

# Revista CIENTÍFICA

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería

Volúmen 22 No. 1, 2025 ISSN 1993-3711 y en línea 1993-372X

Fortaleciendo  
la **Investigación**

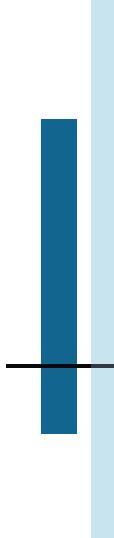


**FIUSAC**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Revista del Centro de Investigaciones de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería - USAC

Autores	Centro de Investigaciones de Ingeniería Facultad de Ingeniería
Título	Revista Científica Fortaleciendo la Investigación
Dig /Ed	Guatemala, CII, USAC 2025
Idioma	Español
Descripción	65 p. : il. ; 27 cm.
Ejemplares	Año MMXXV, No. I (publicación digital anual)
ISSN	1993-3711 y en línea 1993-372X
Temas	Ingeniería Revistas



# Revista Científica

## Fortaleciendo la Investigación

---

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Centro de Investigaciones de Ingeniería

### Autoridades Universitarias

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis  
Rector

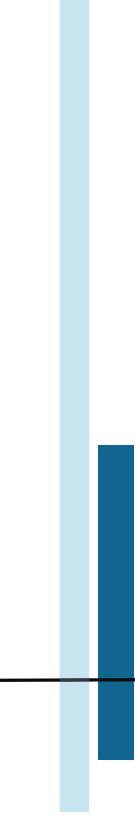
Lic. Luis Fernando Cordón Lucero  
Secretario General

### Autoridades Facultad de Ingeniería

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano A.I.

Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez  
Secretario Académico

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora  
Centro de Investigaciones de Ingeniería



**COMITÉ EDITORIAL**  
**Revista Científica**  
**Fortaleciendo la Investigación**

---

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Centro de Investigaciones de Ingeniería

Ing. Civil Francisco Javier Quiñónez de la Cruz Dr. C.T. (P.D.)

MSc. Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol

Dra. Carmen Alicia Diéguez Orellana  
Coordinadora

# Presentación

El presente número de la REVISTA CIENTIFICA, del Centro de Investigaciones de Ingeniería, está dedicada a la difusión de investigaciones realizadas por profesionales investigadores, que se dedican a contribuir al desarrollo del conocimiento en el área científica, de acuerdo a su experiencia correspondiente, siendo esta revista un espacio de divulgación del conocimiento científico, en donde se presentan resultados de investigaciones que cumplen con criterios de calidad, pertinencia y originalidad.

La MSc. Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol y el estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, Julio César Recinos Reyes, presentan el artículo titulado “Utilización de escoria del Volcán de Pacaya como agregado grueso para concreto permeable”. En este estudio se investigó cómo utilizar concreto permeable que contenga escoria del Volcán de Pacaya, en sustitución porcentual del agregado grueso, ayuda a aumentar la tasa de infiltración en los suelos, debido a la composición de estas partículas, las cuales cuentan con un alto porcentaje de vacíos en su estructura, que permite el flujo del agua, por lo que el diseño que mejora la tasa de filtración, es en la que sustituye el 20 % de agregado volcánico, alcanzando el 46 % de permeabilidad, método alternativo para mantener los niveles de las reservas subterráneas de agua, utilizadas para abastecer distintos sectores del área metropolitana, lo que permite la utilización de este como agregado, siendo una variante de mejora en la construcción, como material sostenible al ambiente.

El Dr. Ing. Civil Edgar Virgilio Ayala Zapata y el MSc. Ing. Industrial Saulo Moisés Méndez Garza presentan el artículo titulado “Comportamiento de muros sometidos a corte, edificados con maderas nacionales provenientes de concesiones forestales de El Petén”. En este estudio, la madera utilizada provino de áreas manejadas por concesiones forestales de El Petén, siendo supervisadas por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-; se investigaron tres especies de madera de la Reserva de la Biosfera Maya de El Petén: Santa María, Manchiche y Danto, realizando una investigación bibliográfica y de campo, sobre las maderas seleccionadas, diseñando sistemas constructivos de muros con madera, definiendo el proceso del sistema constructivo y proponiendo procesos de control de calidad en las diferentes etapas del sistema.

El Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, de la Sección de Química Industrial conformado por los profesionales, Inga. Química Telma Maricela Cano Morales, M.A. Ing. Químico Mario José Mérida Meré, M.A. Ing. Químico Gerson Joél Ortega Morales, M.A. Ing. Mecánico Osber Isabel Carias Palencia, Inga. Química Claudia Elisa Castellanos Jurado, Ing. Industrial Juan Pablo López Cano y los estudiantes de Ingeniería Química Renato Paolo Cisneros Quiñonez y Melinna Lizeth Beteta Castro, han presentado el artículo titulado “Evaluación del efecto antiparadeante de extractos de perejil en manzanas mínimamente procesadas”, en el cual se evalúa el efecto antiparadeante de los extractos de perejil (*Petroselinum crispum*), en manzanas mínimamente procesadas (*Pyrus malus L.*), para ello, se realizaron extracciones, utilizando solventes hidroxílicos (etanol al 50 % y 96 %), con el objetivo de determinar el rendimiento extractivo del perejil, cuantificar la capacidad antioxidante mediante la inhibición del radical DPPH, medir el contenido de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, evaluar in vivo el efecto antiparadeante en rodajas de manzana y analizar las propiedades sensoriales, mediante un cuadro hedónico con jueces no entrenados.

El Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, de la Sección Química Industrial integrado por la Inga. Química Telma Maricela Cano Morales y M.A. Ing. Químico Mario José Mérida Meré también han presentado el artículo titulado “Evaluación del exocarpio de aguacate (*Persea Americana Var. Guatemalensis*), modificado químicamente como bioadsorbente para aguas con cromo hexavalente ipsum”, este estudio surge de determinar que la contaminación del agua por metales pesados representa un problema ambiental significativo, por lo que se buscan materiales alternativos y sostenibles para su tratamiento. En esta ocasión, se caracterizó el material antes y después de la modificación química y se determinó su eficiencia en la adsorción de Cr (VI), bajo diferentes condiciones experimentales. En el estudio se determinó que la adsorción se ajustó al modelo cinético de pseudo-segundo orden, lo que sugiere que el proceso está gobernado por interacciones químicas.

El Ing. Civil Mario Rodolfo Corzo Ávila y la estudiante de Ingeniería Civil Delia Alessandra Alvarado Pérez, presentan el artículo titulado “Importancia de los refuerzos longitudinales en mampostería sin mortero”. En esta investigación se realizaron ensayos experimentales en diferentes configuraciones, considerando variantes con y sin refuerzo horizontal, con el objetivo de analizar su resistencia, rigidez y desplazamiento lateral máximo. La metodología incluyó la aplicación de cargas laterales por ciclos en laboratorio, midiendo deformaciones en cada ciclo de carga. Los resultados indicaron que, la incorporación de refuerzos horizontales mejora la estabilidad del sistema, reduciendo significativamente los desplazamientos. Se propusieron mejoras en el diseño, tales como; la inclusión de una fundición de concreto en la base y el refuerzo de la solera de corona.

La Inga. Química Telma Maricela Cano Morales conjuntamente con el M.A. Ing. Químico Mario José Mérida Meré, Ing. Industrial Juan Pablo López Cano y la Inga. Química Claudia Elisa Castellanos Jurado han presentado el artículo de investigación titulado “Diseño de producción comercial del extracto colorante de achiote (*Bixa orellana L.*), con base al análisis de rendimiento extractivo”. Esta investigación, partió de un análisis exhaustivo de datos del Banco de Guatemala (s.f.), que permitió establecer la demanda potencial y dimensionar la planta, como pequeña empresa con doce empleados. Los resultados mostraron un rendimiento extractivo del 6,56 % con el método alcalino, demostrando su viabilidad técnica. El diseño propuesto, permitió la producción industrial eficiente del colorante, ofreciendo una alternativa para agregar valor al achiote guatemalteco, que tradicionalmente se exporta como materia prima, con parámetros operativos estandarizados, que garantizan la calidad del producto final y la sostenibilidad del proceso.

El Centro de Investigaciones de Ingeniería, espera que la revista llegue a la comunidad, con los temas presentados, reafirmando el compromiso con la investigación, innovación y la difusión, para contribuir al conocimiento del desarrollo sostenible.

Inga. Química Telma Maricela Cano Morales  
Directora Centro de Investigaciones de Ingeniería-Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

# Contenido

11

## Utilización de escoria del Volcán de Pacaya como agregado grueso para concreto permeable

Julio César Recinos Reyes (Ingeniero Civil) [jrecinos93@gmail.com](mailto:jrecinos93@gmail.com)

Dilma Yanet Mejicanos Jol (MSc. en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente) [dilmayanet31@yahoo.com](mailto:dilmayanet31@yahoo.com)

Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Centro de Investigaciones de Ingeniería / Facultad de Ingeniería

20

## Comportamiento de muros sometidos a corte, edificados con maderas nacionales provenientes de concesiones forestales de El Petén

Edgar Virgilio Ayala Zapata (Dr. Ing. Civil) [virgilioayala@yahoo.com](mailto:virgilioayala@yahoo.com)

Sección de Tecnología de Materiales  
y Sistemas Constructivos, CII/USAC

Centro de Investigaciones de Ingeniería / Facultad de Ingeniería

Saulo Moisés Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial) [mendezgarza@yahoo.com](mailto:mendezgarza@yahoo.com)

Sección de Ecomateriales  
Centro de Investigaciones de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería - USAC

31

## Evaluación del efecto antipardeante de extractos de perejil en manzanas

Gerson Joél Ortega Morales (MA. Ing. Químico) [gersonortegamo@gmail.com](mailto:gersonortegamo@gmail.com)

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química) [etracastellanosj@gmail.com](mailto:etracastellanosj@gmail.com)

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química) [telma.canomorales@hotmail.com](mailto:telma.canomorales@hotmail.com)

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico) [mjmeridamere@gmail.com](mailto:mjmeridamere@gmail.com)

Juan Pablo Lopez Cano ((Ing. Industrial) [J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt](mailto:J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt)

Melinna Lizeth Beteta Castro (Bachiller) [melybeteta@gmail.com](mailto:melybeteta@gmail.com)

Renato Paolo Cisneros Quiñonez (Bachiller) [renatopcisneros@gmail.com](mailto:renatopcisneros@gmail.com)

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

Sección de Química Industrial

Centro de Investigaciones de Ingeniería / Facultad de Ingeniería

39

## Evaluación del exocarpio de aguacate (*Persea Americana Var. Guatemalensis*) modificado químicamente como bioadsorbente para aguas con *cromo hexavalente ipsum*

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química) [telma.canomorales@hotmail.com](mailto:telma.canomorales@hotmail.com)

Gerson Joél Ortega Morales (MA. Ing. Químico) [gersonortegamo@gmail.com](mailto:gersonortegamo@gmail.com)

Osber Isabel Carías Palencia (MA. Ing. Mecánico) [osbercarias@gmail.com](mailto:osbercarias@gmail.com)

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química) [etracastellanosj@gmail.com](mailto:etracastellanosj@gmail.com)

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico) [mjmeridamere@gmail.com](mailto:mjmeridamere@gmail.com)

Juan Pablo Lopez Cano (Ing. Industrial) [J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt](mailto:J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt)

Melinna Lizeth Beteta Castro (Bachiller) [melybeteta@gmail.com](mailto:melybeteta@gmail.com)

Renato Paolo Cisneros Quiñonez (Bachiller) [renatopcisneros@gmail.com](mailto:renatopcisneros@gmail.com)

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

Sección de Química Industrial

Centro de Investigaciones de Ingeniería / Facultad de Ingeniería

47

## Importancia de los refuerzos longitudinales en mampostería sin mortero de pega

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ingeniero Civil) [sabandijaretorcida@yahoo.com.mx](mailto:sabandijaretorcida@yahoo.com.mx)

Delia Alessandra Alvarado Pérez (Auxiliar de cátedra) [deliaalvaradop26@gmail.com](mailto:deliaalvaradop26@gmail.com)

Sección de Estructuras

Centro de Investigaciones de Ingeniería / Facultad de Ingeniería

55

## Diseño de producción comercial del extracto colorante de achiote (*Bixa orellana L.*), con base al análisis de rendimiento extractivo

Juan Pablo Lopez Cano (Ing. Industrial) [J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt](mailto:J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt)

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química) [telma.canomorales@hotmail.com](mailto:telma.canomorales@hotmail.com)

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico) [mjmeridamere@gmail.com](mailto:mjmeridamere@gmail.com)

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química) [etracastellanosj@gmail.com](mailto:etracastellanosj@gmail.com)

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

Sección de Química Industrial

Centro de Investigaciones de Ingeniería / Facultad de Ingeniería

# U tilización de escoria del Volcán de Pacaya como agregado grueso para concreto permeable

Julio César Recinos Reyes (Ingeniero Civil)  
[jrecinos93@gmail.com](mailto:jrecinos93@gmail.com)

Dilma Yanet Mejicanos Jol (Ingeniera Civil)  
MSc. en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente  
[dilmayanet31@yahoo.com](mailto:dilmayanet31@yahoo.com)



# Utilización de escoria del Volcán de Pacaya como agregado grueso para concreto permeable

Julio César Recinos Reyes  
(Ingeniero Civil)  
jrecinos93@gmail.com

Dilma Yanet Mejicanos Jol  
(MSc. en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente)  
dilmayonet31@yahoo.com

Sección de Agregados, Concretos y Morteros  
Centro de Investigaciones de Ingeniería / Facultad de Ingeniería

## Resumen

El concreto permeable es una solución para el problema de inundaciones que presentan distintas áreas de la Ciudad de Guatemala, estas debido al crecimiento habitacional e industrial, que ha presentado en los últimos años y que ha aumentado la impermeabilidad de los suelos. Utilizar concreto permeable que contenga escoria del Volcán de Pacaya, en sustitución porcentual del agregado grueso, ayuda a aumentar la tasa de infiltración en los suelos, debido a la composición de estas partículas, las cuales cuentan con un alto porcentaje de vacíos en su estructura, que permite el flujo del agua, por lo que el diseño que mejora la tasa de filtración es en la que sustituye el 20 % de agregado volcánico, alcanzando el 46 % de permeabilidad, método alternativo para mantener los niveles de las reservas subterráneas de agua, utilizadas para abastecer distintos sectores del área metropolitana, como las áreas verdes que proveen oxígeno, este concreto puede ser utilizado en aceras, ciclo vías, senderos, vías de circulación de tráfico peatonal, como parques y áreas abiertas. Guatemala posee varios volcanes activos que generan material volcánico constantemente, lo que permite la utilización de este como agregado, siendo una variante de mejora en la construcción, como material sostenible al ambiente. En respuesta al crecimiento de la ciudad, esta alternativa contribuye a mitigar los cambios ambientales, dando así mayor vida útil a los mantos freáticos, manteniendo el ciclo del agua y evitando inundaciones.

**Palabras clave:** alcantarillas, álcali-agregado, resistencia a flexión, porosidad, intemperismo.

## Abstract

Permeable concrete is a solution to the flooding problem faced by different areas of Guatemala City, due to the residential and industrial growth that has occurred in recent years and has increased the impermeability of the soil. Using permeable concrete containing scoria from the Pacaya volcano, as a percentage replacement for coarse aggregate, helps increase the infiltration rate in the soil, due to the composition of these particles, which have a high percentage of voids in their structure, allowing the flow of water. Therefore, the design that improves the filtration rate is the one that replaces 20% of volcanic aggregate, reaching 46% permeability. An alternative method to maintain the levels of underground water reserves, used to supply different sectors of the metropolitan area, such as green areas that provide oxygen, this concrete can be used in sidewalks, bike paths, trails, pedestrian traffic circulation routes, such as parks and open areas. Guatemala has several active volcanoes that constantly generate volcanic material, allowing its use as aggregate, a viable option for construction and an environmentally sustainable material. In response to urban growth, this alternative helps mitigate environmental changes, extending the lifespan of groundwater, maintaining the water cycle, and preventing flooding.

**Keywords:** sewers, alkali-aggregate, flexural strength, porosity, weathering.

## Introducción

Las propiedades del concreto permeable dependen de su porosidad (contenido de aire), el cual depende del contenido de cemento, relación agua/cemento (w/c), nivel de compactación y calidad de los agregados. Su contenido influirá en el desarrollo de su resistencia e infiltración; siendo estas las propiedades más importantes de este concreto (Rodas, 2012).

La escoria volcánica es un material con propiedades filtrantes utilizadas para el tratamiento de aguas, por lo que al ser utilizada como parte del agregado grueso en el concreto permeable, se busca agregar un filtrante que distribuya los caudales de alcantarillas, permitiendo que estos tengan un periodo de vida útil mayor al de diseño, mejorando las condiciones en las vías de acceso principal de la Ciudad de Guatemala, en época de lluvia.

El concreto permeable se utiliza comúnmente para senderos peatonales o de vehículos livianos, ya que, al tener un alto porcentaje de vacíos, su resistencia a compresión en elementos estructurales es menor a lo permitido por las normas vigentes, sin embargo, su resistencia a flexión es suficiente para el uso en caminamientos peatonales.

El material volcánico suele presentar un alto contenido de sílice que puede afectar la adherencia del cemento, por lo que se analizó también la reactividad al intemperismo y resistencia a sulfatos del agregado.

Guatemala tiene una extensa cadena volcánica, que atraviesa varios departamentos. Al material volcánico, se le ha dado poca utilidad en la construcción, por lo que esta se considera una propuesta que promueva el desarrollo de las comunidades cercanas.

## Objetivos

1. Determinar las características físicas y propiedades mecánicas del concreto permeable, elaborado con agregado proveniente del Volcán de Pacaya.

2. Analizar el comportamiento del agregado volcánico en la mezcla de concreto permeable, para evaluar la reactividad álcalisílice.
3. Experimentar con diferentes proporciones de grava y escoria volcánica, para sugerir una adecuada tasa de filtración de agua de lluvia.

## Antecedentes

La precipitación anual para Guatemala, en 2021, varió con la media, mayormente para los meses de julio a noviembre, con valores entre -2.0 mm/día y 2.5 mm/día. Durante el año se observó que las condiciones más húmedas (por encima de la media), fueron en agosto, con un registro de anomalías de alrededor de 2.4 mm/día. Los meses que registraron condiciones más secas que la media fueron del período de septiembre a noviembre, las cuales presentaron valores de -1.77 mm/día, -2.03 mm/día y -1.51 mm/día, respectivamente. El resto del año, la mayoría de las precipitaciones se mantuvo por encima de la media con condiciones más húmedas. (INSIVUMEH, 2022). Por lo anterior, se supone que al utilizar concreto permeable en áreas abiertas, con mayor porcentaje de filtración, se fortalecerán los mantos freáticos.

## Metodología

A partir de la erupción del Volcán de Pacaya que ocurrió el 27 de mayo del 2010, proporcionando grandes cantidades de arena volcánica, muy similar al agregado fino utilizado en obras civiles, se estudiaron sus características físicas - químicas y propiedades mecánicas, al mezclar con cemento Portland puzolánico, bajo la Norma ASTM C-1157, para verificar su adherencia en las mezclas de concreto, dado que en ese momento no se tenía control del material en mezclas grises. (Machuca, 2013).

La procedencia del material del Volcán de Pacaya se obtuvo de la reserva privada en el km 49, denominada Siete El Cielo, con coordenadas 14.376264, -90.628577, donde el material se encuentra en piezas grandes, las

cuales fueron trituradas manualmente, para obtener el tamaño nominal de  $1/2"$  y máximo nominal de  $3/8"$ , que es el tamaño de partículas para la elaboración de concreto permeable, pues esta uniformidad en tamaños permite mayor filtración, por dejar más vacíos entre partículas.

Los ensayos de laboratorio se realizaron en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería / USAC.

La caracterización del material de origen volcánico se realizó por medio de ensayos de acuerdo con la norma nacional NTG 41007 (ASTM C-33); Agregados para Concreto. Especificaciones vigentes. Dentro de las características físicas para agregado fino, el cual es de origen natural o de río, también se determinó impurezas orgánicas, según la Norma NTG 41010 h4 (ASTM C-40). Método de ensayo. Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto, con la finalidad de no perjudicar la durabilidad del concreto.

El análisis de reactividad álcali – sílice, se realizó de acuerdo con la Norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1260). Método de ensayo. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados. Con este análisis, se buscó determinar si el material volcánico es resistente a la fuerza expansiva interna, derivada de la rehidratación de la sal bajo la re-inmersión, por medio del Método de ensayo.

**Figura 1**

Medidor de longitud para barras de mortero



**Nota.** Esta medición indica la expansión o contracción de las barras de mortero.

Se determinó, así mismo, la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio. Esto por las condiciones en las que se encontrará el concreto permeable, en espacios abiertos expuestos a la intemperie. (NTG 41010 h6, 2012).

Con la información de los resultados en la caracterización de los agregados, se realizó el diseño teórico y práctico de concreto permeable, para luego realizar las pruebas mecánicas referentes a ensayos de compresión y flexión, basándose en el Reporte de Concreto Permeable ACI 522 R10, Sección 4.1.

Por último, de acuerdo con el Reporte de Concreto Permeable ACI 522 R10, se determinó el porcentaje de efectividad de permeabilidad, el cual se realizó a la edad de 28 días después de la elaboración de las mezclas.

En la Figura 3, se observa el sistema de ensayo para determinar la permeabilidad, habiendo utilizado un molde de cilindro normado de 6" de diámetro y 12" de alto, llenando únicamente 2/3 de su altura total. La superficie fue alisada con un cilindro de concreto utilizado como rodillo, para que fuera lo más plana posible, colocando la columna de agua con un tubo aforado, donde se pudiera observar claramente que el agua fluye en el menor tiempo posible, lo cual determinó la cantidad de vacíos que contiene el concreto permeable.

## Resultados y discusión

Se determinó que el material utilizado es cristalino, vesicular, de composición andesítica y basáltica, que fue lanzado durante las erupciones violentas o explosivas; de color gris negro, material rico en sílice, siendo este el elemento más abundante en el planeta. Algunos metales que son provenientes del núcleo terrestre contienen compuestos de azufre, los cuales aportan a la purificación de agua. Por esa razón, fue necesario utilizar el Método de la barra de mortero, debido a la composición química del material volcánico, el cual es rico en sílice, evitando así inconvenientes de adherencia con el cemento y la durabilidad del concreto permeable, para evitar su degradación.

Debido a que los especímenes son expuestos a una solución de NaOH (hidróxido de sodio), el contenido de álcalis del cemento no es factor significativo que afecte las expansiones (NTG 41010 h14, 2012). Se realizaron 4 diferentes diseños de mezclas, con porcentajes de sustitución de agregado grueso por material volcánico de 0%, 20%, 50% y 70%, respectivamente, para determinar la proporción más adecuada de filtración, aunque esto haya influido en las propiedades mecánicas.

### Caracterización de agregados

**Tabla 1**

#### Características físicas de agregado de origen volcánico

Densidad Relativa (SSS)	2.56
Densidad (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	2550
Masa unitaria compactada (kg/m <sup>3</sup> )	1330
Masa unitaria suelta (kg/m <sup>3</sup> )	1170
Porcentaje de vacíos compactado (%)	48.00
Porcentaje de vacíos suelto (%)	54.00
Porcentaje de absorción (%)	2.80
Pasa tamiz # 200 (%)	1.00
Pasa tamiz 6.35 (%)	28.60
Módulo de finura	6.58

**Nota.** Los resultados cumplen con las especificaciones de la Norma NTG 41007 (ASTM C-33).

De acuerdo con la Tabla 1, las características físicas de los agregados cumplieron con las especificaciones de la norma, tanto para agregados de origen natural, triturado, como de cantera y volcánico.

### Determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio

En la Tabla 2, se indica el porcentaje de disgregación que obtuvo el material de origen volcánico, el cual fue de 0.112 %; la norma define que no debe ser mayor al 10 %. Este porcentaje, se asume que se debió a la característica vesicular y porosa del material, ya que no permite que la solución de sulfato de sodio permanezca dentro de la estructura y sufra alguna expansión; la solución en este material fluye, como se determinó que lo hace con el agua.

**Tabla 2**

#### Disgregación del agregado de origen volcánico por medio de sulfato de sodio

Tamaños		% de Desgaste	% Desgaste ref. a Graduación
Pasa	Retenidos		
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	0	0
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	0.2	0.037
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	0.1	0.044
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	0.2	0.031
Fondo		0	0
Total			0.112

Nota. El resultado es satisfactorio, debido al bajo porcentaje de disgregación o desgaste al intemperismo.

### Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados

Este método de ensayo está basado en el método de ensayo acelerado del Instituto Nacional de Investigación de la Construcción (NBRI) de Sudáfrica, perteneciente al CSIR (Consejo de Investigación Científica e Industrial), y proporciona un medio para la detección de la reactividad potencial álcali sílice del agregado que se pretende usar en el concreto, que pueda dar por resultado una expansión interna perjudicial.

Es especialmente útil para los agregados que reaccionan lentamente o que produzcan una expansión retardada en la reacción.

Sin embargo, no sirve para evaluar combinaciones de agregados con materiales cementantes, ni son las condiciones del ensayo representativas de las del concreto en servicio (NTG 41010 h14, 2012). Las expansiones mayores a 0.20 % a los 16 días después del moldeo de los especímenes son indicativas de una expansión potencialmente dañina (NTG 41010 h14, 2012).

En la Figura 1, se puede observar el medidor de longitud por expansión para las barras de mortero, en este se llevó el control de medición de las 3 barras que se prepararon y analizaron, de acuerdo con las especificaciones de la norma.

La reactividad álcali-sílice, mostró un resultado de expansión excesiva, para el uso del agregado volcánico con cemento, debido al contenido de sílices del agregado, ya que el resultado fue de 0.46 % de expansión en el promedio de medición de las 3 barras analizadas, mientras que la especificación de norma, indica que la expansión no debe ser mayor a 0.10 %.

Cuando un agregado es considerado potencialmente dañino, también debe evaluarse el uso de medidas de mitigación, tales como el uso de cemento de bajo contenido de álcalis, el uso de adiciones minerales activas o materiales cementantes, como las puzolanas o el uso de escoria granulada de alto horno molida (NTG 41010 h14, 2012).

#### Propiedades mecánicas

El esfuerzo a compresión del concreto permeable, es considerablemente menor al concreto estructural, por su alto contenido de vacíos y al utilizar agregado volcánico en sustitución del agregado grueso, aumenta este porcentaje, disminuyendo proporcionalmente la propiedad mecánica.

Los ensayos se realizaron a las edades de 3, 7 y 28 días, para determinar si existía aumento en la resistencia, respecto a la mezcla patrón con el 0 % de sustitución de material volcánico, la cual alcanzó 2.9 Mpa (420 psi), a los 28 días, la mayor resistencia alcanzada fue de 2.0 Mpa (290 psi), con la sustitución del 70 % de material volcánico; la falla de tipo 1 se presentó para los 4 diseños.

**Figura 2**

*Falla de las vigas ensayadas a flexión*



**Nota.** La falla que se muestra es al tercio medio de la luz entre apoyos, al aplicar la carga.

En la Figura 2, se observa la falla al tercio medio de la luz entre apoyos de la viga ensayada a flexión.

La resistencia a flexión del concreto permeable se determinó por medio de vigas normadas a la edad de 28 días, siempre considerando la referencia del concreto con el 0 % de sustitución de material volcánico, obteniendo 1.0 Mpa (145 psi), en la mezcla con el 70 % de sustitución de agregado volcánico; estos esfuerzos fueron calculados de acuerdo con la Norma NTG 41017 h2 (ASTM C-78), considerando que la fractura de las vigas se inicia en la superficie de tensión, dentro del tercio medio de la luz.

#### Prueba de permeabilidad

Para el ensayo de permeabilidad se tomó como referencia lo descrito en el Reporte de Concreto Permeable ACI 522 R10, el cual indica que, para llevar a cabo dicho ensayo, es necesario contar con una pastilla de concreto permeable de un espesor de 15 centímetros. La columna de agua para determinar la permeabilidad debe ser de 30 centímetros.

Para garantizar el correcto análisis, es necesario sellar los laterales del espécimen de concreto, para evitar que el agua fluya a través de los laterales; la columna de agua debe de colocarse en el centro del concreto y tomar el tiempo que requiere para filtrar toda el agua.

**Figura 3**

*Ensayo de permeabilidad, con esquema del Reporte de Concreto Permeable ACI 522 R10*



**Nota.** La probeta aforada, permite observar la filtración en el concreto permeable.

**Tabla 3**

*Resultados de la tasa de infiltración*

Mezcla	Permeabilidad
	Tasa de infiltración (mm/h)
0 % material volcánico	142503.48
20 % material volcánico	208167.82
50 % material volcánico	178553.47
70 % material volcánico	158840.26

**Nota.** El mejor resultado obtenido, es con la mezcla que se compone con el 20 % de agregado volcánico, en sustitución.

El material volcánico evidencia ser un filtrante natural de buena calidad en las mezclas de concreto permeable, aumenta la característica de permeabilidad considerable-

blemente, siendo para este ensayo la mezcla que mejor rendimiento presenta, con solo 20 % de material volcánico, incrementando su rendimiento 46.08 % por arriba de la mezcla patrón, lo cual se puede observar en los resultados de la Tabla 3.

**Tabla 4**

*Tiempo de filtración, ensayo de permeabilidad*

Mezcla	Permeabilidad
	Tasa de infiltración (mm/h)
0 % material volcánico	142503.48
20 % material volcánico	208167.82
50 % material volcánico	178553.47
70 % material volcánico	158840.26

**Nota.** Con sustitución del 20 % de material volcánico, se emplea menos tiempo para la filtración.

## Conclusiones

1. Las características físicas del agregado volcánico cumplen con las especificaciones de la Norma NTG 41007 (ASTM C-33); las propiedades mecánicas, como el esfuerzo a flexión, indican que el uso debe ser para cargas livianas de tránsito, además de tener buen desempeño en la filtración.
2. El agregado volcánico presentó una expansión excesiva del 0.46 %, cuando la especificación de norma indica, que la expansión debe ser menor al 0.1 % para garantizar la durabilidad de las estructuras. Por lo que el material no cumple con la norma establecida.
3. La mejor tasa de filtración se obtuvo con la mezcla a la cual se le sustituyó con el 20 % de agregado volcánico, alcanzando el 46 % de permeabilidad, en 14.40 segundos respecto a la mezcla elaborada con 0 % de agregado volcánico.

## Recomendaciones

1. Mantener limpias las áreas de concreto permeable, para evitar el sello de los poros.
2. Utilizar cementos con adiciones de puzolanas para mantener las expansiones a futuro; así como cementos con bajo contenido de álcalis.
3. No exceder los porcentajes de sustitución de material volcánico, pues a medida que aumenta, la tasa de filtración disminuye y aumenta el tiempo, como fue el caso en este análisis.

## Referencias bibliográficas

American Concrete Institute, Comité 522. Reporte 522:10. Reporte en Concreto Permeable. Estados Unidos de América: ACI, 2010

Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía. (2012). Método de ensayo. Determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o del sulfato de magnesio NTG 41010 h6.

Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía. (2012). Método de ensayo. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados. Método de la barra de mortero. NTG 41010 h14.

Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía. (2017). Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz) NTG 41017 h2:2017.

Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía. Agregados para Concreto. Especificaciones NTG 41007.

Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía. (2016). Método de ensayo. Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto NTG 41010 h4: 2016.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (2022). Estado del clima en Guatemala. Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos, Sección de Cambio Climático, Departamento de Investigación y Servicios Hídricos, Sección de Oceanografía.

Machuca, E. (2013). Evaluación y estudio del efecto en las propiedades físico, mecánicas y químicas derivadas de la interacción álcali-agregado con el cemento portland puzolánico Norma ASTM C-1157, utilizando como agregado la arena procedente de la erupción del Volcán de Pacaya en fecha 27 de mayo de 2010. [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala].  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3596\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3596_C.pdf)  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3596\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3596_C.pdf)

Rodas, N. (2012). Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos. [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala].  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3428\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3428_C.pdf)

## Autores

### Julio César Recinos Reyes

Ingeniero Civil, asesor profesional en la Dirección Administrativa del Registro General de la Propiedad para el Desarrollo de Proyectos de Modernización.

### Dilma Yanet Mejicanos Jol

MSc. en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, Ingeniera Civil, jefa de la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del CII/USAC, Catedrática de la Escuela de Ingeniería Civil. Miembro del Comité Técnico de Normas Nacionales NTG. Profesora asesora del Capítulo ACI estudiantil FIUSAC.

# C

omportamiento de muros  
sometidos a corte, edificados con  
maderas nacionales provenientes  
de concesiones forestales  
de El Petén

Edgar Virgilio Ayala Zapata (Dr. Ing. Civil)

[virgilioayala@yahoo.com](mailto:virgilioayala@yahoo.com)

Saulo Moisés Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial)

[mendezgarza@yahoo.com](mailto:mendezgarza@yahoo.com)



# Comportamiento de muros sometidos a corte, edificados con maderas nacionales provenientes de concesiones forestales de El Petén

**Edgar Virgilio Ayala Zapata**

(Dr. Ing. Civil)

*virgilioayala@yahoo.com*

Sección de Tecnología de Materiales  
y Sistemas Constructivos, CII/USAC  
Centro de Investigaciones de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería - USAC

**Saulo Moisés Méndez Garza**

(MSc. Ing. Industrial)

*mendezgarza@yahoo.com*

Sección de Ecomateriales

Centro de Investigaciones de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería - USAC

## Resumen

En el presente artículo se divultan resultados del proyecto FODECYT 09-2004, el cual ha sido realizado en la Sección de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos y la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La madera utilizada provino de áreas manejadas por concesiones forestales de El Petén, siendo supervisadas por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-. Se investigaron tres especies de madera, de la Reserva de la Biosfera Maya de El Petén: Santa María, Manchiche y Danto, realizando una investigación bibliográfica y de campo, sobre las maderas seleccionadas, diseñando sistemas constructivos de muros con madera, definiendo el proceso del sistema constructivo y proponiendo procesos de control de calidad en las diferentes etapas del sistema. Los métodos de ensayo para corte de muros de madera fueron identificados. Al realizar los ensayos se obtuvo los datos de esfuerzos y deformación. Se analizó y conoció el comportamiento de los muros al ser sometidos a cargas horizontales.

**Palabras clave:** procesos, producción, ambiente, sostenibilidad, comunitario.

## Abstract

This article presents the results of the FODECYT 09-2004 project, which was carried out by the Materials Technology and Construction Systems Section and the Structures Section of the Engineering Research Center of the University of San Carlos of Guatemala. The wood used came from areas managed by forest concessions in El Petén, supervised by the National Council of Protected Areas (CONAP). Three wood species from the Maya Biosphere Reserve of El Petén were investigated: Santa María, Manchiche, and Danto. Literature and field research were conducted on the selected woods, construction systems for wood walls were designed, the construction process was defined, and quality control processes were proposed for the different stages of the system. Test methods for sharing wood walls were identified. The tests obtained stress and deformation data. The behavior of the walls under horizontal loads was analyzed and determined stress and deformation data. The behavior of walls when subjected to horizontal loads was known and analyzed.

**Keywords:** process, production, ambience, sustainability, community.

## Introducción

Durante el proceso de investigación, se estableció comunicación con funcionarios del sector público y representantes del sector privado, así como con las ONG, con quienes se realizaron visitas de campo a las instituciones, concesiones forestales, carpinterías de transformación de la madera y otras. Para fines académicos, por Concesiones Forestales Comunitarias (CFC), se entiende que es el derecho que el Estado de Guatemala otorga a comunidades legalmente organizadas, mediante una licitación pública. (Dionisio, 2019).

El manejo forestal comunitario de la Reserva de la Biosfera Maya (de donde se obtuvo la madera para la investigación), tiene el respaldo basado en planes de manejo técnico y cumple con estándares internacionales certificados como, The Forest Stewardship Council (Quispe, 2025).

Se construyeron los muros de madera que fueron sometidos a ensayos, con la coordinación del Ingeniero Mario Corzo, jefe de la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se hicieron las mediciones de las cargas y deformaciones, analizando el comportamiento de los muros sometidos a cargas horizontales.

La madera utilizada en la investigación fue transformada en las concesiones forestales, con cuyos resultados se hace un aporte, como lo menciona Castillo (2020), a la contribución en el alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el bienestar de los comunitarios en términos económicos, así como su contribución a la conservación de los bosques manejados. De igual manera, Monterroso et al. (2018), coincide en que los beneficios de la transformación de la madera en las concesiones se perciben a nivel individual, familiar y comunitario, tanto para los concesionarios, como para los usuarios que se benefician de las mejoras del bosque.

El incremento de las plantaciones forestales y el manejo del bosque con fines productivos, constituyen factores que permiten producir mayor cantidad de madera, con valor

agregado a través de su transformación y, como resultado, el incremento de los beneficios económicos que de la actividad forestal se derivan.

El informe para Guatemala de Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNUD, 2003), identifica al sector forestal como uno de los cuatro sectores con mayor potencial de desarrollo.

Montenegro (2004), propuso crear una red de información a nivel nacional, con las dependencias que podrían aportar información sobre la bibliografía de la madera.

## La Reserva de la Biosfera Maya –RBM-

Según Méndez (2008), en el año 1989, el Congreso de la República de Guatemala, a través del Decreto 4-89, creó el Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP- y, en 1990, creó la Reserva de la Biosfera Maya –RBM- por medio del Decreto 5-90, en el Departamento de El Petén, Guatemala. La administración de la RBM le fue asignada al CONAP, de acuerdo con el mandato que se establece en el Decreto Legislativo 4-89 y 5-90, además, quedó establecido que puede delegarse o compartir la administración de las reservas.

En el Departamento de El Petén, según Monterroso et al. (2018), se ubica la superficie más grande de Guatemala, la cual abarca el 40 % de la superficie territorial de la República. Más del 50 % de su extensión está bajo algún tipo de régimen de conservación. El área protegida más grande del país es la Reserva de la Biosfera Maya (RBM), cuya superficie supera los 2 millones de hectáreas (2,090,667 ha).

La RBM se extiende hacia los municipios de Melchor de Mencos, Flores, San José, San Andrés y La Libertad; su objetivo es la protección y conservación de los recursos naturales y culturales, a la vez proporcionar bienes y servicios a la comunidad local, nacional e internacional. (Corzo et al., 2017).

Con fines académicos, se observó una oportunidad de desarrollo para una investigación científica en el CII,

considerando que, del 100 % de especies existentes en la RBM, el 23 % corresponde a especies actualmente comerciales y, el 77 %, corresponde a las especies maderables que no se han caracterizado por medio de ensayos de laboratorio (Méndez, 2008).

Como consecuencia, se desconocen sus características físicas y propiedades mecánicas; es ahí en donde la Universidad de San Carlos de Guatemala, ha encontrado la oportunidad de brindar el soporte científico y tecnológico a las comunidades forestales, a través de la investigación de la madera.

La falta de una cultura forestal en Guatemala, así como de apoyo a dicho sector, ha provocado que no se promueva la transformación de la madera y se explote el potencial de tan noble recurso. La falta de visión se ha debido en parte, a la carencia de talento humano que visualice las oportunidades que la industria forestal tiene, a la vez de promover iniciativas que la hagan avanzar.

El concepto del aprovechamiento de los recursos provenientes de áreas protegidas, otorgadas a concesiones forestales, no es nuevo ni exclusivo para Guatemala, ya que, en otras latitudes funciona también este concepto, tal es el caso de El Perú, en donde un modelo de concesiones forestales fue introducido en la legislación peruana, en la década del 2000, con la Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 27308. El objetivo fue incorporar el manejo de los recursos forestales a partir de concesiones con planes que brinden el soporte técnico y científico, que permitan el aprovechamiento sostenible de los recursos del bosque, asegurando de esta manera su permanencia en el tiempo. (Sabogal et al., 2024).

## Desarrollo del tema

En esta investigación, se han identificado tres especies de madera y su potencial aplicación como sistemas constructivos, a través de controles de calidad en la realización de ensayos, con el objeto de ampliar los conocimientos técnicos en el área de la construcción y

brindar un soporte a las comunidades forestales, en la forma de aprovechamiento de la materia prima y como elemento de un sistema constructivo, con valor agregado por medio de la transformación en material de construcción.

Este proyecto ha aportado conocimiento científico sobre la madera en lo relativo a la selección y optimización de la aplicación en muros para diversas edificaciones.

La importancia del proyecto ha sido significativa, en función al enorme potencial de la madera que hay en Guatemala y al déficit habitacional de más de 1,600,000 viviendas, que necesitan aportes tecnológicos alternativos a los existentes.

El proyecto, además de su alcance en sistemas constructivos convencionales, busca otras aplicaciones en edificaciones de madera en general.

Este trabajo es pertinente, ya que se compone de dos aspectos importantes: la investigación y el desarrollo, ambos contenidos en las líneas de investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, –CONCYT-, además, ha hecho una contribución hacia la mejora de las condiciones de vivienda de la población, que utiliza la madera como material de construcción; el aporte también se extiende hacia la conservación, el fomento, el conocimiento de las características físicas y propiedades mecánicas, así como el mejoramiento del uso racional de este recurso natural renovable. Esta investigación se ha relacionado por la ciencia y tecnología para la aplicación de la madera como elemento estructural.

El CII, ha desempeñado un papel importante, al emitir dictámenes de aptitud técnica sobre las pruebas realizadas a elementos de madera transformada, de acuerdo con las necesidades, demandas y especificaciones del mercado, toda vez que su origen sea de áreas protegidas y manejadas.

Este proyecto ha contribuido al mejoramiento de la calidad de vida de la población, al hacer un aporte tecnológico con estricto control de calidad, como alternativa a la solución del problema habitacional existente y la posibilidad de creación de fuentes de empleo, por medio de la transformación y comercialización.

Los objetivos de la investigación fueron:

1. Identificar especies maderables para la construcción de muros.
2. Conocer el sistema de control de calidad de la madera.
3. Evaluar sistemas constructivos de muros de madera.
4. Conocer el comportamiento de muros al ser sometidos a cargas horizontales.

En esta investigación, se utilizaron las especies maderables no tradicionales, provenientes de la Reserva de la Biosfera Maya, que se describen a continuación:

### Danto (*Vatairea lundellii* Standley)

Es una especie emergente de los estratos superiores, crece en las zonas de vida del bosque húmedo y muy húmedo subtropical, de 0 a 600 msnm, tanto en suelos anegados o bajos y también en suelos bien drenados. (Méndez, 2008).

### Santa María (*Calophyllum brasiliense* Camb. var. *rekoy* Standl.)

Especie nativa de la familia *Clusiaceae*, frecuentemente de 15 a 50 metros de alto y fuste de 0.5 a 1.8 metros de diámetro a la altura del pecho. Fuste recto, cilíndrico, algunas veces con pequeños contrafuertes en base, libre de ramas en sus dos terceras partes. (Méndez, 2008).

### Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados

### *Manchiche* (*Lonchocarpus castilloi* Standl)

Es una especie nativa de la familia Fabaceae, alcanza de 30 a 40 metros de altura y diámetros de 40 a 100 cm a la altura del pecho. El fuste es recto, pero algunas veces se bifurca. (Méndez, 2008).

### Sistema de control de calidad de la madera

Previo al proceso de preparación de la madera para la edificación de muros, se realizaron las siguientes actividades: a) selección; b) adquisición; c) corte en aserradero; d) transporte; y e) secado (Ayala, 2021). El cepillado constituye una actividad adicional (Ayala, 2022). Posteriormente, se procedió al diseño de los muros, construcción del forro y bastidor (Ayala, 2023). Finalmente, el ensayo para determinar la resistencia a corte.

### Diseño de muros

Existen dos propuestas de diseño para la elaboración de muros con maderas nacionales: arriostrado simple y arriostrado con doble marco. Ambos diseños fueron el resultado de la elección de varias propuestas identificadas (Ayala, 2006).

### Concepción teórica del corte

Fuerza de viento

$$qviento = 0.0032 V^2$$

Con una velocidad de 250 millas/hora,

$$qviento = 200 \text{ lb/pie}$$

### Área resistente

$$((H \times 0.002) / 2) \times qviento = qresistente$$

$$qresistente = ((2.44 \times 0.002) / 2) \times 200 \times 96$$

$$qresistente = 46.85 \text{ lb}$$

## Fuerza sísmica

El sismo está dado por su magnitud e intensidad. Se encontró que, en estructuras de madera, como en este caso particular, en consideración del peso y proceso constructivo, según el Código de California, para sismos en la escala de Mercalli, la intensidad que resiste es del grado 8.

## Ensayo de paneles de madera a corte

Este tipo de ensayos se han realizado, de forma frecuente, en la Sección de Estructuras del CII, con el propósito de proveer una Certificación de Aptitud Técnica de los diferentes sistemas constructivos a los usuarios que lo requieran.

### Generalidades

1. Se construyó un muro con paneles prefabricados a escala natural, los que presentaron las características descritas por el esquema indicado, luego de las generalidades para ser ensayados a corte (carga lateral).
2. El muro se integró por: a) tres paneles prefabricados, fijados en la base por dos tornillos por panel de 5 pulgadas de largo y 3/8" de diámetro. b) los paneles se unieron con pernos de acero de 5" de largo por 3/8" de diámetro, con tuerca.
3. Las dimensiones de cada panel fueron: largo 244 cm, ancho efectivo 120 cm, espesor de 12 cm.
4. El área bruta transversal de cada panel fue del orden de los 550 cm<sup>2</sup>.
5. Cada panel estuvo formado por 3 piezas de 7.5 cm por 5 cm por 244 cm; 3 piezas de 7.5 cm por 5 cm por 120 cm y 4 piezas inclinadas del centro a las orillas de 7.5 cm por 5 cm por 115 cm.

6. Cada panel estuvo forrado con 8 tablas de 17.14 cm por 2 cm por 120 cm y 16 tablas de 17.14 cm por 2 cm por 100 cm de cada lado.
7. Las dimensiones y la forma de armar el muro y los paneles se muestran a continuación.

### Propuesta de muro arriostrado simple

Esta propuesta de método constructivo se ha diseñado con las siguientes especificaciones:

- Las dimensiones de cada panel fueron: 244 cm de alto, 120 cm de ancho efectivo, 12 cm de espesor.
- El área bruta transversal de cada panel fue del orden de 550 cm<sup>2</sup>.
- El bastidor de cada panel estaba formado con 3 piezas de 7.5 cm por 5 cm por 244 cm; 3 piezas de 7.5 cm por 5 cm por 120 cm y 4 piezas inclinadas del centro a las orillas de 7.5 cm por 5 cm por 115 cm.
- El forro de cada panel se compuso de: 8 tablas de 17.14 cm por 2 cm por 120 cm y 16 tablas de 17.14 cm por 2 cm por 100 cm de cada lado.

### Propuesta de muro arriostrado con doble marco

El método constructivo propuesto se ha diseñado con las siguientes especificaciones:

- Las dimensiones de cada panel fueron: 244 cm de alto, 120 cm de ancho efectivo y 12 cm de espesor.
- El área bruta transversal de cada panel fue del orden de 550 cm<sup>2</sup>.
- El bastidor de cada panel se formó con 3 piezas de 7.5 cm por 5 cm por 244 cm; 5 piezas de 7.5 cm por 5 cm por 120 cm y 4 piezas inclinadas del centro a las orillas de 7.5 cm por 5 cm por 75 cm.
- El forro de cada panel se conformó de: 8 tablas de 17.14 cm por 2 cm por 120 cm y 16 tablas de 17.14 cm por 2 cm por 100 cm de cada lado.

**Figura 1**

Construcción de un muro de madera para ser ensayado al corte



**Nota.** Proceso de construcción de muro de madera para su ensayo. Tomado de *Implantación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros utilizando maderas nacionales* (Ayala, 2006).

### Ensayos de corte en los muros

Los resultados de los ensayos de corte y compresión se han presentado, en informes técnicos realizados por el Ing. Mario Corzo, jefe de la Sección de Estructuras del CII.

### Procedimiento del ensayo de corte

Se colocó el marco de carga (estructura triangular), con su respectivo gato hidráulico, para aplicar la carga horizontal gradualmente en el extremo superior del muro. Se tomaron lecturas de deflexión transversal del muro, en la cara opuesta a la de la aplicación de la carga, en la parte superior y otra en la parte inferior del muro, para observar si existe volteo. Después de aplicar el efecto de corte al muro, hasta una carga determinada, se descargó para analizar si entraba en un comportamiento plástico.

Posteriormente, se aplicó carga controlada, observando si el muro presentaba algún tipo de resistencia considerable al efecto de corte.

**Tabla 1**

Resultados muro a corte 1 Danto 1

CARGA (kg)	MURO A CORTE (DANTO 1)		
	DEFORMACIÓN (mm)		DEFLEXIÓN (mm)
	A	B	
0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
471,34	0,80	-0,27	<b>1,07</b>
942,68	1,30	0,92	<b>0,38</b>
1414,03	4,65	1,70	<b>2,95</b>
1602,56	6,50	2,10	<b>4,40</b>
1791,10	8,18	2,51	<b>5,67</b>
1979,64	9,80	3,11	<b>6,69</b>
2168,17	11,35	3,50	<b>7,85</b>
2356,71	12,50	4,08	<b>8,42</b>
2545,25	13,75	4,30	<b>9,45</b>
2733,78	14,90	4,50	<b>10,40</b>
2922,32	16,40	5,10	<b>11,30</b>
3110,86	18,30	5,50	<b>12,80</b>
3299,39	19,90	5,90	<b>14,00</b>
3487,93	21,65	6,12	<b>15,53</b>
3676,47	23,90	6,46	<b>17,44</b>
3770,73	25,95	6,61	<b>19,34</b>
3959,27	27,70	6,80	<b>20,90</b>
4147,81	28,89	7,10	<b>21,79</b>
4336,35	30,44	7,30	<b>23,14</b>
4524,88	32,95	7,60	<b>25,35</b>
4713,42	36,70	7,82	<b>28,88</b>
4901,96	39,00	8,01	<b>30,99</b>
5090,49	42,65	8,20	<b>34,45</b>
5279,03	44,95	8,30	<b>36,65</b>

**Nota.** Tomado de *Implementación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros utilizando maderas nacionales* (Ayala, 2006).

Tabla 2

Resultados muros a corte 1 Manchiche 1

CARGA (kg)	MURO A CORTE (MANCHICHE)		DEFLEXIÓN (mm)	
	DEFORMACIÓN (mm)			
	A	B		
0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	
471,34	0,95	0,29	<b>0,66</b>	
942,68	3,00	0,78	<b>2,22</b>	
1414,03	5,43	1,27	<b>4,16</b>	
1602,56	6,80	1,50	<b>5,30</b>	
1791,10	7,93	1,74	<b>6,19</b>	
1979,64	8,78	1,84	<b>6,94</b>	
2168,17	9,58	2,00	<b>7,58</b>	
2356,71	10,75	2,22	<b>8,53</b>	
2545,25	12,20	2,47	<b>9,73</b>	
2733,78	13,49	2,68	<b>10,81</b>	
2922,32	14,86	2,87	<b>11,99</b>	
3110,86	17,85	3,11	<b>14,74</b>	
3299,39	19,75	3,41	<b>16,34</b>	
3487,93	21,67	3,99	<b>17,68</b>	
3770,73	23,85	4,31	<b>19,54</b>	
4242,08	28,30	4,89	<b>23,41</b>	

**Nota.** Tomado de Implementación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros utilizando maderas nacionales (Ayala, 2006).

Figura 2

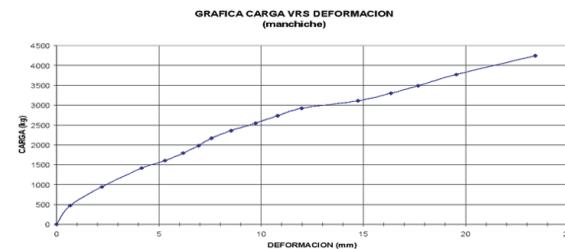
Carga- deformación 1 Danto 1



**Nota.** Tomado de Implementación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros utilizando maderas nacionales (Ayala, 2006).

Figura 3

Carga- deformación 1 Manchiche 1



**Nota.** Tomado de Implementación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros utilizando maderas nacionales (Ayala, 2006).

Tabla 3

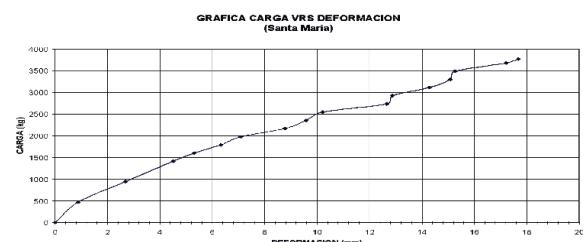
Resultados muros a corte 1 Santa María 1

CARGA (kg)	MURO A CORTE (SANTA MARÍA)		DEFLEXIÓN (mm)
	A	B	
0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
471,34	1,38	0,49	<b>0,89</b>
942,68	3,68	0,99	<b>2,69</b>
1414,03	6,10	1,59	<b>4,51</b>
1602,56	7,30	1,99	<b>5,31</b>
1791,10	8,54	2,20	<b>6,34</b>
1979,64	9,60	2,50	<b>7,10</b>
2168,17	11,59	2,81	<b>8,78</b>
2356,71	12,75	3,16	<b>9,59</b>
2545,25	13,66	3,44	<b>10,22</b>
2733,78	16,40	3,73	<b>12,67</b>
2922,32	16,90	4,03	<b>12,87</b>
3110,86	18,56	4,27	<b>14,29</b>
3299,39	19,70	4,61	<b>15,09</b>
3487,93	20,12	4,85	<b>15,27</b>
3676,47	22,30	5,09	<b>17,21</b>
3770,73	22,90	5,21	<b>17,69</b>

**Nota.** Tomado de Implementación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros utilizando maderas nacionales (Ayala, 2006).

**Figura 4**

Gráfica Carga- deformación 1 Manchiche 1



**Nota.** Tomado de Implementación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros utilizando maderas nacionales (Ayala, 2006).

## Discusión y resultados

Los resultados del comportamiento de los muros en los ensayos a corte, han determinado que los muros con el diseño No. 1 tuvieron un mejor desempeño en cuanto a resistencias se refiere, en comparación a los muros con el diseño No. 2. Entre los muros ensayados, el orden de más a menos en las resistencias a la carga de corte y la deflexión se dio de la forma siguiente: los muros de Danto, de Manchiche y Santa María, respectivamente.

Los muros ensayados a corte mostraron cómo los paneles trabajaron inicialmente en forma independiente, ya que los mismos tuvieron desplazamiento inter-panel.

Durante el ensayo, el comportamiento individual de los paneles provocó desplazamiento vertical, dando como resultado que, una parte trabajó a tensión, mientras que la otra a compresión; generando un efecto de corte. Así mismo, los pernos con los que se fijaron los paneles a la viga de ensayo estuvieron sometidos a un efecto de arrancamiento, haciendo el mayor esfuerzo, las piezas transversales que estaban sujetas a dichos

## Conclusiones

1. Se identificaron tres especies maderables para la construcción de muros: Danto, Manchiche y Santa María.

2. El sistema de control de calidad de la madera incluye el proceso de selección de esta, adquisición, corte en aserradero, transporte, secado, cepillado, diseño de los muros, construcción del forro y bastidor del muro y el ensayo de compresión.
3. La caracterización de las especies identificadas permitió una mejor apertura en la comercialización de los productos derivados de las maderas duras no tradicionales, debido a que ofrece más información técnica de las maderas utilizadas en la construcción y otros usos de la industria.
4. Los diseños para sistemas constructivos utilizados para propósitos de investigación han sido el resultado de la experiencia basada en los servicios que presta la Sección de Estructuras del CII, en materia de ensayos a elementos de la construcción.
5. Los ensayos de corte de los muros o paneles de madera, han proporcionado conocimientos de gran valor respecto a su comportamiento, luego de ser sometidos a cargas horizontales y verticales, en el orden de esfuerzos, de deformaciones y efectos físicos en su estructura, dicha información provee referencias más objetivas y confiables para la edificación de muros de madera, dado que, tanto los diseños de los muros y los resultados de sus ensayos, garantizaron construcciones más fuertes y seguras, en función de sismos de más de 7 grados en la Escala Mercalli y de vientos de más de 350 kilómetros por hora.

## Recomendaciones

1. Es necesario contar con un proceso eficiente de transporte de maderas de El Petén hacia la ciudad capital, en el cual se consideren los aspectos a favor y adversos, de tal forma que se pueda optimizar el uso de los recursos, en función de la minimización del impacto económico en los costos de traslado.

2. Es necesario realizar más investigaciones orientadas al establecimiento de las propiedades y características de otras especies maderables poco conocidas.
3. Se recomienda que, en el ensayo de corte, se coloque una viga de sujeción en la parte superior del muro y planchas de acero en los pernos, para disminuir los momentos de volteo.

## Referencias bibliográficas

- Ayala, V. (2023). Control de calidad del armado del bastidor y forro, para edificación de muros con maderas nacionales de Guatemala. Revista Científica 2023, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.  
[https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/media/Revista\\_Cientifica\\_CII\\_2023.pdf](https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/media/Revista_Cientifica_CII_2023.pdf)
- Ayala, V. (2006). Implantación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros utilizando maderas nacionales, FODECYT No. 09-02004, SENACYT, mayo de 2006, Guatemala.  
[https://biblioteca.senacyt.gob.gt/library/images/1/16/Fodecyt\\_2004.09.pdf](https://biblioteca.senacyt.gob.gt/library/images/1/16/Fodecyt_2004.09.pdf)
- Ayala, V. (2021). Control de calidad en el proceso de secado de madera para la edificación de muros. Revista Científica 2021, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.  
[https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/media/Revista\\_CII\\_21.pdf](https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/media/Revista_CII_21.pdf)
- Ayala, V. (2022). Control de calidad en el proceso de corte y cepillado de madera para edificación de muros. Revista Científica 2022, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.  
<https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/media>
- Castillo, R. (2020). El aporte de la forestaría comunitaria a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Caso de las concesiones forestales comunitarias en la Reserva Biósfera Maya, Petén, Guatemala. CATIE.  
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11475/11478>
- Corzo, A., Figueroa, I., Rodríguez, D. (2017) Beneficios socioeconómicos de las familias que pertenecen a las concesiones forestales comunitarias en Petén, Guatemala. Ciencias Sociales y Humanidades Vol. 4 Núm. 2 2017 ISSN: 2410-6291 (electrónico) /2409-3475(impresso)  
<https://revistas.usac.edu.gt/index.php/csh/article/view/535>
- Dionisio, S. (2019) Conservación y desarrollo basado en la comunidad: las concesiones forestales comunitarias en Petén, Guatemala. Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático. Rainforest Alliance.  
<https://www.revistayam.com/wp-content/uploads/2019/02/articulo-4.pdf>
- Méndez, S. (2008). Innovación y evaluación de la calidad de pisos de madera, generando capacidad instalada para la transferencia tecnológica a comunidades forestales del Petén. FODECYT No. 040-06, SENACYT, octubre de 2008, Guatemala.
- Montenegro, E. (2004). Recopilación bibliográfica y documental relacionado con el tema de la madera. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Monterroso, I., Stoian, D., Lawry, S., Rodas, A. (2018). Investigación y política sobre concesiones

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2003). Guatemala: Una Agenda para el Desarrollo Humano. Informe Nacional de Desarrollo Humano.

Quispe, E. (2025). Hacia la adaptación al cambio climático en las concesiones forestales comunitarias del Petén, Guatemala. Serie Red Latinoamericana de Bosque Modelo. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12744>

al, C., Kroll, N., de Dea, V., Pacheco. E. (2024). Casos de manejo sostenible de concesiones forestales maderables en la Región Madre de Dios, Perú. Revista Forestal del Perú, 39 (2): 335 - 376 (2024).

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú DOI: <https://doi.org/10.21704/rfp.v39i2.1141>

### Agradecimientos

A Mario Rodolfo Corzo Ávila, Fabio Sánchez, Iván Juvencio Juárez Chegüen, Carlos Gómez, Francisco Castañeda M. y Vinicio Montero.

### Autores

#### Edgar Virgilio Ayala Zapata

Doctor en ingeniería civil, profesor investigador, Jefe de la Sección de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### Saulo Moisés Méndez Garza

Maestro en Formulación y Evaluación de Proyectos, Ingeniero Industrial, profesor investigador de la Sección de Ecomateriales del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

# E

## valuación del efecto antiparadeante de extractos de **perejil** en manzanas mínimamente procesadas

Gerson Joél Ortega Morales (MA. Ing. Químico)  
*gersonortegamo@gmail.com*

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química)  
*etracastellanosj@gmail.com*

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química)  
*telma.canomorales@hotmail.com*

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico)  
*mjmeridamere@gmail.com*

Osber Isabel Carías Palencia (MA. Ing. Mecánico)  
*osbercarias@gmail.com*

Juan Pablo Lopez Cano (Ing. Industrial)  
*Jlpoez22@gmail.com*

Melinna Lizeth Beteta Castro (Bachiller)  
*melybeteta@gmail.com*

Renato Paolo Cisneros Quiñonez (Bachiller)  
*renatopcisneros@gmail.com*



# Evaluación del efecto antipardeante de extractos de perejil en manzanas mínimamente procesadas

Gerson Joél Ortega Morales  
(MA. Ing. Químico)  
gersonortegamo@gmail.com

Claudia Elisa Castellanos Jurado  
(Inga. Química)  
etracastellanosj@gmail.com

Telma Maricela Cano Morales  
(Inga. Química)  
telma.canomorales@hotmail.com

Mario José Mérida Meré  
(Ing. Químico)  
mjmeridamere@gmail.com

Osber Isabel Carías Palencia  
(MA. Ing. Mecánico)  
osbercarias@gmail.com

Juan Pablo Lopez Cano  
(Ing. Industrial)  
J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt

Melinna Lizeth Beteta Castro  
(Bachiller)  
melybeteta@gmail.com

Renato Paolo Cisneros Quiñonez  
(Bachiller)  
renatopcisneros@gmail.com

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LEXVE-  
Sección de Química Industrial  
Centro de Investigaciones de Ingeniería / Facultad de Ingeniería

## Resumen

Este estudio evalúa el efecto antipardeante de los extractos de perejil (*Petroselinum crispum*), en manzanas mínimamente procesadas (*Pyrus malus L.*). Para ello, se realizaron extracciones utilizando solventes hidroxílicos (etanol al 50 % y 96 %), el objetivo de determinar el rendimiento extractivo del perejil, cuantificar la capacidad antioxidante mediante la inhibición del radical DPPH, medir el contenido de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, evaluar in vivo el efecto antipardeante en rodajas de manzana, y analizar las propiedades sensoriales mediante un cuadro hedónico con jueces no entrenados. Los resultados mostraron que el extracto de etanol al 96 % presentó un mayor rendimiento extractivo y actividad antioxidante en comparación con el de etanol al 50 %. Además, este extracto redujo significativamente el pardeamiento en las rodajas de manzana durante el almacenamiento refrigerado. En cuanto a las propiedades sensoriales, el extracto al 50 % fue mejor valorado en aroma y textura, mientras que el extracto al 96 % destacó por su eficacia antipardeante. Estos hallazgos sugieren que la concentración del solvente influye tanto en la actividad antioxidante, como en la aceptación sensorial, lo que es relevante para aplicaciones en la industria de alimentos mínimamente procesados.

**Palabras clave:** pardeamiento, manzana, extracto de perejil, polifenoles, inhibición.

## Abstract

This study evaluates the anti-browning effect of parsley extracts (*Petroselinum crispum*) on minimally processed apples (*Pyrus malus L.*). To achieve this, extractions were carried out using hydroxylic solvents (50% and 96% ethanol) the objective of determining the extractive yield of parsley, to quantify the antioxidant capacity through DPPH radical inhibition, to measure total polyphenol content using the Folin-Ciocalteu method, to evaluate the in vivo anti-browning effect on apple slices, and to analyze sensory properties using a hedonic scale with untrained panelists.

The results showed that the 96% ethanol extract had a higher extractive yield and antioxidant activity compared to the 50% ethanol extract. Furthermore, this extract significantly reduced browning in apple slices during refrigerated storage. Regarding sensory properties, the 50% extract was rated better in aroma and texture, while the 96% extract stood out for its anti-browning effectiveness. These findings suggest that solvent concentration influences both antioxidant activity and sensory acceptance, which is relevant for applications in the minimally processed food industry.

**Keywords:** browning, apple, parsley extract, polyphenols, inhibition.

## Introducción

La creciente demanda de alimentos frescos y listos para el consumo, impulsa el desarrollo de tecnologías que permiten extender la vida útil de productos mínimamente procesados, sin comprometer su calidad sensorial, ni su valor nutricional. En este contexto, el fenómeno del pardeamiento enzimático se posiciona como uno de los principales retos, pues afecta negativamente, tanto la apariencia como las propiedades organolépticas de frutas como la manzana (*Pyrus malus L.*). Dicho deterioro se origina principalmente en la oxidación de compuestos fenólicos, proceso catalizado por la enzima polifenol oxidasa (PPO). Como demostraron Quevedo et al. (2016, citado en Jadán Piedra, 2017), la acción de la PPO favorece la oxidación de los compuestos fenólicos a medida que aumenta la presencia de oxígeno y se mantienen las condiciones de pH neutro.

El uso tradicional de sulfitos como inhibidores del oscurecimiento, es ampliamente cuestionado debido a sus efectos adversos, entre los que se incluye la generación de reacciones alérgicas en individuos susceptibles, lo cual conduce a la búsqueda de alternativas más seguras y naturales. En este sentido, la aplicación de extractos vegetales se presenta como una opción innovadora y sostenible. Particularmente, el extracto de perejil (*Petroselinum crispum*), destacó por su riqueza en compuestos antioxidantes, tales como flavonoides (queracetina, apigenina), vitamina C y tocoferoles, los cuales desempeñaron un papel crucial en la inhibición del pardeamiento.

Según Wang et al. (2014), estos flavonoides actúan como secuestradores de radicales libres, impidiendo la oxidación de los compuestos fenólicos presentes en las frutas y retrasando así la formación de pigmentos oscuros.

El objetivo principal de la investigación, fue evaluar el efecto antipardeante de los extractos de perejil aplicados a rodajas de manzana mínimamente procesadas. Los objetivos específicos incluyeron: determinar el rendimiento extractivo utilizando dos solventes hidroalcohólicos (etanol al 50 % y 96 %), cuantificar la capacidad antioxidante mediante la inhibición del radical DPPH, medir el contenido de e

polifenoles totales aplicando el método Folin-Ciocalteu, evaluar *in vivo* la capacidad antipardeante en rodajas de manzana, durante almacenamiento refrigerado y analizar las variaciones en las propiedades sensoriales mediante pruebas hedónicas con jueces no entrenados.

La investigación se fundamentó en un enfoque cuantitativo, que permitió comparar sistemáticamente el efecto de diferentes concentraciones de etanol (50 % y 96 %), en la extracción de compuestos bioactivos y su posterior eficacia como inhibidores del pardeamiento. Los hallazgos obtenidos resultaron determinantes para optimizar los procesos de conservación de alimentos, al demostrar la viabilidad de incorporar aditivos naturales, que redujeron la dependencia de conservantes sintéticos potencialmente perjudiciales. Además, el estudio contribuyó a fomentar una economía circular, mediante el aprovechamiento eficiente de recursos locales y la valorización de subproductos agrícolas.

## Metodología

El estudio evaluó el efecto antipardeante de extractos de perejil (*Petroselinum crispum*), en manzanas mínimamente procesadas (*Pyrus malus L.*), mediante el cumplimiento de objetivos específicos orientados a cuantificar el rendimiento extractivo, la capacidad antioxidante y la estabilidad cromática del producto.

Para determinar el rendimiento extractivo, se empleó maceración dinámica con dos solventes hidroxílicos (agua y alcohol etílico), manteniendo una relación disolvente/especie de 1:6 (Bobo-García, 2014).

En el caso de la solución hidroalcohólica, se utilizó una proporción 50/50, siguiendo el enfoque descrito por Luthria et al. (2006).

La capacidad antioxidante se evaluó mediante el método del 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH). Según lo descrito, el DPPH es un radical estable de color violeta oscuro, realizándose la medición de la absorbancia a 515 nm, tras 60 minutos de incubación (Bobo-García et al., 2015;

Kuijpers et al., 2014; Marszałek et al., 2017). Asimismo, el contenido total de fenoles se cuantificó aplicando el método Folin-Ciocalteu, conforme a los procedimientos de Cortez et al. (2018) y Lamuela-Raventós (2018).

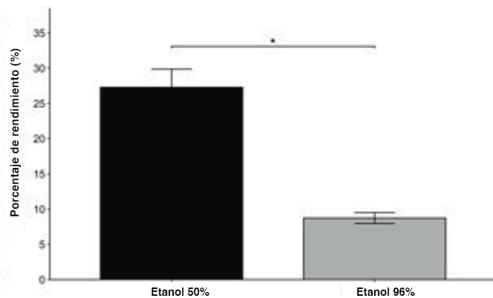
El potencial antiparardeante in vivo, se determinó aplicando los extractos sobre rodajas de manzana y evaluando la evolución del color, durante el almacenamiento refrigerado, siguiendo el método de Valverdú (2018). Se realizaron mediciones colorimétricas en el espacio CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) y se complementaron con una evaluación sensorial por medio de un cuadro hedónico administrado a un panel de jueces no entrenados.

La investigación se diseñó como un estudio de carácter básico e innovador, con un enfoque cuantitativo para los análisis instrumentales (rendimiento extractivo, capacidad antioxidante y contenido fenólico) y un enfoque cualitativo para la evaluación sensorial. Las muestras, conformadas por rodajas de manzana, seleccionadas por criterios de uniformidad en la variedad, madurez homogénea y ausencia de defectos visibles, se sometieron a análisis estadísticos (ANOVA y regresión lineal), para garantizar la validez de los resultados.

## Resultados

Figura 1

Rendimiento extractivo del perejil (*Petroselinum crispum*) utilizando alcohol etílico al 96 % y 50 % de concentración.



Nota. \* Diferencia estadística. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

Tabla 1

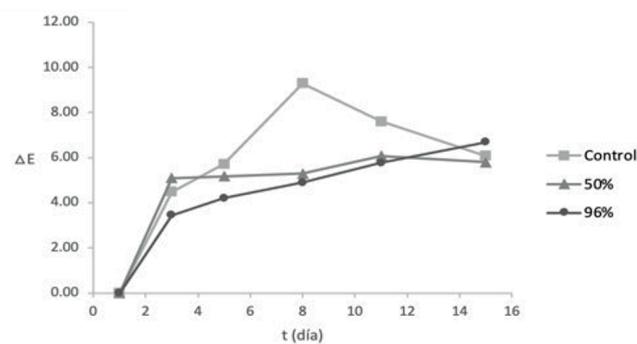
Cantidad de fenoles y % inhibición de los dos tipos de extractos.

Parámetro Analizado	Tipo de extracción	Resultado
Cantidad de fenoles, mg GAE/g perejil (sobre ms)	$H_2O/EtOH$ (50%)	$6.24 \pm 0.0624^a$
	$H_2O/EtOH$ (96%)	$7.925 \pm 0.1365^b$
% inhibición $\mu mol TE/g$ perejil (sobre ms)	$H_2O/EtOH$ (50%)	$81.31 \pm 0.4044^a$
	$H_2O/EtOH$ (96%)	$89.96 \pm 0.22^b$

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-. Diferentes letras indican diferencias significativas entre los 2 tipos de extracción en el parámetro analizado.

Figura 2

Cantidad de fenoles y % inhibición de los dos tipos de extractos.



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-. Diferentes letras indican diferencias significativas entre los 2 tipos de extracción en el parámetro analizado.

**Figura 3**

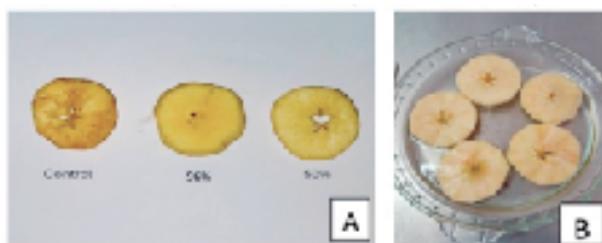
Ánalisis sensorial del aspecto global de las rodajas de manzana (*Pyrus malus*), mediante cuadro hedónico con jueces no entrenados.



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

**Figura 4**

Rodajas de manzana inmersas en los extractos de perejil al 50 % y 96 %, además del control.



Nota. A: Comportamiento del pardeamiento en manzanas. B: Inmersión de las manzanas. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-. Elaboración propia.

## Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian diferencias significativas en la eficacia de los extractos de perejil (*Petroselinum crispum*), obtenidos mediante dos concentraciones distintas de etanol: al 50 % y al 96 %. Tal como se ilustra en la Figura 1, el rendimiento extractivo fue considerablemente mayor al utilizar etanol al 50 % (27.50 %), en comparación con el obtenido con etanol al 96 % a (9.14 %). Esta diferencia puede atribuirse a la presencia de agua en la mezcla hidroalcohólica, la cual favorece la solubilización de una mayor gama de compuestos fenólicos, particularmente aquellos más polares.

Aunque el etanol puro tiene afinidad por los polifenoles, su combinación con agua en una proporción adecuada incrementa la polaridad del solvente, lo que permite una extracción más eficiente y diversa de metabolitos bioactivos. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado en la literatura científica, donde se ha señalado que solventes mixtos, pueden mejorar el rendimiento de extracción de antioxidantes naturales (Bobo García et al., 2015).

Respecto a la capacidad antipardeante, los datos mostrados en la Figura 2, indican que las rodajas de manzana tratadas con el extracto de perejil obtenido con etanol al 96 %, presentaron valores de  $\Delta E$  (diferencia total de color), significativamente menores durante el almacenamiento, en comparación con el control y con el tratamiento con extracto al 50 %.

No obstante, al evaluar las propiedades sensoriales (Figura 3), se observó que las rodajas tratadas con el extracto de perejil al 50 %, fueron mejor valoradas por los jueces no entrenados en atributos clave como aroma, textura y apariencia general. Esto sugiere que, si bien el extracto al 96 % mostró una mayor efectividad para preservar el color natural del producto, el tratamiento con etanol al 50 %, ofreció una experiencia sensorial más agradable y aceptable para los consumidores. Tal hallazgo puede explicarse por el hecho de que ciertos compuestos presentes en el extracto al 96 %, podrían haber impartido sabores o aromas más intensos o incluso amargos, lo que afectó negativamente su aceptación. En contraste, el extracto al 50 % no solo fue más eficiente en la extracción de compuestos fenólicos solubles en agua, sino que, además, permitió conservar características organolépticas deseables (Landim et al., 2016).

Finalmente, las diferencias observadas entre los tratamientos fueron estadísticamente significativas y validadas mediante pruebas no paramétricas, específicamente la prueba de Kruskal-Wallis, lo cual respalda la robustez de los resultados obtenidos. Esta evidencia sugiere que el tipo y la concentración del solvente utilizado en la extracción de compuestos bioactivos, no solo influyen en el rendimiento y en la

capacidad antioxidante del extracto, sino también en la percepción sensorial del producto tratado. Por ende, la elección del solvente debe considerar un equilibrio entre eficacia técnica y aceptación sensorial del consumidor.

## Conclusiones

1. El rendimiento de extracción fue significativamente mayor con etanol al 50%, en comparación con etanol al 96% ( $p < 0.05$ , prueba de Tukey). La combinación de agua con etanol incrementó la solubilización de compuestos hidrofílicos, reduciendo la selectividad hacia los polifenoles.
2. La actividad antioxidante, medida mediante la inhibición del radical DPPH, fue superior en los extractos obtenidos con etanol al 96% ( $p < 0.05$ , prueba de Tukey). Esto se atribuye a la mayor afinidad de los polifenoles por solventes de menor polaridad, lo que favorece su extracción y preservación.
3. La cuantificación de polifenoles totales, a través del método Folin-Ciocalteu, evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ , prueba de Tukey), mostrando que el extracto obtenido con etanol al 96%, presentó una mayor concentración de polifenoles.
4. La evaluación de parámetros de color ( $L$ ,  $a$ ,  $b$  y  $\Delta E$ ), mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ , prueba de Tukey). En este sentido, el extracto obtenido con etanol al 96%, proporcionó una mejor estabilidad cromática, reduciendo el pardeamiento enzimático de forma más efectiva.
5. El análisis sensorial, reveló diferencias considerables en la aceptación de los tratamientos ( $p < 0.05$ , prueba de Kruskal-Wallis). Las muestras tratadas con extracto obtenido con etanol al 50%, fueron mejor valoradas en términos de textura y aroma mientras que el tratamiento con etanol al 96%, mostró una menor diferencia.

## Recomendaciones

1. Implementar y validar técnicas de extracción asistidas por ultrasonidos o microondas, podría mejorar la eficiencia y selectividad en la recuperación de compuestos fenólicos, permitiendo una comparación directa con la maceración dinámica, utilizada en el estudio para maximizar tanto el rendimiento extractivo como la actividad antioxidante.
2. Integrar tratamientos complementarios, tales como recubrimientos comestibles basados en biopolímeros o el envasado en atmósferas modificadas, en combinación con la aplicación de extractos de perejil, podría potenciar la inhibición del pardeamiento enzimático en rodajas de manzana, extendiendo la vida útil del producto y mejorando su estabilidad sensorial y nutricional.
3. Fomentar el uso de extractos vegetales ricos en antioxidantes como alternativa natural a los sulfitos. Dado que el uso de sulfitos presenta riesgos para la salud, se recomienda promover la investigación y aplicación de extractos vegetales, como el del perejil, que contienen compuestos antioxidantes eficaces para inhibir el pardeamiento enzimático sin afectar la calidad sensorial del producto.
4. Optimizar las condiciones de extracción de compuestos bioactivos, según el solvente utilizado. Los resultados indican que la concentración del etanol influye en la eficiencia de extracción de flavonoides y otros antioxidantes.
5. Por tanto, se sugiere seguir investigando la combinación más adecuada de solventes, para una combinación más adecuada, para maximizar el rendimiento y eficacia de los extractos naturales.

## Referencias bibliográficas

- Bobo García, G. D. -P.-A. (2014). Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Sci Food Agri*. <http://doi.org/10.1002/jsfa.6706>.
- Cortez, J. D., Faicán, M. A., & Pirovani, M. E. (2018). Determinación de polifenoles en frutas con vitamina C incorporada: Metodología para mejorar la especificidad del ensayo de Folin-Ciocalteu. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81357541002>
- Jadán, Piedra, F. (2017). Control del pardeamiento enzimático en manzanas cortadas (Red delicious) mediante un sistema de envasado activo. *Enfoque UTE*, 8(2), 66–77. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n2.158>.
- Kuijpers, T. F. M., Van Herk, T., Vincken, J. P., Janssen, R. H., Nath, D. L., Van Berkel, W. J. H., & Gruppen, H. (2014). Potato and mushroom polyphenol oxidase activities are differently modulated by natural plant extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(1), 214–221. <https://doi.org/10.1021/jf4043375>.
- Lamuela-Raventós, R. M. (2018). Folin-Ciocalteu method for the measurement of total phenolic content and antioxidant capacity.
- Landim, A. P. M., Barbosa, M. I. M. J., & Barbosa, J. L. (2016). Influencia da desidratação osmótica sobre los compostos bioativos, capacida de antioxidante, con textura de frutas e olerícolas: Uma revisão. *Ciencia Rural*, 46, 1714–1722. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150534>
- Luthria, D. L., Mukhopadhyay, S., & Kwansa, A. L. (2006). A systematic approach for extraction of phenolic compounds using parsley (*Petroselinum crispum*) flakes as a model substrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(9), 1350–1358. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2521>
- Marszałek, K., Krzyżanowska, J., Woźniak, L., & Skapska, S. (2017). Kinetic modelling of polyphenol oxidase, peroxidase, pectin esterase, polygalacturonase, degradation of the main pigments and polyphenols in beetroot juice during high pressure carbon dioxide treatment. *WT*, 85, 412–417. <https://doi.org/10.1016/j.wt.2016.11.018>.
- Landim, A. P. M., Barbosa, M. I. M. J., & Barbosa, J. L. (2016). Influencia da desidratação osmótica sobre los compostos bioativos, capacida de antioxidante, con textura de frutas e olerícolas: Uma revisão. *Ciencia Rural*, 46, 1714–1722. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150534>
- Quevedo, R., Díaz, O., Valencia, E., Pedreschi, F., Bastias, J. M., & Siche, R. (2016). Differences between the Order Model and the Weibull Model in the modeling of enzymatic browning. *Food and Bioprocess Technology*, 9(11), 1961–1967

Wang, X., Wang, X., Zhang, Z., & Zhai, H. (2014). Antioxidant properties of parsley (Petroselinum crispum) and its potential application in the food industry. *Journal of Food Science*, 79(2), <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12378>.

### Autores

#### Gerson Joel Ortega Morales

Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ingeniero Químico. Profesor Investigador en LIEXVE-CII y en INDETEIQ en la Escuela de Ingeniería Química/USAC.

#### Telma Maricela Cano Morales

Ingeniera Química, Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII/USAC, Profesora titular de la Escuela de Ingeniería Química.

#### Mario José Mérida Meré

Ingeniero Químico, Coordinador del LIEXVE- CII, Profesor Titular de la Escuela de Ingeniería Química y de Ingeniería Ambiental.

#### Osber Isabel Carías Palencia

Maestro en Gestión Industrial. Ingeniero Mecánico, especialista en Gerencia de Comercio Exterior y Profesor en LIEXVE-/CII- USAC y en la Escuela de Ingeniería Mecánica. de Investigación DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE -.

#### Juan Pablo López Cano

Ingeniero Industrial, Investigador DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

#### Claudia Elisa Castellanos Jurado

Ingeniera Química, Investigadora DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

#### Renato Paolo Cisneros Quiñonez

Estudiante de Ingeniería Química, con cierre de pénum de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Auxiliar de Investigación DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

#### Melinna Lizeth Beteta Castro

Estudiante de Ingeniería Química, con cierre de pénum de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Auxiliar de Investigación DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE -.



# valuación del exocarpio de aguacate (*Persea Americana Var. Guatemalensis*) modificado químicamente como bioadsorbente para aguas con *cromo hexavalente ipsum*

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química)  
[telma.canomorales@hotmail.com](mailto:telma.canomorales@hotmail.com)

Gerson Joél Ortega Morales (MA. Ing. Químico)  
[gersonortegamo@gmail.com](mailto:gersonortegamo@gmail.com)

Osber Isabel Carías Palencia (MA. Ing. Mecánico)  
[osbercarias@gmail.com](mailto:osbercarias@gmail.com)

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química)  
[etracastellanosj@gmail.com](mailto:etracastellanosj@gmail.com)

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico)  
[mjmeridamere@gmail.com](mailto:mjmeridamere@gmail.com)

Juan Pablo Lopez Cano (Ing. Industrial)  
[Jlpoez22@gmail.com](mailto:Jlpoez22@gmail.com)

Melinna Lizeth Beteta Castro (Bachiller)  
[melybeteta@gmail.com](mailto:melybeteta@gmail.com)

Renato Paolo Cisneros Quiñonez (Bachiller)  
[renatopcisneros@gmail.com](mailto:renatopcisneros@gmail.com)



# Evaluación del exocarpio de aguacate (*Persea Americana Var. Guatemalensis*) modificado químicamente como bioadsorbente para aguas con cromo hexavalente ipsum

Telma Maricela Cano Morales

(Inga. Química)

*telma.canomorales@hotmail.com*

Mario José Mérida Meré

(Ing. Químico)

*mjmeridamere@gmail.com*

Gerson Joél Ortega Morales

(MA. Ing. Químico)

*gersonortegamo@gmail.com*

Juan Pablo Lopez Cano

(Ing. Industrial)

*J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt*

Osber Isabel Carías Palencia

(MA. Ing. Mecánico)

*osbercarias@gmail.com*

Melinna Lizeth Beteta Castro

(Bachiller)

*melybeteta@gmail.com*

Claudia Elisa Castellanos Jurado

(Inga. Química)

*etracastellanosj@gmail.com*

Renato Paolo Cisneros Quiñonez

(Bachiller)

*renatopcisneros@gmail.com*

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LEXVE-

Sección de Química Industrial

Centro de Investigaciones de Ingeniería / Facultad de Ingeniería

## Resumen

En esta investigación se evaluó la capacidad bioadsorbente del exocarpio de aguacate, modificado químicamente para la remoción de cromo hexavalente en soluciones acuosas. La contaminación del agua por metales pesados representa un problema ambiental significativo, por lo que se buscan materiales alternativos y sostenibles para su tratamiento. Se caracterizó el material antes y después de la modificación química y se determinó su eficiencia en la adsorción de Cr (VI), bajo diferentes condiciones experimentales. El estudio se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, utilizando un diseño experimental factorial. Se analizaron parámetros como el pH (2, 3 y 4) y el tamaño de partícula (2 mm y 2.38 mm). Se emplearon modelos cinéticos para describir el proceso de adsorción. Los resultados indicaron que el exocarpio modificado, logró una remoción del 100 % de Cr (VI) a pH 2, mientras que el material sin modificar alcanzó un 99.7 %. La adsorción se ajustó al modelo cinético de pseudo-segundo orden, lo que sugiere que el proceso está gobernado por interacciones químicas.

**Palabras clave:** bioadsorción, cromo hexavalente, tratamiento de aguas, modificación química.

## Abstract

In this research, the bioadsorbent capacity of the chemically modified avocado exocarp for the removal of hexavalent chromium in aqueous solutions was evaluated. Water contamination by heavy metals represents a significant environmental problem, prompting the search for alternative and sustainable materials for treatment. The material was characterized before and after chemical modification, and its efficiency in adsorbing Cr(VI) was determined under different experimental conditions. The study was carried out at the Engineering Research Center using a factorial experimental design. Parameters such as pH (2, 3, and 4) and particle size (2 mm and 2.38 mm) were analyzed. Kinetic models were used to describe the adsorption process. The results indicated that the modified exocarp achieved 100 % removal of Cr(VI) at pH 2, while the unmodified material reached 99.7 %. The adsorption followed the pseudo-second-order kinetic model, suggesting that the process is governed by chemical interactions

**Keywords:** bioadsorption, hexavalent chromium, water treatment, chemical modification.

## Introducción

La contaminación del agua por metales pesados es una de las principales preocupaciones ambientales, debido a sus efectos perjudiciales en la salud humana y los ecosistemas acuáticos (Chen, 2013). Entre estos, el cromo hexavalente (Cr (VI)), es particularmente tóxico y proviene de diversas fuentes industriales, como la industria del curtido de pieles y la metalurgia (Ayalew, A. A., & Aragaw, T. A. 2020). En Guatemala, la contaminación por Cr (VI), ha sido identificada en cuerpos de agua como en la Laguna Chichoj, donde los residuos industriales han generado acumulaciones preocupantes de este metal pesado, agravando el problema de eutrofización (Brocard et al., 2016 a).

Dada la toxicidad y movilidad del Cr (VI), en el ambiente acuático, se han explorado diversas tecnologías para su remoción, incluyendo la precipitación química, el intercambio iónico y la adsorción con materiales naturales (López Hernández & Lacayo Romero, 2020 a). Entre estos métodos, la bioadsorción ha surgido como una alternativa sostenible y económica, utilizando materiales lignocelulósicos de origen vegetal para la captura de metales pesados (Wu Y, 2013). Investigaciones previas, han demostrado que la modificación química de estos materiales puede mejorar significativamente su capacidad adsorbente (Espinoza, A. R., 2021).

En esta investigación, se evaluó el exocarpio de aguacate (*Persea americana* var. *guatemalensis*), modificado químicamente como un bioadsorbente para la remoción de Cr (VI). La modificación con ácido cítrico introduce grupos carboxilos en la biomasa, lo que potencialmente mejora la interacción con los iones de cromo (Ceballos & Montoya, 2013; Pitsari, Tsoufakis, & Loizidou, 2013).

Se planteó la hipótesis de que esta modificación química, incrementa la eficiencia de adsorción en comparación con el material sin tratar. Se espera que los resultados esta investigación esta investigación contribuyan al desarrollo de estrategias innovadoras para la descontaminación de aguas residuales, y a la promoción del uso de materiales agroindustriales, como soluciones ecológicas para el tratamiento de metales pesados.

## Metodología

Para evaluar la capacidad bioadsorbente del exocarpio de aguacate, se realizaron ensayos experimentales bajo diferentes condiciones controladas. Se caracterizó la materia prima, antes y después de su modificación química, mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), para identificar la presencia de grupos funcionales responsables de la adsorción (Pitsari, Tsoufakis, & Loizidou, 2013). Se llevó a cabo análisis de humedad, contenido de lignina y determinación del tamaño de partícula, para garantizar la homogeneidad del material utilizado (Ceballos & Montoya, 2013).

Los ensayos de adsorción se realizaron en soluciones acuosas de Cr (VI), preparadas sintéticamente, variando el pH en niveles de 2, 3 y 4, así como el tamaño de partícula del bioadsorbente, en fracciones de 2 mm y 2.38 mm (Espinoza, A. R. 2021). Se utilizó un diseño experimental factorial completo, para evaluar el impacto de estas variables en la eficiencia de adsorción. Las concentraciones iniciales y finales de Cr (VI), en solución, se determinaron mediante espectrofotometría UV-Vis, utilizando el reactivo 1,5-difenilcarbazida (Ayalew & Aragaw, 2020).

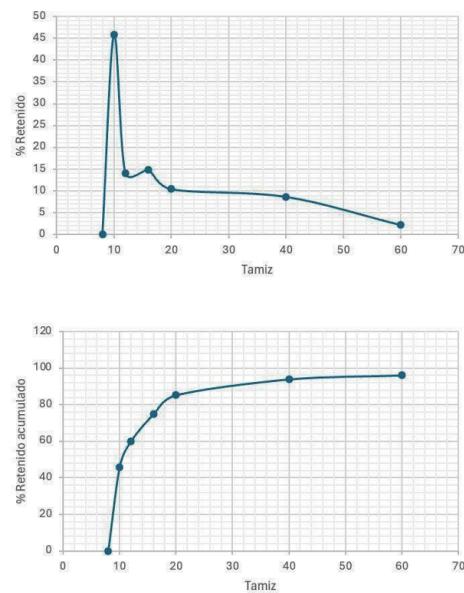
Para describir el comportamiento de adsorción, se aplicaron modelos cinéticos, incluyendo el de primer orden, pseudo-segundo orden, el modelo de Elovich y el modelo de difusión intraparticular, con el objetivo de determinar el mecanismo predominante en la captura del cromo por el bioadsorbente (Wu et al., 2013; Díaz-Muñoz, et al., 2016).

Adicionalmente, se evaluaron isotermas de adsorción de Langmuir y Freundlich, para estimar la capacidad máxima de adsorción del material (Tejada Tovar et al., 2015). Los datos obtenidos, fueron sometidos a análisis estadístico utilizando ANOVA, para evaluar la significancia de los factores estudiados y establecer correlaciones entre las variables independientes y la capacidad de adsorción del exocarpio modificado (López Hernández & Lacayo Romero, 2020 a). Se realizaron réplicas de cada experimento, para garantizar la reproducibilidad de los resultados y minimizar errores experimentales.

## Resultados

**Figura 1**

Analisis granulometrico realizado al material obtenido del proceso de reducción de partícula, mediante una licuadora industrial.



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

**Tabla 1**

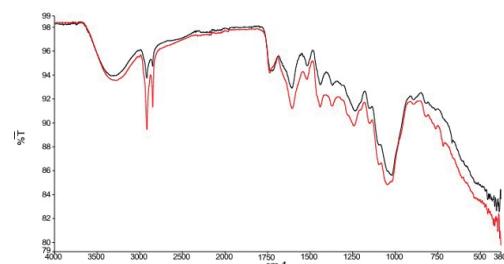
Caracterización del exocarpio de aguacate

Corrida No.	Contenido promedio de extraíbles (%)	Contenido promedio de lignina (%)
1	15.10 ± 1.61	42.13 ± 1.47
2	15.38 ± 0.23	43.35 ± 0.778
3	17.98 ± 0.92	38.267 ± 1.002

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

**Figura 2**

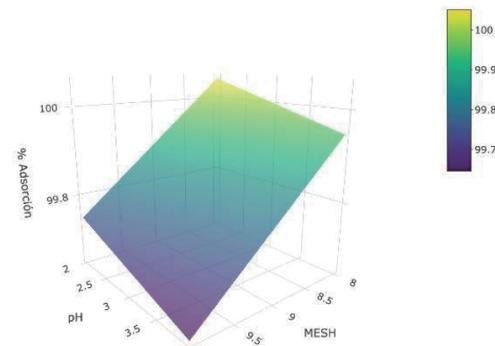
Analisis de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), del exocarpi o de aguacate químicamente modificado y sin modificación, sobrepuerto.



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

**Figura 3**

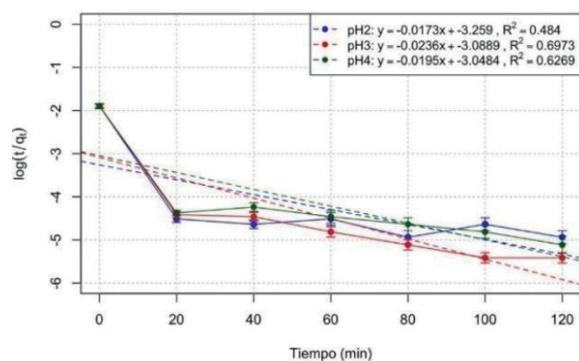
Analisis de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), del exocarpi o de aguacate químicamente modificado y sin modificación, sobrepuerto.



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

**Figura 4**

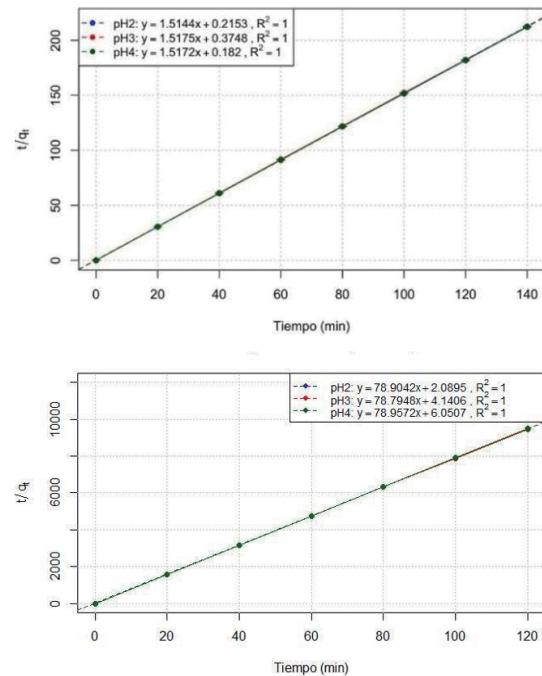
Cinética de primer orden reversible, evaluando tamaño de partícula tamiz No.8 con tratamiento químico y físico.



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

**Figura 5**

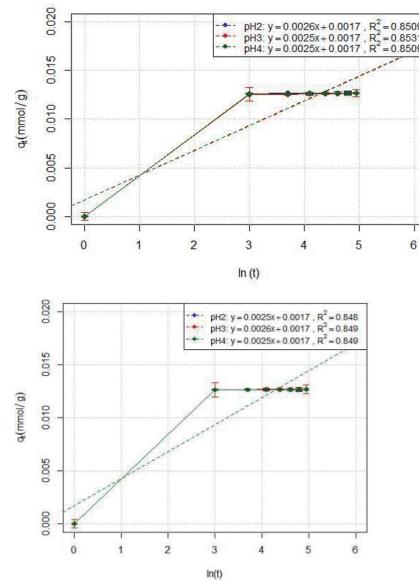
Cinética de pseudo-segundo orden, evaluando tamaño de partícula tamiz No.8, con tratamiento químico y físico



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

**Figura 6**

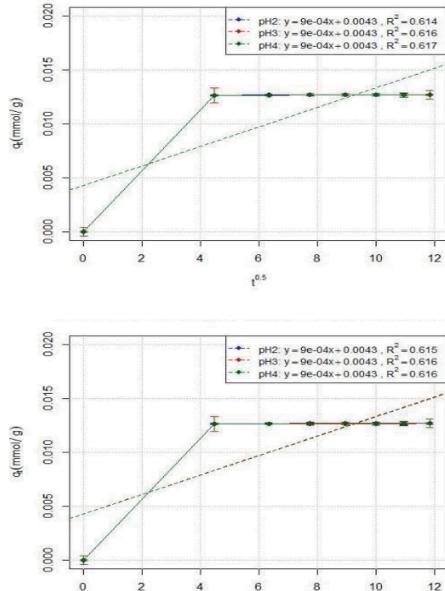
Modelica de Elovich, evaluando un tamaño de partícula tamiz 8, con tratamiento químico y físico



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

**Figura 7**

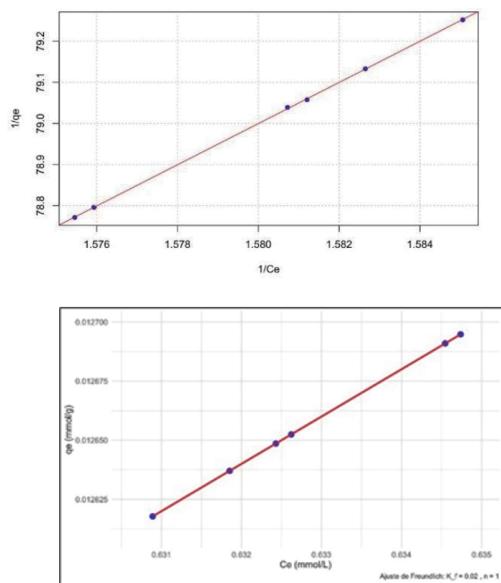
Modelo difusión intraparticular, evaluando tamaño de partícula tamiz 8, con tratamiento químico y físico ..



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

**Figura 8**

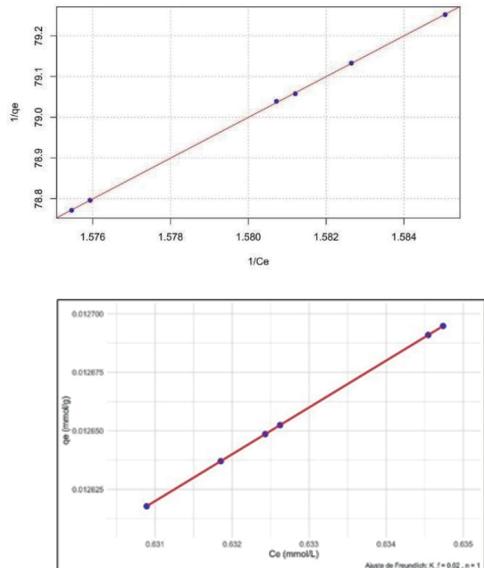
Isotermas de Langmuir (a) y Freundlich (b), evaluando tamaño de partícula tamiz 8, con tratamiento químico y  $pH_{medio} = 2$ .



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

**Figura 9**

Isotermia de Langmuir (a) y Freundlich (b), evaluando tamaño de partícula tamiz 8, con tratamiento físico y  $pH_{medio} = 2$



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

## Discusión de resultados

Los análisis fisicoquímicos, confirmaron que la modificación química del exocarpo de aguacate con ácido cítrico generó cambios estructurales relevantes, como la incorporación de grupos carboxilos ( $-COOH$ ) y la reducción del contenido de humedad, lo que favoreció su capacidad de adsorción. La espectroscopía FTIR, permitió identificar estos grupos funcionales clave, respaldando su interacción con el cromo hexavalente. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos, que reportan mejoras en la adsorción, tras la carboxilación de materiales lignocelulósicos (Tejada, Quiñones, Tejeda, & Marimón, 2015; Holan, Volesky, & Prasetyo, 1993).

El efecto del pH en la capacidad de adsorción evidenció que los valores más bajos (pH 2), mejoraron significativamente la remoción del metal, resultado que concuerda con investigaciones que han demostrado la afinidad de los materiales modificados, por iones metálicos en medios ácidos (López Hernández & Lacayo Romero, 2020). La reducción del tamaño de partícula a 2 mm incrementó la superficie específica, facilitando la adsorción y mejorando la eficiencia del proceso, estando acorde con estudios que destacan la relación entre el área superficial y la capacidad de adsorción (Wu, Tseng & Juang, 2009; Brocard et al., 2016).

El análisis cinético, mostró que la adsorción de Cr (VI), ocurre rápidamente en los primeros 20 minutos, alcanzando el equilibrio a los 140 minutos. El ajuste al modelo cinético de pseudo-segundo orden, con valores de  $R^2$  superiores a 0.99, indica que la adsorción está dominada por interacciones químicas, sugiriendo la formación de enlaces con los grupos funcionales del exocarpo modificado. Este comportamiento es similar a lo reportado en investigaciones previas, sobre la adsorción de metales pesados, mediante biommasas modificadas (Díaz-Muñoz, Bonilla-Petriciolet, Reynel-Ávila, & Mendoza-Castillo, 2016).

Finalmente, los resultados demostraron que la modificación química, incrementa la capacidad de adsorción del exocarpio de aguacate, alcanzando niveles de remoción comparables a los reportados para adsorbentes comerciales. Se sugiere la aplicación de este bioadsorbente, en estudios a escala piloto, para validar su eficacia en escenarios reales y fortalecer su potencial como una alternativa sostenible, para la remediación de aguas contaminadas (Wu, Wang, Wang, Zhang & Zhang, 2013).

## Conclusiones

1. La modificación con ácido redujo la humedad del exocarpio de aguacate (80 % - 6 %) y alteró ligeramente su composición. El FTIR confirmó la formación de ésteres y grupos funcionales (-OH, -COOH), clave para adsorber metales. Las partículas de 2 mm fueron óptimas para pruebas.
2. El exocarpio modificado, removió 100 % de Cr (VI), a pH 2, gracias a la protonación de carboxilos, que favorece la atracción electrostática. Partículas más pequeñas (2 mm), aumentaron la eficiencia por mayor área superficial.
3. El exocarpio sin modificar también adsorbió Cr (VI), eficientemente (99.7 % a pH 2), pero fue menos efectivo que el modificado. El pH ácido y menor tamaño de partícula (2 mm), mejoraron su desempeño.
4. La adsorción fue rápida (equilibrio a 140 min), ajustándose al modelo de pseudo-segundo orden ( $R^2 > 0.99$ ), indicando interacciones químicas. La modificación aumentó la constante de velocidad ( $k_2$ ), confirmando mayor reactividad hacia el Cr (VI).

## Recomendaciones

1. Se recomienda probar la eficacia del exocarpio de aguacate modificado, en aguas residuales industriales, para analizar su desempeño en presencia de otros contaminantes y evaluar posibles interferencias en la adsorción del cromo hexavalente.
2. Explorar variaciones en la concentración de ácido cítrico y condiciones de tratamiento térmico, para determinar si es posible mejorar aún más, la capacidad de adsorción del bioadsorbente.

## Referencias bibliográficas

- Ayalew, A. A., & Aragaw, T. A. (2020). Utilization of treated coffee husk as low-cost bio-sorbent for adsorption of methylene blue. *Adsorption Science and Technology*, 38(5–6), 205–222.  
<https://doi.org/10.1177/0263617420920516>
- Brocard, G., Bettini, A., Adatte, T., Morán, S., & Vásquez, O. (2016). Eutrofización y contaminación por cromo en la Laguna de Chichoj, Alta Verapaz, Guatemala. *3(1)*, 20–43.
- Ceballos, M., & Montoya, S. (2013). Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), enero-junio.
- Chen, Y., Hu, W., Huang, B., Weindorf, D. C., Rajan, N., Liu, X., & Niedermann, S. (2013). Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98.  
<https://doi.org/10.1016/>

- Díaz - Muñoz, L. L., Bonilla-Petriciolet, A., Reynel-Ávila, H. E., & Mendoza-Castillo, D. I. (2016). Sorption of heavy metal ions from aqueous solution using acid-treated avocado kernel seeds and its FTIR spectroscopy characterization. *Journal of Molecular Liquids*, 215, 555–564.
- Espinoza, A. R. (2021). Aguacate, una fruta internacional con origen guatemalteco  
<https://agexporthoy.export.com.gt/opinion-agexport/aguacate-una-fruta-internacional-con-origen-guatemalteco/>
- Holan, Z. R., Volesky, B., & Prasetyo, I. (1993). Biosorption of cadmium by biomass of marine algae. *Biotechnology and Bioengineering*, 42(4), 548–548.
- López Hernández, M., & Lacayo Romero, M. (2020). Remoción de cromo hexavalente en aguas contaminadas utilizando cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) como adsorbente. *Revista Torreón Universitario*, 8(23).
- Pitsari, S., Tsoufakis, E., & Loizidou, M. (2013). Enhanced lead adsorption by unbleached newspaper pulp modified with citric acid. *Chemical Engineering Journal*, 223, 18–30.
- Tejada Tovar, C., Quiñones Bolaños, E., Tejeda Benítez, L., & Marimón Bolívar, W. (2015). Absorción de Cromo Hexavalente en soluciones acuosas por cascarras de naranja (*Citrus sinensis*). *Producción + Limpia*, 10(1), 9–21.
- Wu, F. C., Tseng, R. L., & Juang, R. S. (2009). Characteristics of Elovich equation used for the analysis of adsorption kinetics in dye-chitosan systems. *Chemical Engineering Journal*, 150(2–3), 366–373.
- Y Wu, Luo, H., Wang, H., Wang, C., Zhang, J., & Zhang, Z. (2013). Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solutions by graphene modified with cetyltrimethylammonium bromide. *Journal of Colloid and Interfacial Science*, 394(1), 183–191.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.11.049>

## Autores

### Telma Maricela Cano Morales

Ingeniera Química, Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII/USAC, Profesora titular de la Escuela de Ingeniería Química.

### Gerson Joel Ortega Morales

Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ingeniero Químico. Profesor Investigador en -LIEXVE-CII e INDETEIQ en la Escuela de Ingeniería Química/USAC.

### Osber Isabel Carías Palencia

Maestro en Gestión Industrial. Ingeniero Mecánico, especialista en Gerencia de Comercio Exterior y Profesor en LIEXVE-/CII- USAC y en la Escuela de Ingeniería Mecánica.

### Claudia Elisa Castellanos Jurado

Ingeniera Química, Investigadora DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

### Mario José Mérida Meré

Ingeniero Químico, Coordinador del -LIEXVE- CII-USAC, Profesor Titular de la Escuela de Ingeniería Química y de Ingeniería Ambiental.

### Juan Pablo López Cano

Ingeniero Industrial, Investigador DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

### Renato Paolo Cisneros Quiñonez

Estudiante de Ingeniería Química, con cierre de pénum de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Auxiliar de Investigación DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

### Melinna Lizeth Beteta Castro

Estudiante de Ingeniería Química, con cierre de pénum de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Auxiliar de Investigación DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE -.

# Importancia de los refuerzos longitudinales en mampostería sin mortero de pega

Delia Alessandra Alvarado Pérez (Auxiliar de cátedra)  
[deliaalvaradop26@gmail.com](mailto:deliaalvaradop26@gmail.com)

Mario Rodolfo Corzo Ávila (Ingeniero civil)  
[sabandijaretorcida@yahoo.com.mx](mailto:sabandijaretorcida@yahoo.com.mx)

# Importancia de los refuerzos longitudinales en mampostería sin mortero de pega

Mario Rodolfo Corzo Ávila

(Ingeniero Civil)

*sabandijaretorcida@yahoo.com.mx*

Delia Alessandra Alvarado Pérez

(Auxiliar de cátedra)

*deliaalvaradop26@gmail.com*

Sección de Estructuras

Centro de Investigaciones de Ingeniería / Facultad de Ingeniería

## Resumen

La presente investigación evalúa el comportamiento estructural de un sistema de muro tipo placa-poste, sometido a cargas laterales. Se realizaron ensayos experimentales en diferentes configuraciones, considerando variantes con y sin refuerzo horizontal, con el objetivo de analizar su resistencia, rigidez y desplazamiento lateral máximo. La metodología incluyó la aplicación de cargas laterales por ciclos en laboratorio, midiendo deformaciones en cada ciclo de carga. Los resultados indicaron que, la incorporación de refuerzos horizontales mejora la estabilidad del sistema, reduciendo significativamente los desplazamientos. Se propusieron mejoras en el diseño, tales como; la inclusión de una fundición de concreto en la base y el refuerzo de la solera de corona. En conclusión, la implementación de refuerzos adecuados incrementa el desempeño estructural del sistema, mejorando su resistencia y capacidad ante cargas laterales.

**Palabras clave:** muro tipo placa-poste, desplazamiento, refuerzo horizontal, cargas de trabajo, rigidez, comportamiento estructural, deriva máxima.

## Abstract

This investigation evaluates the structural behavior of a panel-post wall system subjected to lateral loads. Experimental tests were conducted on different configurations, considering variations with and without horizontal reinforcement, to analyze their strength, stiffness, and maximum lateral displacement. The methodology included the application of progressive lateral loads in a laboratory setting, measuring deformations in each load cycle. The results indicated that the incorporation of horizontal reinforcements improves system stability, significantly reducing displacements. Design improvements were proposed, such as adding a concrete foundation at the base and reinforcing the top beam. In conclusion, the implementation of proper reinforcements enhances the structural performance of the system, improving its strength and capacity under lateral loads.

**Keywords:** Post-and-panel wall, displacement, horizontal reinforcement, service loads, stiffness, structural behavior.

## Introducción

La presente investigación se centra en la evaluación estructural de un sistema de muro tipo placa-poste, sometido a cargas laterales. Este tipo de muro es un sistema modular en el que las placas se insertan horizontalmente entre sí y en los postes de forma vertical, sin el uso de mortero de pega. Su aplicación es relevante en el ámbito de la construcción, debido a su rapidez de ensamblaje y costos reducidos, en comparación con los sistemas tradicionales de mampostería.

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de comprender el comportamiento mecánico del sistema, ante cargas de trabajo y eventos sísmicos, identificando su resistencia, rigidez y desplazamiento lateral máximo. Para ello, se analizaron diferentes configuraciones del sistema, incluyendo variantes con y sin refuerzo horizontal, con el objetivo de determinar su influencia en la estabilidad y desempeño estructural del muro.

Esta se desarrolló a través de ensayos experimentales en laboratorio, donde se aplicaron cargas laterales progresivas, hasta alcanzar la carga de diseño y la carga de falla. Se evaluaron los desplazamientos en distintos ciclos de carga y se compararon los resultados obtenidos entre las configuraciones analizadas. Adicionalmente, se propusieron mejoras en el diseño del muro, enfocadas en la incorporación de refuerzos horizontales y el refuerzo de la solera de corona, para optimizar su respuesta estructural.

Este análisis busca aportar información relevante para el diseño y construcción de sistemas de muros tipo placa-poste, proporcionando recomendaciones para mejorar su desempeño estructural y garantizar su adecuado funcionamiento, bajo condiciones de carga lateral.

Los objetivos de la investigación fueron:

1. Evaluar el comportamiento estructural de sistemas de muro tipo placa-poste, bajo carga lateral, considerando diferentes configuraciones de refuerzo, para determinar su desempeño en términos de resistencia, rigidez y deformación.
2. Realizar ensayos experimentales aplicando carga lateral progresiva, en diferentes configuraciones del sistema, midiendo desplazamientos y deformaciones en cada ciclo de carga.
3. Proponer mejoras en el diseño del sistema placa-poste, basadas en los resultados obtenidos, con el fin de optimizar su resistencia y estabilidad ante cargas laterales.

## Metodología

El procedimiento de ensayo se realizó considerando lo indicado en las Normas de Seguridad Estructural NSE 1(2018), consiste en someter el sistema de muro placa-poste a una carga lateral puntual en dirección longitudinal al muro, utilizando un gato hidráulico. La carga aplicada se incrementa progresivamente hasta llegar a la carga de diseño y el factor de seguridad requerida por el fabricante.

Se realizaron ensayos en sistemas de muros tipo placa-poste sin mortero de pega, formado por columnas y placas de concreto reforzado, con acero de alta resistencia, grado 70; donde las placas se insertan horizontalmente entre sí y en los postes de forma vertical. Se evaluaron dos configuraciones: una sin refuerzo horizontal y otra con refuerzo intermedio.

Las dimensiones del sistema de muro son:

- Largo total: 2,90 m
- Altura: 2,50 m
- Espesor variable:
  - Placas: 0,05 m (promedio)
  - Postes: 0,14 m (promedio)
- Postes de sección H con una altura de 3,30 y 3,00 m, lados perpendiculares de 0,14 m en ambos sentidos y grosor promedio del ala de 0,043 m y el alma de 0,053 m.
- Placas de largo 1,37 m (con bordes macho y hembra), altura 0,30 m (con biselado: macho en un extremo y el otro extremo hembra) y espesor promedio de 0,05 m.
- Solera de corona, tipo U invertida, de largo 1,30 m, espesor de 0,09 m y base de 0,14 m.

Refuerzos: de acuerdo con Norma NSE 7.4 – (2018); la cuantía mínima para refuerzos verticales debe ser mayor a 0,00075 y el refuerzo horizontal será el complementario, para alcanzar una cuantía total mínima de 0,0020 para el sistema. Por lo tanto, se requiere como mínimo una cuantía de 0,00175 para el refuerzo horizontal, el cual se debe distribuir entre el refuerzo longitudinal de la solera de corona, refuerzos intermedios longitudinales del muro y el refuerzo de las placas que conforman el sistema.

Cargas:

- La carga de trabajo debe ser al menos de 1 400 kgf
- La carga de diseño deberá ser al menos de 1 700 kgf
- La carga de falla deberá ser al menos de 2 300 kgf
- El factor de seguridad debe ser de  $\Phi = 0,75$

Propuesta de mejora:

1. La parte inferior lleva adosado una fundición de 5 cm de espesor de concreto, reforzada con electro malla. Metodología similar para el refuerzo de las placas,

como base para el piso y elemento rigidizante del sistema placa-poste.

2. La otra diferencia es que la solera de corona fue fundida en sitio, con dos varillas longitudinales No. 3 (comercial) y eslabones de 1/4.
3. La tercera diferencia, es la incorporación de varilla longitudinal, uno con una varilla a cada H/3 unidas en los postes extremos por medio de un epóxico y otro muro, con una varilla a mitad de la altura del muro, con la varilla longitudinal, con lechada a todo lo largo.

Se evaluó el desempeño de los sistemas de muro placa-poste en condiciones de carga horizontal, en la parte superior de uno de los extremos, para evaluar su resistencia en el sentido paralelo al plano longitudinal.

## Resultados y discusión:

1. Muro sin refuerzo adicional.

Tabla 1

Desplazamiento obtenido en ensayo en tres ciclos.

Ciclos	Carga [kg]	Def 1 [mm]
Primer ciclo	875	0,000
	1500	1,040
	1750	2,860
	2000	5,960
	2250	13,070
	2500	23,440
	2750	29,280
Segundo ciclo	625	17,740
	2750	33,480
	625	20,240
Tercer ciclo	625	21,220
	2750	35,960
	3000	38,940
	625	23,640

Nota. Se tomaron los desplazamientos por carga aplicada

**Tabla 2***Código de colores para la interpretación de las gráficas.*

Código de colores	
Zona	Color
Elástica	Azul
Elastoplástica	Ambar
Plástica-Endurecimiento	Verde
Cedencia (falla)	Naranja
Ruptura	Gris

**Nota.** Código de colores para la interpretación de las gráficas**Figura 1***Gráfica de carga versus deformación en el primer ciclo del ensayo del muro***Nota.** El gráfico representa el comportamiento del muro de acuerdo con su desplazamiento ubicado por zonas**Figura 2***Gráfica de carga versus deformación en el tercer ciclo del ensayo del muro o***Nota.** El gráfico representa el comportamiento del muro de acuerdo con su desplazamiento ubicado por zonas

Haciendo una comparación con las gráficas obtenidas en cada ciclo del ensayo, se observó que:

- El desplazamiento del ciclo 2 se inicia con el valor remanente del ciclo 1; para el ciclo 3, con el remanente del ciclo 2.
- Los desplazamientos en el comportamiento en el rango elástico para los ciclos 2 y 3, aumentan aproximadamente 30 % de la zona elástica del ciclo.
- La tendencia del desplazamiento en la zona elastoplástica, de los ciclos 2 y 3, disminuye 30 % de la zona correspondiente del ciclo 1.
- Para la zona plástica, el desplazamiento en los ciclos 2 y 3, disminuye 45 % de la carga del ciclo 1.

El comportamiento de este sistema de construcción es debido a que las unidades de mampostería actúan como cuñas, luego que llegan al límite superior de la zona elástica del ciclo primero.

## 2. Muro con refuerzo vertical y refuerzo horizontal

- En la parte inferior se adosó una fundición de 5 cm de espesor de concreto, reforzada con electro malla, como base para el piso y elemento rigidizante del sistema placa-poste, se fundió con una corona de 5 cm de alto y 5 cm de espesor adicional.
- La otra diferencia, es que la solera de corona fue fundida en sitio con dos varillas longitudinales No. 3 (comercial) y eslabones de 1/4". La tercera diferencia, es la incorporación de dos varillas longitudinales a L/3 de la altura del muro unidas en los postes extremos por medio de un epóxico.

**Figura 3***Gráfica de carga versus deformación del ensayo del muro, con dos varillas de refuerzo horizontales adicionales en el sistema***Nota.** En general el sistema mejoró su ductilidad, comparado con el sistema anterior

3. Muro con un refuerzo horizontal con varilla corrugado de 3/8"
- La diferencia con la anterior es la varilla longitudinal de 3/8" con mezclón (de arena -cemento), a lo largo del biselado (canal), hembra de las placas a mitad de la altura del muro, integrando los postes del sistema.

Figura 4

Gráfica de carga versus deformación del ensayo del muro con una varilla de refuerzo horizontal adicional, en el sistema



Nota. Se observa una zona elastoplástica más extendida

## Determinación de parámetros de medición del sistema

Deriva para sistema en voladizo (Cantiléver)

(Ecuación 1)

$$\Delta_c = \Delta_f + \Delta_v = \left[ 0,4 \left( \frac{h}{d} \right)^3 + 3 \left( \frac{h}{d} \right) \right] * \frac{P}{E_c}$$

Donde:

$\Delta_f$  = deriva por flexión

$\Delta_v$  = deriva por corte

$P$  = carga lateral sobre el muro (Cortante basal)

$E_c$  = módulo de elasticidad del concreto

$h$  = altura del muro

$d$  = longitud de muro

### Cálculo de cortante basal

(Ecuación 2)  $V_B = C_s W_t$

Donde:

$V_B$  = corte Basal

$C_s$  = coeficiente sísmico

$W_t$  = peso total del sistema

Datos para cálculo de corte basal

$W_t = 4290,55 \text{ kg}$

$C_{SSR} = 0,15$

$$V_B = 0,15 * 4290,55$$

$$V_B = 1930,75 \text{ kgf}$$

Datos para cálculo de corte basal

Datos para cálculo de deriva

- Deriva por cada placa

h placa [m]	d placa [m]	# de placas
0,3	1,37	8

$$\Delta_{c_{placa}} = \left[ 0,4 \left( \frac{0,3}{1,37} \right)^3 + 0,3 \left( \frac{0,3}{1,37} \right) \right] = 0,06989 \frac{\text{cm}}{\text{cm}}$$

$$\Delta_{c_{placas}} = 8 * 0,06989 = 0,56 \frac{\text{cm}}{\text{cm}}$$

### Rigidez de placa

$$R_{placa} = \frac{1}{\Delta_{c_{placa}}} = \frac{1}{0,06989} = 14,31$$

$$R_{Total \ de \ placas} = \frac{1}{\Delta_{c_{placas}}} = \frac{1}{0,56} = 1,79$$

### Deriva y rigidez de poste

hpo [m]	dpo [m]
2,40	0,14

$$\Delta_{c_{poste}} = \left[ 0,4 \left( \frac{2,4}{0,14} \right)^3 + 0,3 \left( \frac{2,4}{0,14} \right) \right] = 2020,30$$

$$R_{placa} = \frac{1}{\Delta_{c_{poste}}} = \frac{1}{2020,30} = 0,00049$$

### Deriva del sistema:

(Ecuación 3)

$$\Delta_c = \left( \frac{\Delta_{placas}}{t_{placas}} + \frac{\Delta_{postes}}{t_{postes}} \right) * \frac{P}{E_c}$$

### Donde:

$\Delta_c$  = deriva del sistema

$\Delta$  = deriva de postes y de placas

$t$  = espesor del mampuesto

$P$  = carga lateral sobre el muro

$E_c$  = módulo de elasticidad del concreto

$$(Ecuación 4) \quad E_c = 15 \ 100 \sqrt{f'c}$$

*ACI 318-19 - 19.2.2.1 (b)*

### Donde:

$E_c$  = módulo de elasticidad del concreto

$f'c$  = resistencia nominal del concreto

Datos para cálculo de módulo de elasticidad del concreto

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 15\ 100 \sqrt{210} = 218\ 820 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta_c = \left( \frac{0,56}{5,00 \text{ cm}} + \frac{2\ 020,30}{14,00 \text{ cm}} \right) * \frac{1\ 930,75 \text{ kg}}{218\ 820 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$\Delta_c = 1,372 \text{ cm} = 13,72 \text{ mm}$$

#### Deriva máxima permisible para sistemas de muro de viviendas

Criterio S.R.

$$\Delta_{max} = 0,006 Ht$$

Donde:

$\Delta_{max}$  = Deriva máxima permisible  
 $Ht$  = altura total del muro [mm]

$$\Delta_{max} = 0,006 (2\ 500 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$

Tabla 2

Código Resumen de comportamiento del muro tomando de referencia un desplazamiento de 15 milímetros

Código de colores	
Zona	Color
Elástica	Azul
Elastoplástica	Ambar
Plástica-Endurecimiento	Verde
Cedencia (falla)	Naranja
Ruptura	Gris

Nota. Los datos son recopilados de las gráficas, del comportamiento en cada caso de refuerzo aplicado en el muro.

#### Conclusiones

1. El análisis del comportamiento estructural del sistema de muro tipo placa-poste, bajo carga lateral, permitió evaluar su desempeño en términos de resistencia, rigidez y deformación. Se observó que la configuración sin refuerzo horizontal presentó mayores deformaciones y menor resistencia, más cuando se observó en cargas cíclicas, mientras que la incorporación de refuerzos mejoró significativamente la estabilidad del sistema, siendo más estable el que tiene dos varillas en el refuerzo longitudinal.

2. Los ensayos experimentales realizados con carga lateral progresiva demostraron que el refuerzo horizontal tiene un impacto positivo en la reducción del desplazamiento y el aumento de la rigidez del sistema. En particular, la adición de varillas horizontales permitió controlar las deformaciones y mejorar la respuesta del muro ante cargas cíclicas.
3. Con base en los resultados obtenidos, se propusieron mejoras en el diseño del sistema placa-poste, incluyendo la incorporación de refuerzos horizontales, distribuidos a L/3 y la mejora de la solera de corona. Estas modificaciones optimizaron la resistencia y estabilidad del muro, asegurando un mejor desempeño estructural ante cargas laterales.

#### Referencias bibliográficas

Código ACI 318-19 American Concrete Institute (2019).

ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute.

Corzo, M. (2014). Notas Mamposterías de una sabandija. Editorial S.R.

<http://www.repository.usac.edu.gt/6800/1/Libro%20Notas%20Mamposterias%20de%20una%20Sabandija.pdf>

Norma NSE 1 – Diseño Estructural de Edificaciones, Asociación de Normas Técnicas de Guatemala (2018). NSE 1.

Norma NSE 7.4 – 2018 Asociación de Técnicas de Guatemala (2018). NSE 7.4 – 2018: Requisitos mínimos para el diseño y construcción de muros de mampostería.

### *Agradecimientos*

Se agradece a Grupo Cimientos por el interés en el mejoramiento de sus sistemas de muros tipo placa-poste.

### *Autores*

#### **Mario Rodolfo Corzo Ávila**

Ingeniero Civil, jefe de Sección de Estructuras, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería. Docente en la Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### **Delia Alessandra Alvarado Pérez**

Estudiante de la Facultad de Ingeniería, Auxiliar de cátedra en la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.



# ISEÑO DE PRODUCCIÓN COMERCIAL del extracto colorante de achiote (*Bixa orellana L.*), con base al análisis de rendimiento extractivo

Juan Pablo Lopez Cano (Ing. Industrial)  
[J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt](mailto:J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt)

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química)  
[telma.canomorales@hotmail.com](mailto:telma.canomorales@hotmail.com)

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico)  
[mjmeridamere@gmail.com](mailto:mjmeridamere@gmail.com)

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química)  
[etracastellanosj@gmail.com](mailto:etracastellanosj@gmail.com)



# Diseño de producción comercial del extracto colorante de achiote (*Bixa orellana L.*), con base al análisis de rendimiento extractivo

Juan Pablo Lopez Cano

(Ing. Industrial)

[J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt](mailto:J3000968870101@ingenieria.usac.edu.gt)

Mario José Mérida Meré

(Ing. Químico)

[2533609940920@ingenieria.usac.edu.gt](mailto:2533609940920@ingenieria.usac.edu.gt)

Telma Maricela Cano Morales

(Inga. Química)

[2633877201302@ingenieria.usac.edu.gt](mailto:2633877201302@ingenieria.usac.edu.gt)

Claudia Elisa Castellanos Jurado

(Inga. Química)

[etracastellanosj@gmail.com](mailto:etracastellanosj@gmail.com)

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

Sección de Química Industrial

Centro de Investigaciones de Ingeniería / Facultad de Ingeniería

## Resumen

El presente artículo, aborda el diseño de una línea de producción de extracto colorante de achiote (*Bixa orellana L.*), conocido comúnmente como Annatto, con el objetivo principal de desarrollar un proceso industrial viable, basado en el método de maceración dinámica, con solución alcalina de hidróxido de sodio al 2 % p/p. Como objetivos específicos, se plantearon evaluar el rendimiento extractivo del método, analizar el mercado nacional de colorantes, determinar la localización óptima para la planta y diseñar las instalaciones y proceso productivo completo. La investigación, partió de un análisis exhaustivo de datos del Banco de Guatemala (s.f.) que permitió establecer la demanda potencial y dimensionar la planta, como pequeña empresa con doce empleados. Mediante el método cuantitativo por puntos ponderados, se identificó la ubicación más adecuada para el inmueble, considerando aspectos logísticos y de suministro de materia prima. Los resultados mostraron un rendimiento extractivo del 6,56 % con el método alcalino, demostrando su viabilidad técnica. Se desarrolló el diseño completo de las instalaciones, incluyendo las dimensiones del edificio, tipo de techo y especificaciones de materiales, para las áreas de laboratorio y producción, así como la distribución óptima de maquinaria y equipos para el proceso extractivo. El diseño propuesto, permitió la producción industrial eficiente del colorante, ofreciendo una alternativa para agregar valor al achiote guatemalteco, que tradicionalmente se exporta como materia prima, con parámetros operativos estandarizados, que garantizan la calidad del producto final y la sostenibilidad del proceso.

**Palabras clave:** maceración dinámica, annatto, puntos ponderados, rendimiento extractivo, localización industrial.

## Abstract

This article addresses the design of a production line for annatto (*Bixa orellana L.*) coloring extract, commonly known as Annatto, with the main objective of developing a viable industrial process based on the dynamic maceration method using a 2 % w/w sodium hydroxide alkaline solution. The specific objectives included evaluating the extractive yield of the method, analyzing the national dye market, determining the optimal location for the plant, and designing the complete production facilities and process. The study began with a thorough analysis of data from the Bank of Guatemala (s.f.), which enabled the estimation of potential demand and the sizing of the plant as a small business with twelve employees. Using the quantitative weighted scoring method, the most suitable location for the facility was identified, considering logistical factors and the supply of raw materials. The results showed an extractive yield of 6.56% with the alkaline method, demonstrating its technical feasibility. A complete design of the facilities was developed, including building dimensions, roof type, and material specifications for the laboratory and production areas, as well as the optimal layout of machinery and equipment for the extraction process. The proposed design enables efficient industrial production of the dye, offering an alternative to add value to Guatemalan annatto, which is traditionally exported as a raw material. The standardized operating parameters ensure the quality of the final product and the sustainability of the process.

**Keywords:** Dynamic maceration, Annatto, weighted points extractive yield, industrial location.

## Introducción

El Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales de la Sección de Química Industrial, del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, promueve la investigación a través del desarrollo y ejecución de proyectos de investigación, con entidades públicas, donde se incluyen las líneas de investigación en extractos vegetales.

La investigación plantea y presenta el diseño de una línea de producción de colorante de la semilla de achiote, en donde se evalúan los rendimientos de distintos métodos de extracción para compararlos y determinar cuál es la mejor opción, aplicando un análisis de mercado del achiote para determinar la capacidad óptima, el tamaño de la empresa, la localización, la cantidad de personal, la maquinaria y equipo, la distribución de la planta y el diseño de las instalaciones.

Actualmente en el país, no existen empresas que se dediquen exclusivamente a la obtención de extractos a una escala industrial. Guatemala cuenta con una gran producción de achiote en sus diferentes regiones, durante todo el año.

La mayor parte de esas semillas de achiote, son exportadas a otros países, en especial a Estados Unidos, en donde son procesadas para obtener el colorante, que es utilizado en la industria alimentaria o de textiles, por lo que el objetivo de la investigación fue, diseñar una línea de producción comercial del extracto colorante de achiote (*Bixa Orellana L.*), con base en el análisis de rendimiento realizado en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), USAC, teniendo como objetivos específicos, el diagnóstico de situación actual del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-, con relación a los procesos

de extracción de colorantes naturales para conocer los métodos de extracción que se utilizan, la evaluación de los rendimientos obtenidos de la extracción del colorante de la semilla de achiote, a través del método de lixiviación con álcali acuoso a escala laboratorio, para determinar qué método es más efectivo, la realización de un estudio de mercado, para establecer el segmento de mercado objetivo, para el diseño de la línea de producción comercial del extracto colorante de achiote (*Bixa Orellana L.*), en Guatemala, la determinación de los requisitos generales de la infraestructura y localización, para el montaje de la línea de producción del extracto de colorante, de las semillas de achiote, el establecimiento de los equipos, la cantidad del personal, la metodología de extracción, control de calidad y los costos en la implementación de la línea de producción, del colorante natural de achiote para cubrir la demanda a nivel local y la elaboración de un plan de ahorro del consumo de los recursos, aplicando la metodología de producción más limpia.

La metodología consideró evaluar dos procesos de extracción, estática y dinámica utilizando como solvente, una solución álcali de hidróxido de potasio (KOH).

El análisis de mercado consistió en la evaluación de los datos de importaciones y exportaciones desde el año 2018, hasta el año 2022, extraídos de la base de datos del Banco de Guatemala (s.f.); la que se utilizó para determinar el tamaño de la planta y la cantidad de personal necesaria. Se determinó la localización del inmueble a través del método cuantitativo por puntos ponderados.

Se estableció el diseño de las instalaciones, por medio de las medidas del edificio, el tipo de techo, el material, color de las paredes y piso, tanto para el área de laboratorio como para el área de producción. Asimismo, se definió el proceso extractivo, la maquinaria y distribución en planta.

## Metodología

Para la propuesta del diseño de la línea de producción comercial del extracto colorante de achiote (*Bixa Orellana L.*), se buscó cubrir el 5 % del consumo del colorante natural anual, utilizado en la industria de alimentos. Los métodos extractivos a nivel de laboratorio consistieron en poner en contacto directo la materia prima de achiote, con la solución álcali de hidróxido de potasio al 2 %, realizando una maceración estática y una maceración dinámica, la primera por un período de 24 horas y la segunda por períodos de 30, 60 y 90 minutos. Esto con el fin de determinar el rendimiento de extracción y definir de esta forma la mejor opción. Para los procesos de extracción, se utilizó una masa inicial de 200 gramos, se colocó en un beacker de 500 mL y se agregó 300 mL de la solución de hidróxido de potasio. Posteriormente se colocó el beacker en un sistema de condensación a reflujo y se inició con el proceso de extracción del colorante.

Para determinar el tamaño de mercado y el segmento objetivo, se utilizaron los valores de acceso público del Banco de Guatemala (s.f.), correspondientes al código arancelario 3203.00.14.00 materias colorantes de origen vegetal o animal (incluidos los extractos tintóreos, excepto los negros de origen animal), annato, consultando las exportaciones e importaciones de este material durante el período del año 2018 al 2022 (Banguat, s.f.). No se tiene un dato exacto de cuál es la cantidad de colorante de achiote que se importa en el país. Para efectos de este artículo, se asignará un valor del 20 % del total del promedio de las importaciones anuales. Por lo que, el estimado de importación del colorante natural sería de un aproximado de 230 797,8 kg/año. De igual manera, se estima que el 50 % del total de este colorante se utiliza para la industria alimenticia y sus aplicaciones, el otro 50% se

utiliza para la industria de textiles, farmacéuticas, entre otros. A partir de estos datos, se estableció la proyección de la cantidad de producción mensual y anual.

Con la magnitud de la empresa establecida, se realizó un análisis de empresas con las mismas condiciones, de la industria de alimentos, determinando al personal necesario para el funcionamiento de la planta de producción. Con la información recolectada, se realizó las descripciones de los puestos en donde se especificó: las responsabilidades, tareas, habilidades y formación académica de cada puesto.

En el diseño de la planta, se consideró la localización de la línea de producción. Esto determinó la mejor localización en la línea de producción del colorante de achiote, habiendo utilizado el método cuantitativo por puntos ponderados. De acuerdo con el análisis de mercado realizado, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos -MAGA- (2023), algunos de los departamentos del país en donde más se produce la semilla de achiote son Escuintla, Retalhuleu y Alta Verapaz.

Finalmente, se determinó los tipos de señalización industrial, Coordinadora Nacional Para la Reducción de Desastres -CONRED- (2019) y la distribución que ésta tiene en la planta de producción.

## Resultados y discusión

En la Tabla 1, se muestra el resultado del objetivo general, el cual radicó en diseñar una línea de producción comercial del extracto colorante de achiote (*Bixa Orellana L.*), con base en el análisis de rendimiento extractivo.

**Tabla 1**

Rendimiento extractivo del extracto colorante de achiote (*Bixa Orellana L.*), a través del método de maceración dinámica

Tiempo de extracción	Repetición	Método de extracción	Rendimiento (%)	Promedio
30 minutos	1	Maceración dinámica con reflujo	5,47	6,05 ± 0,64
	2		6,74	
	3		5,95	
60 minutos	1	Maceración dinámica con reflujo	6,25	6,56 ± 0,31
	2		6,55	
	3		6,87	
90 minutos	1	Maceración dinámica con reflujo	5,95	5,90 ± 0,92
	2		6,80	
	3		4,96	

Nota. Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales-LIEXVE-, CII/USAC

La Tabla 1 describe el rendimiento del proceso extractivo del colorante de la semilla de achiote, a través del método de maceración dinámica con reflujo (Payes, 2017). Se utilizó 200 gramos de material y se tomaron tres tiempos como variables; 30, 60 y 90 minutos; y se utilizó una solución álcali acuosa de hidróxido de potasio al 2 %. Se realizaron tres repeticiones para cada tiempo y se observó que el rendimiento más alto es que tuvo un tiempo de 30 minutos cuyo valor es de 6,56 % ± 0,31.

**Tabla 2**

Determinación de la localización de la línea de producción del extracto colorante de achiote (*Bixa Orellana L.*), utilizando el método cuantitativo de puntos ponderados.

	Escuintla			Retalhuleu			Alta Verapaz	
Factor	Peso	Clas	Pond	Cla	Pond	Clas	Pond	
Proveedores	0,20	9	1,8	9	1,8	9	1,8	
E.E.	0,10	6	0,6	6	0,6	7	0,7	
Mercado	0,15	8	1,2	8	1,2	8	1,2	
R.H.	0,15	7	1,5	7	1,05	7	1,05	
Clima	0,10	7	0,7	7	0,7	6	0,6	
Distribución	0,15	8	1,2	6	0,9	6	0,9	
<b>TOTAL</b>	<b>1,00</b>		<b>7,6</b>		<b>7,0</b>		<b>7,0</b>	

Nota. Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales-LIEXVE-, CII/USAC

En la Tabla 2, se encuentra el método cuantitativo por puntos ponderados, que se utilizó para determinar la localización óptima de la línea de producción.

Los departamentos candidatos a la localización se escogieron a través de los datos de producción de semilla de achiote (MAGA, 2023).

Se asignaron seis factores para evaluarse, estos fueron: proveedores, energía eléctrica, mercado, recurso humano, clima y distribución.

A cada uno de los factores se les asignó una clasificación, dependiendo de la importancia o impacto directo que estos tienen y se calculó la ponderación para cada factor.

Finalmente, se sumó la ponderación para obtener tres calificaciones finales.

Después de evaluar y calificar cada localización, se determinó que el lugar óptimo para la línea de producción es el Departamento de Escuintla.

**Tabla 3**

Exportaciones de la semilla de achiote

Resumen de exportaciones de semilla de achiote		
Año	Valor (USD)	Volumen (kg)
2018	2 869 176	1 297 223
2019	1 387 307	966 200
2020	1 517 146	1 327 133
2021	1 596 987	1 484 614
2022	1 875 823	1 263 184
<b>TOTAL</b>	<b>9 246 439</b>	<b>6 338 354</b>
<b>MEDIA</b>	<b>1 849 288</b>	<b>1 267 671</b>

Nota. Resumen de exportaciones de semilla de achiote. Obtenido de Banguat. (s. f.). Serie, Exportaciones FOB Años: 1994-2023

**Tabla 4**

Importaciones de materias colorantes de origen animal o vegetal.

Resumen de importaciones de colorante de achiote		
Año	Valor (USD)	Volumen (kg)
2018	2 866 014	660 123
2019	4 652 998	1 310 196
2020	11 348 445	1 743 133
2021	9 193 566	1 225 888
2022	7 584 347	830 603
<b>Total</b>	<b>35 645 370</b>	<b>5 769 943</b>
<b>Media</b>	<b>7 129 074</b>	<b>1 153 989</b>

**Nota.** Resumen de importaciones de colorante de achiote. Obtenido de Banguat. (s. f.). Serie, Exportaciones FOB Años: 1994-2023.

Se realizó un análisis de mercado acerca de las exportaciones de semilla de achiote y las importaciones de colorante de achiote, dicho análisis para demostrar que Guatemala es uno de los países más productores de semilla de achiote a nivel de Latinoamérica, sin embargo, no existe una planta dedicada a la extracción de su colorante.

**Figura 1**

Proceso de maceración dinámica del extracto de la semilla de achiote



**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales-LIEXVE-, CII/USAC.

En la Figura 1, se muestra el procedimiento de obtención de colorante de achiote a escala laboratorio. Siguiendo la metodología expuesta en Payes (2017).

Se procedió a preparar una solución álcali acuosa de hidróxido de sodio al 2 %, conjuntamente se midieron 30 gramos del material, se colocaron en un balón de 1 000 mL junto con la solución.

El balón se colocó en una plancha de agitación a reflujo, durante distintos tiempos: 30, 60 y 90 minutos. Posteriormente, se filtraron las semillas de achiote de la solución, utilizando una bomba de vacío y se secó en el secador eléctrico de flujo transversal, a una temperatura de 57 °C hasta obtener una pasta. Finalmente, se separó la pasta y se trituró.

**Figura 2**

Diseño de la línea de producción de colorante de achiote



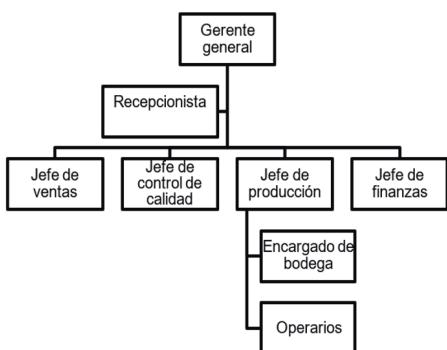
- |                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| 1. Sanitarios          | 2. Estacionamiento           |
| 3. Área de bodega      | 4. Bodega de P.T.            |
| 5. Bodega de reactivos | 6. Laboratorio               |
| 7. Área de empaque     | 8. Bodega de M.P.            |
| 9. Área de producción  | 10. Área de carga y descarga |
| 11. Recepción          | 12. Comedor                  |
| 13. Sala de espera     | 14. Oficina principal        |
| 15. Oficina            |                              |

**Nota.** Elaboración propia, utilizando Microsoft Visio.

En la Figura 3, se muestra la distribución de la señalización en la planta de extracción de colorante de achiote. Siguiendo los lineamientos expuestos en CONRED (2019), sobre la guía de señalización, se utilizaron los siguientes tipos: señales de obligación, señales de evacuación y seguridad, señales informativas y señales de precaución o prevención. Las señales se distribuyeron de tal manera que, se adecuen al área de la planta de producción.

**Figura 4**

*Organigrama propuesto para la planta de producción del colorante de achiote*



Nota. Jerarquía. Elaboración propia, realizado con Word.

En la Figura 4 se describe el organigrama propuesto para que la línea de producción pueda iniciar los procesos. Para establecer los puestos que se necesitan, se realizó una investigación de otras empresas similares, en cuanto a tamaño y área en la que se especializa, en este caso la de alimentos.

La jerarquía del equipo de trabajo se toma en cuenta, desde la gerencia hasta el área operativa, para la que se determinó las atribuciones correspondientes, de planificación y coordinación, hasta las actividades de operación, respectivamente.

## Conclusiones

1. Se realizaron los procesos de extracción de colorante de achiote con los métodos de lixiviación y de arrastre por vapor para evaluar los rendimientos obtenidos. Se realizaron tres muestras para distintos tiempos en los procesos de extracción. El método que mejor rendimiento tuvo, fue el método de maceración dinámica con un tiempo de agitación de 60 minutos. El rendimiento obtenido fue de 6.56 %
2. La exportación de semilla de achiote anual del año 2018 al 2022, fue de 6,338,354 kg, siendo Guatemala uno de los países que más exportan. Mientras que la importación de colorantes de origen vegetal y animal tiene una media de 7,129,074 kg en el mismo periodo de tiempo.
3. Por medio del método cuantitativo por puntos, se estableció que la mejor localización para la planta de extracción es el Departamento de Escuintla, debido a la producción de la materia prima y al clima.
4. Se realizaron los diseños de la planta de extracción de colorante de achiote. Las dimensiones establecidas, tomando en cuenta el proceso, la maquinaria y el equipo, la cantidad de personal.
5. La planta contará con un área de laboratorio para realizar las soluciones, que necesita el proceso, un área de planta piloto para realizar los procesos de extracción, así como un área administrativa, que contará con oficinas y un área de recepción. Los costos de implementación son de Q5,315,989.79.

## Recomendaciones

1. Realizar un análisis estadístico para evaluar los rendimientos obtenidos de la extracción del colorante de la semilla de achiote, comparándolos con los rendimientos informados en la literatura científica y determinando si son aceptables para una producción comercial. También podría ser útil estudiar las variables que surgen al rendimiento de la extracción, con el fin de optimizar el proceso.
2. Realizar un análisis del mercado para identificar los principales conductores y el segmento objetivo, así como investigar las tendencias y necesidades del mercado de colorantes naturales en Guatemala. Se podría hacer encuestas a los clientes potenciales para entender sus necesidades específicas.
3. Investigar las normas aplicables en Guatemala para la producción de colorantes naturales y determinar los requisitos específicos de infraestructura y localización necesaria, para cumplir con estas normas. Se podría realizar un estudio de factibilidad, para determinar el lugar más adecuado para la instalación de la línea de producción.
4. Elaborar un inventario de los equipos necesarios para llevar a cabo la extracción del colorante de las semillas de achiote y evaluar los costos asociados con la adquisición de estos equipos. También se podría llevar a cabo un estudio para determinar la cantidad de personal necesario, para operar la línea de producción y el entrenamiento necesario para el personal.

## Referencias bibliográficas

- Banguat. (s. f.). Serie, Exportaciones FOB Años: 1994-2023 | Banco de Guatemala.  
<https://banguat.gob.gt/page/exportaciones-fob-realizadas-0>
- Banguat. (s. f.). Serie, Importaciones FOB Años: 1994-2023 | Banco de Guatemala.  
<https://banguat.gob.gt/page/importaciones-cif-realizadas-0>
- Coordinadora Nacional Para la Reducción de Desastres (2019) Guía Para la Señalización de Ambientes  
[https://conred.gob.gt/wp-content/uploads/Guia\\_de\\_Signalizacion.pdf](https://conred.gob.gt/wp-content/uploads/Guia_de_Signalizacion.pdf)
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2023). Informe semanal de precios. (p.16). MAGA.
- Ministerio de Economía (2024) Reglamento Técnico Centroamericano, RTCA 67:01.30:06.  
[https://www.mineco.gob.gt/images/viceministerio\\_integracioncomercio/direccion\\_administracion\\_comercio\\_exterior/tratados\\_vigentes/int\\_economica\\_centroamericana/reglamentos\\_tecnicos\\_alimentos/buenas\\_practicas\\_de\\_manufactura\\_de\\_alimentos\\_1.pdf](https://www.mineco.gob.gt/images/viceministerio_integracioncomercio/direccion_administracion_comercio_exterior/tratados_vigentes/int_economica_centroamericana/reglamentos_tecnicos_alimentos/buenas_practicas_de_manufactura_de_alimentos_1.pdf)
- Ministerio de Trabajo (2016). Reformas al Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional 33-2016.
- Payes, E. (2017). Obtención y caracterización fisicoquímica del extracto colorante del achiote (*Bixa Orellana L.*) a nivel laboratorio. [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital.  
<http://www.repository.usac.edu.gt/6776/>

## Autores

### Juan Pablo López Cano

Ingeniero Industrial Investigador DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

### Telma Maricela Cano Morales

Ingeniera Química, Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII/USAC, Profesora Química General 1 y 2.

### Mario José Mérida Meré

Ingeniero Químico, Coordinador del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE- CII-USAC, Profesor Investigador de la Escuela de Ingeniería Química.

### Claudia Elisa Castellanos Jurado

Ingeniera Química, Investigadora DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-.

*Universidad de San Carlos de Guatemala*  
**Facultad de Ingeniería**

Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Comité Editorial CII**

correo electrónico: comite.editorialcii@gmail.com

Edificio -Emilio Beltranena-, Edificio T-5 y Área de Prefabricados

Campus Central zona 12, Código Postal 01012

Guatemala, Ciudad

<https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/cii>

Página electrónica: Centro de Investigaciones de Ingeniería

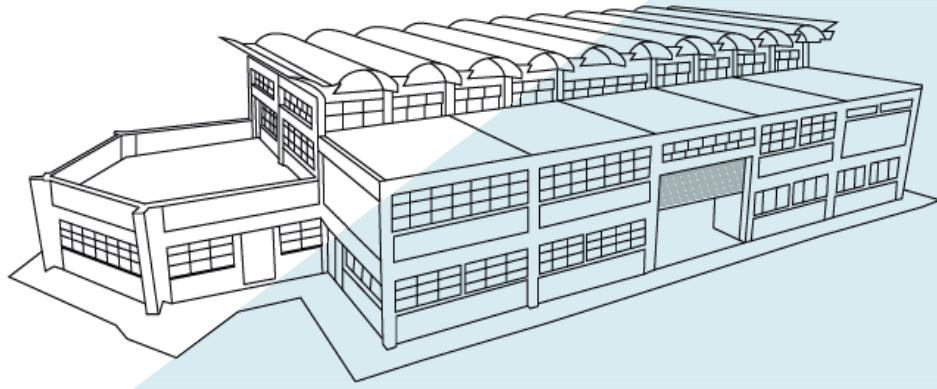
Diseño y Diagramación

Licenciada Mónica Paola Girón Castro, CICON-CII

La Revista CIIentífica -Fortaleciendo la Investigación-

fue editada en la Ciudad de Guatemala, C.A.

Año MMXXV



## Invitación a los *autores*

La Revista Científica -Fortaleciendo la Investigación- del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, es una publicación que se edita anualmente, con fondos de la institución.

La revista se encuentra elaborada de acuerdo al normativo de LATÍNDEX, sistema que rige la edición de revistas académicas y científicas para América Latina, El Caribe, España y Portugal.

La revista es científica y los artículos que la conforman, son resultados de investigaciones experimentales que se han llevado a cabo en diferentes laboratorios.

Están invitados a escribir en dicha revista, los docentes y profesionales que pertenezcan a la Facultad de Ingeniería.

Para escribir sus artículos, los autores deben basarse en las instrucciones para la presentación de artículos en la Revista Científica del CII, elaboradas por el Comité Editorial de la institución.

Coordinación  
Comité Editorial CII  
*Universidad de San Carlos de Guatemala*  
*Centro de Investigaciones de Ingeniería*  
*Facultad de Ingeniería*



**USAC**  
*Educación Superior*  
pública y gratuita

# Revista CIENTÍFICA

## Fortaleciendo la Investigación

Volúmen 22, No. 1, 2025 ISSN 1993-3711 y en línea 1993-372X



Universidad de San Carlos de Guatemala,  
Facultad de Ingeniería  
Centro de Investigaciones de Ingeniería