Facultad de Ingeniería, UASLP
A252166@alumnos.uaslp.mx

Gerson Alonso Soto-Peña

Facultad de Ingeniería, UASLP
gerson.soto@uaslp.mx

Daniela González-Pereyra

Facultad de Ingeniería, UASLP
A302313@alumnos.uaslp.mx

Resumen

El electroplating es un proceso basado en la aplicación de recubrimientos metálicos, cuyo proceso genera aguas residuales difíciles de tratar. Una alternativa para tratar estas aguas residuales son los humedales construidos con la ayuda de plantas y microorganismos. *Phragmites australis* es una planta remediadora por excelencia para agua residual de diversa procedencia que puede ser usada en estas ecotecnologías (Ait,

N. *et al*, 2002; Zhi & Ji 2012; Peña, E., Madera, C., Sánchez, J. & Medina, J 2013; Lou, Z. *et al.*,2017). El objetivo del presente trabajo fue evaluar características fenológicas de *Phragmites australis* bajo un tratamiento de agua de la industria de electroplating. Se construyeron 6 prototipos de humedales de flujo vertical (HFV) con dos mezclas de sustrato, 3 con zeolita y perlita y 3 con escoria metalúrgica, perlita y grava, en los que se trasplantaron *Phragmites australis*, a las cuales se les midió clorofila por el método tricromático además del diámetro de tallo, número de plantas y alturas máximas por muestreo aleatorio simple. Los resultados mostraron que el crecimiento de la planta, así como su reproducción se ve favorecida cuando se tiene como sustrato una mezcla zeolita-perlita, finalizando el tratamiento con 80 plantas, mientras que con la mezcla de escoria metalúrgica se finalizó con 3 plantas en promedio por prototipo. La producción de clorofila se vio afectada en ambos sustratos, pero se observó una reducción mayor en la mezcla de escoria metalúrgica.

Palabras clave: aguas residuales, ecotecnologías, electroplating, humedales construidos, *Phragmites australis*.

Introducción.

La contaminación de los recursos naturales como el agua y el suelo se posiciona como una de las problemáticas globales más importantes. Como consecuencia la pérdida de calidad del recurso hídrico y de suelos disponibles para las producciones agrícolas ha incrementado exponencialmente (Singh et. al, 2010; Chen et. al, 2013).

Los elementos metálicos, debido a que se encuentran en los ecosistemas a muy bajas concentraciones, son denominados elementos traza. Algunos son nutrientes esenciales para las plantas y los animales, pero cuando estos elementos están presentes en sistemas ambientales a concentraciones altas, debido a diversas razones como desequilibrios naturales o por introducción antropogénica, pueden ser tóxicos para los seres vivos (Domenech & Peral, 2008).

El uso e implementación de metales pesados en los procesos industriales han permitido que grandes concentraciones de metales potencialmente tóxicos sean emitidas a la atmosfera y vertidos en los ambientes acuáticos y terrestres (Fu & wang, 2011. O'Connell, et al; 2008).

El electroplating es un proceso basado en la aplicación de recubrimientos metálicos a piezas metálicas o plásticas para mejorar sus propiedades de resistencia y/o alterar su apariencia. Este tipo de industria genera corrientes de agua residual, una de ellas se caracteriza por ser un agua ácida, con altas concentraciones de sales y de cobre, debido a estas características de composición de corriente de agua es imposible su reutilización en la empresa, por lo que sin duda exige un tratamiento previo sea cual sea el destino del agua (González, 2020).

Actualmente existen insuficientes instalaciones de tratamiento de agua, esta razón se debe principalmente a los altos costos que estas involucran en cuanto a diseño, instalación, operación y mantenimiento, entre los que se resaltan también los altos consumos de energía que éstas requieren. Ante este panorama, el uso de ecotecnologías eficientes que sean ecológica y económicamente viables es una opción vital de urgente aplicación (Vidal, 2018).

Una de las alternativas considerada como ecotecnología para remediar aguas contaminadas por su eficiencia y bajos costos ha sido a través de la construcción e implementación de humedales. La absorción activa de elementos en el tejido vegetal y en las

biopelículas que se forman en las raíces o rizomas de las plantas pueden promover la inmovilización de contaminantes como metales pesados, sólidos suspendidos totales (SST) y algunos elementos que pueden ayudar en el metabolismo vegetal y bacteriano, por lo cual se ha demostrado ser una ecotecnología eficiente y económica para tratar aguas residuales (Kadlec & Knight, 1996).

El enfoque generalmente es de "fitoestabilización", donde las plantas se usan para inmovilizar metales, en contraste con la "fitoextracción" en la que se pueden usar hiperacumuladores para eliminar metales del suelo y concentrarse ellos en tejidos por encima del suelo (Ait, N. et al, 2002).

Entre las especies hiperacumuladoras, destaca el carrizo (*Phragmites australis*), que es una planta que pertenece a la familia Poaceae, es una planta perenne, con un rizoma rastrero con capacidad para crecer en la superficie buscando agua. Es una planta que habita en suelos húmedos y orilla de cuerpos de agua. Debido a sus características, es una de las principales plantas usadas y aprovechadas para la construcción de humedales.

Uno de los factores que pueden influir en la respuesta de las plantas a los estímulos fisiológicos y al comportamiento de los nutrientes directa o indirectamente es el sustrato o suelo en que estas se encuentren, debido a que las características físicas y químicas de cada uno de ellos interfiere de diferente manera con la capacidad de realizar intercambio iónico.

Materiales y métodos.

Se construyeron 6 prototipos de humedales subsuperficiales de flujo vertical (HSSFV), de los cuales el sustrato de 3 se compuso de una mezcla en volumen zeolita-perlita (Z-P) 70-30%. En los otros 3 prototipos se utilizó una mezcla de escoria metalúrgica, grava y perlita 40-40-20% respectivamente. A estos 6 prototipos se le colocaron 12 plantas por sistema de *Phragmites australis* con un periodo de 2 meses de adaptación con una solución nutritiva (González, 2020).

Antes de iniciar el tratamiento del agua residual se neutralizó con hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) hasta llegar a un pH cercano a 7 (González, 2020).

Evaluación fenológica. Se contabilizó periódicamente el número de plantas por prototipo de humedal construido. Además, a través de un muestreo aleatorio simple se estuvo

midiendo el diámetro de las plantas, para el cual se realizó con la mitad de la población más uno, para que resultara representativo. Para el análisis del crecimiento reflejado en la altura de la planta y como medida para complementar el comportamiento del ensanchamiento del tallo se hizo estadísticamente, en el cual se seleccionaron 3 plantas por humedal, las cuales como signo de identificación para darle seguimiento a lo largo del tratamiento se les colocó un anillo de identificación en la base del tallo, sin que este afectara su crecimiento, con la cual se marcaron en orden numerado del 1 al 3. A estas plantas se les midió constantemente la altura y el diámetro de tallo, para lo cual se utilizó una cinta métrica y un vernier.

Evaluación de clorofila. La clorofila fue evaluada a través del método tricromático para clorofila (Parsons & Strickland, 1963). Para lo cual se realizó un extracto de material vegetal por maceración en medio acuoso. Para este se utilizó 1g de material vegetal (hoja de las plantas) por prototipo de humedal. El extracto se aforó a 100mL con agua destilada. Este extracto se filtró en papel filtro de nitrocelulosa. El papel filtro con los pigmentos se colocó en tubos de ensaye con tapa, a los cuales se les agregó acetona al 90%. Después de colocar el solvente, los tubos se refrigeraron. Posteriormente el solvente se centrifuga, y el resultante pasó al espectrofotómetro a longitudes de onda de 630, 647, 664 y 750 nm.

Resultados

Después del periodo de adaptación, se empezó el tratamiento del agua a un porcentaje inicial del 25% de agua residual y 75% agua del grifo, para poder minimizar el riesgo de muerte del 100% de las plantas por las características del agua. Cada semana se aumentó el porcentaje de agua residual a 50% y este incremento del porcentaje de agua residual se mantuvo hasta tener el 100% de la concentración.

A partir del tiempo de adaptación se empezó a contabilizar el número de plantas por humedal construido. Se observó una mayor cantidad en el número de brotes en los humedales de la mezcla Z-P a partir del día 16 de tratamiento, esta tendencia se mantuvo hasta el final (Figura 1).

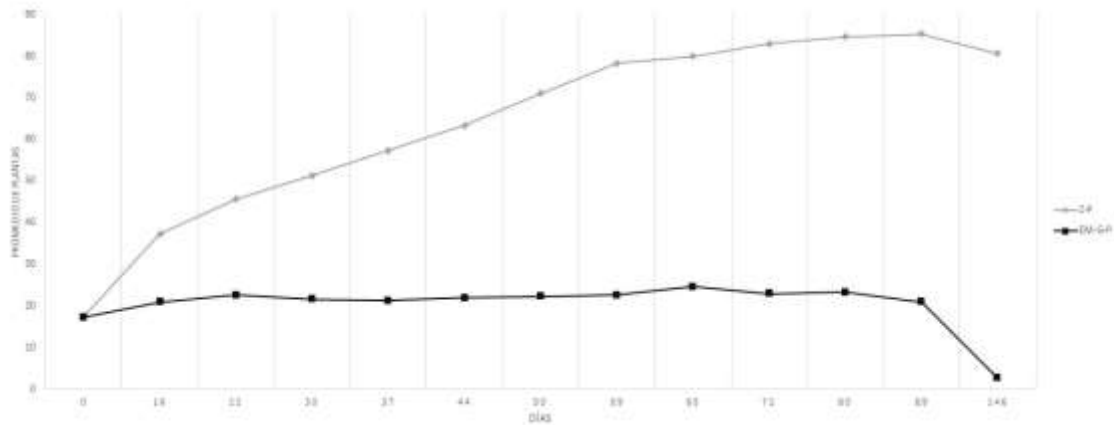


Fig. 1. Tasa de reproducción de Phragmites australis en los diferentes sustratos.

Fuente: Elaboración propia (2021)

La diferencia de la tasa reproductiva fue de 15 plantas en promedio, lo cual representa casi una planta por día, esta fue incrementando hasta tener 80 plantas de diferencia por sustrato. Los prototipos con EM-G-P no mostraron tasa reproductiva significativa, dejando casi el mismo número de plantas durante todo el tratamiento.

Otra variable que marcó una diferencia fue el ensanchamiento en los tallos de las plantas, esto a través de la medición del diámetro de tallo. La cinética nos muestra un ensanchamiento de los tallos de 1 mm en la mezcla Z-P, mientras en el otro sustrato se tiene un comportamiento variable (figura 2).

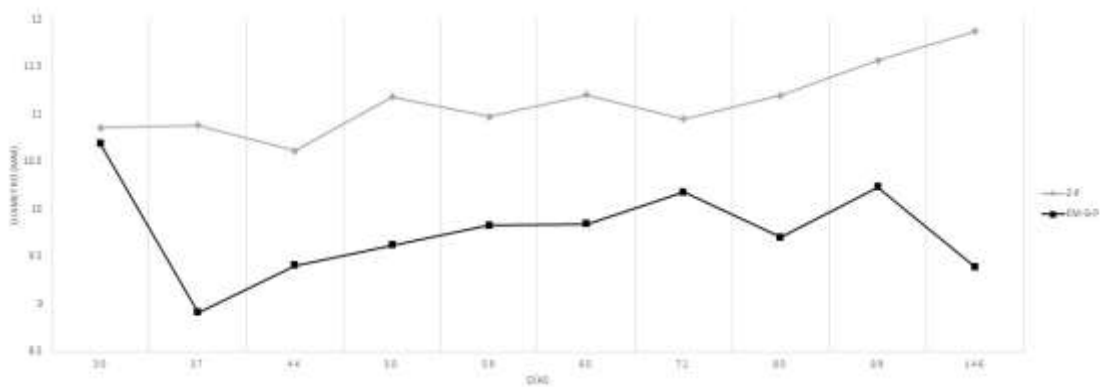


Fig. 2. Crecimiento promedio del diámetro de tallos en Phragmites australis en las mezclas Z-P y EM-G-P.

Fuente: Elaboración propia (2021)

El diámetro de tallo de las 3 plantas seleccionadas por prototipo tuvo un comportamiento diferente al promedio del humedal. Observamos un crecimiento de 2.12 mm en el sustrato Z-P y de 2.16 en EM-G-P

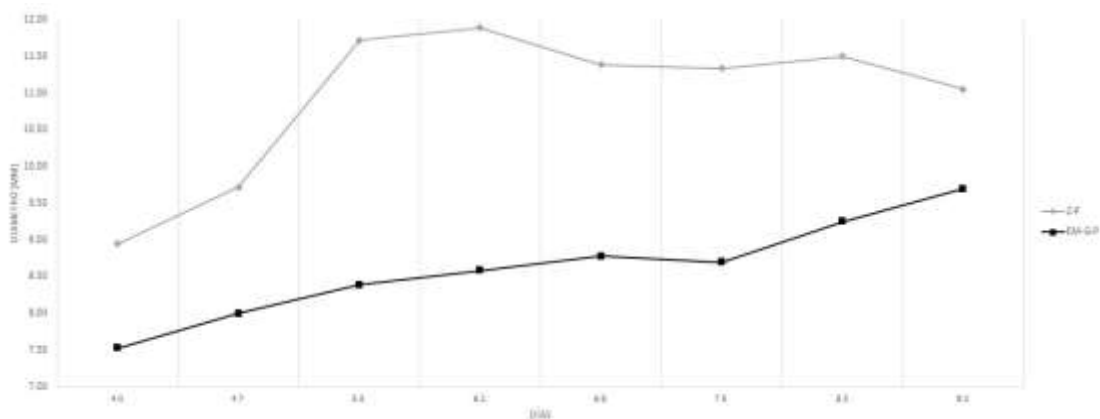


Fig. 3. Promedio de diámetro de tallo de plantas (*Phragmites australis*) seleccionadas.

Fuente: Elaboración propia (2021)

El crecimiento de la planta en estas mismas 3 plantas tuvo una diferencia entre mezclas, siendo la mezcla Z-P la que tuvo un mejor crecimiento. Este crecimiento diferencial se observa a partir del día 47, donde la diferencia en altura es de más de 10 cm (figura 4).

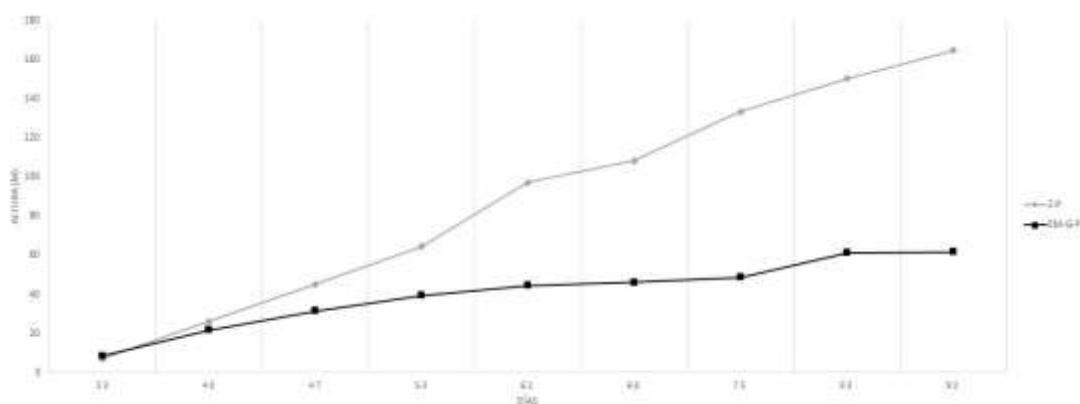


Figura 4. Promedio de altura en plantas seleccionadas.

Fuente: Elaboración propia (2021)

La cantidad de clorofila conforme *Phragmites australis* se exponía al agua residual de electroplating fue disminuyendo.

Esta disminución de clorofila se presentó en todas las plantas de ambas mezclas de

sustrato. La disminución tuvo diferencia entre las tres clorofilas que se cuantificaron.

La clorofila A tuvo una más pronunciada diferencia entre mezcla de sustrato en el tiempo que se estuvo tratando el agua residual. El valor de esta clorofila fue de 35.55 g/m³ en los prototipos de Z-P y de 33.87 g/m³ en EM-P-G, disminuyendo a 33.79 y 17.1 g/m³ en noviembre respectivamente, finalmente la clorofila A tuvo un valor de 19.67 y 12.68 g/m³ en los prototipos (Figura 5).

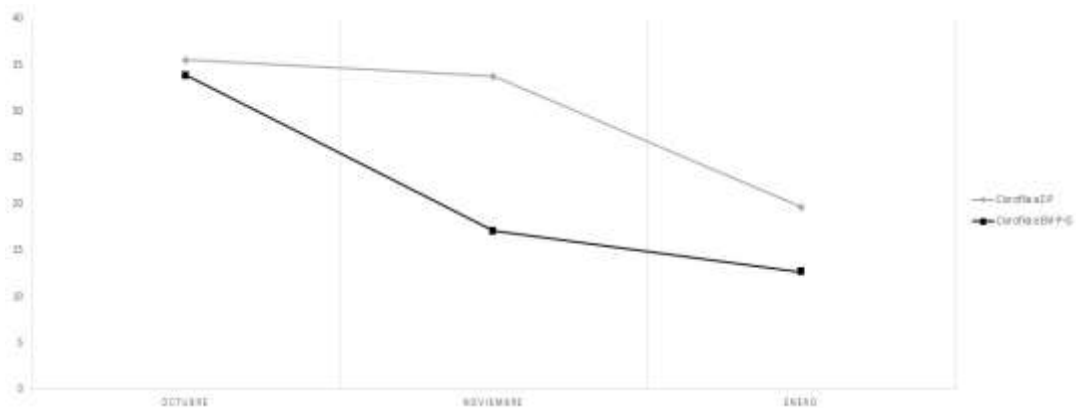


Fig. 5. Evaluación de Clorofila A por método tricromático (gr/m³).

Fuente: Elaboración propia (2021)

La clorofila B tuvo un comportamiento muy similar en la disminución entre las mezclas de sustrato, con valores de 29.09 y 23.66 g/m³ en los prototipos de Z-P y EM-P-G respectivamente, bajando en la medición final a 5.38 y 2.78 g/m³ (Figura 6).

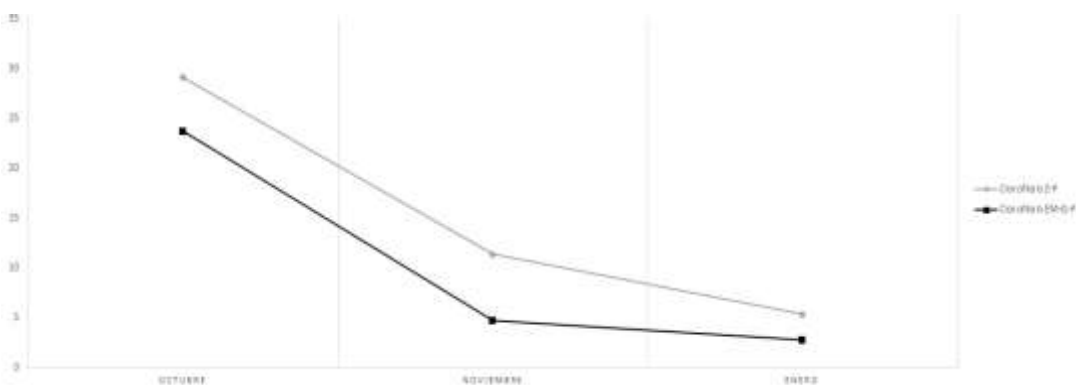


Figura 6. Evaluación de Clorofila B por método tricromático (g/m³).

Fuente: Elaboración propia (2021)

La clorofila C tuvo una gran diferencia en la cuantificación inicial, con valores de 24.25 y 5.42 g/m³ en los prototipos de Z-P y EM-P-G respectivamente, finalizando con una producción similar a las otras 2 clorofilas de 0.72 y 0.189 g/m³ (Gráfica 7).

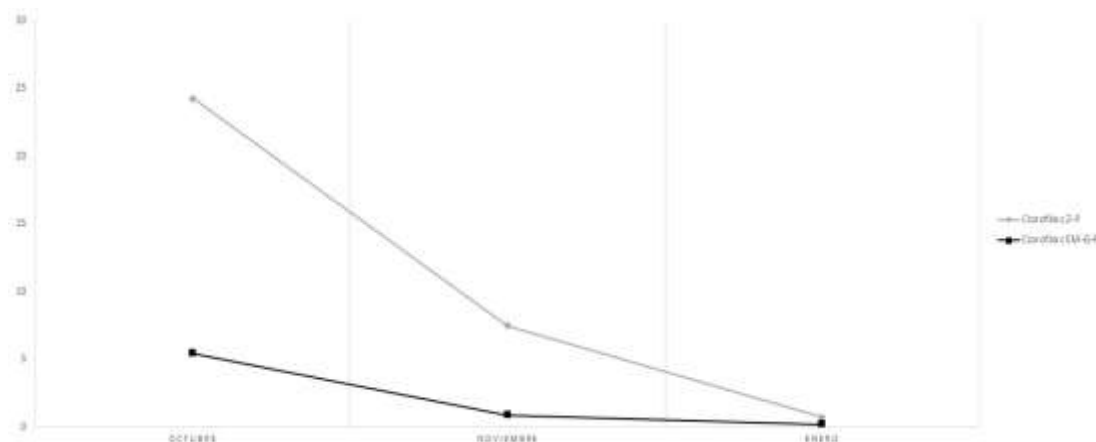


Figura 7. Evaluación de Clorofila C por método tricromático (g/m³).

Fuente: Elaboración propia (2021)

Discusiones.

El proyecto es parte de una investigación más amplia en la que se compararon sistemas de tratamiento de agua residual del proceso de lavado de una industria de electroplating. Para está investigación se analizaron características del agua como pH, conductividad eléctrica (CE), acidez, SST, y metales como Al, Ca, Cu, Fe, K entre otros (González, 2020).

De acuerdo con Gonzales Pereyra (2020) los resultados del análisis del agua residual muestran variaciones en cada lote de agua utilizado. Debido a las variaciones se muestra el promedio en la tabla 1 (parámetros analizados) y en la tabla 2 (metales presentes en el agua).

Tabla 1.

Parámetros analizados en el agua residual

Parámetro	SST	Acidez (mgCaCO ₃ /L)	DQO	pH	CE
Max	1398.3	10927	5025	7.00	35.8
Min	584	2179.92	1025	1.38	12.36
Promedio	2842.72	5831.7	2286.11	1.71	23.62

Fuente: (Gonzalez, 2010)

Tabla 2.

Metales presentes en agua residual

Análito	Promedio	Unidades
Al	27.58	
Ca	55.04	
Cu	116.58	
Fe	18.60	mg/L
K	78.23	
Mg	8.47	
Zn	1.54	

(Gonzalez, 2020)

El sustrato es un componente de los humedales construidos que influye ampliamente en el comportamiento de la remoción de contaminantes, de la reproducción microbiana y del crecimiento de las plantas. Esta importancia se debe a que gracias al sustrato se llevan a cabo procesos como el intercambio iónico, determina la movilidad del agua y gracias a el se llevan a cabo muchas transformaciones químicas y biológicas (González, 2020).

Debido a la importancia principalmente del intercambio iónico se puede asegurar que es un componente que influye en la disponibilidad de los nutrientes. Este factor es razón principal por la que las plantas pueden crecer y reproducirse adecuadamente. El uso de diferentes mezclas de sustratos es razón por la cual hubo diferencia en el número de plantas desde el periodo de adaptación.

Phragmites australis tuvo una mejor respuesta de crecimiento utilizando una mezcla zeolita-perlita comparada con la mezcla de sustrato escoria metalúrgica-grava-perlita. El uso de zeolitas actualmente cumple un papel importante como mejorador de suelo para uso agrícola, ya que permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes.

La diferencia que hubo respecto al ensanchamiento del tallo entre las diferentes mezclas de sustrato se debió a dos razones principalmente, por el desarrollo vegetal y por la pérdida de planta.

El desarrollo vegetal fue una característica que a simple vista se notaba entre las plantas de los diferentes sustratos. En la zeolita las plantas desde el inicio del periodo de adaptación comenzaron a crecer y desarrollarse de mejor manera. Las hojas y los tallos tenían mejor apariencia de desarrollo.

La pérdida de planta se debió al igual que en el número de plantas, por la capacidad que tiene el sustrato como mejorador de suelo en el caso de la zeolita. Siendo contrario en la escoria, donde había crecimiento de brotes deficientes, y en la mayoría de los casos, ya presentaban clorosis.

Las plantas que iban sobreviviendo a lo largo del tratamiento en el caso de la escoria metalúrgica eran plantas jóvenes, que poco a poco también iban muriendo.

En ambos casos hubo una tendencia en aumento del diámetro de tallo. Esta tendencia se mantuvo conforme fue aumentando la concentración de agua residual. A mayor concentración de agua residual, mayor era la concentración de Cu en el sistema. El cobre en el proceso fisiológico de las plantas actúa en la activación de ciertas enzimas implicadas en la síntesis de lignina. La lignina es un polímero orgánico complejo encargado del engrosamiento del tallo y al igual que muchos otros componentes de la biomasa, se forma mediante la reacción de fotosíntesis (Chávez-Sifontes, 2013).

La alta concentración de cobre afecta directamente la actividad fotosintética de las plantas. El cobre puede competir con la absorción de hierro y, en ocasiones, de molibdeno o zinc. La competencia con el hierro provoca clorosis férrica. El resultado de esta carencia es que todas las hojas quedan amarillas, interfiriendo en el proceso de la fotosíntesis. Se puede suponer que la razón por la que la clorofila fue disminuyendo mientras iba aumentando la concentración del cobre se debe precisamente a esta competencia.

Conclusiones

Los humedales construidos son sistemas de tratamiento de agua eficientes y de bajos costos de mantenimiento. Su aplicación implica el previo conocimiento de las características del agua residual a tratar, el sustrato y las plantas a utilizar.

Phragmites australis es utilizada en humedales construidos y como se demostró en esta investigación, es una planta capaz de resistir altas concentraciones de agua residual de electroplating. Esta resistencia puede verse favorecida con el uso de zeolita, ya que el sustrato juega un papel importante tanto para el tratamiento de agua, como para el desarrollo vegetal.

La alta concentración de cobre provoca lignificación debido a la activación de enzimas para su producción, así como clorosis férrica, debido a la competencia con el hierro.

Por esta razón se puede asegurar que *Phragmites australis* puede ser utilizada en sistemas de tratamiento de agua residual de electroplating, ya que, a pesar de las respuestas fisiológicas, resiste las condiciones de sales, de acidez, de metales presentes y de la DQO, así como de agua que contenga altas concentraciones de cobre.

Referencias.

Ait Ali, N., Bernal, MP & Ater, M. (2002). Tolerance and bioaccumulation of copper in *Phragmites australis* and *Zea Mays*.

Álvarez, S., Millán, R. (2006). ECUACIONES ESPECTROFOTOMETRICAS TRICROMATICAS PARA LA DETERMINACION DE CLOROFILAS a, b y c Y SUS FEOFITINAS.

Amabilis-Sosa, Leonel Ernesto, Siebe, Christina, Moeller-Chávez, Gabriela, & Durán-Domínguez-de-Bazúa, María del Carmen. (2016). Remoción de mercurio por *Phragmites australis* empleada como barrera biológica en humedales artificiales inoculados con cepas tolerantes a metales pesados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(1), 47-53. Recuperado en 29 de noviembre de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992016000100047&lng=es&tlng=es.

Barakat, M. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater.

Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D., & Sandoval, I. (2015). Treatments for Removal of Heavy Metals Commonly Found in Industrial Wastewater. A Review. *Revista Ingeniería y Región*. 2015;13(1):73-90

Chávez-Sifontes, M., Domine, M. (2013). LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: MÉTODOS DE DESPOLIMERIZACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE DERIVADOS AROMÁTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL.

Fredericksen, T., Mostacedo, B. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Recuperado de <http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>

González, P (2020). EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO CONVENCIONAL Y NO

CONVENCIONAL DEL AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA DE ELECTROPLATING.

- Luo, Zhiwen, Yuan, Xingzhong, Chen, Xiangying, & Cui, Xiaoxia. (2017). Phytoextraction potential of wetland plants for Copper in Water Bodies. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(2), 43-50. <https://dx.doi.org/10.24850/j-tyca-2017-02-04>
- Méndez, J., González, C., Roman, A., & Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10 (2009): 29 – 44
- Peña, E., Madera, C., Sánchez, J., & Medina, J. (2013). BIOPROSPECTING OF NATIVE PLANTS FOR THEIR USE IN BIOREMEDIATION PROCESS: HELICONIA PSITTACORUM CASE (HELICONIACEAE).
- Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O.E., Díaz-Lagos, M., & González, E.E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16 (2), pp. 66-77.
- Seoáñez, M., Gutierrez, A. (1999). AGUAS RESIDUALES: TRATAMIENTO POR HUMEDALES ARTIFICIALES. Fundamentos científicos, tecnologías, diseño. España, Ediciones Mundi-Prensa.
- Trinius, C. (1840). *Nomenclator Botanicus*. Editio secunda 1: 143. 1840. (*Nomencl. Bot.* (ed. 2)). Recuperado de <http://www.tropicos.org/Name/25511373?langid=66>
- Vázquez, A. BIOPROSPECCIÓN QUÍMICA Y CONSERVACIÓN: ¿EXISTE UN FUTURO? Recuperado de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10719/1/SAD-749p4.pdf>
- Weis, J., Weis, P. (2003). Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Journals & Books Environment International* (2004). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412003002344>
- WOCAT (2016). Fitoestabilización de suelos contaminados. Recuperado de

https://digital.csic.es/bitstream/10261/164373/1/WOCAT_QT_Summary-T_SPA027es.pdf

Capítulo 5. Formulación de un sustrato germinativo a base de bagazo (*Agave salmiana*).

Guillermo Gómez Betancourt

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
memobeta97@gmail.com

Cecilia Ylliana Garibay Flores

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Cecilia.garibay@uaslp.mx

Resumen

La industria mezcalera en San Luis Potosí genera aproximadamente 4,000 toneladas anuales en peso seco el cual es desechado y considerado como una problemática ambiental. Con la finalidad de darle un valor agregado, se utilizó el bagazo (*Agave salmiana*) como base de diversos sustratos para la germinación de chile guajillo. Considerando que los sustratos deben tener las condiciones físicas, químicas y biológicas para favorecer un óptimo desarrollo de la plántula en semillero, se comenzó evaluando la materia prima. Se hizo un análisis fisicoquímico del bagazo, destacando el contenido de cenizas, materia orgánica y una acidez con pH de 6.1, idóneo para el cultivo de chile, además de nutrientes como nitritos, nitratos, sodio, potasio, calcio, fosfato, magnesio y amonio. El bagazo fue secado, molido, tamizado, desinfectado y empleado en 4 mezclas: (M1) 60% bagazo, (M2) 70% bagazo, (M3) 80% bagazo y (M4) 90% bagazo, en proporción 1:1:1 de arena, limo y arcilla, siendo evaluado en base a un testigo comercial (T1) y bagazo (T2). Se hizo a su vez un análisis nutrimental de nitrito, nitrato, fosforo, magnesio y calcio dónde M2 y M3 entran dentro de lo establecido como ideal para los sustratos. Finalmente se analizó el porcentaje de germinación resaltando el rendimiento de M3 con 94%, con una longitud de raíz de 13 cm y una longitud de tallo de 11cm después de un mes siendo mejor que el sustrato comercial.

Palabras Clave: Bagazo, contaminación, sustrato, germinación.

Introducción

La agricultura sustenta muchos principios fundamentales, uno de ellos es el aprovechamiento los recursos naturales para la obtención de productos útiles y redituables para el hombre, convirtiéndose en una de las principales fuentes de ingreso. En consecuencia, se busca la continua eficiencia en los procesos de producción, lo que ha llevado a México a ser uno de los grandes productores y exportadores de productos como chile, tomate, aguacate y caña de azúcar. (SAGARPA, 2018).

Sin embargo, las innovaciones en esta área han impactado negativamente en los ecosistemas, esto ha traído como consecuencia el desarrollo de enfermedades, alcalinización y deterioro de los suelos. También hay evidencia de la disminución de la fertilidad de las tierras a causa del manejo erróneo de sustancias inorgánicas como fertilizantes, fungicidas y herbicidas, siendo determinantes en el declive agrícola en la disminución del aporte nutricional hacia la planta y frutos.

Por esta razón, se pretende utilizar diferentes alternativas de sustrato orgánico para el cuidado de cultivo, en busca de restaurar y preservar los suelos con la finalidad de adquirir igual o mejores resultados, teniendo como base un material solido similar al suelo ideal, el cual permite el arraigamiento de la raíz para el crecimiento fructífero y favorecer el desempeño de la planta erradicando el uso de suelos contaminados.

En México se producen grandes cantidades de desechos agroindustriales los cuales no son aprovechados, cumpliendo con características tanto físicas como químicas para fungir como un elemento base para elaborar un producto de valor agregado, uno de ellos es el bagazo de maguey mezcalero (Agave salmiana), proveniente de la extracción de los azúcares fermentables para producir mezcal, el cual junto a la arena, limo y arcilla se torna una mezcla idónea para realizar sustratos.

Metodología

La recolección del bagazo de maguey mezcalero (*Agave salmiana*) fue llevada a cabo en la mezcalera Laguna Seca, ubicada en el municipio de Charcas San Luis Potosí. El resto de los sustratos; perlita, arena silíceo, tierra limo y el testigo (peat mooss) se obtuvieron del Laboratorio de Producción Vegetal Protegida ubicado en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y las semillas previamente certificadas de chile guajillo fueron adquiridas de granjas el “Edén”.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Procesos Alimentarios Agropecuarios, Laboratorio de Química del Agua de la Facultad de Ingeniería de la UASLP y el Instituto de Zonas Desérticas de la UASLP.

El tratamiento del bagazo comenzó con el registro del peso de la muestra, se dividió en tres lotes similares de 5g y se colocó en un deshidratador eléctrico tipo industrial a 60-70°C durante 1 hora hasta llegar a peso constante. Posteriormente el bagazo fue introducido a un molino de martillos de uso rudo, pasando por rejillas de 1/8 de diámetro para finalmente pasar a eliminar las impurezas y partículas de tamaño indeseado mediante un tamizado por duplicado en un tamiz de 60 micras y 100 micras.

Pruebas fisicoquímicas del bagazo

Se analizó la humedad y materia seca por el método gravimétrico (AOAC 930.15) de secado por estufa. Después, se determinó el contenido de cenizas y materia orgánica por el método gravimétrico (AOAC 942.05). El porcentaje de carbono orgánico total (COT), se calculó con la ecuación 1.

$$\frac{\% \text{ Cenizas} - 100}{1.8} = COT \quad (1)$$

La conductividad eléctrica y el pH fueron analizadas con un lector de conductividad eléctrica marca Hanna mediante una lixiviación con agua destilada. El contenido de calcio y potasio se determinó usando la metodología propuesta por Mendoza, la cual consiste en una digestión ácida seguida de una flamometría. El contenido de nitritos, fosfatos y amonio se midió con un Checker marca Hanna, el nitrato con Cardy marca Horiba y el calcio con Laqua marca Horiba.

Análisis del sustrato y siembra

Las formulaciones de los sustratos se hicieron con base al peso y con un diseño de mezclas de dos factores, con un porcentaje mayor o igual al 60% de bagazo Agave verde, adicionado de arena, limo y arcilla en una relación 1:1:1 teniendo como blanco o testigo a un sustrato comercial (Peat moos) y el propio bagazo al 100%. El bagazo de maguey mezcalero fue previamente desinfectado con hipoclorito de sodio al 10% con enjuagues por triplicado con agua purificada y secado al sol para eliminar microorganismos patógenos que pudiera alterar el cultivo de chile guajillo.

La evaluación de resultados se realizó mediante un diseño de mezclas de dos factores con siembra en almácigo de 128 cavidades. Se procedió a realizar una mezcla heterogénea, llenado del almácigo colocando la semilla a una profundidad de 1.5cm, el riego se realizó de manera diaria, previo y durante a la germinación. (Cerdas, 2007)

Se realizó la determinación de nutrientes en los sustratos por medio de una lixiviación con agua destilada seguida de una determinación de los nitritos, fosfatos y amonio con un checker marca Hanna, el nitrato con cardy marca Horiba y el calcio con laqua marca Horiba.

El análisis físico de los sustratos consistió en determinar la porosidad total, retención de humedad, densidad aparente y capacidad de aireación, calculadas con las ecuaciones 2, 3, 4 y 5 respectivamente. Se hizo una lixiviación calculando el volumen de agua inicial (V_i) y el agua lixiviada (Lx), posteriormente se determinó el peso en húmedo (PH) y fue introducido en el horno a peso constante determinando el peso seco (PS). (Sustratos, 2012).

$$\frac{(PH - PS) + (Lx)}{(V_i)} \times 100 = \text{Porosidad total} \quad (2)$$

$$\frac{(PH - PS)}{(Vol. Sustrato)} \times 100 = \text{Retención de humedad} \quad (3)$$

$$\frac{PS}{Vol. Sustrato} = \text{Densidad aparente} \quad (4)$$

$$\frac{Lx}{Vol. Sustrato} = \text{Capacidad de airación} \quad (5)$$

Evaluación agronómica

Las características agronómicas se realizaron mediante un conteo diario de las plantas germinadas, consecutivamente la longitud del tallo y el desarrollo radicular se evaluaron durante un mes en intervalos de 5 días después de la germinación como indica (Díaz, 2014).

Resultados

El análisis fisicoquímico expresado en la tabla 1 indica que el bagazo de maguey mezcalero (*Agave salmiana*) tiene un pH de 6.1, entrando en el rango ideal de pH (6 a 7) para el cultivo de chiles indicado por Monge (2007). De la misma manera, Monge (2007) señala que la C.E. con lecturas superiores a 3.5 (ds m-1) e inferiores a 0.753.5(ds m-1) es perjudicial para la plántula, por lo que el bagazo de maguey es considerado como idóneo con un valor de 1.81(ds m-1). El contenido de humedad final fue de 18%, el cual es un valor menor a los resultados obtenidos por Martínez et al., (2013). Esta diferencia pudo ser causada por el tratamiento previo de secado y molido que se aplicó al bagazo. En cuanto a la determinación de cenizas y carbono orgánico total (COT), se obtuvieron valores de 12.9% y 48.7% respectivamente. Estos valores cumplen con el grado de aceptabilidad para un sustrato según Hernández et al., (2015).

Tabla 1.

Análisis fisicoquímico del bagazo.

Propiedad	Bagazo
Humedad (%)	69.21
Materia seca (%)	30.89
Humedad final (%)	18.14
Materia seca final (%)	81.86
Cenizas (%)	12.93
Carbono (%)	48.71
Materia orgánica	87.05
pH	6.1
Conducta eléctrica (ds m-1)	1.81

Fuente: Elaboración propia (2021)

Con respecto al contenido de nutrientes expresados en la tabla 2, los contenidos de nitrato, potasio y magnesio entran de los límites ideales para el desarrollo de la plántula de chile guajillo en almácigo.

Tabla 2.

Nutrientes disponibles del bagazo.

Elemento	Bagazo
Nitrato (NO ₃)	66mg/l
Nitrito (NO ₂)	42mg/l
Sodio (Na)	2mg/l
Potasio (k)	1.6mg/l
Calcio (Ca)	42mg/l
Fosfatos (PO ₄ ³⁻)	0.12mg/l
Amonio (NH ₃ -N)	7.43mg/l

Fuente: Elaboración propia (2021)

El análisis agronómico se hizo contemplando el día cero o día de siembra, iniciando el proceso de germinación el día 7 en las 4 mezclas respectivamente, tres días antes de lo estipulado en la dicha técnica de las semillas teniendo así un porcentaje mayor en la tasa y velocidad de germinación que el T1.

De igual manera, la capacidad germinativa señalada en la figura 1 culminó con resultados de M1 y M2 con una germinación de 90% hasta M3 de 94% contra 81% de germinación de T1, mientras que el T2 únicamente alcanzó el 77% de germinación. El desarrollo radicular de la raíz reflejado en la figura 2 demuestra que los resultados de M1 y M2 fueron similares con una elongación de hasta 9.5 cm. pero con escasa vigorosidad, por otro lado, M3 registró un mejor desarrollo radicular con 14 cm incluso mejor que T1 que solo obtuvo 8 cm con escasa vigorosidad. Este resultado podría explicarse por la composición física del sustrato que ayudó a tener un mejor desarrollo radicular mientras que la arena, el limo y la perlita proporcionaron los nutrientes necesarios para el desarrollo. Lo correspondiente al crecimiento del tallo la figura 3 demuestra que T1 tuvo un mejor desempeño en el crecimiento del tallo de 12.5 cm contra el mayor crecimiento de las mezclas M3 de 11cm. sin embargo dicha mezcla presentó mayor resistencia a los cambios climáticos.

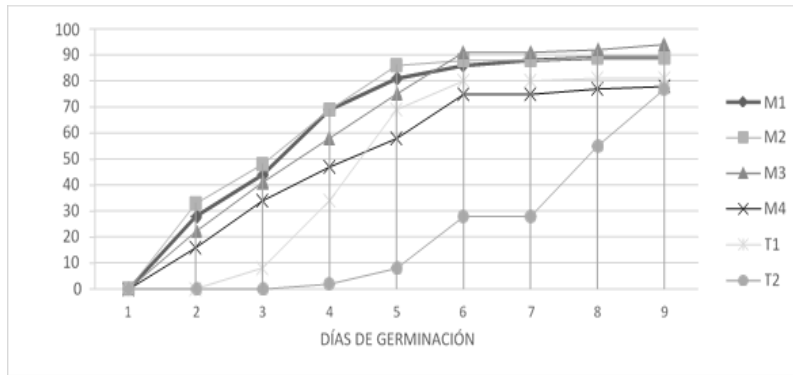


Fig. 1. Porcentaje de germinación

Fuente: Elaboración propia (2021)

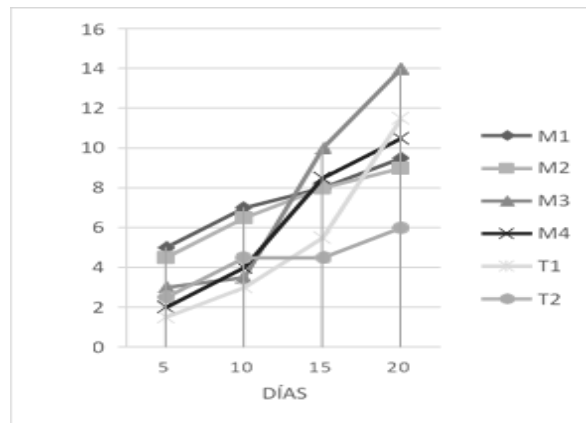


Fig. 2. Crecimiento de la raíz

Fuente: Elaboración propia (2021)

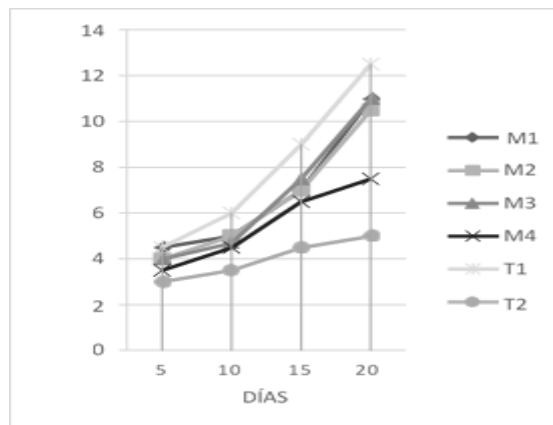


Fig. 3. Longitud del tallo

Fuente: Elaboración propia (2021)

En el análisis nutrimental es la cantidad de minerales en la tierra o sustrato disponible para las plantas, de esta manera, como se puede observar en la tabla 3 aún persisten carencias de nutrientes en las mezclas 2 y 3, sin embargo, destacan las mezclas 3 y 4 que, a excepción de la escasez de amonio, los nutrientes entran dentro de lo establecido como ideal para un sustrato de acuerdo con Monge (2007). La C.E. reflejada en la tabla 3 va de 1.79-1.81(ds m-1), dichos resultados son inferiores a 3.5 por lo que, de acuerdo con Martínez y Roca (2011) el contenido de sales disueltas en el sustrato es óptimo para las condiciones de germinación; el pH osciló entre 5.9-6.2 como lo indica la tabla 3, lo cual para Gonzáles (2005) es ligeramente ácido, pudiendo en determinado momento repercutir en los cultivo sobre contenedor, no obstante, a su vez señala que la acidez propicia una lixiviación del exceso de sales solubles ayudando a la propia germinación. Por otra parte, para Martínez y Roca (2011) es bueno ya que señala que un sustrato en contenedor debe tener niveles en un rango de pH de 5.2-6.5.

Tabla 3.

Análisis nutrimental de los sustratos

	Unidad	M1	M2	M3	M4
Nitrato (NO ₃)	mg/l	80	80	160	180
Nitrito (NO ₂)	mg/l	28	38	46	44
Calcio (Ca)	mg/l	180	110	180	160
Fosfatos (PO ₄ ³⁻)	mg/l	0.37	0.36	0.39	0.19
Amonio (NH ₃ -N)	mg/l	8.42	8.41	8.63	8.83
P.H.	-	-	6	5.9	6
C.E.	(ds M-1)	1.75	1.79	1.81	1.78

Fuente: Elaboración propia (2021)

Las propiedades físicas de los sustratos, específicamente de M3 como se muestra en la tabla 4 además de ser las encargadas de darle soporte a la planta mediante el anclaje y desarrollo de la raíz, deben de proveer agua y aire acorde a las necesidades de cada cultivo.

Tabla 4.

Propiedades físicas de la Mezcla 3

Propiedad	Contenido
Porosidad	78.71%
Retención de humedad	50%
Densidad aparente	0.25 g/cm ³
Capacidad de aireación	50%

Fuente: Elaboración propia (2021)

Por ello, de acuerdo a lo dicho por Crespo et al., (2013) indica que la retención de humedad de los sustratos debe de ser mayor al 50%, obteniendo en dicha mezcla el 57.33% entrando justo en el rango de lo considerado como ideal, también dice que es recomendable que un sustrato tenga niveles inferiores a 0.2g/cm³ sin embargo, en éste caso, la mezcla arrojó 0.25g/cm³, valor ligeramente superior a lo establecido, por otra parte la capacidad de aireación de acuerdo con Rodríguez (2013) fue favorable ya que indica que debe de tener como valores superiores al 30% obteniendo 50%. Por último, el espacio poroso debe estar dentro del rango de 75-85% para ser considerado como estable, arrojando un porcentaje de 78.71% cumpliendo ampliamente con lo señalado por Crespo et al., (2013), atribuyendo así, a la vigorosidad obtenida de la raíz en cada sustrato, de igual manera se cree que el favorable porcentaje de germinación en M3 se debe en gran parte a las propiedades físicas que otorgo la compactación de mezcla antes mencionada.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos, las características fisicoquímicas se consideran apropiadas para que el bagazo de maguey pueda utilizarse como base de un sustrato para la producción de chile guajillo. El análisis químico demostró un contenido deficiente en ciertos nutrientes demandados por la planta, sin embargo, al complementar el bagazo con el resto de la materia prima satisfizo con dichas carencias. Con respecto a las características agronómicas, la M3 proporcionó mejores resultados, similares al testigo comercial, brindando unas características físicas ideales para el desarrollo de la plántula en ambientes controlados sobre contenedor. Se requerirán más ensayos para realizar un análisis estadístico y determinar si existen diferencias significativas entre bagazo de la agroindustria mezcalera y el producto comercial.

Referencias

- Ibarra, E., León, E., Violante González, J., Monks, S., Cadena Iñiguez, J., Araujo Andrade, C., & Rössel Kipping, E. D. (2015). Los agaves mezcaleros del altiplano Potosino y Zacatecano.
- Rodríguez Narváez, D. (2013). Evaluación de sustratos orgánicos alternativos en la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. REPOSITORIO NACIONAL CONACYT.
- Baena González, A. (2005). Aprovechamiento del bagazo de maguey verde (*Agave Salmiana*) de la agroindustria del mezcal en San Luis Potosí para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) (Master's thesis).
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Sandoval-Villa, M., Bugarin-Montoya, R., ROBLES BERMUDEZ, & JUÁREZ LÓPEZ,. (2013). Sustratos en la horticultura.
- Hernández Maruri ., López (2015) BAGAZO DE CAÑA, SUSTRATO ORGÁNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE PEPINO EN INVERNADERO (Centro de investigación regional del noreste)
- García-Herrera, E. J., Méndez-Gallegos, S. D. J., & Talavera-Magaña, D. (2010). El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista de Salud Pública y Nutrición*, 5, 109-129.
- Martínez Gutiérrez, G. A., Iñiguez Covarrubias, G., Ortiz-Hernández, Y. D., López- Cruz, J. Y., & Bautista Cruz, M. A. (2013). Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(3), 209-216.
- Godínez Hernández, C. I. (2012). Caracterización y eficiencia de la fermentación en la elaboración del mezcal potosino. REPOSITORIO NACIONAL CONACYT.
- Cabrera, R. I. (2002). VI. MANEJO DE SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS ORNAMENTALES EN MACETA.
- Cabrera, R. I. (1999). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5(1), 5-11.

- Ramiro, C. A. (2001). Guajillo San Luis y guajillo INIFAP, nuevas variedades de chile mirasol para el norte-centro de México.
- Rincón, V. H. A., Torres, T. C., López, P. L., Moreno, L. L., Meraz, M. R., Mendoza, H. V., & Castillo, J. A. A. (2010). Los chiles de México y su distribución. SINAREFI.
- Mendoza, B., Parra, L. M. M., Almas, L., & Rodríguez, V. (2014). Evaluación de dos métodos de digestión ácida en el análisis de tejido foliar de caña (*Saccharum officinarum* L.). *Revista Ciencia y Tecnología*, 7(2), 9-20.
- Horwitz, W. (2010). *Official methods of analysis of AOAC International. Volume I, agricultural chemicals, contaminants, drugs/edited by William Horwitz*. Gaithersburg (Maryland): AOAC International, 1997..
- Monge-Cerdas, A. S. (2007). Evaluación del crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) Mill y Chile dulce (*Capsicum annuum*) Linn, mediante la utilización de seis sustratos y tres métodos de fertilización en el cantón de San Carlos, Costa Rica.
- Díaz, I. R. P. (2014). Germinación y desarrollo de plántulas de *Myroxylon balsamum* (L.) Harms en el departamento de sucre. *Colombia forestal*, 17(2), 193-201.
- Martínez, P. F., & Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. *Materiales, propiedades y manejo*.

Capítulo 6. Elaboración de galletas con harina de quinoa y harina de maíz azul

Yalma Guadalupe Blanco Fraga

Facultad de Ingeniería, UASLP

A247184@alumnos.uaslp.mx

Claudia Álvarez Salas

Facultad de Ingeniería, UASLP

claudia.salas@uaslp.mx

Resumen

El objetivo del presente estudio fue elaborar y evaluar una galleta compuesta, empleando harina de quinoa (*Chenopodium quinua Willd*) y harina de maíz azul (*Zea mays L.*) adicionadas con miel de agave. Se propusieron 3 formulaciones (tratamientos) de acuerdo con la NMX-F-516-1992, los cuales fueron T1 (harina de quinoa), T2 (harina de maíz azul) y T3 (una mezcla de harina de quinoa y harina de maíz azul en proporción 50/50). Se evaluaron con base en un análisis proximal y los resultados obtenidos demuestran que el T1 presentó los valores más bajos de humedad en comparación del T2 y T3. Este comportamiento se debió a que la harina de quinoa presentó una menor capacidad para retener el agua que la harina de maíz. Por otra parte, el parámetro de proteína presentó un coeficiente de variación de 23.85%, demostrando la heterogeneidad de los valores de proteína para cada tratamiento, siendo T1 quien presentó mayor valor. Así mismo, la dureza de T2 es inferior en comparación a los demás tratamientos, específicamente al T1, concluyendo que a medida que disminuye el contenido de harina de maíz en la formulación de galletas, disminuye la dureza. El T1 presenta los niveles de preferencia en cuanto a las características de color y textura. En contraste con su sabor y olor, ya que obtuvo la menor preferencia, debido a esto se considera que, al incrementar el porcentaje de harina de quinoa, la aceptabilidad de sabor en las galletas disminuye.

Palabras clave: harinas, galleta, análisis proximal, *Chenopodium quinua Willd*, *Zea mays L.*

Introducción

En los últimos años, la tendencia de llevar una vida saludable se ha incrementado en la población ya que esta adoptó un hábito alimenticio de productos con un nivel de calorías elevado. El consumidor busca mejorar su salud por medio de alimentos, exigiendo productos con características nutricionales renovadas, como respuesta a las demandas la industria alimentaria implemento la aplicación de nuevas tecnologías y las creaciones de nuevos productos seguros y saludables (Mínguez y Pérez, 2005; Ida Del Greco, 2010).

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha sugerido para la elaboración de productos la implementación de harinas compuestas, elaboradas a partir de cereales, raíces y tubérculos autóctonos o de siembra factible. En los últimos tiempos el cultivo que han llamado la atención es el de la quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*), cuenta con características nutrimentales altas ya que contiene la ausencia total de gluten, altos niveles de ácidos grasos, vitaminas, minerales, fibras dietéticas y proteínas con más aminoácidos. El maíz azul (*Zea mays L.*), es un cultivo tradicional que se implementado en la actualidad con el fin de no añadir colorantes ya que este contiene pigmentos antociánicos que les aportan color a sus granos de manera natural (Pereira et al.,2019; Sánchez, 2011).

Las galletas son productos populares, resultado de la mezcla de harina, grasa comestible y agua, con la adición de algunos componentes, los ingredientes son sometidos a un amasado y a un proceso térmico y poca cantidad de agua que le permite larga vida útil. Las galletas permiten modificar distintas variables en su formulación, posibilita la incorporación de materias primas no tradicionales como tallos, raíces, inflorescencias o algún otro alimento que le dé características mejoradas o agregadas al producto (García-Méndez, 2007; Tarazona y Aparcana, 2002; Roman y Valencia, 2006)

Métodos.

Formulación de la mezcla.

Se estableció una formulación con base en los ingredientes y cantidades de una galleta tradicional, y de acuerdo con los parámetros establecidos en la norma oficial mexicana NMX-F-006-1983. Obteniendo T1 (41.9% de harina de quinoa y 0% de harina de maíz), T2 (0% de harina de quinoa y 41.9% de harina de maíz) y T3 (20.95% de harina de quinoa y 20.95% de

harina de maíz), los ingredientes restantes se mantienen fijos.

Tabla 1.

Formulación de la Mezcla

Base de la formulación			
Ingredientes	T1	T2	T3
Harina de quinoa	41.9		20.95
Harina de maíz azul nixtamalizado	-	41.9	20.95
Edulcorante	10	10	10
Manteca	17.2	17.2	17.2
Agua	18	18	18
Huevo	8.6	8.6	8.6
Coco	2.2	2.2	2.2
Royal	0.4	0.4	0.4
Quinoa	1.5	1.5	1.5
Suero	0.1	0.1	0.1
Lecitina	0.1	0.1	0.1

Fuente: Elaboración propia (2021)

Elaboración de galletas

La elaboración de galletas se realizó de acuerdo con la metodología planteada por Velásquez et al. (2014), utilizando las diferentes mezclas.

Análisis bromatológico

Para las determinaciones de humedad, cenizas y proteína, se siguió la metodología de la Asociación Oficial de Química Analítica (AOAC, 2005). La humedad fue determinada mediante secado por estufa hasta peso constante (934.01); las cenizas por incineración total a 550 °C (942.05); proteínas totales por el método Kjeldahl, utilizando un factor N = 6.25 (990.03).

Prueba de textura

Se determinaron los parámetros de dureza, rigidez y deformación por medio de un texturómetro a una velocidad del proceso de 5mm/s (Torres et al. 2015).

Análisis sensorial

Las pruebas se llevaron a cabo por 45 panelistas no entrenados, utilizando una escala ascendente en orden de preferencia de 1 a 3, siendo 1 el tratamiento de mayor preferencia,

para las características de olor, color, sabor y textura de cada tratamiento. Se utilizó la prueba de Kramer para el análisis de datos (Liria, 2017).

Resultados.

Análisis bromatológico

El contenido de humedad del T1 presentó los valores más bajos en comparación con T2 y T3, lo que conlleva a que el agua presente en el sistema no se encuentre disponible para participar en reacciones desfavorables que contribuyan al deterioro del alimento, como es el crecimiento y desarrollo de los microorganismos patógenos, enranciamiento o pérdida de la textura del producto. Asimismo, el T1 presentó el mayor contenido de proteína, este parámetro cuenta con un coeficiente de variación de 23.85% demostrando la heterogeneidad de los valores de proteína de cada tratamiento.

Tabla 2.

Análisis proximal

Caract. física	T1	T 2	T3	%CV
Humedad	3.12±0.09	4.11±0.01	3.83±0.02	11.25
Cenizas	0.77±0.60	0.82±0.55	0.80±0.4	6.78
Proteína	16.68±0.56	9.73±0.50	11.19±0.44	23.85
%Materia seca	96.8 ± 0.03	95.5± 0.18	96.16± 0.01	0.4316

Fuente: Elaboración propia (2021)

Prueba de textura

En la tabla 3 se muestra los parámetros de textura evaluados a los diferentes tratamientos. A medida que disminuye el contenido de harina de maíz en la formulación de galletas, disminuye la dureza, resultados que concuerdan con los obtenidos por Rodríguez (2014). La dureza es alta en contraste con los resultados de Navarro (2016) quien entre sus tratamientos desarrollo una galleta formulada por una mezcla de harina de quinoa y harina de maíz amarillo en proporción 50/50, es necesario recalcar que el maíz azul y el maíz amarillo tienen diferencias en su composición que podrían influenciar en los parámetros de textura. Además, el grosor de las galletas que se elaboraron son 37.5% más gruesas que las elaboradas por Navarro, ese es una variable de importancia en galletas, tal como lo demostró Torres et al. (2015), quien evaluó la influencia del espesor de las galletas en diferentes parámetros,

obteniendo para un espesor de 8mm, un valor de dureza similar al que se obtuvo en el T3.

Tabla 3.

Parámetros de Textura

Parámetro de textura	T1	T2	T3	%Cv
Espesor (mm)	8	7	8	
Dureza (N)	15.71±1.7	11.61±2.4	14.68±2.4	12.43
Rigidez (Nmm ⁻¹)	7.9±0.8	5.89±1.2	7.45±1.2	12.43
Deformación (Nmm ⁻²)	0.99±0.1	0.84±0.1	0.93±0.1	6.87

Fuente: Elaboración propia (2021)

La dureza de T2 es inferior en comparación a los demás tratamientos, específicamente al T1(figura 1), esto es debido a que el parámetro de textura varía dependiendo del grosor de las galletas y así mismo, el contenido de humedad, presentando menor dureza las de menor grosor y con mayor humedad ocasionando ablandamiento y suavidad (Torres et al. 2015).

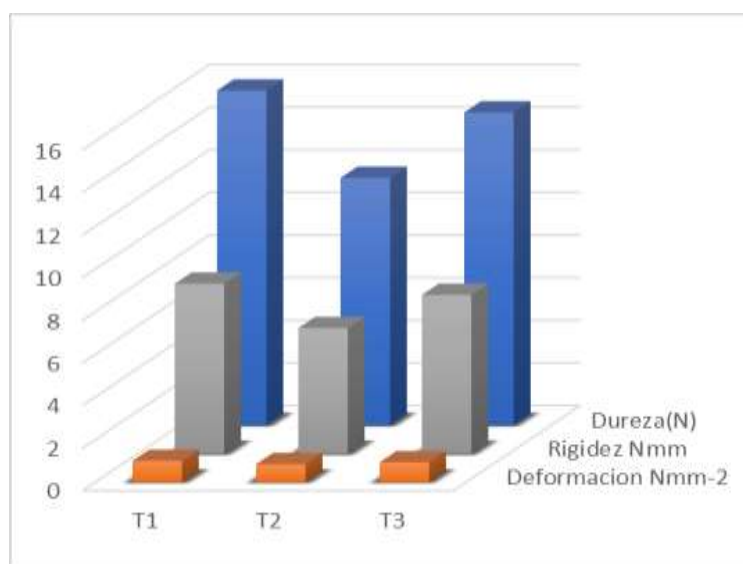


Fig. 1. Parámetros de Textura

Fuente: Elaboración propia (2021)

Análisis sensorial

Se evaluaron los resultados con un valor crítico de 22.2 asignado para una prueba con 26 panelistas y 3 tratamientos (Anexo1).

Color: el T1 es más preferido que el T2 y T3, pero el nivel de preferencia entre el color de T2 es igual al de T3 (Tabla 4). La razón de las diferencias encontradas por los panelistas puede deberse a que el color que brinda la harina de maíz azul a las galletas no es de su agrado. Siendo esto importante ya que el color es uno de los primeros atributos evaluado por los consumidores al momento de aceptar un producto (Mondino y Ferrato 2006).

Tabla 4.

Resultados para el análisis de datos respecto al color de las galletas evaluadas

	Tratamiento/ Suma de preferencia	T1	T2	T3
T1	62	0	-36	-48
T2	98	36	0	-12
T3	110	48	12	0

Fuente: Elaboración propia (2021)

Olor: el tratamiento más preferible para los panelistas es el T2, elaborado con harina de maíz azul. De manera similar Ibarra et al. (2016) obtuvo una preferencia superior del olor de un producto elaborado con harina de maíz azul. Por otra parte, el nivel de preferencia entre el T1 y T3 es igual.

Tabla 5.

Resultados para el análisis de datos respecto al olor de las galletas evaluadas

	Tratamiento/ Suma de preferencia	A	B	C
A	109	0	44	13
B	65	-44	0	-31
C	96	-13	31	0

Fuente: Elaboración propia (2021)

Sabor: al igual que en la preferencia de olor, el tratamiento con mayor nivel de agrado es el

T2, dado que, el olor se considera el principal componente de sabor en los alimentos (Watts et al.,1992). El T1 fue el de menor preferencia, debido a esto se considera que al incrementar el porcentaje de harina de quinoa, la aceptabilidad de sabor en las galletas disminuye, similar a los resultados que obtuvo Barrientos (2014), en la evaluación sensorial de galletas integrales a base de trigo y quinoa.

Tabla 6.

Resultados para el análisis de datos respecto al sabor de las galletas evaluadas

	Tratamiento/ Suma de preferencia	A	B	C
		126	54	90
A	126	0	72	36
B	54	-72	0	-36
C	90	-36	36	0

Fuente: Elaboración propia (2021)

Textura: en el T1 se percibió una textura mayormente agradable, esto concuerda con la dureza evaluada. Los panelistas indicaron no encontrar diferencia en cuanto a la textura de los tratamientos 2 y 3.

Tabla 7.

Resultados para el análisis de datos respecto a la textura de las galletas evaluadas

	Tratamiento/ Suma de preferencia	A	B	C
		66	112	92
A	66	0	-46	-26
B	112	46	0	20
C	92	26	-20	0

Fuente: Elaboración propia (2021)

Con el fin de comparar los parámetros evaluados en los análisis bromatológicos, sensoriales y de textura, se le asignó un número de 1 a 3 en orden de acuerdo con la cantidad obtenida para cada tratamiento. Teniendo en cuenta que 1 es el valor de mayor preferencia (figura 2).

El T1 presenta características más óptimas de proteína y humedad en comparación con los tratamientos T2 y T3, de manera semejante en los niveles de preferencia para color y textura. En contraste con su sabor y olor, ya que obtuvo la menor preferencia. En contraste con lo

presentado en el T2.

Respecto al T3, se mantuvo en los valores promedio de los análisis evaluados a excepción del nivel de preferencia de color.

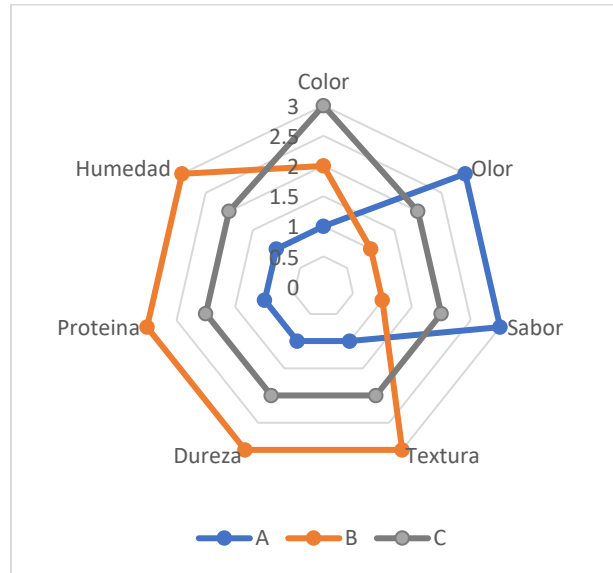


Fig. 2. Comparación de Resultados

Fuente: Elaboración propia (2021)

Conclusión

A medida en que se aumenta el nivel de harina de maíz azul, los parámetros de proteína, dureza, color y textura disminuyen.

En contraste la harina de quinoa, ya que, al incrementar el porcentaje de harina, la proteína y dureza aumentan, presenta un nivel inferior de humedad y las características de color y textura obtienen mayor preferencia

Referencias

FAO. (2018). Ficha técnica en Procesados de Cereales. Retrieved 15 January 2020, from <http://www.fao.org/3/a-au166s.pdf>

Pereira, E., Encina-Zelada, C., Barros, L., Gonzales-Barron, U., Cadavez, V., & C.F.R. Ferreira, I. (2019). Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa)

- Castañeda Sánchez A., (2011). Propiedades nutrimentales y antioxidantes del maíz azul (*Zea mays L.*). Temas selectos de Ingeniería de alimentos.
- Velázquez J., G. R. (2014). Prebiotic Potential of Agave angustifolia haw fructans with different degrees of polymerization. *molecules*, 19, 12660-12675.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NMX-F-006-1983. Alimentos. Galletas. Food. Cookie, Normas Mexicanas. Dirección General De Normas
- Pineda L. 2011. Efecto de la adición de avena y café soluble en las características sensoriales de una galleta típica tipo dulce. *Limentech ciencia y tecnología alimentaria*; Retrieved from 13 March 2020
- Watts B. M., G.L. Ylimaki y L.G.(1992) Elías. Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. Canadá
- P. Lezcano, E. (2011). Análisis de producto Productos panificados. Retrieved 11 February 2020, from <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/farinaceos/>

Anexo 1: Tabla de Prueba de Basker y Kramer “Valor crítico de diferencia entre suma de categorías”

Número de panelistas	Número de productos								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	8.8	14.8	21.0	27.3	33.7	40.3	47	53.7	60.6
21	9.0	15.2	21.5	28.0	34.6	41.3	48.1	55.1	62.1
22	9.2	15.5	22.0	28.6	35.4	42.3	49.2	56.4	63.5
23	9.4	15.9	22.5	29.3	36.2	43.2	50.3	57.6	65.0
24	9.6	16.2	23.0	29.3	36.9	44.1	51.4	58.9	66.4
25	9.8	16.6	23.5	29.9	37.7	45.0	52.5	60.1	67.7
26	10.0	16.9	23.9	30.5	38.4	45.9	53.5	61.3	69.1
27	10.2	17.2	24.4	31.1	39.2	46.8	54.6	62.4	70.4
28	10.4	17.5	24.8	31.7	39.9	47.7	55.6	63.6	71.7
29	10.6	17.8	25.3	32.3	40.6	48.5	56.5	64.7	72.9
30	10.7	18.2	25.7	32.8	41.3	49.3	57.5	65.8	74.2
31	10.9	18.5	26.1	33.4	42.0	50.2	59.4	66.9	75.4
32	11.1	18.7	26.5	34.0	42.6	51.0	60.3	68.0	76.6
33	11.3	19.0	26.9	35.0	43.3	51.7	61.2	69.0	77.8
34	11.4	19.3	27.3	35.6	44.0	52.5	62.1	70.1	79.0
35	11.6	19.6	27.7	36.1	44.6	53.3	63	71.1	80.1
36	11.8	19.9	28.1	36.6	45.2	54.0	63.9	72.1	81.3
37	11.9	20.2	28.5	37.1	45.9	54.8	64.7	73.1	82.4
38	12.1	20.4	28.9	37.6	46.5	55.5	67.2	74.1	83.5
39	12.2	20.7	29.3	38.1	47.1	56.3	65.6	75.0	84.6
40	12.4	21.0	29.7	38.6	47.7	57.0	66.4	76.0	85.7
41	12.6	21.2	30.0	39.1	48.3	57.7	67.2	76.9	86.7
42	12.7	21.5	30.4	39.5	48.9	58.4	68	77.9	87.8
43	12.9	21.7	30.8	40.0	49.4	59.1	68.8	78.8	88.8
44	13.0	22.0	31.1	40.5	50.0	59.8	69.6	79.7	89.9
45	13.1	22.2	31.5	40.9	50.6	60.4	70.4	80.6	90.9
46	13.3	22.5	31.8	41.4	51.1	61.1	71.2	81.5	91.9
47	13.4	22.7	32.2	41.8	51.7	61.8	72	82.4	92.1
48	13.6	23.0	32.5	42.3	52.2	62.4	72.7	83.2	93.8
49	13.7	23.2	32.8	42.7	52.8	63.1	73.5	84.1	94.8
50	13.9	23.4	33.2	43.1	53.3	63.7	74.2	85.0	95.8
55	14.5	24.6	34.8	45.2	55.9	66.8	77.9	89.1	100.5
60	15.2	25.7	36.3	47.3	58.4	69.8	81.3	93.1	104.9
65	15.8	26.7	37.8	49.2	60.8	72.6	84.6	96.9	109.2
70	16.4	27.7	39.2	51.0	63.1	75.4	87.8	100.5	113.3
80	17.5	29.6	42.0	54.6	67.4	80.6	93.9	107.5	121.2
90	18.6	31.4	44.5	57.9	71.5	85.5	99.6	114.0	128.5
100	19.6	33.1	46.9	61.0	75.4	90.1	105	120.1	135.5
110	20.6	34.8	49.2	64.0	79.1	94.5	110.1	126.0	142.1

Capítulo 7. Harinas de frutas y tubérculos para la elaboración de productos

Andrea González Márquez
Facultad de Ingeniería, UASLP
A260847@alumnos.uaslp.mx

Claudia Álvarez Salas
Facultad de Ingeniería, UASLP
claudia.salas@uaslp.mx

Magdalena Alvarado Galván
Facultad de Ingeniería, UASLP
magdalena.alvarado@uaslp.mx

Resumen

Las harinas elaboradas a partir de frutas inmaduras como el mango o tubérculos como la jícama han sido motivo de estudio y búsqueda de usos potenciales, en la industria alimentaria. El deshidratado es un proceso que se emplea para la conservación de los alimentos que consiste en la extracción de la humedad contenida en el producto previniendo el crecimiento y reproducción de microorganismos. La jícama (*Pachyrhizus erosus*) es un tubérculo que por cada 100 gramos contiene 87% de agua y el mango (*Mangifera indica*) es una fruta que contiene 83.5% de agua; siendo así aptos para el proceso del deshidratado cuando se encuentran en estado inmaduro. En el presente estudio se evaluaron las cinéticas de secado por aire caliente de la jícama (*Pachyrhizus erosus*) y el mango (*Mangifera indica*) a diferentes temperaturas (50, 60 y 70°C) para la obtención de una harina. Para el caso de la jícama se observó que a las temperaturas de 50° y 60°C las cinéticas de secado fueron similares, requiriendo un tiempo promedio de 180 minutos para alcanzar la etapa de peso constante, mientras que a 70°C se requiere un tiempo menor. Sin embargo, las muestras secadas a 50° y 60°C presentaron una mayor remoción de humedad; para el mango la remoción de humedad fue la misma en las diferentes temperaturas en un tiempo de (210 minutos) por lo que se tomaron diferentes parámetros que las hacía más aptas para el proceso de molienda y tamizado para la obtención de las harinas.

Palabras clave: deshidratado, harina, jícama, mango.

Introducción.

En los últimos años, México ha experimentado un rápido y dramático cambio en sus hábitos de consumo, donde la gente ha pasado de una alimentación tradicional al consumo de alimentos procesados con un alto contenido en azúcar y grasas (Watson y Treanor, 2016). Las carencias de micronutrientes afectan a una parte considerable de las personas. El Índice de Sostenibilidad Alimentaria de 2017, que califica a 34 países según la sostenibilidad de su sistema alimentario y que incluye cuestiones nutricionales como una de sus áreas clave, situó a México en la 27 posición por su progreso hacia el abordaje de la carencia por micronutrientes. La prevalencia más elevada de ingesta inadecuada de vitaminas se detectó en adolescentes y adultos en zonas rurales de los estados sureños de México. Es por ello que los hábitos alimentarios inician en la infancia y adolescencia donde se pueden consolidar o introducir cambios importantes que persistirán en la edad adulta. Estos hábitos se pueden modificar por elecciones personales vinculadas a la moda, visión de su propia imagen y autoestima (Piero, et al., 2015). El estilo de vida, o sea el tipo de hábitos y costumbres que posee una persona, puede ser beneficioso para la salud, pero también puede llegar a dañarla o a influir de modo negativo sobre ella. La alimentación saludable es uno de los objetivos principales en las sociedades más avanzadas ya que permite a las personas disfrutar de una vida longeva en condiciones óptimas (Pérez y Merino, 2008). La OMS (Organización Mundial de la Salud) y la FAO (Food and Agriculture Organization) recomiendan que al día se ingieran al menos 400 g de frutas y verduras (no incluyendo las patatas y otros tipos de tubérculos) para prevenir diversas enfermedades y carencias de micronutrientes (Arroyo, et al., 2018). Las recomendaciones nutricionales apuntan que se deberían de consumir de 4 a 6 raciones diarias entre cereales y tubérculos, donde una ración de tubérculo es 150-200 gramos. De su composición nutricional destacan las vitaminas C y A, y el potasio como mineral (Nestlé, 2020).

El mango es una de las frutas tropicales más consumidas y con grandes volúmenes de producción. Debido a las atractivas características sensoriales del mango, la industria mundial ha venido explotando esta fruta no solo como producto fresco, sino también como producto procesado, obteniendo así una amplia variedad de productos como mermeladas, salsas, zumos y bebidas refrescantes, entre otros. La parte comestible del mango constituye entre 50 y 55% del fruto y su componente mayoritario es el agua (84%). El contenido en

azúcar varía entre 10 y 20% y el contenido en proteínas es del 0,5%. El ácido predominante es el ácido cítrico, aunque también se encuentran los ácidos málicos, succínico, urónico, tartárico y oxálico en menores cantidades. Al igual que en la mayoría de las frutas y hortalizas, los carbohidratos son los macronutrientes mayoritarios en el mango después del agua, predominando entre ellos los azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa), aunque en los mangos que presentan un menor grado de madurez contienen una cierta cantidad de almidón, que va convirtiéndose en azúcares simples a medida que madura el fruto (Morillas y Delgado 2012). Los frutos verdes son ricos en vitamina C y contienen una cantidad moderada de compuestos carotenoides, mientras que los mangos maduros son fuente importante de estos (principalmente en forma de β -carotenos), siendo moderado su aporte de vitamina C. Concretamente, un mango de 300 g de peso aporta el 70% de la cantidad diaria recomendada de vitamina A, y con 37 mg por cada 100 g de porción comestible de vitamina C.

La jícama es un tubérculo comestible originada y cultivada en México. Es una raíz que contiene una pulpa carnosa, crujiente, firme, porosa, blanca de buen sabor que se puede consumir en fresco y/o cocida. Existen dos variedades de jícama, una es la jícama de agua y la otra es la jícama de leche. A menudo, la jícama es utilizada como fuente de almidón (Rocati, 2013). Se caracteriza por su bajo contenido calórico. Es refrescante, antioxidante, ayuda a combatir el estreñimiento, reduce la cantidad de colesterol y triglicéridos y tiene propiedades diuréticas, entre otras (Rocati, 2013).

Las harinas no convencionales como en el caso del mango y la jícama no han sido explotadas. En el caso de la fruta inmadura como el mango es fuente de importantes almidones resistente y polisacáridos no amiláceos como fibra dietética, siendo ventajosa para ser utilizadas en diversas formulaciones. El almidón resistente en el mango inmaduro se comporta como fibra soluble; por lo cual esta harina puede ser adicionada a diversos productos, a propósito de la actual búsqueda de nuevas fuentes de fibra dietética en la industria alimentaria (Torres, et al., 2014). Para el caso de la harina de jícama es un producto poco conocido el mismo que fue utilizado en la cocina aborigen ancestral como medicina natural, pero en la actualidad es poco utilizado en las preparaciones culinarias, se sabe que la jícama es un alimento muy completo además de contar con sus propiedades nutricionales, se puede utilizar en una variedad de preparaciones en postres (Colcha, 2015).

Por lo tanto, se busca el consumo de las harinas de frutas y tubérculos diversificando el uso final de ellos como ingredientes funcionales de productos alimenticios. Haciendo diversos productos, con el propósito de la actual búsqueda de nuevas fuentes de fibra dietética en la industria alimentaria, es necesario para ver un mayor equilibrio en la alimentación. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es realizar la obtención de harina, haciendo una revisión de la información publicada sobre las harinas de mango y jícama para su utilización en la industria alimentaria y en dado caso en combinación con otras harinas para un aporte nutricional completo en la alimentación humana.

Metodología.

Obtención de las cinéticas de secado. Para la deshidratación del mango se tomó como referencia la metodología descrita por Torres et al. (2014) los mangos son pelados, rebanados con un espesor de 1 cm; posteriormente se colocan las rodajas en bandejas para su posterior secado. En el caso de la jícama se toma como referencia el estudio realizado por Rascón, et al. (2016) retirando primeramente la piel, para posteriormente obtener trozos rectangulares 3 cm x 4 cm y con un grosor de 2 mm. Finalmente, los trozos de jícama se distribuyen en las bandejas del secador. El secado se efectuó con aire de flujo caliente a tres temperaturas diferentes 50, 60 y 70°C. Para determinar el tiempo necesario para el secado tanto del mango como la jícama a cada una de las temperaturas evaluadas se estuvo pesando una muestra cada 30 minutos hasta obtener un peso constante. A partir de la variación del peso se obtuvieron las cinéticas de secado. Una vez deshidratado el producto se molió y tamizó para obtener la harina y se almacenó en bolsas de plástico con cierre hermético para su posterior análisis.

Caracterización fisicoquímica de las harinas. La composición de las harinas obtenidas se determinó utilizando los métodos propuestos por AOAC (1991) cenizas por el método directo en mufla (923.03), humedad con base el método gravimétrico (966.02), proteínas por el método Kjeldahl (920.87) y la actividad de agua mediante el equipo AQUALAB.

Resultados.

En la figura 1 se muestra las cinéticas de secado para el mango a las diferentes temperaturas evaluadas. Para el caso particular del mango no se observó una relación inversa entre la temperatura y el tiempo de secado, ya que para las tres temperaturas el tiempo de secado fue de 210 minutos. También se pudo apreciar que independiente de la temperatura la

mayor pérdida de humedad se presenta en los primeros 50 minutos del proceso de secado.

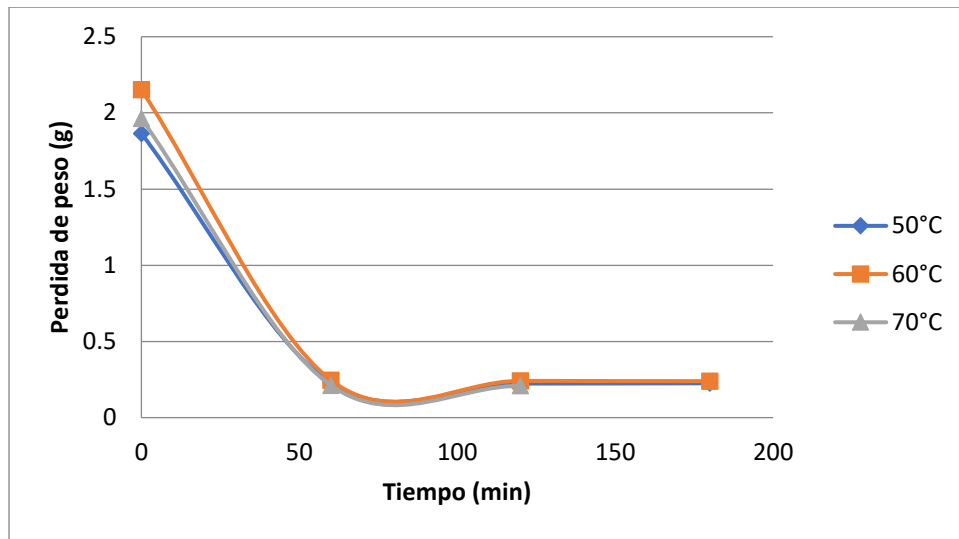


Fig. 1. Cinética de secado de la jícama.

Fuente: Elaboración propia (2021)

En la figura 2 se muestra la cinética de secado para jícama, a partir de la cual se puede ver que a diferencia que con el mango si existe una relación inversa entre la temperatura y el tiempo de secado. La cinética de secado en el caso de 50 y 60°C son similares requiriendo un tiempo de 180 minutos para alcanzar el equilibrio, mientras que para a 70°C fue de 120 minutos. Para la jícama se observa que se requirió de un tiempo mayor para evaporar el mayor contenido de humedad a comparación del mango.

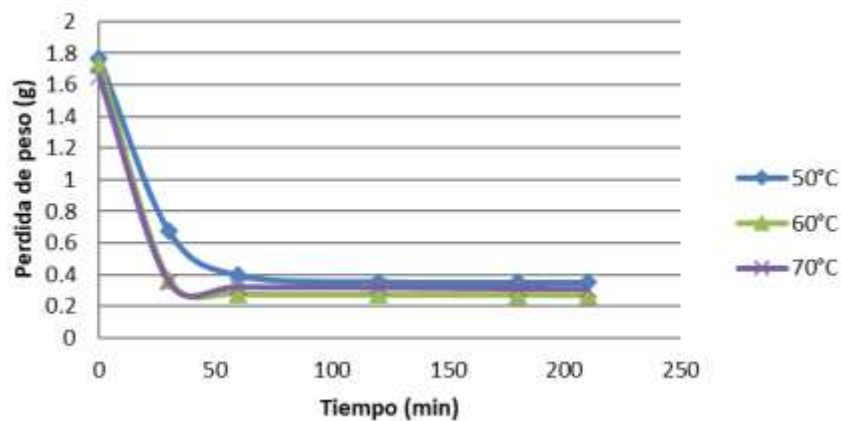
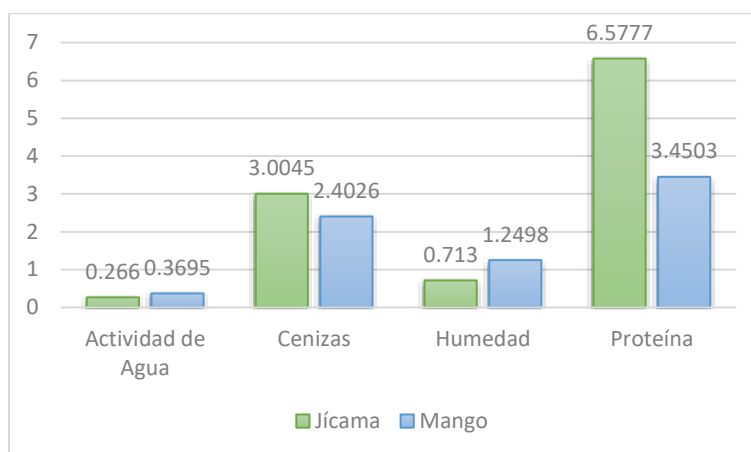


Fig. 2. Cinética de secado del mango.

Fuente: Elaboración propia (2021)

El producto una vez deshidratado se molió y tamizó para obtener la harina y se observó que tanto para el mango como para la jícama el obtenido a los 60°C fue el que se pudo moler y tamizar con mayor facilidad, además que presentó las mejores características sensoriales de color, olor y sabor. Es por ello por lo que se eligió esta temperatura para el deshidratado de ambos. Posteriormente a las harinas obtenidas a partir del producto deshidratado a los 60°C, se les evaluó el contenido de humedad, cenizas, proteínas y la actividad de agua como se muestra en la figura 3.



Gráfica 3. Caracterización de las harinas.

Fuente: Elaboración propia (2021)

En cuanto a la humedad y la actividad de agua para la harina de jícama, obtuvieron valores menores la harina de mango, mientras que para el caso de cenizas y proteínas la harina de jícama presenta una mayor concentración.

Discusión de resultados.

Como se pudo evidenciar a través de las cinéticas de secado la temperatura favorece la remoción de agua, aunque para el mango no se observaron diferencias en los tiempo requeridos para alcanzar el equilibrio a las diferentes temperaturas, lo cual se puede deber a la presencia de solutos hidrofílicos que limitaron la remoción de la humedad del sistema y por lo tanto eso dio como resultado que una mayor cantidad de agua quedara en el sistema interactuando con estas moléculas lo cual se hace evidente al tener valores mayores de humedad y actividad de agua que la harina de jícama. En cuanto a la harina de mango León y Sarmiento, 2015 realizaron las pruebas en la harina de mango dando como resultado en

proteína 4.46%, humedad 10.71% y cenizas 4.51%. Estos valores también variaron lo cual también puede ser por la variedad del mango que se utilizó, así como el estado de maduración del fruto. Mientras que para la harina de jícama en comparación con estudios anteriores de Colcha (2015) los valores de proteína fueron de 7.81%, de humedad 3.45% y de cenizas 2.02%; algunos resultados fueron variados, pero se pudo dar por el lugar donde se elaboró, incluso por la variedad de jícama evaluada que no era la misma.

Conclusiones.

La mejor temperatura para el secado de la jícama y del mango fue de 60°C por los resultados obtenidos después del deshidratado de cada una en donde dio las mejores características principalmente en la textura que era lo requerido principalmente para la elaboración de la harina.

Es importante considerar los análisis fisicoquímicos que permitirán determinar que componentes sobresalen en cada harina para un buen aporte nutricional y que se pueda utilizar en la industria alimentaria como de uso común para productos. Se espera utilizar en la elaboración de una botana horneada, combinada junto con una harina de maíz para brindarle la textura y un no tan alto aporte calórico.

Referencias.

- Arroyo P., Mazquiaran L., Rodriguez P., Valero T., Ruiz E., Avila J. y Valera G. (2018). Frutas y Hortalizas: Nutrición y Salud en la España del Siglo XXI. Fundación Española de la Nutrición (FEN).
- Colcha S. (2015). Utilización de la harina de jícama para la elaboración de galletas. Tesis para obtener el título de Licenciado en gestión gastronómica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Fundación Changing Markets. (2018). Harina de otro costal. Fortificación de alimentos en México a examen. Proyecto alimento. Fundación Changing Markets. Disponible en: <http://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2018/09/FOOD-FORTIFICATION-IN-MEXICO-SP.pdf>
- León Fonseca, C. A., & Sarmiento Daza, Y. P. (2015). Evaluación fisicoquímica, microbiológica y sensorial de una salchicha estándar con adición de harina de mango

(mangifera indica l.).

Morillas-Ruiz JM y Delgado-Alarcón JM, (2012) Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes: Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales; Nutritional analysis of vegetable food with different origins: Evaluation of antioxidant capacity and phenolic total compounds, Dpto. Tecnología de la Alimentación y Nutrición. Univ. Católica San Antonio de Murcia. Volumen 32, paginas 8 -20

Nestlé. (2020). Los tubérculos son necesarios para el aporte energético diario. Family Club Nestlé.

NOM-247-SSA1-2008. Productos y servicios. Cereales y productos derivados. Cereales, harina de cereales o sémola. Alimentos elaborados a partir de cereales, granos comestibles, harina, sémola o sus mezclas. Productos de panadería. Disposiciones y especificaciones sobre salud y nutrición. Métodos de prueba. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/318308/247-ssa1.pdf>

Nielsen S. (2018). Food Analysis. Mason, Ohio, USA. Springer.

Pérez J. y Merino M. (2008). Salud. Definición.

Piero A., Bassett N., Rossi A. y Sammán N. (2015). Tendencia en el consumo de alimentos de estudiantes universitarios. Nutr Hosp. 2015;31(4):1824-1831. Instituto Superior de Investigaciones Biológicas, Dpto. Bioquímica de la Nutrición, Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia, UNT-CONICET, Tucumán, Argentina.

Rocati A. (2013). ¿Qué es la jícama? Verema Interactive.

Torres P., Jiménez T. y Bárcenas E. (2014). Harinas de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental. Universidad de las Américas Puebla.

Vergara-Valencia, N., Granados-Pérez, E, Agama-Acevedo, E., Tovar, J., Ruales, J., & Bello-Perez, L. (2007). Fiber concentrate from mango fruit: Characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. LWT Food Science and Technology. 40,722-729.

Watson, K. y Treanor, S. (2016) The Mexicans Dying for a Fizzy Drink. BBC News.
Disponible en: <https://www.bbc.co.uk/news/magazine-35461270>

Capítulo 8. Evaluación preliminar de polvos para la elaboración de una bebida prebiótica

Francisco Monsivais Monsivais
Facultad de Ingeniería, UASLP
franki_9729@hotmail.com

Claudia Álvarez Salas
Facultad de Ingeniería, UASLP
claudia.salas@uaslp.mx

Resumen

Los alimentos prebióticos son catalogados como un alimento funcional, los cuales se definen como aquellos alimentos que además de proporcionar un aporte nutricional, cuentan con una función que beneficia a nuestra salud, trascendiendo a las características nutricionales e involucrando efectos fisiológicos. Se ha observado que consumir alimentos prebióticos favorece al desarrollo de las bacterias beneficiosas del intestino disminuyendo la cantidad de microorganismos potencialmente patógenos. La formulación de las mezclas en polvo para preparar bebidas instantáneas se basa en la obtención de un producto listo para el consumo, con solo añadir agua. Para ello, el objetivo de la presente investigación fue una propuesta para la formulación de una bebida prebiótica formulada a base de harina de mezquite (HM), proteína hidrolizada de suero de leche (PH) e Inulina (IN). Para obtener la formulación de la bebida prebiótica se empleó la metodología de superficie de respuesta (SMR) mediante el uso del software de Design Expert 11 mediante este diseño se tiene como objetivo evaluar el efecto de cada uno de los ingredientes propuestos en las características fisicoquímicas del producto desarrollado y fijando los porcentajes mínimos y máximos permisibles de cada uno de ellos para el tipo de producto a elaborar. Para lo cual se obtuvieron un total de 15 tratamientos. Finalmente se evaluaron el efecto de estos porcentajes sobre las características de sólidos solubles, viscosidad y características física (pH y densidad). El estudio muestra que las mezclas en polvos de los diferentes tratamientos pueden utilizarse para el desarrollo de alimentos funcionales.

Palabras claves: Alimentos funcionales, Prebióticos, Harina de Mezquite, Inulina

Introducción

El intestino actúa como punto de entrada de nutrientes hacia la circulación y como barrera contra toxinas de distintos orígenes, tanto exógenas como endógenas (residuos bacterianos, antígenos de alimentos, productos de degradación del metabolismo). Cuando se altera la integridad intestinal, se modifica la permeabilidad del intestino y se puede perder esta capacidad de barrera contra antígenos o microorganismos patógenos. Los factores que más influyen en la integridad intestinal son: los microorganismos y la mucosa intestinales, factores ambos muy condicionados por nuestra alimentación (Gimeno, 2004).

Los alimentos funcionales son aquellos que además de proporcionar un aporte nutricional, cuentan con una función que beneficia nuestra salud y contribuye a la reducción de alguna enfermedad. Considerando funcional al alimento en su estado natural o aquel alimento que haya sido adicionado, removido o modificado alguno de sus componentes. Un alimento funcional puede ser un macronutriente con un efecto fisiológico, o un micronutriente con un efecto funcional presente (Fuentes Berrio et al, 2015).

Los prebióticos son ingredientes alimentarios constituidos por carbohidratos no digeribles (oligo y polisacáridos) que participan en la estimulación de la microflora intestinal, en especial en el colon y producen una fermentación sobre la población bacteriana de *Lactobacillus* y *Bifidum*, las cuales fomentan la producción de ácidos grasos de cadena corta, cuyos efectos más destacados se encuentran la disminución de pH y el control sobre comunidades bacterianas que pueden ser dañinas. Otro efecto es la disminución del tiempo de tránsito intestinal, lo cual resulta en el aumento del bolo fecal y la frecuencia de deposiciones (Bernal-Castro et al, 2017).

Los principales componentes prebióticos son los fructooligosacáridos (FOS), inulina, isomalto-oligosacárido (IMO), polidextrosa, lactulosa y el almidón resistente. Los oligosacáridos, como los de la soja (SOS), galactooligosacáridos (GOS) y xilooligosacáridos (Castañeda, 2018). En lo que respecta a los FOS incluyendo a la inulina la diferencia entre los distintos tipos de estos compuestos está en el grado de polimerización. Todos ellos se pueden utilizar en una amplia gama de productos, tanto por sus propiedades tecnológicas como nutricionales. Tecnológicamente se utilizan como texturizantes, ligantes de agua y, sobre todo, como sustitutivos de las grasas y azúcares (juntamente con edulcorantes), lo que

sirve para dar consistencia a distintos productos bajos en calorías. Se suelen encontrar, entre otros, en productos lácteos, productos de panadería, en helados y salsas light (Gimeno, 2004).

Metodología

Materiales

La harina de mezquite e inulina se obtuvieron con los distribuidores de marca Salud Viva eco superalimentos y SAB ingredient respectivamente. La proteína hidrolizada de suero de leche se adquirió con el proveedor de marca Lindaren diet. Las materias primas se tamizaron a través de una malla no. 60 con una abertura de partícula de 1.25 mm para obtener muestras en polvo homogéneas. Las materias se conservaron empacadas al vacío en un lugar fresco para su posterior uso.

Métodos

Formulación de la bebida prebiótica: La formulación de la bebida prebiótica se realizó por medio de la metodología de superficie de respuestas usando el software Desing Expert 7.0. Los parámetros que se evaluaron fueron: porcentaje de harina de mezquite, de inulina, y proteína hidrolizada de suero de leche sobre las características de pH, solido solubles y viscosidad. La Tabla 1 muestra los tratamientos propuestos por el software, en total fueron 15 formulaciones incluyendo los duplicados.

Tabla 1.

Formulación de la bebida prebiótica

TRATAMIENTO	ORDEN	M	I	P
1	6	20.22	6.66	3.12
2	4	23.78	4.23	1.98
3	17	20.22	8.99	0.79
4	18	23.78	5.71	0.5
5	15	20.22	6.66	3.12
6	16	23.78	4.23	1.98
7	1	20.22	8.99	0.79
8	12	23.78	5.71	0.5
9	5	19	8.8	2.2
10	14	25	4	1
11	9	22	4.8	3.2
12	3	22	8	0
13	11	22	6.4	1.6
14	10	22	6.4	1.6
15	7	22	6.4	1.6

M = % de Harina de mezquite; I = % de Inulina; P = % de Proteína hidrolizada de suelo de leche

Fuente: Elaboración propia (2021)

Humedad: La determinación de humedad se realizó por el método gravimétrico; se desecó la muestra en estufa de aire a 105°C hasta peso constante y se expresó la humedad como porcentaje. El porcentaje de la humedad se calculó por diferencia de peso según la ecuación 1.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P_i - P_f)}{g} (100) \quad (1)$$

donde: Pi = peso del crisol con la muestra húmeda; Pf = peso del crisol con la muestra seca; g = gramos de muestra

Solubilidad: La determinación de la solubilidad se realizó por el método descrito por Anderson *et al* (1969) con algunas modificaciones: a 50 ml de agua destilada se le adiciono 0.5 g de muestra y se agito hasta solubilizar. Posteriormente la solución se colocó en un tubo falcón y se centrifugo a 5260 rpm durante 5 min. Una alícuota de 25 ml del sobrenadante se

trasfirió a una placa de Petri previamente pesada, las placas se secaron inmediatamente en estufa a 105°C durante 5 h. El porcentaje de solubilidad se calculó por diferencia de peso según la ecuación 2.

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{(Pf)}{Pi} (100) \quad (2)$$

donde: Pf = peso del sobrenadante seco; Pi = peso de la muestra

Densidad: Se calculó midiendo el volumen al compactar. En una probeta de 10 ml se transfirieron 4 g de muestra y se golpeó 100 veces, finalmente se tomó la medida. La determinación de densidad se calculó ayudados con la ecuación 3.

$$\% \text{ Densidad} = \frac{M}{V} \quad (3)$$

donde: M = masa de la muestra; V = volumen ocupado

Determinación de pH y viscosidad: Se reconstruyo cada formulación para obtener la bebida prebiótica, disolviendo 10.5 g de muestra en 25 ml de agua a temperatura ambiente por 1 minuto, evitando la formación de grumos. Se determino el pH y Viscosidad con la ayuda de un potenciómetro Orion Modelo 3-Star en el caso del pH y la Viscosidad con un viscosímetro Brookfield RV. Las unidades de viscosidad se expresaron en centipoise (cp)

Resultados

Entre las características físicas estudiadas se encuentra la humedad y su determinación es de suma importancia, ya que un elevado contenido de ésta influye en la velocidad de multiplicación de los microorganismos, provocando la descomposición de los alimentos y por lo tanto la pérdida de la calidad sanitaria.

La Tabla 2 muestra el porcentaje de humedad en las diferentes formulaciones propuestas, teniendo un intervalo de valores de humedad de (6.69-7.15 %) durante el almacenamiento las cuales se encuentran por debajo del 15 % reglamentado (NOM-147-SSA1-1996). Al analizar los porcentajes de humedad se observa que los valores obtenidos son muy similares a los determinados por Pacheco *et al* (2008) en la Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (*dioscorea alata*) y ligeramente menores por los reportados de Soteras (2011) en la Formulación de una bebida

en base de granos de amaranto teniendo porcentaje de humedad de (8.97%).

Tabla 2.

Determinación de humedad

TRATAMIENTO	HUMEDAD (%)
1	6.84
2	6.92
3	7.13
4	6.83
5	7.11
6	6.75
7	7.04
8	6.92
9	6.69
10	7.18
11	7.02
12	6.91
13	6.82
14	7.15
15	6.75

Fuente: Elaboración propia (2021)

El grado de instantaneidad de un producto en polvo depende de ciertas propiedades físicas, entre ellas la solubilidad. La solubilidad es la velocidad y grado en que los componentes de las partículas de polvo se disuelven en el agua. La literatura reporta trabajos que demuestran que la solubilidad de un polvo instantáneo está directamente relacionada con su microestructura (Cano-Chauca et al., 2005). En la Figura 1 se muestran los porcentajes de solubilidad de las diferentes formulaciones las cuales hacen referencia a la cantidad de polvo que se deposita en el sobrenadante. El tratamiento 9 presento los porcentaje más altos y los tratamientos 8 y 10 los más bajos. La solubilidad de las muestras podría, por tanto, estar más influenciada por el porcentaje de Harina de mezquite, ya que los porcentajes de Harina de Mezquite son los más altos y los más bajos respectivamente. Estos resultados son comparables a lo reportado para otras evaluaciones de solubilidad en polvos para la elaboración de bebidas, no obstante Serna *et al* (2014) reportaron porcentajes de solubilidad que variaron de (50-70%) ligeramente mayores en algunas de sus muestras en comparación con los resultados obtenidos en los tratamientos.

Figura 1: Porcentaje de solubilidad de los diferentes tratamientos propuestos

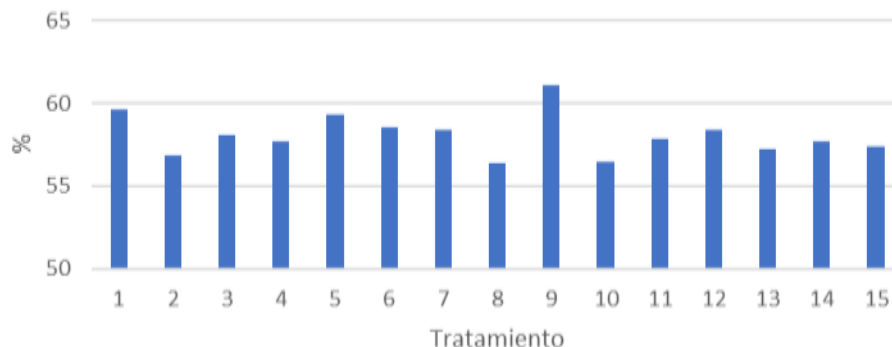


Fig. 1. Porcentaje de solubilidad de los diferentes tratamientos propuestos

Fuente: Elaboración propia (2021)

En la Tabla 3 se muestran los resultados de los análisis físicos realizados a los tratamientos. La densidad aparente y de asentamiento, están relacionadas entre sí y son indicativas de que mientras mayor es el volumen que ocupa el polvo menor será su densidad, la densidad de los tratamientos tubo un intervalo de valores de (0.80-0.89 g/ml). Los valores de la densidad de las formulaciones son mayores que los informados para Suplemento alimenticio de alto contenido proteico (Cerezal *et al* 2008) cuyos valores son (0.46 y 0.55).

Con relación a la viscosidad aparente, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El valor más alto se obtuvo para el tratamiento 10 (254.4 cps), mientras que para el tratamiento 7 se obtuvo el más bajo (76.8 cps). Las diferencias existentes se atribuyeron al mayor porcentaje de harina de mezquite y que contribuyo al mayor desarrollo de la viscosidad. Los resultados obtenidos fueron mucho menores a los reportados por Arcila y Mendoza (2006), en Bebidas a base de amaranto, maíz y arroz, valores entre (1500 y 1650 cps) y aún más por Pacheco *et al* (2008) Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (*dioscorea alata*) valores entre (1800 y 1990 cps), siendo estas diferencias posiblemente debidas a que los gránulos de sus materias primas son de mayor tamaño y con fuerzas asociativas internas débiles, que contribuyen a una mayor capacidad de absorción de agua, y por tanto a una alta capacidad de formar pastas viscosas y espesas.

Por otro lado, en cuanto al pH no se observaron diferencias relativamente diferentes presentando valores (5.33 -5.55).

Tabla 3.

Principales características físicas de las formulaciones

TRATAMIENTO	DENSIDAD	VISCOSIDAD	pH
1	0.85	88.8	5.55
2	0.85	187.2	5.48
3	0.85	84.8	5.46
4	0.83	140.8	5.44
5	0.80	99.2	5.57
6	0.80	164	5.47
7	0.82	76.8	5.45
8	0.89	136.4	5.39
9	0.85	77.3	5.49
10	0.88	254.4	5.38
11	0.85	124.8	5.51
12	0.89	128.8	5.33
13	0.89	114.4	5.45
14	0.87	132	5.41
15	0.89	129.6	5.43

Densidad (g/ml); Viscosidad (cps)

Fuente: Elaboración propia (2021)

Conclusiones

En esta investigación se caracterizaron las materias primas antes de la elaboración de la bebida funcional, con el objetivo de conocer las características fisicoquímicas de los diferentes tratamientos propuestos. Cuanto mayor fue el porcentaje de harina de mezquite se evidencia mayor viscosidad y menor solubilidad, características como densidad, pH y humedad no presentan cambios significativos en cuanto a los porcentajes de las materias primas en los tratamientos. De acuerdo con estos resultados la obtención de formulaciones en polvo con base en harina de mezquite, proteína hidrolizada de suero de leche e inulina, presenta alto potencial de aplicación en la industria alimentaria para la elaboración de bebidas funcionales.

Referencias

- Anderson RH, HF Conway, VF Pfeifer & EL. Griffin Jr. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Science Today* 1969;14: 4-7; 11-12.
- Arcilla, N. y Mendoza Y. (2006). Elaboración de una bebida instantánea a base de semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus*) y su uso potencial en la alimentación humana. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23 (1), pp. 114-124. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037878182006000100010&lng=es&tlng=es
- Bernal, C., Díaz, C. Y Gutiérrez C. (2017). Probióticos y prebióticos en matrices de origen vegetal: Avances en el desarrollo de bebidas de frutas. *Revista chilena de nutrición*, 44 (2), pp.383-392. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182017000400383>
- Bernal, C., Díaz, C. Y Gutiérrez C. (2017). Probióticos y prebióticos en matrices de origen vegetal: Avances en el desarrollo de bebidas de frutas. *Revista chilena de nutrición*, 44 (2), pp.383-392. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/ñ-jn>
- Cerezal, P., Carrasco, A., Pinto, K. y Arcos, R. (2008). Suplemento alimenticio de alto contenido proteico, Propiedades físicas, químicas, reológicas y color. *Interciencia*, 33 (4), pp. 301-307. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000400013&lng=es&tlng=es.
- Gimeno, E. (2004). Alimentos prebióticos y probióticos. Elsevier. 23 (5). Recuperado de: www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-alimentosprebioticos-probioticos-13061800.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-147-SSA1-1996, Bienes y servicios. cereales y sus productos. harinas de cereales, Semolas o Semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, Harinas, Semolas o Semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
- Pacheco, E., Techeira, N. y Garcia, A. (2008). Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (*dioscorea alata*). *Revista*

chilena de nutrición, 35 (4), pp452-469. Recuperado de:
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182008000500008

Soteras, E. M. (2011). Obtención y formulación de una bebida en base de granos de amaranto (Tesis de maestría). Universidad nacional del litoral, Santa Fe, Argentina.

Capítulo 9. Diseño de polvos de frutos del semidesierto para la elaboración de atoles

Ana Hilda Ramírez Rodríguez
Facultad de Ingeniería, UASLP
rdzhilde4@gmail.com

Dalia Abigail García Flores
Facultad de Ingeniería, UASLP
dalia.garcia@uaslp.mx

Magdalena Alvarado Galván
Facultad de Ingeniería, UASLP
magdalena.alvarado@uaslp.mx

Resumen

Se tiene conocimiento de que en las regiones que sufren escasez de lluvia y suelos pocos fértiles existe una amplia distribución de vegetación que representa una de las fuentes de supervivencia para numerosas comunidades, entre ellas se encuentran los frutos de *M. geometrizans*, *P. glandulosa* y *E. platyacanthus*. Los frutos de temporada del semidesierto tienen una corta vida postcosecha, por lo que actualmente se buscan alternativas que permitan preservarlos por más tiempo, una de ellas es la deshidratación. En estudios recientes se ha demostrado que el proceso de secado no tiene un efecto significativo en el análisis proximal de los frutos, sino que permite conservar sus principales características y compuestos funcionales. Para aprovechar los recursos del semidesierto potosino los frutos se recolectaron en la localidad de La Purísima, Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P en los meses de junio a agosto de 2020, se les dio un valor agregado en forma de 3 mezclas en polvo tipo atole, empleando para ello el uso de maíz tostado y molido (pinole). Se determinó que la temperatura de secado que proporciona frutos aceptables para su posterior granulación es la de 60°C, y en cuanto a la de un tostado óptimo es de 120°C. Se utilizó un diseño experimental de mezclas D- Óptimal para la formulación, que incluye la base de maíz tostado y la harina del fruto. Para elegir la mejor mezcla se tomaron en cuenta los valores de parámetros como pH, humedad, gusto y aceptabilidad, con la ayuda de un panel sensorial semientrenado.

Palabras clave: Semidesierto, pinole, atole, tostado, análisis sensorial

Introducción

Se calcula que poco más de la mitad de la superficie del país es ocupada por zonas áridas y semiáridas, por lo que las comunidades presentes en ellas son las más extensas en México (Rzedowski, 2006). Las áreas forestales son una fuente de ingresos y proveen al hombre de múltiples bienes, recursos y espacios para la recreación (Villalón, 2003). Existen 13 tipos de vegetación en el estado de San Luis Potosí, donde la vegetación de zonas áridas (matorral desértico micrófilo, rosetófilo y crasicale) es la que predomina cubriendo cerca del 60% (Rzedowski, 1961).

Myrtillocactus geometrizans. El fruto de *Myrtillocactus*, llamado localmente “garambullo”, tiene forma globular, con un promedio de 1,5 cm de diámetro y 1,2 cm de altura, y generalmente de un color morado oscuro cuando está maduro. Es una fuente potencialmente interesante de pigmentos naturales, como las betalainas. En la actualidad estos pigmentos son de gran interés como fitoquímicos por su actividad antioxidante. Su contenido de polifenoles totales es similar al de la zarzamora y la frambuesa, las cuales son buenas fuentes de antioxidantes (Herrera F. et al 2011).

Prosopis glandulosa. El mezquite (*Prosopis Ssp.*) es un árbol perenne, que llega a medir de 40 cm hasta 10 m de altura, de acuerdo con la profundidad del suelo. En México la mayor densidad de mezquiales (o mezquiteras) se concentra principalmente en el estado de Sonora, aunque también abunda en los estados de Durango, San Luis Potosí, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Tamaulipas y Zacatecas (Reyes C, 2019). Se tiene conocimiento de que la vaina o péchita de mezquite, era incluida en la dieta de diferentes etnias de áreas desérticas y semidesérticas de México para la elaboración de panes. En la actualidad se utiliza en la industria de alimentos, como edulcorante en bebidas, dulces, helados y panificación, así como en la alimentación del ganado bovino lechero, pues además de ser rico en fibra cruda, es uno de los forrajeros con mayor energía bruta. Algunos estudios por su parte han demostrado un contenido superior de proteínas y minerales en comparación con harinas de trigo comerciales (X. Soto, 2014).

La biznaga es una especie perteneciente a las cactáceas, sus frutos son conocidos localmente como borrachitas (*Echinocactus platyacanthus*) esto es debido a que, si se recolectan después de su madurez de consumo el calor del sol las fermenta ocasionando que se produzca alcohol. El fruto se esconde en una masa de lana suave y blanca, sus semillas son negras y brillantes. Actualmente

se comercializa en diferentes presentaciones como lo son salsas dulces o picantes, nieves y paletas (Aragón J, 2011).

Si se hace un recuento de toda la variedad geográfica y cultural del país, se podrá apreciar que en la cocina mexicana está claramente presente esa diversidad, manteniendo una línea común, un ingrediente que aparece en casi todos los platillos: el maíz, protagonista en la elaboración de tortillas, bebidas fermentadas, atole, tamales, pozole, entre tantos otros (Silva. et al., 2016).

La primera persona que describió lo que es el atole fue el conquistador Hernán Cortés en sus famosas Cartas de Relación. En ellas expuso que los nativos bebían una bebida espesa preparada de maíz, agua, miel y chiles que era muy energética. En ese entonces el mundo prehispánico llamaba a esta bebida “atolli” que quiere decir, aguado también se le decía “tol” (Huerta J., 2017).

En este proyecto se presenta la elaboración de una línea de productos tipo atole para el aprovechamiento de los frutos del semidesierto, el cual es un producto alimentario aceptado sensorialmente por los consumidores permitiendo diversificar el uso de las especies de la región con la elaboración de 3 mezclas en polvo tipo atole, ampliando así la diversidad culinaria que existe en el país.

Metodología

Los frutos de *M. geometrizzans* se obtuvieron del mercado local, mientras que los frutos de *P. glandulosa* y *E. platyacanthus* se recolectaron en los meses de junio a agosto de 2020, en la localidad de la Purísima, Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P., México. Se efectuó una limpieza previa a la extracción para eliminar ramas, trozos de corteza, follaje y otras impurezas que poseían los frutos. La recolección se llevó a cabo por sacudimiento manual, se etiquetó cada recipiente de frutos con la ubicación geográfica, nombre del fruto y la fecha de recolección. Los ejemplares fueron depositados en el laboratorio de procesos alimentarios agropecuarios de la Facultad de Ingeniería de la U.A.S.L.P.

Procesamiento de los frutos.

Una vez clasificados los frutos de acuerdo con su especie, se realizó una limpieza superficial con agua y jabón para evitar posibles impurezas que se hallan incorporado. Los frutos de *E. platyacanthus* y

M. geometrizans se sometieron a congelación a 6° C durante 1 mes, para frenar su proceso de maduración. Pasado este tiempo se descongelaron los frutos y se secaron en el secador marca POLINOX.S.A. a 60 °C, en el caso de la vaina de mezquite se eliminaron las semillas de la vaina ya que únicamente es de interés el mesocarpio, una vez extraído este se secaron las vainas, siguiendo la metodología descrita por (Cravioto, 2017). Para obtener la harina se molieron los frutos deshidratados en un molino mecánico marca INTERNATIONAL MODELO: LI-2 A, la harina formada se pasó por un tamiz de acero inoxidable con abertura de malla de 0.177 mm para conseguir una mezcla homogénea, como lo indica la NMX-F-007-1982.

Elaboración del producto

La base del atole se llevó a cabo por medio de una mezcla tipo pinole. Del náhuatl *pinolli*, pinole, es una harina de maíz tostado en comal y molido en metate que llegó a ser un importante elemento en la nutrición de los pueblos mesoamericanos y hoy en día es un alimento tradicional de México puede endulzarse con piloncillo y canela (Muñoz, 2012).

Se aplico un tostado convencional a los granos de maíz a 120°C por 120 min con base en los procedimientos descritos por (Martínez, 2010), los granos tostados se molieron en un MOLINO TUNERO MODELO N00118OS1PA56 y la harina formada se mezcló en proporción con canela en polvo. Este proceso se realizó con el fin de mejorar y ampliar la gama de aromas, texturas, desarrollar sabores, inactivar enzimas, destruir microorganismos y reducir la actividad de agua propias del alimento (Martínez, 2010).

La formulación de la mezcla incluye: la base del atole y la harina del fruto. Para ello se utilizó un diseño experimental de mezclas D Optimal el cual arrojó trece mezclas diferentes (ver Figura 1). El diseño D- Optimal, es un diseño basado en el criterio de proporcionar una buena estimación de los parámetros de regresión para el modelo seleccionado. Se divide en dos regiones que son la de alta presión y la región favorable. En la región de alta presión, se crean ecuaciones

para restringir el área donde el sistema genera combinaciones no favorables, en la región favorable, se seleccionan puntos experimentales con una distribución óptima desde el punto de vista estadístico (Goicoechea H, 2016).

Run	Block	Component 1 A:Fruto g	Component 2 B:Maíz g	Response 1 Humedad	Response 2 pH	Response 3 Aceptabilidad
1	Block 1	100.000	200.000			
2	Block 1	30.082	269.918			
3	Block 1	20.000	280.000			
4	Block 1	79.836	220.164			
5	Block 1	20.000	280.000			
6	Block 1	40.164	259.836			
7	Block 1	50.243	249.757			
8	Block 1	100.000	200.000			
9	Block 1	60.000	240.000			
10	Block 1	20.000	280.000			
11	Block 1	60.000	240.000			
12	Block 1	89.919	210.081			
13	Block 1	100.000	200.000			

Fig. 1. Diseño experimental de mezclas D-Optimal

Fuente: Elaboración propia (2021)

Se realizó una evaluación sensorial con la ayuda de diez panelistas semi entrenados (5 hombres y 5 mujeres) de 20 a 30 años. Se utilizó una escala de preferencia de 5 puntos donde se evaluaron dos atributos gusto y aceptación, gusto dividido en sabor y aroma y aceptación en color y consistencia. Los 5 puntos de la escala son: me gusta mucho, me gusta moderadamente, no me gusta ni me disgusta, me disgusta moderadamente, me disgusta mucho. Cada muestra se calificó individualmente, las muestras se presentaron a los panelistas en contenedores de plástico individuales, previamente hidratadas (ver Figura 2). Se utilizó una muestra control elaborada con pinole y azúcar para evitar que los frutos interfirieran en la decisión del panel, se les dio agua para enjuagar su paladar entre muestra y muestra. (Molina H, 2011).



Fig. 2. Acomodo de muestras en la evaluación sensorial.

Para elegir la mejor mezcla se determinó el contenido de humedad de las formulaciones establecidas por el método gravimétrico 966.02 (AOAC, 2005), así como la determinación de pH como lo indica la NMX-F-317-S-1978.

Resultados

Los resultados de la aplicación de la evaluación sensorial se muestran en la tabla 2.

Tabla 2.

Resultados de la evaluación sensorial de la bebida a base de maíz con garambullo

PANELISTA	GUSTO		ACEPTACIÓN		GUSTO		ACEPTACIÓN	
	SABOR	AROMA	COLOR	CONSISTENCIA	SABOR	AROMA	COLOR	CONSISTENCIA
1	5	5	5	4	4	5	4	5
2	4	4	5	4	3	2	3	3
3	5	4	5	2	4	4	3	2
4	2	2	4	3	2	3	2	1
5	3	3	4	3	3	3	2	4
6	5	4	5	4	5	4	3	4
7	2	2	4	4	2	3	3	3
8	4	3	4	4	2	2	2	2
9	2	2	3	2	3	4	3	2
10	2	3	4	4	3	4	3	4
PROMEDIO	3.4	3.2	4.3	3.4	3.1	3.4	2.8	3
Σ	6.6		7.7		6.5		5.8	

Donde 5 = me gusta mucho, 4 = me gusta moderadamente, 3 = no me gusta ni me disgusta, 2 = me disgusta moderadamente, 1 = me disgusta mucho

Fuente: Elaboración propia (2021)

Se utilizó el programa Design-Expert 11, donde las respuestas a evaluar para cada fruto fueron pH, humedad, gusto y aceptación. En el caso de la vaina de mezquite y la borrachita no se encontró diferencia significativa en ninguno de los parámetros, en cuanto al garambullo se encontró diferencia significativa en pH, humedad y gusto.

La puntuación más alta de las pruebas realizadas corresponde a las muestras G7, M3 y B3 (ver Tabla

3) destacadas en negritas, permitiendo establecer los valores de pH y humedad de la muestra ideal, siendo éstos: 5.1 y 6.93 para G7, 5.6 y 6.17 para M3, 4.7 y 6.13 para B3.

La respuesta del programa califica los valores conocidos de las diferentes muestras, dentro de los rangos de "bebidas ideales" coincidiendo con la respuesta esperada según los datos de la evaluación sensorial.

Conclusiones

Se evaluaron las muestras de bebidas a base de maíz con garambullo, vaina de mezquite y borrachita con datos instrumentales provenientes de un panel sensorial, donde las muestras ganadoras fueron G7, M3 y B3.

La diferencia significativa que se encontró en las muestras de garambullo puede deberse a que los frutos se compraron en el mercado local y estos no se ubicaban dentro de una misma región o que se recolectaron en un diferente periodo de tiempo lo cual provocó una base heterogénea (ver Figura 3). Se sabe que el fruto del garambullo contiene metabolitos secundarios como las betalainas que proporcionan un color morado oscuro característico y diferente a los otros frutos el cual pudo ser un factor de estímulo para los evaluadores.

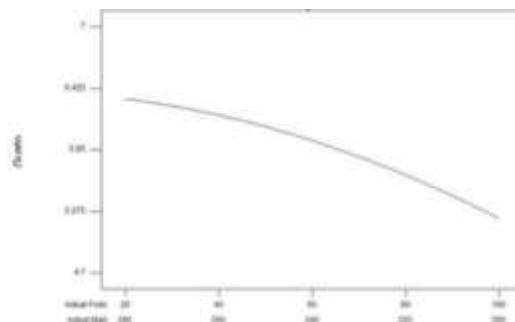


Figura 3 Grafico de gusto de la bebida a base de maíz con garambullo.

Fuente: Elaboración propia (2021)

Se puede dar el aprovechamiento de los frutos del semidesierto potosino en la elaboración de una línea de productos tipo atole, ya que estos fueron aceptados por un panel sensorial semientrenado, ampliando así la diversidad culinaria que existe en el país y diversificando el uso de las especies de la región.

La grafica determina que la muestra ganadora gusta más dentro de los rangos intermedios de fruto y de maíz, en comparación con los valores con mayor cantidad de fruto.

Referencias

- Aragón Gastélum, (2011), INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C. Viviparidad en *Echinocactus platyacanthus* en el Altiplano Potosino y su posible beneficio para las etapas iniciales de desarrollo
- AOAC (2000). Official Methods of Analysis. 17th Edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA
- Cravioto, Daniel & Sandoval Torres, Sadoth & Ramírez, Juan. (2017). Análisis de un proceso de secado de vainas de mezquite (*Prosopis laevigata* Humb & Bonpl. ex Willd.) a condiciones constantes.
- Goicoechea H, (2016), Facultad de bioquímica y ciencias biológicas, Universidad Nacional del Litoral, Metodología de la superficie de respuesta.
- Herrera-Hernández, M. G., Guevara-Lara, F., Reynoso-Camacho, R., & GuzmánMaldonado, S. H. (2011). Effects of maturity stage and storage on cactus berry (*Myrtillocactus geometrizans*) phenolics, vitamin C, betalains and their antioxidant properties. *Food chemistry*, 129(4), 1744-1750
- Martínez, A. (2010). Efecto del proceso de tostado en el desarrollo de pasta untable de semillas de zapallo (*Cucurbita máxima* Duch). Tesis de Ingeniera en Alimentos. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química, SantiagoChile. 85 p.

Molina Hernández. (2011) Instituto de Investigación de Ciencias de la Alimentación (CIAL) CSICUAM. curso de análisis sensorial de alimentos

Muñoz R, (2012), Larousse, Diccionario enciclopédico de la Gastronomía Mexicana

NMX-F-007-1982. ALIMENTO PARA HUMANOS. HARINA DE TRIGO. FOODS FOR HUMANS. WHEAT FLOUR. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.

NMX-F-317-S-1978. DETERMINACIÓN DE pH EN ALIMENTOS. DETERMINATION OF pH IN FOODS. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.

Reyes C, (2019) Análisis bromatológico de la goma de la semilla de (*Prosopis Ssp.*) para fines alimenticios, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Rzedowski, J., (2006). Vegetación de México. (1a. edición digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 pp.

Silva, E., Lascurain, M., & de Legarreta, A. P. (2016). Cocina y biodiversidad en México. CONABIO. Biodiversitas, 124, 1-7.

Villalón, H. Estrada A. (2003). Principales causas sociales de la deforestación en México. En: Memorias de resúmenes del VI Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales-Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 177-179.

X. Soto, K. Fernández y M. Ruiz, (2014) Universidad Tecnológica de San Luis Río Colorado, Aprovechamiento del fruto del mezquite (*prosopis glandulosa* y *prosopis spp*) en la zona de San Luis Rio Colorado, Sonora, para la elaboración y comercialización de harina de alto valor nutricional.

Capítulo 10. Efecto de hormonas vegetales en calidad comercial de cebolla (*Allium cepa* L.).

Francisco Javier Galaviz Martínez

Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP
fcojaviergalaviz1595@gmail.com

Edgar Alejandro Berrospe Ochoa

Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP
edgar.berrospe@uaslp.mx

Laura Araceli López Martínez

Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP
araceli.lopez@uaslp.mx

Juan Ángel Morales Rueda

Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP
angel.morales@uaslp.mx

Resumen

La producción de cebolla en el municipio de Salinas de Hidalgo, S.L.P. es una actividad importante y posiciona al municipio como el principal productor del estado al obtener rendimientos de hasta 42.75 ton ha⁻¹ y donde el uso de hormonas vegetales es una actividad normal, sin embargo, no se conoce con certeza la acción que tienen estas el sistema productivo de la cebolla; es por ello que se ha realizado esta investigación con la finalidad de determinar el efecto de la aplicación de hormonas reguladoras de crecimiento en la producción de cebolla mediante la evaluación de los atributos agronómicos para identificar su impacto en la calidad comercial de cebolla con interés agroindustrial. La presente investigación fue realizada en las instalaciones de la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, ubicada en las coordenadas 22° 38' 31.91" Latitud Norte y 101° 41' 51.92" Longitud Oeste. Se desarrolló bajo condiciones de invernadero tipo Mini Green de 6 x 36 m (ACEA®) con cubierta plástica de polietileno blanco lechoso tipo MIC150 de 600 galgas y 30% de opacidad. En el caso de las hormonas de crecimiento vegetal empleadas fueron: a) auxinas a una concentración de 0.09 mL L⁻¹ (AUX), b) giberelinas a una concentración de 6.09 g L⁻¹ (AG3), c) Maxi-Grow® a una concentración de 5mL L⁻¹(MG),d) Engordone® a una concentración de 0.5g L⁻¹ (EN), y e) un testigo (Testigo). La aplicación de Auxinas, Engordone y MaxiGrow fomentaron el incremento en el peso del bulbo de cebolla, pero no en las dimensiones, por lo cual pueden ser consideradas como un elemento a ser integrado en la tecnología de producción comercial de cebolla.

Palabras clave: Cebolla, Calidad, Bulbos de Cebolla, Hormonas Vegetales

Introducción

El estado de San Luis Potosí ocupa el 8° lugar con el 5 % de la producción nacional de cebolla, donde el municipio de Salinas de Hidalgo aporta el 53.46 % de la producción estatal, con un rendimiento promedio de 45.9 ton ha-1 (SIAP, 2019).

La productividad media de cebolla a nivel nacional fue de 32.35 ton ha-1, comercializándose a nivel de productor a un promedio de \$5,058.91 pesos ton-1. En el caso del estado de San Luis Potosí la productividad en promedio es mayor que la media nacional, registrándose un rendimiento de 42.75 ton ha-1, sin embargo, el costo promedio por tonelada fue de \$3,138.07 pesos ton-1, menor al promedio nacional. En el caso específico del Distrito de Salinas la productividad media registrada fue de 50.20 ton ha-1, las cuales se comercializaron en promedio en \$1,773.92 pesos la tonelada, casi 50% menor al promedio estatal y 65% menor al promedio nacional. En cuanto al municipio de Salinas en 2018 se registró una productividad de 45.90 ton ha-1, lográndose comercializar en promedio en \$1,905.22 pesos ton-1, siendo esto menor en 63% en relación con el promedio nacional (SIAP, 2019). Por lo anterior, se pueden observar dos problemas, el primero relacionado con las cuestiones de comercialización; y el segundo, necesidades de incremento en la productividad a nivel de campo.

La productividad es el resultado de la aplicación de diferentes tecnologías de cultivo enfocadas a mejorar la calidad comercial del producto. La calidad comercial se puede entender como todos aquellos atributos tanto intrínsecos como extrínsecos de la cebolla que hace posible su venta al consumidor inmediato. Dentro de los atributos que se consideran para definir la calidad comercial de cebolla se pueden mencionar las dimensiones, color, peso y presencia de daños físicos, así como de plagas y enfermedades.

En la cultura productiva de la cebolla existe una diversidad de tecnologías empleadas para su producción de las cuales se pueden categorizar en varios tipos como mecánicas, culturales, hídricas y fisiológicas por mencionar algunas. En el caso del uso de las tecnologías fisiológicas se puede mencionar el incremento en el uso de hormonas reguladoras de crecimiento tales como las auxinas, giberelinas, citosinas o mezcla entre estas. En el municipio de Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí es común el empleo de hormonas reguladoras de crecimiento durante la producción en

campo de la cebolla, sin embargo, la mayoría de los productores desconocen la función específica de cada una de éstas empleándolas de manera empírica, lo cual les ha generado una diversidad de resultados en la producción, siendo esto el principal problema en el uso de estas nuevas tecnologías.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue el determinar el efecto de la aplicación de hormonas reguladoras de crecimiento en la producción de cebolla mediante la evaluación de los atributos agronómicos para identificar su impacto en la calidad comercial de cebolla con interés agroindustrial.

La aplicación de hormonas reguladoras de crecimiento fomenta el mejoramiento de atributos comerciales con la finalidad de homogenizar la producción, lo cual facilita la industrialización del producto, disminuyendo las mermas a nivel de campo, así como durante su procesamiento posterior para adecuarlo a las necesidades del consumidor. El presente estudio apoyará a mejorar la comprensión en el uso de algunas hormonas de crecimiento en su aplicación en campo, así como evidenciará efectos posteriores a su uso; apoyando a los productores del municipio de Salinas de Hidalgo en la homogenización de calidad comercial de cebolla.

Metodología

La presente investigación fue realizada en las instalaciones de la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, ubicada en las coordenadas 22° 38' 31.91" Latitud Norte y 101° 41' 51.92" Longitud Oeste. Se desarrolló bajo condiciones de invernadero tipo Mini Green de 6 x 36 m (ACEA®) con cubierta plástica de polietileno blanco lechoso tipo MIC150 de 600 galgas y 30% de opacidad; como material vegetal se usó semilla variedad EARLY WHITE GRANO PRR de PACIFICA®, EUA. En el caso de la aplicación de hormonas de crecimiento vegetal se emplearon: a) auxinas a una concentración de 0.09 mL L⁻¹ (AUX), b) giberelinas a una concentración de 6.09 g L⁻¹ (AG3), c) Maxi-Grow® a una concentración de 5mL L⁻¹(MG), d) Engordone® a una concentración de 0.5g L⁻¹ (EN), y e) un testigo (Testigo). Para la germinación del material vegetal se emplearon charolas de poliestireno de 338 cavidades, sembrando una semilla por cavidad; durante la germinación y hasta el día 16 se regaron los semilleros con 50 ml de agua, posteriormente del día 17 al día 60 fueron regados con solución nutritiva. Para el desarrollo de la cebolla, se utilizaron cajas de madera 58 cm de largo, 38 cm de ancho y 35 cm de alto, las cuales fueron forradas con bolsa negra. En el caso de los riegos

se mantuvo un pH de 5.5 y se mantuvo libre de malezas realizando de manera manual el deshierbe. A los 90 días después de la siembra (DDS) se aplicó el tratamiento hormonal utilizando una mochila de aspersión manual marca PRETUL® modelo FM-20P realizándolo en las primeras horas de la mañana.

Para el análisis de laboratorio se cosecharon la totalidad de los bulbos resultantes, realizando la cosecha a los 180 DDS durante las primeras horas del día, mismas que fueron trasladadas al laboratorio para su análisis. Las variables evaluadas fueron: a) diámetro longitudinal de bulbo (DB), b) diámetro ecuatorial de bulbo (DE) empleando un vernier digital marca TRUPER® modelo LCD 150, c) peso de bulbo (PESO) empleando una balanza digital marca Symmetry® modelo Cole-Parmer 800 g x 0.01g, y d) los componentes del color de bulbo (R, G, B) fueron determinados empleando el software computacional libre “Color Meter®” versión 1.0.3. El modelo experimental fue factorial completamente aleatoria de 4x3x3x5, dando como resultado 180 tratamientos con 5 repeticiones.

Una hormona vegetal es una sustancia endógena orgánica que se sintetiza en la planta y que se trasloca a otra parte de esta, en donde concentraciones bajas (10^{-9} M a 10^{-6} M) causan respuestas metabólicas y fisiológicas significativas, (Castillo, 2004). Las plantas tienen interacción de diferentes tipos de hormonas vegetales y estas a su vez se distribuyen en diferentes secciones de esta.

La primera hormona descubierta fue el ácido indolil-3-acético y se denominó Auxina (del griego crecer o incrementar) caracterizada por ser un estimulante en el crecimiento celular, división celular e iniciación de la raíz, existen más auxinas de origen natural como son el Ácido 4-cloro-indolacético (4-CIIAA), Ácido fenilacético (PAA), Ácido indol butírico (IBA) y el Ácido indol propiónico. Las auxinas se transportan por el xilema y floema, principalmente en tallos jóvenes, de igual manera puede presentarse en hojas esto dependerá por la edad de los tejidos y edad foliar otra fuente importante se presenta en las semillas en desarrollo donde se presenta una importante fuente de auxinas. (Cerezo, 2017).

El descubrimiento de las Giberelinas se remonta al año de 1809, sin embargo, hasta 1926 el científico japonés Eichi Kurosawa, aisló una sustancia promotora del crecimiento que se denominó “giberelina” diseñada a partir de hongos que parasitaban plantas de arroz causando la

enfermedad del “bakanoe” o “subida de las plantas” (Celis Bautista & Gallardo, 2008). Las giberelinas además de estar relacionadas con el crecimiento de las plantas ayudan a la germinación de semillas que se encuentran en etapa de latencia, formación de flores en plantas de día largo, favorece formación de floema, modificando con ello los procesos fisiológicos de la semilla afectados por condiciones extrínsecas. (Carranza, Castellanos, Deaza, & Miranda, 2016). Los factores ambientales, como la temperatura y, sobre todo, las condiciones luminosas en que se desarrollan las plantas modifican profundamente la síntesis de giberelinas. Los efectos mejor estudiados se han relacionado con la duración del fotoperiodo y la cantidad de luz (Cerezo, 2017 b). La síntesis de giberelinas se produce en los proplastidios de los tejidos meristemáticos de los brotes, pero no en los cloroplastos maduros de la planta y se puede ver afectada por procesos internos de retroalimentación negativa por factores como la temperatura, y condiciones de luz, esto relacionado a la duración que puede conllevar a una producción de giberelinas o inhibidores del crecimiento (Marrasi, 2007 & Cerezo, 2017). Las giberelinas son transportadas por el floema con productos de la fotosíntesis, de igual manera se desplazan por el xilema por desplazamiento radial, por lo general se movilizan a tejidos jóvenes, como son las puntas de los tallos, raíces y algunas hojas inmaduras (Tierra, 2009). Jordán y Casaretto, (2006) mencionan que las giberelinas se pueden emplear para que pasen de su fase juvenil a su fase adulta, e incluso para iniciar la floración y determinación del sexo, esto en variedades de día largo (14 h). El uso de giberelinas puede afectar genes de la cebolla como pueden ser los siguientes AGL20, LEAFY, AP3 y AG los cuales son responsables de la formación de sépalos, carpelos, estructura floral, pétalos, estructura floral, esto al aplicar giberelinas para obtener flores en estaciones del año en la que las condiciones climatológicas no son las adecuadas (invierno), o la obtención de frutos sin semilla (pericarpia), como es la producción de uva sin semilla, lo cual se logra al aplicar GA3, de igual manera se emplean en el malteado de la cebada y rendimiento de la caña de azúcar, ya que el uso de giberelinas en estos procesos ayudan a la concentración de sacarosa y fructosa.

Las citoquininas son hormonas que estimulan la división celular en tejidos meristemáticos. Son producidas principalmente en zonas de crecimiento, meristemas de las puntas de la raíz, las mayores concentraciones de citoquininas se encuentran en embrión y frutas jóvenes en crecimiento, lo cual genera en ellos una rápida división celular. Altos niveles de ésta, actúa como una fuente demandante de nutrientes. Estas se forman en las raíces y son translocadas a través del xilema hasta

el brote. Cuando estas se encuentran en las hojas son relativamente inmóviles y la falta de citoquininas permite que el nivel de ácido abscísico se incremente en la planta, (Tierra, 2009). Arroyo, (2014) menciona que emplear citoquininas en cebolla incrementa el rendimiento comercial, peso por bulbo, diámetro, longitud y la altura de la planta, pero reduce los sólidos solubles totales. Las citoquininas se producen principalmente en zonas meristemáticas de raíces, órganos aéreos de las plantas y tubérculos en crecimiento provocando en ellas división celular, proliferación de yemas auxiliares, dominancia apical, senescencia foliar, desarrollo de cloroplastos y floración, las cuales son sintetizadas a partir del ácido mevalónico, con intervención de la enzima citocinina sintasa (AMP). El transporte de las citoquininas en las plantas de cebolla es mediante dos direcciones, de la raíz es mediante el xilema y en las hojas a través del floema y parénquima, donde es más lento su movimiento y polar. En el xilema de las cebollas el flujo del acropétalo alcanza un máximo en los meses de marzo a abril, época de floración o época más cerca a esta, disminuyendo a finales de Mayo/Junio, siendo su forma predominante nucleósidos y nucleótidos. Existen dos tipos de Citoquininas las naturales y las sintéticas; las naturales son derivados de purinas como kinetina, n-bencil adenina y zeatina, y las sintéticas derivadas de la difenilurea (Forclorfenuron), ambos tipos con amplia actividad biológica similar, con amplio extenso de acción en tejidos y especies, siendo más potentes las de origen sintético. Las citoquininas derivadas de adenina estimulan la citocinesis (división del citoplasma durante la mitosis y/o meiosis), además de actuar en la dominancia apical, la polaridad de crecimiento, y fenómenos morfo genéticos (con auxinas) y además de estimular la ruptura de dormancia en órganos (Villatoro, 2014).

Resultados

Del análisis de los resultados registrados en las diferentes variables evaluadas, se obtuvo la correlación de Pearson (Tabla 1), donde se pudo apreciar que entre las variables DB y DE existió una correlación positiva altamente significativa al 68.74%, indicando que al aumentar en un tanto DB, DE aumentará proporcionalmente en un 68.74%. Por otra parte, la correlación entre las variables DB y R fue negativa, lo cual indicó que al aumentar en un tanto DB, R disminuyó en un 12.85% sugiriendo que a mayor diámetro de bulbo es menor la cantidad de cromóforos relacionados con el componente de color rojo. En lo que respecta a las variables DB y Peso se presentó una correlación positiva indicando que el diámetro de bulbo está muy relacionado con el

peso de este.

Tabla 1.

Coefficiente de relación de Pearson de variables respuesta en la aplicación de hormonas vegetales.

Coeficientes de correlación Pearson, N = 458						
Prob > r suponiendo H0: Rho=0						
	DB	DE	R	G	B	PESO
DB	1.00000	0.68743	-0.12849	-0.05452	-0.03435	0.80577
DE		1.00000	0.06728	0.11169	0.11367	0.63713
R			1.00000	0.88698	0.86624	-0.06622
G				1.00000	0.85134	-0.01134
B					1.00000	0.00535
PESO						1.00000

Fuente: Elaboración propia (2021)

Los resultados obtenidos de la aplicación de las diferentes hormonas vegetales en cebolla se muestran en la Figura 2 donde se pueden apreciar las diferencias mediante el análisis de sus histogramas y del porcentaje acumulado de cada evento. En la figura en el eje de las abscisas se presentan las clases de 20, 30, 40, 50 60 y superiores que representan el peso en gramos o las dimensiones en milímetros. En el eje izquierdo de las ordenadas se presentan la frecuencia de eventos de cada clase designada y en el eje derecho de las ordenadas se presenta el porcentaje acumulado del universo total medido para cada variable en cuestión.

En cuanto al diámetro de bulbo (DB), el testigo mostro que la mayoría de los eventos se presentaron en los 20, 30 y 40 mm. La aplicación de las diferentes hormonas evaluadas no presentó un comportamiento diferente al testigo, por lo que se puede afirmar que el diámetro de bulbo no se ve afectado por la aplicación hormonal en un ambiente salino de producción.

En relación con el diámetro ecuatorial (DE) del bulbo de cebolla, el Testigo mostro una mayor producción de bulbos de cebolla con dimensiones de 40 mm, seguida de 30 y 50 mm; en el

caso de la aplicación de Auxinas y MaxiGrow el comportamiento fue similar al testigo, pero los histogramas demuestran que con la aplicación de Engordone y Giberelinas hubo un aumento en la proporción de bulbos de cebolla con dimensiones iguales o menores a 20 mm. Por lo anterior, se puede decir que la aplicación de Engordone y Giberelinas para la producción de cebolla bajo un ambiente salino favorece la generación de bulbos de menor dimensión ecuatorial.

Según el histograma, en relación con el comportamiento del peso presentado por el tratamiento Testigo se pudo observar que la mayor proporción de eventos se obtuvieron a los 20 g. En el caso de la aplicación de las diversas hormonas se apreció un incremento en la proporción de eventos con pesos de 30, 40, 50 y hasta 60 g a excepción de la aplicación de las Giberelinas. Basado en los resultados anteriores, la aplicación de Auxinas, Engordone y Maxi-Grow fomentan el incremento en la proporción de bulbos de mayor peso en condiciones salinas por lo cual pueden ser consideradas como elementos en la conformación de una tecnología de producción de cebolla en suelos de alta salinidad como es el caso de los presentados en el ecosistema inmediato donde se desarrolló el presente experimento.

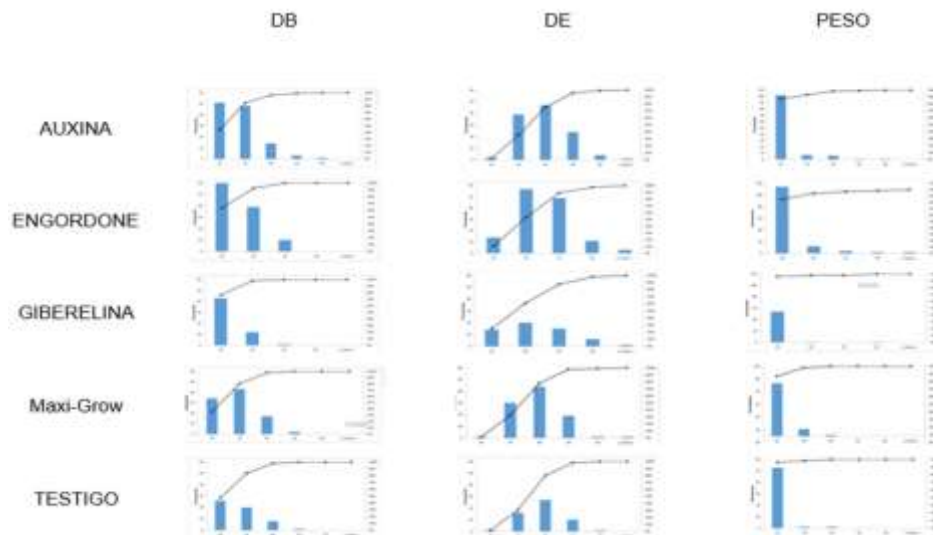


Fig. 2. Efecto dimensional y de masa en aplicación de hormonas vegetales sobre la producción de bulbo de cebolla (*Allium cepa* L.).

Fuente: Elaboración propia (2021)

Conclusiones

La aplicación de Auxinas, Engordone y MaxiGrow fomentaron el incremento en el peso del bulbo de cebolla, pero no en las dimensiones, por lo cual pueden ser consideradas como un elemento a ser integrado en la tecnología de producción comercial de cebolla.

Dados los resultados, se recomienda realizar investigaciones tendientes a optimizar la concentración de las hormonas antes referidas y realizarlas bajo condiciones de agua con calidad agrícola aceptable para la obtención capaces de satisfacer al productor rural del municipio de Salinas de Hidalgo.

Referencias

- Arroyo Becerra, J. C. (2014). dspace. Obtenido de dspace: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4621>
- Carranza, C., Castellanos, G., Deaza, D., & Miranda, D. (2016). Efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento sobre la germinación de semillas de badea (*Passiflora quadrangularis* L.) en condiciones de invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas Colombian Journal of Horticultural Science*, 285-291.
- Castillo Portela, G. (2004). <http://karin.fq.uh.cu>. Obtenido de <http://karin.fq.uh.cu>: http://karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS_TECNICAS/032/New/Documentaci%C3%B3n/Parte%20III/Bibliograf%C3%ADa/cap.%204.3/4.3.7.pdf
- Celis Bautista, L. X., & Gallardo, I. R. (2008). Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co>: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8948/tesis95.pdf?sequence=1>
- Cerezo Martínez, J. (2017 a). <https://georgiusm.files.wordpress.com>. Obtenido de <https://georgiusm.files.wordpress.com>: <https://georgiusm.files.wordpress.com/2017/11/tema-9-auxinas.pdf>
- Jordán, M., & Casaretto, J. (2006). <http://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal>. Obtenido de <http://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal>: <http://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Auxinasgiberelinasycitocinas.pdf>

Marrasi, M. A. (2007). biologia. Obtenido de biologia:
<http://www.biologia.edu.ar/plantas/hormona.htm#Giberellins>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019) consultado 28-10-2019
en <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

Tierra Tingo, L. E. (2009). dspace. Obtenido de dspace:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1351/1/17T0906.pdf>

Villatoro Galdamez, E. D. (2014). biblio3. Obtenido de biblio3:
<http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/09/Villatoro-Elmer.pdf>

Capítulo 11. Análisis fitoquímico preliminar y evaluación antifúngica de extractos orgánicos de la planta *Struthanthus sp.*

Liliana Ivonne García Rosa
Facultad de Ingeniería, UASLP
liliana.ivonne03@hotmail.com

Gerson Alonso Soto Peña
Facultad de Ingeniería, UASLP
gerson.soto@uaslp.mx

Erika García Chávez
Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, UASLP
Facultad de Ingeniería, UASLP
erika.garcia@uaslp.mx

Resumen:

Pérdidas en los alimentos frescos generadas desde la producción agrícola hasta la poscosecha son provocadas por factores físicos, químicos y biológicos. Los hongos fitopatógenos representan uno de los principales factores biológicos, que generan problemas en la conservación de la mayoría de los alimentos frescos, afectando la economía y la garantía de la disponibilidad alimentaria a favor el bienestar humano.

Con el aumento en el consumo de productos frescos tratados mínimamente con sustancias químicas, se sugiere la adición de componentes naturales como conservadores, con el fin de erradicar pérdidas generadas por poblaciones fúngicas. El presente estudio evalúa la capacidad antifúngica de extractos orgánicos (etanólico y hexánico) de hojas y ramas de *Struthanthus sp.* (seca palo), a concentraciones de 1000, 2000 y 3000 ppm contra *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.* y *Rizopus sp.*, así como su estudio fitoquímico preliminar con la finalidad de identificar los metabolitos presentes. La determinación antifúngica se realizó con los métodos de sensibilidad de pozo en agar y difusión en agar. Los resultados obtenidos por estas técnicas no mostraron inhibición de las poblaciones fúngicas evaluadas por los 2 de los métodos. Por lo que de manera adicional se evaluó la actividad antifúngica por la técnica de Microdilución. Los resultados demostraron que existe susceptibilidad en las concentraciones de 200 y 1000 ppm. Esto demuestra que las pruebas antifúngicas de hongos filamentosos *in vitro* no siempre predicen el éxito del tratamiento y no siempre la resistencia *in vitro* se asocia a falla en el tratamiento. Con respecto a los resultados del estudio fitoquímico preliminar, se demostró la presencia de Flavonoides, Taninos, Cumarinas, Alcaloides, Antocianinas principalmente, tales grupos generales de metabolitos secundarios se les ha asociado la capacidad antimicrobiana que se le atribuye y posiblemente sean los responsables de la actividad antifúngica evaluada.

Palabras clave. Fitopatógeno, Antifúngico, *Struthanthus*, Fitoquímico, Poscosecha

Introducción.

Por muchos años la preservación de los de alimentos frescos para el consumo humano ha representado un gran problema para aumentar los ingresos económicos y mejorar la seguridad alimentaria (FAO 2018).

Según la FAO (2018) existe una gran deficiencia en el manejo de los alimentos a partir de la postcosecha (almacenamiento y distribución), ocasionando pérdidas de productos frescos del 25 al 30% de frutas y hortalizas, a causa de agentes microbiológicos y deterioro fisiológico como: la disponibilidad de agua, el pH, daño mecánico durante la cosecha, envasado y transporte, o a las inadecuadas condiciones de traslado; se estima que los factores ambientales como la humedad y la temperatura también son un factor predominante, debido a que son responsables de pérdidas que ascienden a más del 40-50% en las regiones tropicales y subtropicales (Gustavsoon., et al 2012).

Entre los factores biológicos que principalmente causan el deterioro de los alimentos, es la presencia de diferentes tipos de microorganismos como bacterias, levaduras y mohos; esto propicia que un 20% de todos los alimentos producidos en el mundo se pierden por acción de los microorganismos (Alzamora., et al 2014).

Los hongos forman parte importante de las pérdidas poscosecha, como: *Geotrichum candidum*, que causa la pudrición ácida de frutos frescos; *Rizopus stolonifer*, *Alternaria arborescens* y *Stemphylium botryosum*, causando ambos la pudrición de moho negro; la pudrición por *Fusarium sp.* se desarrolla en forma de ramillete algodonado de micelio blanco, que va desde sombras de rosado y de anaranjado a violeta; *Penicillium sp.* provoca podredumbre de los frutos cítricos, atacando a la fruta cuando esta presenta heridas en su superficie (Davila., et al 2011).

Existen diferentes métodos de conservación (químicos y físicos) que prolonga la vida útil de alimentos, estos permiten mantener sus particularidades de calidad, color, textura, sabor y valor nutritivo. Dentro de los tratamientos químicos mayormente empleados se utiliza el ácido propiónico y propionatos, ácido sórbico y sorbatos, ácido benzoico y benzoatos, parabenos, entre otros (Desrosier, N, 2007). En el caso de los tratamientos físicos, se emplean los procesos de congelación, pasteurización, esterilización o deshidratación, conservas por altas y bajas temperaturas, bioempaques y biopelículas (Desrosier y Alzamora., et al 2014).

La alta demanda actual de la producción de alimentos saludables sin procesamientos químicos, han propiciado la búsqueda e investigación de productos naturales que ayuden en la conservación de los alimentos poscosecha (Alzamora., et al 2014).

Los aditivos provenientes de plantas han sido utilizados desde la antigüedad, y es por ello, que la valoración de la actividad biológica y química de los principios activos de plantas se ha incrementado en los últimos años (Sauceda., et al 2011).

Con este propósito, se plantea la búsqueda de plantas como una fuente invaluable de moléculas biológicamente activas conocidas como metabolitos secundarios con capacidad antimicrobiana, que pueden ser útiles en la agroindustria como alternativa natural de la conservación de alimentos poscosecha.

Entre los metabolitos secundarios que reportan actividad antimicrobiana están los Alcaloides, Esteroles, Flavonoides, Quinonas, Fenoles, Taninos, Saponinas, Cumarinas y los Heterosidos Cardiotonicos, entre otros (Miño y Gómez 2010).

Los alcaloides actúan mediante la interacción de la pared Celular y el DNA, los flavonoides son capaces de disminuir la permeabilidad de los capilares sanguíneos por eso su capacidad antimicrobiana y antiinflamatoria; las quinonas reportan actividad de inactivación de proteínas y anulan su función siendo un potencial antimicrobiano; los Taninos muestran actividad biológica actuando como inhibidores enzimáticos además privan a los microorganismos de medio apropiado para su desarrollo; unidas al colesterol y otros esteroides de la membrana celular, las saponinas, causan inestabilidad y muerte celular; las cumarinas muestran además propiedades antiinflamatorias y vasodilatadoras, interactuando con el ADN eucariota siendo antimicrobiano y antiviral (Guerrero, 2014).

El género *Struthanthus*, de los cuatro que componen la familia Loranthaceae conocida como injerto, seca palo o muérdagos son plantas arbustivas aéreas epífitas, esta planta se adhiere a los tallos de arbustos y árboles de diferentes especies en general frutales o cítricos como se muestra en la figura. Las hojas del *Struthanthus* son utilizadas en medicina natural como una opción para aliviar la tos y producir sedación, como remedio como antipirético y enfermedades gastrointestinales, pero también se ha descrito un efecto hipoglucémico (Pérez M., 2004).

En esta investigación, se propone evaluar la actividad antifúngica de *Struthanthus* sp., con base en la capacidad antimicrobiana de sus extractos orgánicos (Carrillo y Vizoratti 2016)

Materiales y métodos.

Esta investigación se llevó a cabo en el Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en los laboratorios de Bioprocesos, Agroprocesos y Fitoquímica.

Recolección de material vegetal

Los tallos y hojas en estado de floración se recolectaron en la Huasteca Potosina en arboles hospederos de Naranja, en un horario aproximado de 4:00 pm a 6:00 pm en el mes de julio de 2020, en el municipio de Xilitla SLP. Se separó hojas y ramas, para su secado a la sombra.

Estudio Fitoquímico preliminar.

A través de reacciones de coloración y precipitación determinaron cualitativamente la presencia de: carbohidratos, esteroides azúcares reductores, saponinas, alcaloides, cumarinas, taninos, lactonas, antocianinas, flavonoides, fenoles y glucósidos cardiotónicos, etc., de acuerdo con el método de Covarrubias (2009) en extractos orgánicos y acuosos de hojas y tallos del material vegetal.

Evaluación antifúngica.

Fitopatógenos. Las cepas de *Fusarium* sp., *Rizopus* sp y *Penicilium* sp. fueron donados por el Laboratorio de Micología de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Para su conservación se sembraron en agar papa dextrosa acidificado, y se incubaron a 25°C.

Preparación del inóculo. Se hizo una inoculación de cepas revitalizadas en solución inyectable para el ajuste de colonias que se aclaró con azul de Lactofenol y en una cámara de Neubauer se hizo el conteo que se ajustó mediante factor de dilución. Concentración de 1×10^8 conidios/ml hasta alcanzar un valor intermedio al rango de 0.08 a 0.13, similar al tubo 0.5 de la escala de Mac Farland.

$$\text{Concentración} = \frac{\text{no. de células} \times 10,000}{\text{no. de cuadros}} \times \text{Dilución} \quad (1)$$

Obtención de extractos. 100 gr de material vegetal (hojas y tallos), fueron sometidos a maceración en relación de 1:4 en etanol y hexano. Los extractos fueron colocados bajo obscuridad y en agitación constante durante 15 días. Posteriormente a este tiempo los extractos fueron filtrados y pesados en cápsulas a peso constante y se calculó el rendimiento de cada uno por kg de planta. Los tratamientos de cada extracto en concentraciones de 1000, 2000 y 3000 ppm fueron diluidos con DMSO (4%) y solución inyectable.

Evaluación antifúngica de los extractos vegetales: Métodos Pruebas de sensibilidad.

Se utilizó Agar dextrosa y papa (APD) marca BD Bioxon ajustado a un pH de 3.5 con ácido tartárico al 10%. El agar preparado fue distribuido en las cajas Petri a utilizar de acuerdo con el tipo de hongo y tratamiento. Material proveniente esterilizado.

Pozo en agar. Se utilizó el método estandarizado por Tapia (2009). Se colocaron 100 µl de solución inoculada previamente ajustada en la concentración de 1×10^8 conidios/ml, se distribuyó el inóculo por toda la superficie del agar papa dextrosa acidificado con ayuda de perlas estériles. Se permitió que la superficie del medio sembrado se secase durante 5-20 minutos, manteniendo la caja con la tapa cerrada. Una vez realizada la siembra, el pozo se formó y se colocó dentro del mismo 30 µl de la solución inhibitoria (tratamientos) y control de dilución.

Difusión en agar. Método estandarizado Kirby Bauer Tapia (2009). Los discos de papel filtro estéril impregnados con los tratamientos se colocaron sobre la superficie del agar previamente inoculada con 100 µl de solución de hongos, los cuales se presionaron a la superficie para garantizar su total contacto con el medio.

Para calcular el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial para las dos pruebas de sensibilidad (% CMI) se utiliza la siguiente formula:

$$\%ICM = \frac{\text{Diámetro colonial control} - \text{diámetro colonial control}}{\text{diámetro colonial control} - \text{diámetro del pozo}} \times 100 \quad (2)$$

El experimento que se realizó por duplicado, las cajas se depositaron en la incubadora a 25°C cuidando el crecimiento para realizar las lecturas durante 5 días.

Microdilución en caldo por absorbancia. Se inoculó el hongo en Caldo nutritivo LB a una concentración de 10⁸ conidias/ml con una absorbancia inicial de 0.5, añadiendo una dilución de los tratamientos (200 y 1000 ppm) con 4% de DMSO del volumen total. Los tubos falcon se dejaron en agitación constante (30 rev/min) haciendo mediciones de absorbancia cada 24 horas por 3 días.

Un incremento de absorbancia indicó el crecimiento del hongo, en menores absorbancias comparando con el control se puede decir que existe inhibición.

Análisis estadístico. Los resultados de la actividad antifúngica fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo y para encontrar diferencias entre los tratamientos se realizará un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba post hoc de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados

Tamiz Fitoquímico.

La tabla 1 muestra los resultados de la evaluación de los extractos acuoso. Muestra 1 y 2 infusión Hoja y tallo respectivamente; muestra 3 corresponde a la decocción de hoja y la muestra 4 a la decocción de tallo.

Tabla 1.

Resultados del análisis fitoquímico de extractos acuosos. (+) = Prueba positiva (-) = Prueba negativa.

Reacción	Infusión		Decocción	
	1	2	3	4
Flavonoides	-	+	-	+
Antocianinas	+	+	+	+
Esteroles	+	-	+	-
Taninos hidrolizables	+	+	+	+
Taninos	+	+	+	+
Quinonas	+	+	+	+
Antraquinonas	+	-	-	+

Fuente: Elaboración propia (2021)

En la tabla 2 se muestra los resultados para las pruebas en etanol y hexano. Muestra 5 extracto etanólico de hojas, muestra 2 extracto etanólico de tallo, muestra 3 y 4 extracto hexánico de hojas y tallos respectivamente.

Tabla 2.

Resultados del análisis fitoquímico de extractos acuosos. (+) = Prueba positiva (-) = Prueba negativa.

Reacción	Etanólico		Hexánico	
	1	2	3	4
Flavonas	-	+	-	+
Antocianinas	+	+	+	+
Cumarinas	-	-	+	+

Fuente: Elaboración propia (2021)

De acuerdo con la tabla 1 y 2 la presencia de compuestos Fenólicos y flavonoides está presente en la especie vegetal. En la Tabla 1 tanto las hojas y tallos para las pruebas de Antocianinas y Taninos hidrolizables, Taninos y Quinonas muestran actividad importante; en la tabla 2 la presencia de Antocianinas arroja resultados positivos favorables.

Con lo anterior y en resultados previos reportados por Vizorrati (2016) para *Struthanthus vulgaris*, las hojas muestran mejor contenido de Fenoles (pirogalol) en comparación con el tallo. Igualmente reporta actividad de Flavonoides totales en concentraciones de 1.9 ± 0.2 a 13.3 ± 4.3 mg/g de extracto seco de hojas y ramas respectivamente (Vizzorrati., et al 2016).

En comparación con *Orycanthus sp* planta de la familia del género *Struthanthus* los grupos funcionales muestran resultados considerables para Fenoles, Moderado en Taninos y Cumarinas (Guerrero, 2014).

Pruebas de Evaluación antifúngica.

En la tabla 3 y 4 se muestran los resultados para las pruebas de sensibilidad de Pozo en agar y Difusión en agar. Los cuales no mostraron actividad antifúngica.

Tabla 3.

Resultado prueba antifúngica de *Struthanthus sp.* extracto etanólico. (-) Inhibición negativa (+) Inhibición positiva.

Tratamientos	<i>Penicillium sp.</i>		<i>Rizopus sp</i>		<i>Fusarium sp.</i>	
	Hojas	Tallos	Hojas	Tallos	Hojas	Tallos
1000 ppm	-	-	-	-	-	-
2000 ppm	-	-	-	-	-	-
3000 ppm	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 4.

Resultado prueba antifúngica de *Struthanthus sp.* extractos de hexánico. Donde (-) Inhibición negativa (+) Inhibición positiva.

Tratamientos	<i>Penicillium sp.</i>		<i>Rizopus sp</i>		<i>Fusarium sp.</i>	
	Hojas	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas	Ramas
1000	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-
3000	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2021)

En los resultados para prueba de Difusión en agar, de los tratamientos sobre *Penicillium sp*, *Fusarium sp* y *Rizophus sp*. se muestra en la tabla 5 y 6 para los extractos etanólico y hexánico. Las lecturas del ensayo fueron a las 72, 96 y 120 horas de la incubación para determinar su actividad antifúngica *in vitro*.

Al analizar los resultados se muestran que, al aplicar concentraciones de 1000, 2000 y 3000 ppm no observó actividad antifúngica.

Tabla 5.

Resultado prueba antifúngica de *Struthanthus sp.* extractos de etanólico. Donde (-) Inhibición negativa (+) Inhibición positiva.

Tratamientos	<i>Penicillium sp.</i>		<i>Rizopus sp</i>		<i>Fusarium sp.</i>	
	Hojas	Tallos	Hojas	Tallos	Hojas	Tallos
1000 ppm	-	-	-	-	-	-
2000 ppm	-	-	-	-	-	-
3000 ppm	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 6.

Resultado prueba antifúngica de *Struthanthus sp.* extractos de hexánico. Donde (-) Inhibición negativa (+) Inhibición positiva.

Tratamientos	<i>Penicillium sp.</i>		<i>Rizopus sp</i>		<i>Fusarium sp.</i>	
	Hojas	Ramas	Hojas	Ramas	Hojas	Ramas
1000	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-
3000	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2021)

De acuerdo con la nula actividad antifúngica mostrada por los tratamientos evaluados de *Struthanthus*. Se determinó de manera adicional la evaluación de la actividad antifúngica por el método de microdilución, porque el cultivo de hongos filamentoso tiene una mayor dificultad en ser susceptible a diferencias de hongos que crecen en la superficie como las levaduras, las cuales están mayor tiempo en contacto con los tratamientos y eso permite una mayor absorción o zona de contacto. Si bien las metodologías empleadas son las empleadas comúnmente para evaluar este tipo de hongos y constituyen un notable avance en la terapia de infecciones fúngicas, aún no se ha podido establecer una metodología para la evaluar susceptibilidad de hongos filamentosos que permitan disminuir la generación de resultados erróneos (Tapia C, 2009).

Los resultados para experimentos a una baja concentración (200 y 1000 ppm) de *Struthanthus sp.* se muestran en las figuras 1 y 2 contra *Fusarium sp.* de las hojas y ramas en extracto etanólico.

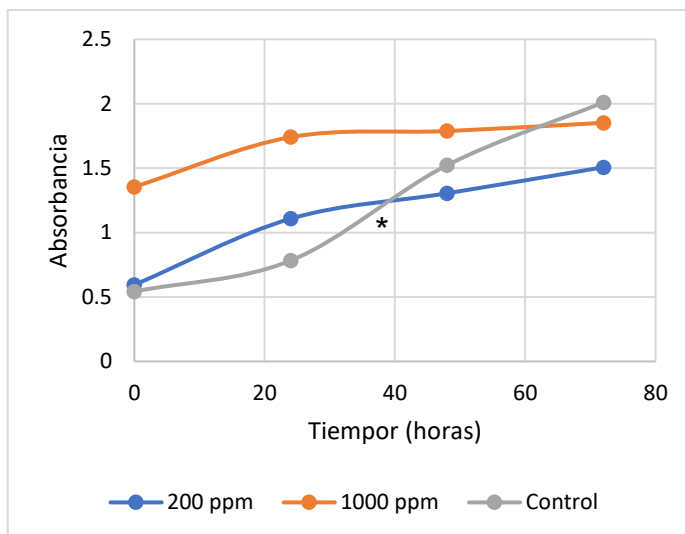


Figura 1. Actividad antifúngica del extracto etanólico de hojas de *Struthanthus* sp. contra *Fusarium* sp. a las 0, 24, 48 y 72 hrs. n=3.

Fuente: Elaboración propia (2021)

Para las pruebas de extracto etanólico de hojas y ramas contra *Fusarium* sp. a las 72 hrs se observó una absorbancia menor de manera significativa de manera significativa ($p > 0.05$) de las concentraciones de 200 y 1000 ppm en comparación con el control.

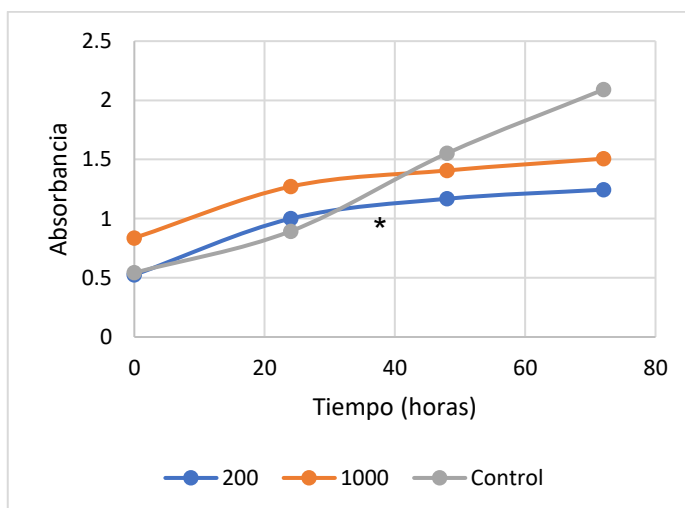


Figura 2. Actividad antifúngica del extracto etanólico de tallos de *Struthanthus* sp. contra *Fusarium* sp. a las 0, 24, 48 y 72 hrs. n=3.

Fuente: Elaboración propia (2021)

Las figuras 3 y 4 muestra una disminución de la absorbancia de manera significativa con la concentración de 200 ppm del extracto etanólico de las hojas de *Struthanthus* sp. a las 72

horas con respecto al grupo control, esto demuestra la susceptibilidad contra *Penicilium sp.* tal comportamiento también fue observado para la misma concentración, pero con el extracto etanólico de tallos de la especie vegetal (Figura 4)

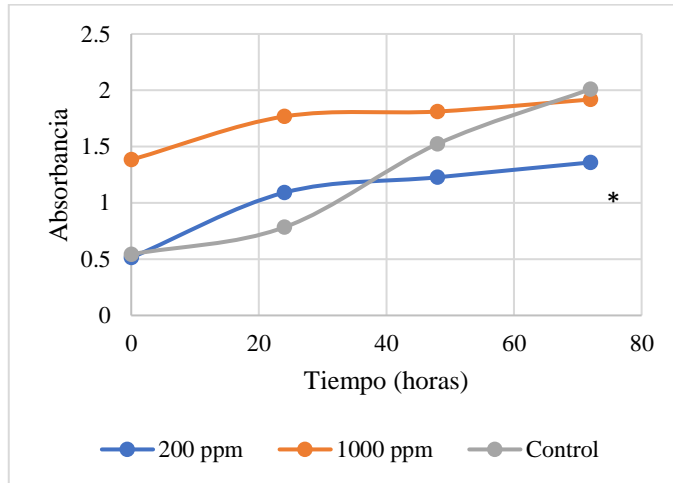


Figura 3. Actividad antifúngica del extracto etanólico de hojas de *Struthanthus sp.* contra *Penicilium sp.* a las 0, 24, 48 y 72 hrs. n=3.

Fuente: Elaboración propia (2021)

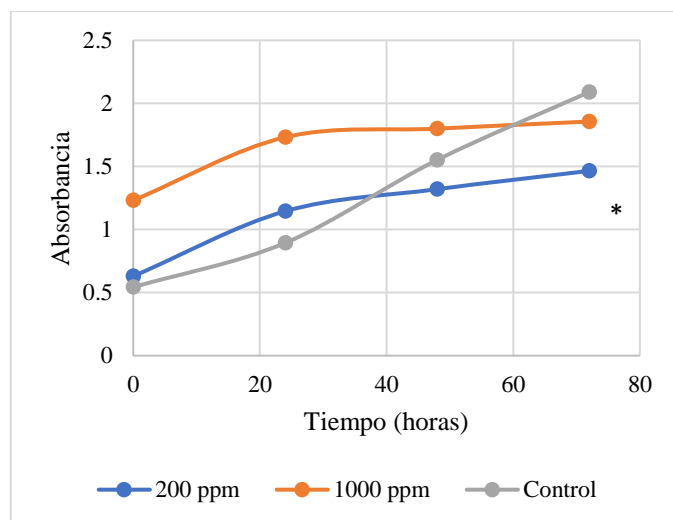


Figura 4. Actividad antifúngica del extracto etanólico de tallos de *Struthanthus sp.* contra *Penicilium sp.* a las 0, 24, 48 y 72 hrs. n=3.

Fuente: Elaboración propia (2021)

Con respecto al efecto antifúngico del extracto etanólico de hojas de *Struthanthus sp* contra *Rizophus sp* se observó que a las 48 horas de iniciado el tratamiento la concentración de

200 ppm muestra disminución significativa en la absorbancia con respecto al control. Sin embargo, esta no se mantuvo hasta las 72 horas (Figura 5).

En el caso del extracto etanólico con tallos a la concentración de 200 ppm si mostró una disminución significativa ($p > 0.05$) con respecto al control, la cual se mantuvo a las 48 y 72 horas de iniciado el experimento (Figura 6) contra *Rizopus sp.*, mantienen una absorbancia menor.

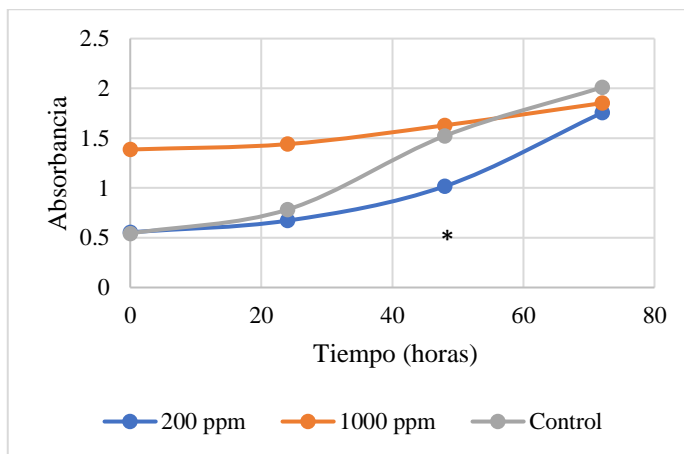


Figura 5. Actividad antifúngica del extracto etanólico de hojas de *Struthanthus sp.* contra *Rizopus sp.* a las 0, 24, 48 y 72 hrs. $n=3$.

Fuente: Elaboración propia (2021)

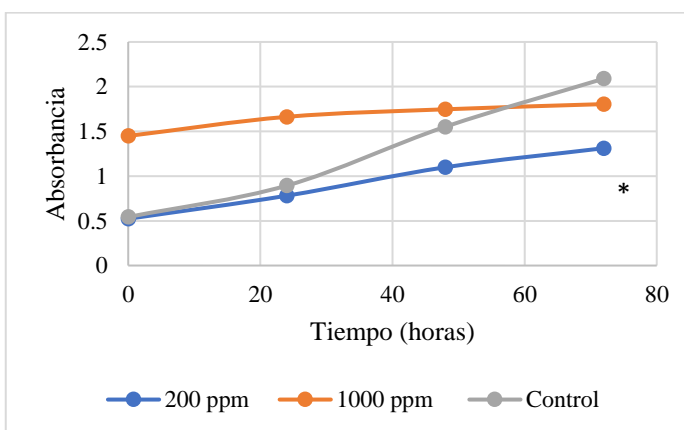


Figura 6. Actividad antifúngica del extracto etanólico de tallos de *Struthanthus sp.* contra *Rizopus sp.* a las 0, 24, 48 y 72 hrs. $n=3$.

Fuente: Elaboración propia (2021)

En el estudio realizado por Tapia (2009) señala que la susceptibilidad de los hongos filamentosos *in vitro* no siempre predice el éxito del tratamiento y no siempre la resistencia *in vitro* se asocia a falla en el tratamiento. Es necesario establecer los parámetros más adecuados dependiendo de la fuente de extracción, para obtener los mejores resultados (Jiménez., et al 2014).

Los resultados obtenidos por Microdilución corrobora lo observado por Tapia (2009) que señala que la susceptibilidad de los hongos filamentosos *in vitro* no siempre predice el éxito del tratamiento y no siempre la resistencia *in vitro* se asocia a falla en el tratamiento. Es necesario establecer los parámetros más adecuados dependiendo de la fuente de extracción, para obtener los mejores resultados (Jiménez., et al 2014).

Conclusión

Se corroboró la presencia de metabolitos secundarios como Fenoles, Cumarinas, Antocianinas, Esteroles, Taninos, Saponinas y Alcaloides. Sin embargo, los extractos etanólico y hexánico de hojas y tallos de *Struthanthu sp.* Los cuales posiblemente son los responsables de la actividad antifúngica demostrada por Microdilución.

Cabe señalar que la metodología empleada es fundamental para garantizar el éxito de los tratamientos ante la susceptibilidad de los hongos de estudio.

Agradecimientos.

Al instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la UASLP, al CA de Recursos Bióticos por el financiamiento de este proyecto. Al soporte técnico de María Eugenia Reyna Ortega y la Dra. Bertha Irene Juárez Flores por la facilidad recibida para la realización del estudio Fitoquímico.

Referencias.

Alzamora, S., Guerrero, S., Nieto, A., & Vidales, S. (2014). Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas.

Carrillo, M., REYES, Abigail y Carranza, C. Análisis fitoquímico y actividad antimicrobiana de plantas que crecen en la Huasteca Potosina. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias 2015, 2-3:387-391

Covarrubias, C. A. (2009) Caracterización de la locomoción de ratas expuestas a semillas de *Dioon edule* Lindl IIZD UASLP.

- Dávila, A., Herrera, L., (2011). Hongos asociados a las pudriciones secas. *Centro Agrícola*, 38(4), 13-19.
- Desrosier, S., Sirard, M. A., & Assidi, M. (2007). In vivo and in vitro effects of FSH on oocyte maturation and developmental competence. *Theriogenology*, 68, S71-S76.
- FAO. (2018). Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Manual de capacitación (Vol. 2). Food & Agriculture Org..
- Gómez, C. (2010) Evaluación de la actividad antibacteriana y antimocotica de los extractos de *Myrcianthes Halli*, *Amaranthus asplundii*, *Peperomia peltigera*, especies reportadas e Peguche, Sobre *Streptococcus mutans*, *Klebsiella pneumoniae*, *Candida albicans*, causantes de enfermedades bucofaríngeas, ESPE.
- Guerrero Aleaga, N. D. (2014). Caracterización fitoquímica y actividad biológica de *Oryctanthus Spicatus* (Loranthaceae) (Bachelor's thesis).
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2012). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo.
- Jiménez, E. V., & Mosquera, O. M. (2014). Actividad antifúngica in vitro de tres extractos de plantas frente a *Botrytis cinerea* (Moho gris). *Salud & Sociedad*, 1(2).
- Miño, G. (2007). Investigación fitoquímica del principio activo en seis especies del género *Baccharis*. ESPE.
- Pérez M.D. (2004) Plantas antidiabéticas utilizadas en México: validación del efecto hipoglucemiante de *Struthanthus* sp. Tesis de Licenciatura (Biólogo) Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 64 p
- Sauceda, E. N. R. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 7(1), 153-170.
- Tapia, C., & Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. *Revista chilena de infectología*, 31(1), 85-86.
- Tapia, C. V. (2009). Actualización en pruebas de susceptibilidad antifúngica. *Revista chilena de infectología*, 26(2), 144-150.
- Vittorazzi, C., Endringer, D. C., Andrade, T. U. D., Scherer, R., & Fronza, M. (2016). Antioxidant, antimicrobial and wound healing properties of *Struthanthus vulgaris*. *Pharmaceutical biology*, 54(2), 331-337.

Capítulo 12. Control de una suspensión semiactiva basada en MRD

Nidia Lizcano Estrada

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
lizcanonidia@hotmail.com

Dr. Francisco Javier Martínez López

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
fjml@uaslp.mx

Dra. Zaira Pineda Rico

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
zaira.pineda@uaslp.mx

Resumen

El trabajo presentado incluye una recopilación de varios modelos de amortiguadores magneto reológicos (MRD), como son: Bingham, Dahl y Bouc-Wen. El desempeño de cada amortiguador es analizado en conjunto con el modelo de una suspensión semiactiva de un cuarto de vehículo y un controlador PID. Los resultados de desempeño se obtuvieron a través de la simulación del modelo matemático considerando tres escenarios distintos y utilizando la herramienta MATLAB®/Simulink® además de reglas de sintonización para el ajuste de los controladores.

Palabras clave

Magneto-reológico; suspensión pasiva, suspensión semi activa, controladores, sintonización

Introducción

Aislar las fuerzas transmitidas por la excitación externa de irregularidades del terreno es una tarea primordial de cualquier sistema de suspensión. Este problema se aborda colocando un sistema de suspensión entre el origen de las vibraciones o irregularidades y la estructura. El sistema de suspensión se conforma por elementos tipo resorte en paralelo con elementos disipativos como amortiguadores viscosos.

En el caso de un vehículo, una suspensión de automóvil clásica tiene como objetivo lograr el aislamiento de las características e irregularidades del trayecto y al mismo tiempo permite mejorar el agarre y el manejo de la unidad. Por lo que, las características dinámicas del resorte y de la amortiguación son seleccionados para cumplir estándares de comodidad, agarre y manipulación. Dependiendo del tipo de vehículo, el primero o el último criterio se enfatiza. En aplicaciones diferentes a las automotrices (por ejemplo, maquinarias rotativas, mitigación de vibraciones en estructuras civiles, sistemas de seguimiento solar) el criterio de comodidad no es normalmente un problema, pero existen otras especificaciones, por ejemplo, sobre el valor máximo de desplazamientos, velocidades, etc.

Las suspensiones pasivas buscan lograr un comportamiento aceptable en cualquier gama de frecuencia de trabajo, por lo que como consecuencia tienen limitaciones en la compensación de la velocidad del resorte y la amortiguación, que en ocasiones pueden llegar a comprometer el confort y la maniobrabilidad del vehículo [1]. La necesidad de un compromiso entre estos requisitos en conflicto ha motivado la investigación de sistemas de suspensión controlados, donde las características de amortiguación se controlan en un bucle cerrado. Usando una fuente de alimentación externa y actuadores controlados por suministro y retroalimentación, los sistemas de suspensión controlados pueden ser diseñados para superar a cualquier sistema pasivo. Para ello, existen los amortiguadores magneto-reológicos que pueden cambiar su coeficiente de amortiguamiento en cuestión de milisegundos, al ser expuesto a un campo magnético. Los amortiguadores magneto-reológicos proporcionan características de controlabilidad y por lo tanto cada vez son más utilizados en el diseño de suspensiones semi activas de un vehículo comunes [2] así como en vehículos especiales, para

la construcción y para la agricultura: al igual que en automoción, pero con el uso también de suspensiones para cabinas y para asientos.

En el desarrollo tecnológico de los sistemas de suspensión activas se utilizan sistemas de control de lazo abierto o cerrado que, al detectar desviación de los parámetros previamente establecidos del funcionamiento normal del sistema, actúan mediante un conjunto de sensores, controladores y actuadores, para llevar al sistema de regreso a sus condiciones normales de funcionamiento. En la industria hoy en día más de la mitad de los controladores industriales que se utilizan son principalmente esquemas de control clásico PID. [14]

La ventaja de los controles PID es que se emplean de forma casi general a la mayoría de los sistemas de control. En específico cuando el modelo matemático de la planta no se conoce. En el campo de los sistemas de control de procesos, es un hecho conocido que los esquemas de control PID básicos han demostrado su utilidad para aportar un control satisfactorio. [11]

En este trabajo se comienza haciendo un breve análisis de un modelo pasivo de un cuarto de vehículo y se muestran los modelos con un amortiguador magneto-reológico tomado de la literatura. A continuación, se unen los modelos mencionados anteriormente para obtener el modelo de suspensión semiactiva con las masas de un cuarto de vehículo. Por último, se presentan los parámetros y resultados de simulación de cada uno de los modelos. Los resultados presentados se obtuvieron a través de la simulación numérica con varias referencias o señales de entrada que emulan las irregularidades en el perfil de la carretera como función del tiempo. Para este estudio se consideró el escalón unitario, sinusoidal con una amplitud y una frecuencia específicas y ruido aleatorio. Se muestra un análisis del sistema de ecuaciones y en el modelo de bloques se le adiciona un sistema de bucle de retroalimentación de control PID para cada modelo de amortiguador MR, utilizando las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols para el ajuste de los parámetros (K_p , T_i y T_d).

Metodología

Para estudiar la dinámica vertical de un vehículo con sistema de suspensión es común utilizar un modelo de cuarto de vehículo (Fig. 1), el modelo es simple y adecuado para un

diseño preliminar representando las ecuaciones diferenciales (1) y (2) en el programa Simulink. Los parámetros utilizados para la simulación de la suspensión se muestran en la Tabla 3. Y los valores de entrada son onda sinusoidal con 7,77 rad/seg, ruido blanco aleatorio generado con un número aleatorio uniforme (-0,0375 m y +0,0375 m) y Heaviside función de paso con la magnitud de 0.075 m (entrada escalón unitario).

Los tres modelos de MRD expresan comportamientos de histéresis de los líquidos no newtonianos utilizados en amortiguadores. El comportamiento que genera cada uno es diferente, y por consecuencia su eficiencia es distinta incluyendo sus ventajas y desventajas al momento de estudiarlos, esto es porque sus formulaciones de los bucles de histéresis no son las mismas. Y estas ventajas y desventajas serán evidentes al momento de analizar comparativamente sus respuestas.

En los modelos de Bingham, Dahl y Bouc-Wen, la fuerza de control está conectada con el modelo de un cuarto de vehículo alimentando la masa suspendida con el signo (-) y la masa no suspendida con el signo (+). (Fig. 7, Fig. 9 y Fig. 11)

Los tres modelos de simulación están acomodados como subsistemas tal como se observa en el incluyendo el modelo de suspensión pasiva (Fig. 5) y conectados a las diferentes señales de excitación y así comparar los desempeños de cada uno incluyendo el sistema pasivo. La respuesta del sistema es $x(t)$ desplazamiento de la carrocería (masa suspendida) provocado por las excitaciones del terreno.

Como se menciona anteriormente, las señales de entrada (Función escalón, onda sinusoidal y ruido aleatorio) son consideradas como las irregularidades del terreno para la simulación, esto quiere decir que son irregularidades generadas numéricamente por el programa. Todas estas señales de excitación están establecidas para tener un desplazamiento máximo de 0.075 m.

Una vez obtenidos los resultados de las simulaciones del semiactivo y analizado sus respuestas comparativas con el sistema pasivo se observa el sistema y se estudian las ecuaciones para extraer la señal de control de cada uno de los amortiguadores MR y aplicar la estrategia de control adecuada. El sistema de control proporcional integral derivativo está

acoplado en los bloques tal como se muestra en las figuras (Fig. 7, Fig. 9 y Fig. 11), en donde la conexión de los bloques del controlador está organizada por un bucle de retroalimentación (Fig. 3 y 4), una forma similar a la conexión entre el sistema semiactivo con el modelo de un cuarto de carro y se sintonizan acuerdo con las reglas ajuste de Ziegler- Nichols

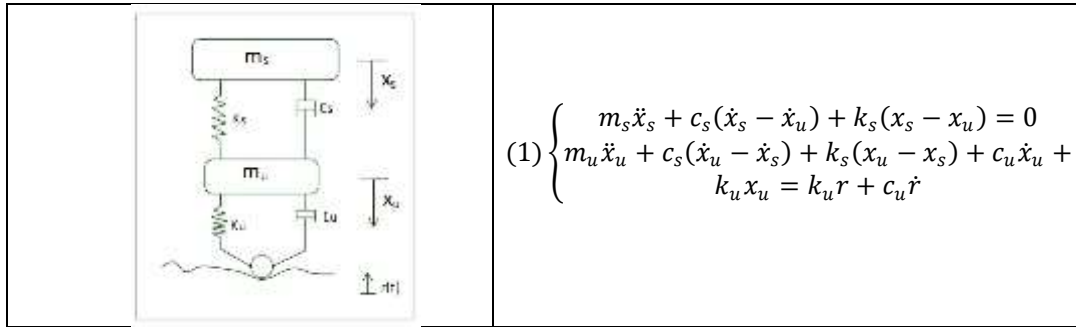


Fig 1. Representación esquemática del sistema Pasivo.

donde x_s , \dot{x}_s y \ddot{x}_s son desplazamiento, velocidad y aceleración de la masa suspendida, respectivamente, x_u , \dot{x}_u y \ddot{x}_u de la masa no suspendida, c_s y c_u son los coeficientes de amortiguamiento, k_s y k_u corresponden a la rigidez de la suspensión y del neumático. Por otro lado, $r(t)$ y \dot{r} corresponden a la rugosidad del terreno (perturbación), m_s y m_u son la masa suspendida y la masa no suspendida, respectivamente, del cuarto de vehículo.

Por otro lado, se plantea la representación esquemática (Fig. 2) y el sistema de ecuaciones de estado de la suspensión semiactiva

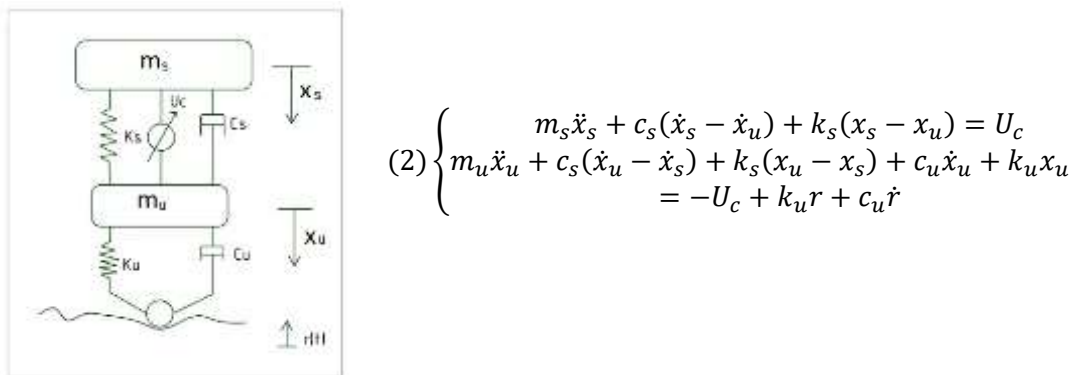


Fig 2. Representación esquemática del sistema semiactivo.

donde U_c es la fuerza de control proporcionada por el amortiguador magneto-reológico.

Fig 3. Diagrama de bloques de un controlador PID en un bucle de retroalimentación. $r(t)$ es el valor de proceso deseado o el punto de ajuste, y $y(t)$ es el valor de proceso medido.

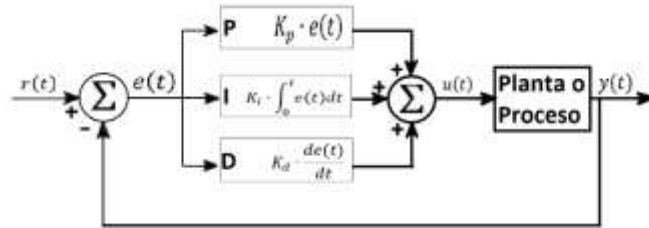


Fig 4. Representación del diagrama de bloques del sistema.

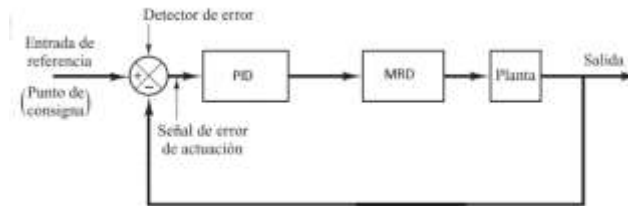
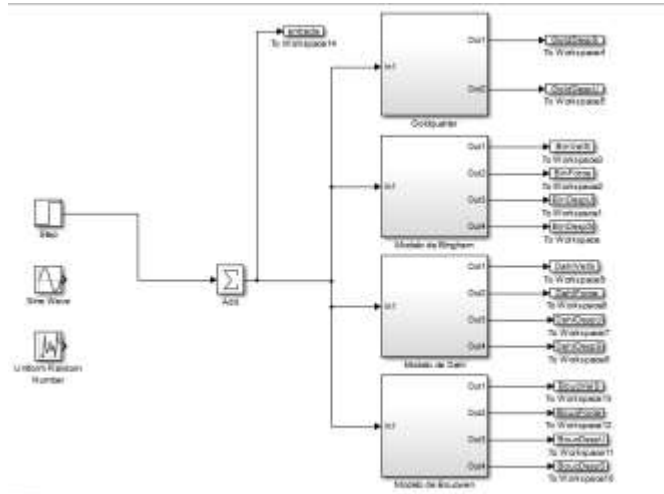


Fig 5. Modelo de sistema controlado pasivamente frente a tres modelos de MR como subsistemas.

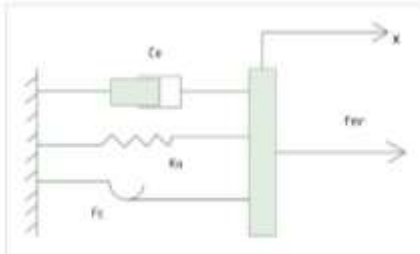


Modelos de amortiguadores magneto-reológicos

Los modelos matemáticos analizados son: Bingham, Dahl y Bouc-Wen [7,8,9]. El modelo de Bingham se utiliza para describir el comportamiento de fluidos MR y electro-reológicos (ER) y está basado en un elemento de fricción de Coulomb dispuesto en paralelo con un amortiguador viscoso, como se muestra en la Fig. 6. En este modelo \dot{x} representa la

velocidad del pistón del amortiguador. La fuerza ejercida por el dispositivo se expresa de la siguiente manera:

Fig 6. Dispositivo de control de modelo de Bingham.

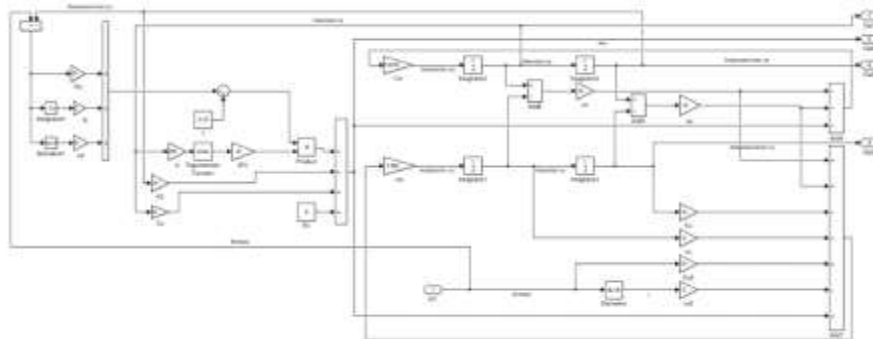


$$(3) \begin{cases} F_{mr} = F_c \operatorname{sgn}(\dot{x}) + c_0 \dot{x} + k_0 x + F_0 \\ F_{mr} = \frac{2F_c \tan^{-1}(d \cdot \dot{x})}{\pi} + c_0 \dot{x} + k_0 x + F_0 \end{cases}$$

donde k_0 es la rigidez de un componente elástico, F_0 es la fuerza de compensación, d es el factor de forma y F_c fuerza de fricción. Los inconvenientes del modelo de Bingham se observan si se estudia la respuesta entre la fuerza y la velocidad. Aunque este modelo puede ser el adecuado para el análisis de la respuesta del amortiguador MR, el modelo falla para una aplicación de control debido a incongruencias entre los resultados dados por el modelo y los datos obtenidos en los ensayos [10]. Este modelo no predice adecuadamente el comportamiento del amortiguador MR cuando la velocidad del pistón tiende a cero; en esta condición la fuerza adquiere un valor positivo con una aceleración negativa (i.e. desplazamiento positivo) y viceversa.

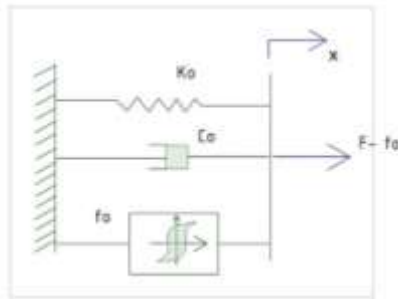
En la Fig. 7 se muestra el diagrama de bloques del modelo semiactivo de Dahl en MATLAB®/Simulink® en donde se muestra la estructura del modelo y el controlador PID.

Fig 7. Diagrama de bloques en MATLAB®/Simulink® para el modelo de Bingham y su diagrama de control PID



Modelo de Bouc- Wen: Este es uno de los primeros modelos paramétricos utilizados para el modelado dinámico de dispositivos con histéresis ya que es muy versátil y presenta una gran variedad de comportamientos histeréticos [10]. En la Fig. 8, se muestra un esquema simplificado de este modelo para un amortiguador MR.

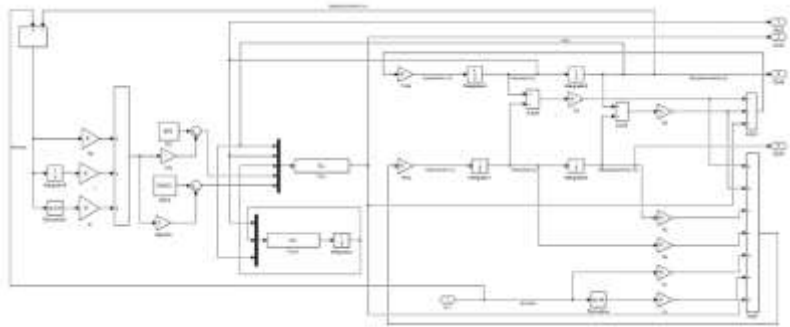
Fig 8. Representación esquemática del modelo de Bouc-Wen



$$(4) \begin{cases} F_{mr} = c_0(u)\dot{x} + k_0x + \alpha(u)y + f_0 \\ \dot{y} = -\gamma|\dot{x}|y|y|^{n-1} - \beta\dot{x}|y|^n + A\dot{x} \end{cases}$$

donde c_0 es el coeficiente de amortiguamiento, α es definido por el control de voltaje u . A , γ , β y n son parámetros que definen la forma correspondiente al fenómeno de histéresis. La Fig. 9 muestra el diagrama de bloques del modelo semiactivo de Bouc-Wen en MATLAB®/Simulink® en donde se muestra la estructura del modelo y el controlador PID.

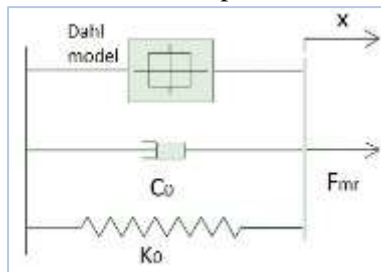
Fig 9. Diagrama de bloques en MATLAB®/Simulink® para el modelo de Bouc-Wen y su diagrama de control PID



Por último, el modelo de Dahl supone una mejora en cuanto a que ofrece mayor simplicidad ya que simplifica considerablemente el modelo del sistema, pasa de catorce variables en el modelo Bouc-Wen a ocho variables. Este modelo calcula de manera precisa la relación

fuerza-velocidad a bajas velocidades. Para poder calibrar el modelo de Dahl modificado al aplicar un campo magnético, es necesario hallar la relación entre los parámetros del modelo y el campo magnético aplicado. (Fig. 10)

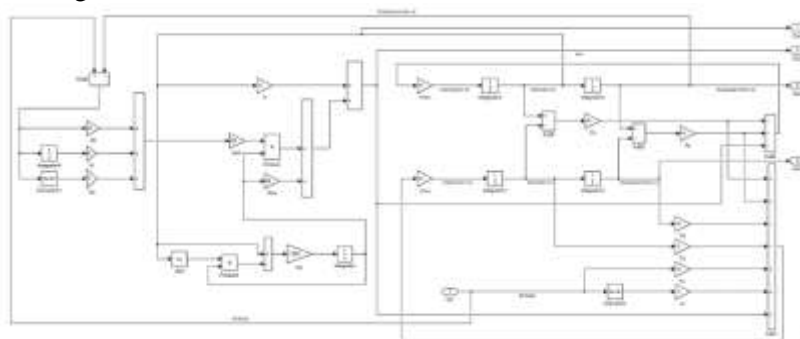
Fig 10. Representación esquemática del modelo de Dahl



$$(5) \begin{cases} F_{mr} = k\dot{x} + (k_{wa} + k_{wb}u)w \\ \dot{w} = \rho(\dot{x} - |\dot{x}|)w \end{cases}$$

donde k_{wa} , k_{wb} y ρ son parámetros de la forma de histéresis. La Fig. 11 muestra el diagrama de bloques del modelo semiactivo de Dahl en MATLAB®/Simulink® en donde se muestra la estructura del modelo y el controlador PID.

Fig 11. Diagrama de bloques en MATLAB®/Simulink® para el modelo de Dahl y su diagrama de control PI

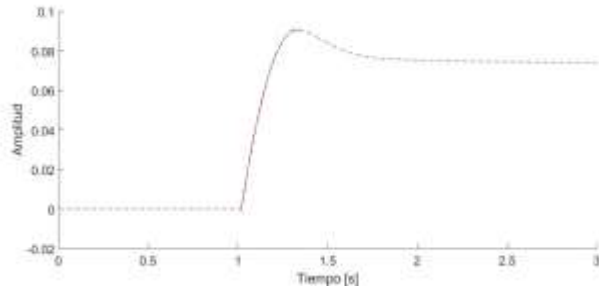


Sintonización del controlador mediante el método de Ziegler-Nichols en lazo abierto

Para la utilización de este método [11-13] se debe aplicar una señal escalón unitario a la entrada del sistema a controlar, y determinar los parámetros K , L y T .

La respuesta a una entrada escalón unitario en el modelo de Bingham es (Fig.12):

Fig 12. Respuesta del sistema ante entrada escalón unitario.



De la Fig. 12 se obtiene:

$$K = 0.0908$$

$$L = 0.2047$$

$$T = 0.0908$$

Para calcular las constantes K_p, T_i y T_d del controlador PID, se utilizan las fórmulas de la tabla 1.

Tabla 1. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Reemplazando:
$K_{pBingham} = 0.5322$
$K_{iBingham} = \frac{K_p}{T_i} = 1.2999$
$K_{dBingham} = T_d \cdot K_p = 0.0544$

Sintonización de controlador mediante el método de Ziegler-Nichols en lazo cerrado

Para este método [11-13] se aplica una señal escalón unitario a la entrada, se realimenta el lazo y se determina el valor de la ganancia K_{cr} que hace al sistema críticamente estable y se mide el periodo de salida (P_c).

En la Fig. 13 y Fig. 14 se muestra la respuesta del sistema a una entrada escalón en el modelo de Dahl y el modelo de Bouc-Wen con ganancia crítica en lazo cerrado.

Fig 13. Respuesta del sistema ante entrada escalón para un $K_p = 300$ y $P_c = 5$ en Dahl

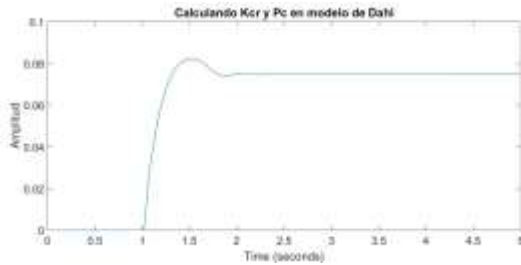


Fig 14. Respuesta del sistema ante entrada escalón para un $K_{cr} = 300$ en modelo de Bouc-Wen



Para calcular las constantes K_p , T_i y T_d del controlador PID, se utilizan las fórmulas mostradas en la tabla 2.

Tabla 2. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica K_{cr} y periodo crítico P_c .

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d	Reemplazando	Reemplazando
P	$0.5K_{cr}$	∞	0	$K_{pDahl} = 300$	$K_{pBouc} = 0.6(500) = 300$
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$		$K_{iDahl} = \frac{K_p}{T_i} = 72$	$K_{iBouc} = \frac{K_p}{T_i} = 1291.98$
PID	$0.6K_{cr}$	$\frac{1}{2}P_{cr}$	$\frac{1}{8}P_{cr}$		

Resultados

Los parámetros utilizados para el modelo de un cuarto de vehículo se detallan a continuación.

Tabla 3. Datos para un cuarto de modelo de vehículo

Nombre del parámetro	Notación de parámetro	Valor de parámetro
Masa suspendida	m_s	450[kg]
Masa no suspendida	m_u	68[kg]
Rigidez de la suspensión	k_s	28500[N/m]
Rigidez de la masa no suspendida (neumático)	k_u	293900[N/m]
Coefficiente de amortiguación de la masa suspendida	c_s	2700[N · s/m]
Coefficiente de amortiguación de la masa no suspendida	c_u	0[N · s/m]

En las tablas 4, 5 y 6 se detallan los parámetros seleccionados para la simulación de los amortiguadores magneto-reológicos analizados en este trabajo.

Tabla 4. Datos para la simulación de modelo de Bingham.

Nombre del parámetro	Notación del parámetro	Valor del parámetro
Coefficiente de amortiguamiento en modelo de Bingham	c_0	650[N · s/m]
Fuerza de compensación	F_0	0[N]
Fuerza de fricción	F_c	210[N]
Rigidez de un componente elástico	k_0	300[N/m]
Factor de forma	d	[60]

Tabla 5. Datos para la simulación del modelo de Dahl.

Nombre del parámetro	Notación del parámetro	Valor del parámetro
Control de voltaje	u	[1.5]
Parámetros de histéresis	k, k_{wa}, k_{wb}, ρ	[5; 80; 80; 1500]

Tabla 6. Datos para la simulación del modelo de Bouc-Wen

Nombre del parámetro	Notación del parámetro	Valor del parámetro
Parámetros de la forma de la histéresis	γ, β, A, n	[1.2 * 10 ⁶ , 10 ⁶ , 15, 2],
Rigidez del elemento de resorte	K_0	300[N/m]
Coefficiente de amortiguación	C_0	650[Ns/m]
Voltaje de entrada	u	5[V]
Otros parámetros	α	80000
Estrés previo	f_0	0[N]

Con los parámetros planteados se analizaron los sistemas de amortiguamiento semi pasivo con cada uno de los amortiguadores y se comparó su respuesta con el sistema pasivo. Las perturbaciones a las que fueron sometidos los sistemas corresponden a señales de excitación escalón unitario, sinusoidal y ruido Gaussiano blanco. La Fig. 15 muestra la respuesta con excitación de paso fijo; la Fig. 16 muestra la respuesta a una entrada sinusoidal; la Fig. 17 muestra la respuesta a una entrada de ruido aleatorio. En las figuras se muestra la respuesta del sistema a las entradas escalón unitario, onda sinusoidal y ruido aleatorio sin y con el sistema controlado con el ajuste PID.

Fig 15. Respuesta de la suspensión pasiva contra la suspensiones semiactivas con excitación de paso fijo.

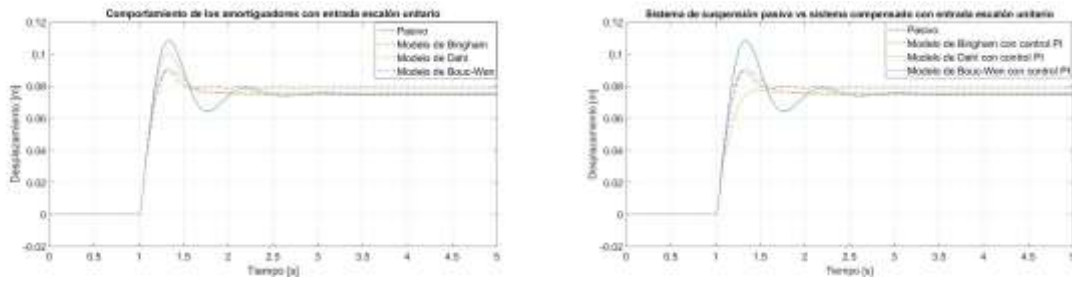


Fig 16. Respuesta de la suspensión pasiva frente a semiactiva con excitación de entrada onda sinusoidal $f=7.77$ rad/seg.

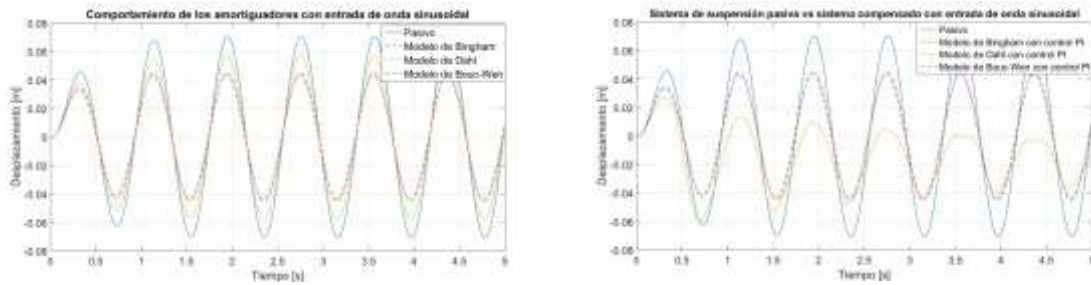
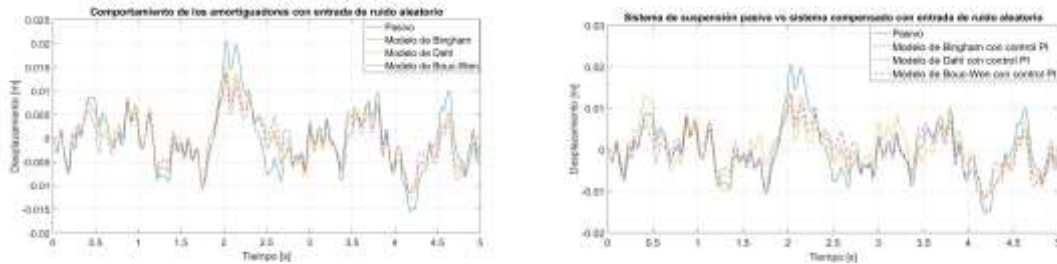


Fig 17. Respuestas de la suspensión pasiva frente a semiactiva con excitación de entrada de ruido aleatorio.



Los modelos de amortiguadores magneto-reológicos han logrado superar la amortiguación de la entrada escalón en comparación al modelo pasivo, y además han alcanzado una estabilidad en menor tiempo, incluyendo a los modelos que incluyen controlador PI. El modelo de Bingham y el modelo de Bouc-Wen han logrado reducir la amplitud en comparación con el modelo de Dahl. En caso opuesto al modelo controlado con PI que logró superar a los otros dos modelos en velocidad de respuesta y reducción en la amplitud. En excitaciones de onda sinusoidal, el total de los modelos de amortiguador magneto-reológico y con controlador PI, funcionaron visiblemente mejor en comparación con el modelo de la suspensión pasiva. Al mismo tiempo, el modelo Bingham y el Bouc-Wen ofrecen mayor

respuesta en términos de niveles de magnitud de amortiguamiento. El comportamiento de los tres modelos de amortiguador MR ante una señal de entrada de ruido muestra que la amortiguación de vibraciones no deseada es considerable al compararse con la respuesta obtenida con el modelo de suspensión pasiva. Los modelos con controlador PI no utilizaron la acción derivativa debido a que ésta causaba perturbaciones en el sistema y afectaba la respuesta temporal transitoria, y las ganancias para el ajuste en el controlador requerían tener valores muy grandes para realizar un control deseable en los modelos de Bingham y Bouc-Wen.

Conclusiones

En este trabajo se analizaron y evaluaron los modelos de los amortiguadores magneto-reológicos de Bingham, Dahl y Bouc-Wen bajo un esquema de control PID. A partir de los resultados obtenidos se determina que una suspensión semi-activa y una suspensión semiactiva controlada mejora en cualquier escenario a la suspensión pasiva de igual o mejor manera. Además de establecer que el modelo de Bouc-Wen ofrece mejor respuesta en términos de confort y maniobrabilidad con los parámetros propuestos para este estudio considerando señales de entrada escalón unitario, sinusoidal y ruido aleatorio. El mejor desempeño en la respuesta del sistema se observa con el controlador PI aplicado al modelo de Dahl. Los resultados fueron obtenidos a través de la simulación del sistema en MATLAB®/Simulink®

Referencias

- Worden, G.R., Tomlinson K. Nonlinearity in structural dynamics, detection, identification and modelling. Institute of Physics Publishing.
- Chung, H., Shin, S. (2004). High-voltage power supply for semi-active suspension system with ER-fluid damper. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 53 (1), 206–211.
- Dugard, O., Poussot, L., Sename, C. (2005). Optimal skyhook control for semi-active suspension.

- Wong, J.Y. (2001). Theory of ground vehicles. John Wiley and Sons, Inc.
- Gillespie, T.D. (1992). Fundamentals of vehicle dynamics. Society of Automotive Engineers, Inc.
- Hurel, J., Terán, E. Modelado físico y matemático del sistema de suspensión de un cuarto de vehículo.
- Stanway R., Sproston J. L., Stevens N. G. (1987). Nonlinear modelling of an-electro-rheological vibration damper. Journal on Electrostatics, 20, 167-184.
- Dahl, P. R. (1968). A solid friction model. Technical Report, TOR-158(3107-18) (El-Segundo, CA: The Aerospace Corporation).
- Ikhouane, F., Rodellar, J. (1987). Systems with hysteresis: analysis, identification and control using the Bouc-Wen model. Wiley.
- Pacheco, M. (2015). Ajuste de un modelo directo de amortiguador MR mediante algoritmos genéticos, Grado en ingeniería mecánica.
- Ogata, K. (1996). Ingeniería de Control Moderna: Reglas de Sintonía de Controladores PID, Prentice Hall.
- Kuo, B. (2004). Sistemas de Control Automático, Décima Edición, Prentice Hall.
- Dorf, R. (2009). Sistemas de Control Moderno, Décima Edición, Prentice Hall.
- Åström, K. J., Hägglund, T. H. New tuning methods for PID controllers, Proceedings of the 3rd European Control Conference, 2456–62.