



Inducción de úlcera gástrica por modelo químico (etanol) para la evaluación del efecto gastroprotector del extracto acuoso de *Taxodium mucronatum* en ratas cepa Wistar

Chemical model (etanol)-induced gastric ulcer for evaluation of the gastroprotective effect after administration of the aqueous extract of Taxodium mucronatum in Wistar strain rats

Saúl Octavio Gaona-Ríos¹, Atonatiu Edmundo Gómez-Martínez¹, Patricia Vergara-Aragón², Argelia Sánchez-Chinchillas³, Rubi Bustamante-García⁴, Aranza Ruth Sánchez-Alcántara¹, Paola Yolotzin Betanzos-Martínez¹, Ana María Vázquez-Álvarez², Ruth Bustamante-García*¹

¹Departamento de Biología, Facultad de Química, UNAM, ²Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, UNAM, ³Departamento de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Química, UNAM ⁴Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Laboratorio de Ecología de Ambientes Limitantes, Facultad de Ciencias, UNAM. *Autor de correspondencia: Ruth Bustamante-García. Correo electrónico: fruthb@quimica.unam.mx. Teléfono: 5556223757. Dirección: Departamento de Biología. Bioterio Edificio A. 5to. Piso Facultad de Química, UNAM. Av. Universidad 3000, Circuito Interior S/N, C.U., Coyoacán, 04510 Ciudad de México, CDMX

*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia / *Corresponding author*

Recibido / *Received*: Octubre / *October* 05, 2025

Aceptado / *Accepted*: Noviembre / *November* 01, 2025

Publicado / *Published*: Junio 30, 2026 (Número 2, Julio-Diciembre) / *June 30, 2026 (Number 2, July-December)*

Resumen

Desde la antigüedad el uso de plantas medicinales ha permitido obtener principios activos de interés terapéutico. En México existen alrededor de 4,500 especies y al menos el 90% de la población ha recurrido a ellas en algún momento de su vida, principalmente para tratar enfermedades gastrointestinales. Estos padecimientos representan un problema de salud en México y a nivel mundial. Entre los más comunes se encuentran el síndrome de intestino irritable, la gastritis y la úlcera péptica, que pueden originarse por bacterias como *Helicobacter pylori*, *E. coli* y desbalances de la microbiota por consumo excesivo de sustancias irritantes, grasas, ciertos medicamentos, hábitos poco saludables y estrés. Una de las opciones que pueden ser utilizadas son los extractos de origen natural, ya que muchas plantas contienen compuestos como terpenoides, flavonoides, alcaloides, taninos, mucílagos, glucósidos y esteroides, los cuales pueden fungir como gastroprotectores. Sus mecanismos incluyen efectos antisecretores, antioxidantes, reducción de la actividad de la mieloperoxidasa y aumento de prostaglandinas en la mucosa gástrica. En este contexto, el *Taxodium mucronatum* (ahuehuete), árbol común en los bosques de México, se ha empleado como antiséptico y anestésico de la mucosa oral; además, la resina, hojas y corteza se usan en heridas, úlceras y afecciones cutáneas; por lo que en este proyecto se evaluó el extracto acuoso de ahuehuete en un modelo químico de lesiones inducidas en la mucosa gástrica en ratas Wistar. En esta investigación se encontró que presenta actividad gastroprotectora a la dosis de 600 mg/mL.

Palabras clave: Plantas medicinales, gastritis, úlcera péptica, *Helicobacter pylori*, ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), microbiota

Abstract

*Since ancient times, the use of medicinal plants has yielded active ingredients of therapeutic interest. In Mexico, there are approximately 4,500 species, and at least 90% of the population has used them at some point in their lives, primarily to treat gastrointestinal illnesses. These conditions represent a significant health problem in Mexico and worldwide. Among the most common are irritable bowel syndrome, gastritis, and peptic ulcers, which can be caused by bacteria such as *Helicobacter pylori* and *E. coli*, as well as by imbalances in the gut microbiota due to excessive consumption of irritants, fats, certain medications,*

unhealthy habits, and stress. One option that can be used is natural extracts, since many plants contain compounds such as terpenoids, flavonoids, alkaloids, tannins, mucilage, glycosides, and steroids, which can act as gastroprotective agents. Its mechanisms include antisecretory and antioxidant effects, reduction of myeloperoxidase activity, and increased prostaglandin levels in the gastric mucosa. In this context, *Taxodium mucronatum* (ahuehuete), a common tree in Mexican forests, has been used as an antiseptic and anesthetic for the oral mucosa. Furthermore, its resin, leaves, and bark are used for wounds, ulcers, and skin conditions. Therefore, in this project, the aqueous extract of ahuehuete was evaluated in a chemical model of gastric mucosal lesions induced in Wistar rats. This research found that it exhibits gastroprotective activity at a dose of 600 mg/mL.

Keywords: Medicinal plants, gastritis, peptic ulcer, *Helicobacter pylori*, ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), microbiota

Introducción

Las enfermedades gastrointestinales representan un problema de salud pública de gran relevancia a nivel mundial. Tan solo en México, durante el año 2021, se reportaron 450,336 casos de padecimientos relacionados con úlceras, gastritis y duodenitis, con una tasa de incidencia de 349.2 casos por cada 100,000 habitantes (S.S., 2022). A nivel mundial, padecimientos como la gastritis, la úlcera péptica y el síndrome de intestino irritable afectan significativamente la calidad de vida y generan altos costos para los sistemas de salud. Entre sus principales causas se encuentran la infección por *Helicobacter pylori*, el consumo excesivo de antiinflamatorios no esteroideos (AINEs), la ingesta de sustancias irritantes, los cambios en la microbiota intestinal, el estrés y los hábitos de vida poco saludables (Bielsa-Fernández et al., 2020; Carroll et al., 2016; Fox, 2012; Roesch et al., 2010).

El tratamiento farmacológico convencional se basa principalmente en el uso de inhibidores de la bomba de protones, antagonistas de receptores H₂, antibióticos y antiácidos. Sin embargo, a pesar de su eficacia clínica, estos fármacos presentan limitaciones, como la aparición de efectos adversos, el desarrollo de resistencia bacteriana y la recurrencia de las lesiones gástricas (Guerrero y Guerrero, 2018; Rang et al., 2009). Estas limitaciones han impulsado la búsqueda de alternativas terapéuticas basadas en compuestos naturales con menor riesgo de toxicidad y efectos colaterales, particularmente derivados de plantas medicinales (Martínez y Vargas, 2022).

Desde la antigüedad, las plantas han sido empleadas como fuente de moléculas bioactivas con potencial terapéutico. En México se registran aproximadamente 4,500 especies de plantas con usos medicinales, de las cuales un alto porcentaje ha sido utilizado en el tratamiento de enfermedades digestivas (Bofill-Cárdenas y Martín-Calero, 2018; CONAFOR, 2010). Los compuestos secundarios presentes en estas especies como: Terpenoides, flavonoides, alcaloides, taninos, mucílagos y esteroides han mostrado tener efectos gastroprotectores al favorecer la cicatrización de úlceras, la regeneración de la mucosa gástrica y la modulación de procesos oxidativos e inflamatorios (Altaf et al., 2023; Boffill-Cárdenas y Martín-Calero, 2018; Guerrero-Gutiérrez, 2013; Muñoz-López, 2014; Sánchez y Cruz, 2023). Entre estos metabolitos destacan los terpenoides, considerados el grupo más diverso de compuestos naturales con más de 22,000 estructuras descritas. Su biosíntesis ocurre principalmente a través de las rutas del mevalonato y del 1-desoxi-D-xilulosa-5-fosfato, y su actividad biológica está relacionada con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y citoprotectoras (García, 2020; Guerrero-Gutiérrez, 2013, Khan, 2023; Mendoza y Pérez, 2022). Asimismo, los compuestos fenólicos, como los flavonoides y el eugenol, poseen actividad reconocida antioxidante y antiinflamatoria, además de efectos benéficos en patologías cardiovasculares, metabólicas y digestivas (Creus, 2004; González, 2002; Russo y Speranza 2006). Los flavonoides, en particular, han demostrado capacidad para inhibir especies reactivas de oxígeno (ROS, en inglés), quelar metales de transición y modular vías de señalización, lo que les confiere propiedades antiulcerogénicas, hepatoprotectoras, antimicrobianas y cardioprotectoras (Muñoz-López, 2014; Russo y Speranza, 2006).

En este contexto, el *Taxodium mucronatum* Ten., conocido comúnmente como ahuehuete o ciprés mexicano, constituye una de las especies con amplio potencial terapéutico. Este árbol, cuyo nombre náhuatl significa "viejo del agua", puede alcanzar hasta 30 m de altura y vivir más de 1,600 años,

creciendo principalmente en zonas templadas y cercanas a cuerpos de agua en México (Canales-Pérez et al., 2022; CONAFOR, 2010). Tradicionalmente, su corteza, hojas y resina se han utilizado para tratar hipertensión, várices, hemorroides, enfermedades respiratorias y diversos trastornos digestivos como diarrea y cólicos (CONAFOR, 2010; López y Hernández, 2021; Luján-Hidalgo et al., 2012; Universidad Nacional Autónoma de México, 2020). Estudios fitoquímicos han identificado en el aceite esencial de *T. mucronatum* compuestos como α -pineno, β -pineno, limoneno, eugenol, bornil acetato, cedrol y α -bisabolol, entre otros, muchos de los cuales están asociados a propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, analgésicas y antimicrobianas (Fu et al., 2021; Onofre-Hurtado, 2024). De manera particular, el eugenol, ampliamente utilizado en odontología como anestésico y analgésico, ha mostrado inhibir la producción de prostaglandinas, la quimiotaxis de neutrófilos y la generación de especies reactivas de oxígeno, lo que lo convierte en un candidato relevante para la protección gástrica (González, 2002; Ruiz-de-Esparza et al., 2011).

Considerando que los mecanismos de defensa gástrica incluyen la producción de moco y bicarbonato, la síntesis de prostaglandinas, la actividad de proteínas de choque térmico (por sus siglas en inglés, *HSPs*, *Heat shock proteins*) y péptidos trefoil⁸, así como la acción antioxidante frente al estrés oxidativo (Guerrero y Guerrero, 2018; Vega-Aguilar, 2019) los compuestos presentes en *T. mucronatum* podrían contribuir a restaurar el equilibrio entre factores agresores y protectores de la mucosa gástrica (Pera y Poulson, 2000). El objetivo de esta investigación fue evaluar el extracto acuoso de ahuehuate en un modelo químico de lesiones inducidas en la mucosa gástrica en ratas Wistar.

Materiales y métodos

Metodología

Obtención del extracto de *Taxodium mucronatum*

La obtención de las hojas y las ramas del ahuehuate fue obtenida de la población de Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca, México, en el mes de abril del 2022. Se pesaron 100 g de ramas secundarias y hojas de la planta de ahuehuate y se dispusieron a temperatura ambiente (23°C) en una charola para su desecación natural a condiciones ambientales. Una vez que la planta se encontraba seca se realizó la fragmentación por medio de acción mecánica para facilitar la extracción. Se pesaron 25 g y se colocaron en un matraz de 250 mL, se añadieron 250 mL de agua ozonificada a punto de ebullición con agitación suave por un lapso de 60 s y se dejaron reposar por 20 min. Posteriormente, se filtraron y se envasaron en frascos de vidrio color ámbar etiquetados y fueron almacenados a 4°C por un período máximo de 24 h.

Cálculo del tamaño de muestra para determinar los sujetos de experimentación

Para el cálculo del tamaño de muestra de los sujetos de experimentación se utilizó el programa G*Power 3.1.9.7; con una $p=0.05$, potencial del 95%. La $N=45$ animales para 8 grupos (Figura 1).

Sujetos de experimentación

Se utilizaron 45 ratas macho de la cepa Wistar con una masa corporal de 300 ± 50 g, íntegras sin previo tratamiento. Los animales fueron donados por el bioterio del Edificio A de la Facultad de Química, UNAM, México, donde se realizó el experimento. Los animales se mantuvieron bajo condiciones controladas de luz (ciclo luz/oscuridad 12/12h), temperatura (23°C) y humedad (60%), con acceso a agua potable y comida (PMI 5001 mantenimiento de roedor) *ad libitum*; 16 recambios de aire/h, la cama es viruta procesada irradiada con luz UV (CRIGAMEX) de acuerdo con la NOM-066-ZOO-1999 "Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio" (DOF, 2001). Las ratas se mantuvieron en cajas colectivas para roedores de 34.5x49x17 cm. La carta de aprobación (OFICIO/FQ/CICUAL/518/23) del experimento, fue aprobada por el comité de ética

⁸ Ver Glosario

para el cuidado y uso de animales de laboratorio CICUAL. El suministro del extracto fue realizado mediante sondeo esofágico (*P.O.*⁸) y los grupos y dosis administradas se describen en la Tabla 1.

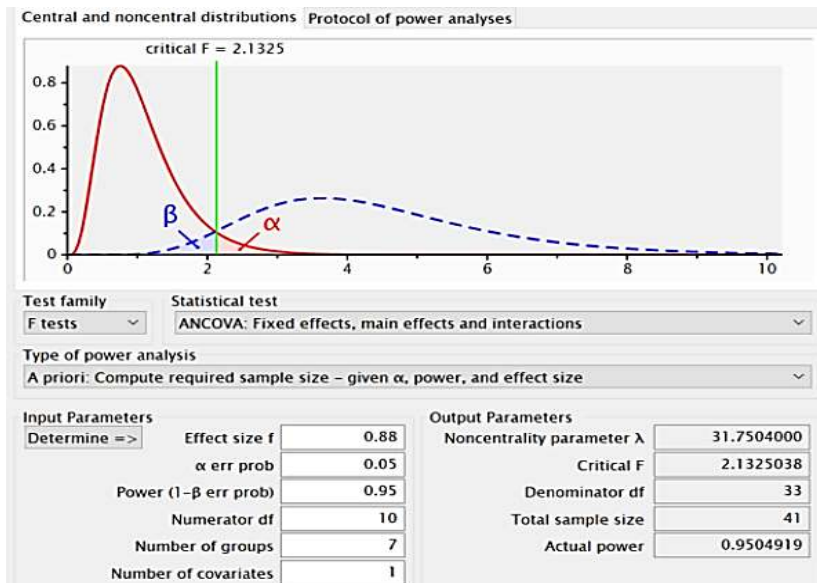


Figura 1. Cálculo del tamaño de muestra: Programa G*Power 3.1.9.7 (tomado de las redes)

Tabla 1. Distribución de los grupos y n establecida para cada uno

Grupo	Tratamiento	Concentración (mg/kg) o volumen (mL)	N
I	<i>Naive control</i> (ver Glosario)	NA	3
II	Grupo control simulado administrado con solución salina isotónica (<i>Shams</i> , ver Glosario). SSI 0.9% Pisa Lote. P21D471	1 mL	3
III	Etanol absoluto. Sigma Aldrich. Número de catálogo: 0287025L-F	1 mL	3
IV	Subsalicilato de bismuto. Marca comercial: Pepto Bismol [®]	1 mL	4
V	Extracto de ahuehuate	75 (mg/kg)	8
VI		225 (mg/kg)	8
VII		475 (mg/kg)	8
VIII		600 (mg/kg)	8

Naive: Control íntegro; **Shams:** Grupo control simulado administrado con solución salina isotónica (SSI)

Las consideraciones realizadas para la diferencia del tamaño de muestra fueron las siguientes: (a) Grupos controles. Debido a que este modelo se ha realizado bajo las mismas condiciones se redujo con el fin de utilizar la 'n' mínima necesaria para la evaluación del efecto gastro-protector. (b) Grupos experimentales: Se formaron de acuerdo con una secuencia de aleatorización simple mediante una hoja de cálculo en excel para reducir el sesgo [Fórmula = aleatorio(columna)] y su posterior asignación al grupo (Bevacqua, 2021).

Las ratas fueron pesadas y marcadas utilizando marcaje permanente mediante un muesquedor de acero inoxidable para oreja de rata. Posteriormente, para los grupos: II a IV se administró por vía *P.O.* a dosis única un mililitro de SSI al 0.9%, etanol absoluto y subsalicilato de bismuto respectivamente; para los grupos V a VIII se administró a razón de 0.1 mL por cada 100 g de masa corporal el extracto de ahuehuate de acuerdo con la dosis como se refiere en la Tabla 1. Con respecto

de los grupos I a III, pasados 30 minutos se realizó la eutanasia con cámara de dióxido de carbono hasta corroborar el cese de los signos vitales como la ausencia de ritmo cardíaco, actividad respiratoria, temperatura corporal y la pérdida de reflejos. Una vez realizado el procedimiento de la eutanasia se diseccionó el estómago previa fijación con paraformaldehído al 4% amortiguado. Después de 3 minutos con esta disolución se hizo un corte por la curvatura mayor dejando el área expuesta para la medición de las lesiones (número y área de superficie) mediante un vernier. Para los grupos IV a VIII después de la administración de los tratamientos y pasado el lapso de 30 minutos se administró 1 mL de etanol absoluto se dejó actuar por 30 minutos adicionales, transcurrido este tiempo, se procedió a realizar la eutanasia y disección del mismo modo que para los grupos anteriores. Una vez analizados los tejidos de forma macroscópica se almacenaron para su posterior inclusión en parafina y su evaluación de las lesiones de los estómagos.

Análisis macroscópico

Una vez que los estómagos fueron extraídos se realizó una medición de la úlcera por medio de métodos cuantitativos no sistemáticos, cuantificándose el número de lesiones y el índice de úlcera (*UI*, en inglés). También se obtuvo el área de las lesiones multiplicando largo por ancho. Posteriormente se graficaron los valores del área. El último cálculo que se realizó fue el porcentaje de inhibición (%I):

$$I\% = \left(\frac{UI\ ETOH - UI\ Tratamiento}{UI\ ETOH} \right) \times 100I\% = \left(\frac{UI\ ETOH - UI\ Tratamiento}{UI\ ETOH} \right) \times 100$$

en donde:

UI ETOH = índice de úlcera de tratamiento con etanol

UI Tratamiento = índice de úlcera de tratamiento con subsalicilato de bismuto (Pepto bismol®) o extracto de ahuehuete

Clasificación del grado de úlcera gástrica según su severidad

Se empleó la escala de medición de *Morini - Grandí*, frecuentemente utilizada para evaluar las úlceras gástricas en ratas asignando un grado o puntuación según la severidad de estas (Tabla 2), tomándose como criterio de evaluación la profundidad de la lesión (Henríquez y Salinas, 2013).

Tabla 2. Clasificación del grado de daño derivado de úlceras gástricas en la mucosa (Henríquez y Salinas, 2013)

Grado	Características
0	Todas las células de la mucosa gástrica se encuentran intactas
1	Las células de la mucosa que se encuentran en la superficie luminal se encuentran dañadas y parcialmente exfoliadas, las células de las criptas se encuentran intactas
2	Células de la superficie luminal, se encuentran extensamente dañadas, aunado el daño de las células de las criptas, mientras las células glandulares se encuentran intactas
3	Aunado al daño de las células superficiales y las criptas, se evidencia el daño en el área parietal de las células glandulares gástricas, numerosas células exfoliadas y necrosis completa de la capa celular superficial
4	Daño grado 3 severo que se extiende a la porción inferior de las glándulas y edema de submucosa

Análisis estadístico

El análisis de los datos obtenidos se llevó a cabo por medio del programa Sigma plot 14.0, realizando pruebas de análisis de varianza, andeva (*ANOVA*, en inglés) de una vía o Kruskal-Wallis, a una $p < 0.05$. También se utilizó la prueba *post-hoc* de Dunnet (número de lesiones). En el caso de área de lesiones se realizaron las pruebas antes mencionadas y además una prueba de U de Mann-Whitney. Los resultados fueron expresados como el promedio de la respuesta obtenida \pm el error estándar (E.E.).

Resultados y discusión

Evaluación macroscópica del efecto gastroprotector del extracto de ahuehuete

En la Figura 2 se muestra el promedio del área de lesión (cm^2) \pm E.E. y el promedio del número de lesiones \pm E.E. para cada tratamiento evaluado. En el primer panel (ISPCh, 2011) se observa que el tratamiento donde se obtuvo un valor mayor para el promedio de área de lesión fue de 75 mg de extracto natural, siendo mayor que el de EtOH, pero se observa una disminución progresiva del área mientras la dosis de ahuehuete aumenta, siendo la dosis más alta comparable con el control positivo de Pepto Bismol®. El análisis estadístico indicó que hubo diferencia significativa entre los tratamientos de 600 mg de extracto natural y Pepto Bismol® al compararlos con el de etanol. Los demás grupos no mostraron diferencia significativa ($p = 0.03$, $H = 17.760$ con 5 grados de libertad).

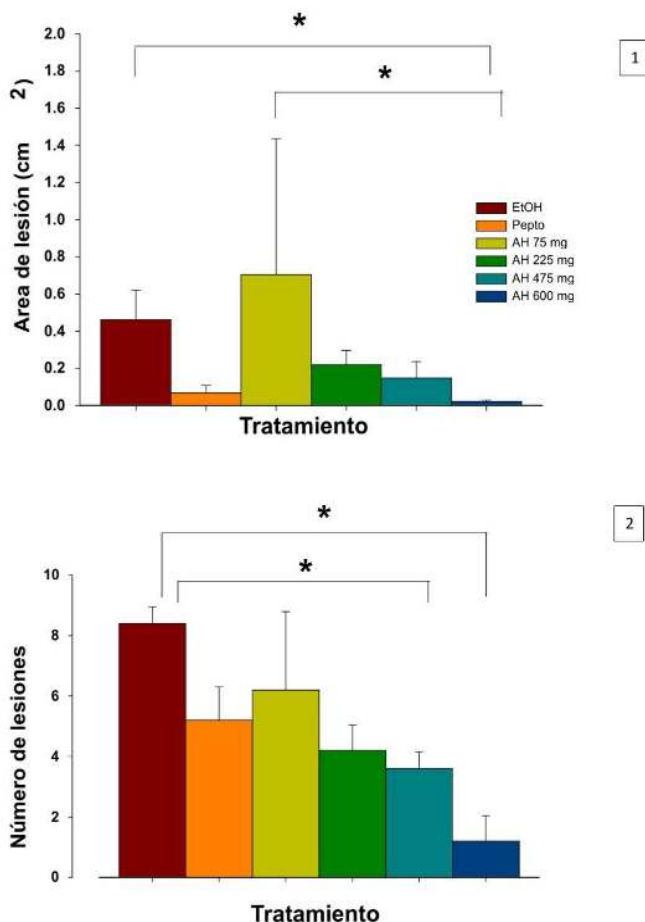


Figura 2. Evaluación del efecto gastroprotector del extracto de ahuehuete. Se muestra el promedio de área de lesiones \pm E.E. (primera gráfica) y el promedio de número de lesiones que fueron contabilizadas en los estómagos ulcerados \pm E.E. (segunda gráfica). Donde: Pepto = Subsalicilato de bismuto, AH = concentraciones administradas del extracto de *Taxodium mucronatum*. * $p < 0.05$

En la segunda gráfica (Panel 2) se puede apreciar un comportamiento similar al de la primera, solamente que en ésta la columna más grande correspondió al etanol, teniendo el mayor promedio de número de lesiones. Existió diferencia significativa entre los tratamientos de 600 y 475 mg de ahuehuete en comparación con el de etanol con una $p < 0.001$. Los demás tratamientos no mostraron una diferencia significativa ($p < 0.001$, $H = 22.227$ con 5 grados de libertad).

En la Tabla 3, se muestran los porcentajes de inhibición de los grupos tratados con los controles y las diferentes concentraciones de ahuehuete donde el porcentaje de inhibición (%PI) menor corresponde a la concentración más baja de ahuehuete (75 mg) y el más alto a la concentración de 600 mg, siendo mejor que el control positivo (Pepto Bismol®).

Tabla 3. Porcentajes de inhibición calculados (%PI)

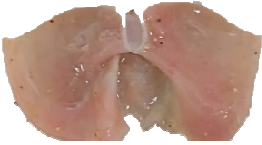
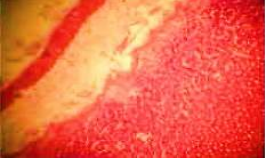



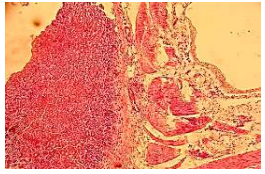
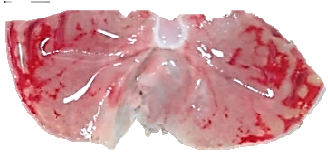
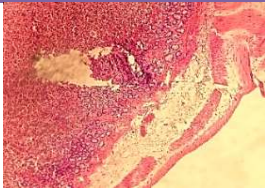
Tratamiento		N	AI (mm ²)	% PI
EtOH (mL)	1.0	3	32.32	-----
Control negativo	-----	3	-----	-----
SS (mL)	1.0	3	-----	-----
Ahuehuate (mg/mL)	75	8	70.428	-117.9
	225	8	21.89	32.2710
	475	8	14.72	54.4554
	600	8	2.15	93.3477
PEPTO (mg/mL)	35	4	6.74	79.1460


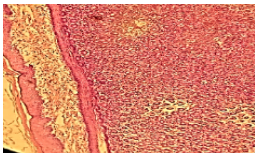

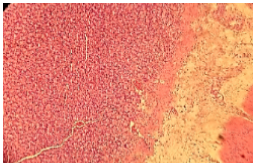

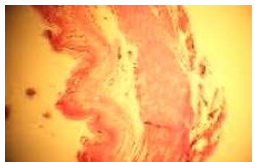
AI: Área de inhibición en mm²; porcentaje de inhibición: %PI

Resultados microscópicos

En la Tabla 4 se aprecian los cortes de los estómagos por tratamiento donde se observa que el suministro de etanol causa lesiones. En los diferentes tratamientos en función de las dosis aplicadas se observa disminución y/o regeneración de la mucosa gástrica.

Tabla 4. Evaluación microscópica del efecto gastroprotector de extracto acuoso de ahuehuate

Grupo	Corte de estómago	Grado de lesión	Corte histológico (vista microscópica)	Descripción
SS		0		No se aprecia ningún tipo de lesión
EtOH		4		El daño es de gran magnitud en las tres capas del estómago
75 mg/mL de ahuehuate + EtOH		4		Las tres capas están severamente dañadas
225 mg/mL de ahuehuate + EtOH		3		Todas las capas presentan daño, la muscular está menos dañada que con la dosis inferior

Grupo	Corte de estómago	Grado de lesión	Corte histológico (vista microscópica)	Descripción
475 mg/mL de ahuehuete + EtOH		2		El daño es mínimo y solamente se aprecia en la mucosa
600 mg/mL de ahuehuete + EtOH		1		La mucosa presenta lesiones muy pequeñas
Pepto + EtOH		0		No hay lesiones

Análisis final de los resultados

A nivel macroscópico para el grupo administrado con subsalicilato de bismuto, la sustancia activa que contiene el Pepto Bismol® se observó un recubrimiento de la mucosa gástrica y disminución en el número y área de lesiones. Esto se puede deber a que el mecanismo de acción consiste en recubrir la mucosa gástrica, se une a las proteínas de la base del nicho ulceroso para defender de forma pasiva de la actividad digestiva del HCl y de la pepsina. Estimula la entrada de macrófagos y la generación de prostaglandinas citoprotectoras acelerando el proceso de reparación. Además, tiene efecto bactericida en contra de *Helicobacter pylori* inhibiendo la síntesis de la pared bacteriana y proteica (ISPCh, 2011).

En el caso de la disolución de ahuehuete las sustancias activas reconocidas son: Terpenoides, compuestos fenólicos o flavonoides, lo cual sugiere que el mecanismo de acción exacto por el cual brinda gastroprotección es aún desconocido, pero tomando en cuenta los componentes de la planta puede tenerse una idea. Por ejemplo, los terpenoides tienen propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias (López, 2012), que podrían servir para combatir a microorganismos causantes de las úlceras gástricas, así como la respuesta inflamatoria derivada de este padecimiento.

El compuesto fenólico que contiene el ahuehuete es el eugenol. Este inhibe a la ciclooxigenasa 2 (COX-2) que es la responsable del inicio de los procesos inflamatorios al transformar el ácido araquidónico en prostaglandinas, sustancias que generan inflamación y dolor, especialmente las PGE₁ y E₂ (García-Meijide y Gómez-Reino-Carnota, 2000). El bloqueo de la COX-2 impide el daño celular de la mucosa gástrica derivado de la administración de etanol, de esta manera la COX-1 sigue realizando sus funciones, favoreciendo la síntesis de prostanoides que generan una citoprotección al aumentar la producción de moco, liberación de bicarbonato y una disminución en la producción de ácido, así como reparación de los tejidos (Domínguez, 2006; Gaona-Ríos, 2024).

Además de la prevención del daño a la mucosa que tiene el eugenol, éste tiene otras propiedades de interés en el tratamiento de la patología tratada en esta investigación, las cuales son: La inhibición de la quimiotaxis de los neutrófilos y la generación del anión superóxido que le confieren actividad analgésica y anestésica (González, 2002). Es bien sabido que las enfermedades gástricas como la úlcera péptica vienen acompañadas de dolor e inflamación y, por ello, es que el *Taxodium*

mucronatum podría ser una buena alternativa no solamente para prevenir y regenerar el daño sino para combatir síntomas derivados como dolor e inflamación.

El eugenol podría también hacer frente al daño a mucosa generado por *H. pylori*. La infección por dicha bacteria activa la liberación de radicales de oxígeno (ion superóxido y peróxido de hidrógeno) que promueven el daño tisular. La forma en que actúa el eugenol es inhibiendo la peroxidación lipídica inducida por las ROS y el sistema xantina-xantina oxidasa impidiendo que se formen los radicales superóxidos y OH⁻ (González, 2002). En la Figura 2, el panel 1 donde se muestra el área de lesión, al ordenar de mayor a menor las barras correspondientes a cada tratamiento, se observa un área de lesión mayor con la administración de 75 mg de ahuehuate (AH 75 mg), siendo incluso mayor que la de etanol (control positivo) cuya área de superficie lesionada debe ser de gran tamaño debido a que es la sustancia utilizada para la inducción de úlceras por su capacidad irritante.

En cuanto a la dosis de 75 mg de ahuehuate, no hay información reportada sobre interacciones con alcoholes, en general la información referente a *Taxodium mucronatum* es escasa (Onofre Hurtado, 2024). Aún así, se pueden intuir tres posibilidades: (a) Concentración del extracto natural se favorezcan el daño del etanol potenciando sus efectos, (b) La combinación de alcohol con dicha concentración de extracto pueda potenciar los efectos tóxicos del eugenol, de los flavonoides y (c) La concentración del extracto es muy baja como para contrarrestar los efectos del EtOH (González, 2002).

Con respecto a los demás tratamientos hay una relación directa entre el aumento de la dosis de ahuehuate y la disminución del área de lesión. Ese comportamiento progresivo demostraría que el extracto protegió la mucosa de forma cada vez más eficaz. El tratamiento con la concentración de 600 mg/mL de ahuehuate (AH 600 mg) muestra una eficacia incluso mejor que el tratamiento con el medicamento de referencia subsalicilato de bismuto (Pepto Bismol®) (Cherrada et al., 2024; Fu et al., 2021; Kim et al., 2020).

En el inciso 2 de la Figura 2 el mayor número de lesiones corresponde al etanol, al no haber nada más que el alcohol el daño se produce de forma completa, dando como resultado un promedio de 8 lesiones. El segundo lugar lo tiene el tratamiento con concentración de 75 mg/mL de ahuehuate, la disminución de lesiones (una media de 5 lesiones) en comparación al EtOH se debe a que hay gastroprotección, pero es una concentración muy baja para contrarrestar la generación de úlceras.

Conforme aumenta la concentración de extracto natural la gastroprotección es más notoria, el número de lesiones disminuye progresivamente conforme se aumenta la dosis. En la concentración de 600 mg/mL de ahuehuate (AH 600 mg) el promedio ha disminuido a 1 lesión y, con este tratamiento, la inhibición de los efectos irritantes del alcohol es casi completa.

En la Tabla 4 se pueden observar y comparar los múltiples tratamientos. Como ya se mencionó, con la dosis de 75 mg/mL los resultados son muy similares al control de etanol, el daño es abundante porque es una cantidad muy pequeña de la sustancia activa. En cambio conforme la cantidad administrada de la solución acuosa natural se fue aumentando el daño disminuyó, siendo la concentración de 600 mg/mL la que logró resultados similares al control de Pepto Bismol® y el de la solución salina isotónica, SSI.

La concentración más alta que se consideró, 600 mg/mL, fue la más efectiva para lograr el efecto deseado.

No se administró a mayor concentración porque se estimó que el estómago de las ratas no soportaría un volumen mayor. Y tal vez, una dosis por encima de esa, pudiera generar efectos no evaluados todavía e incluso perjudicar la salud de los roedores. Este hallazgo tendría que ser estudiado en experimentación futura.

A la M. en C. Rubí Bustamante García por su arduo trabajo en la caracterización del material vegetal.

Referencias

- Altaf, S., Abbas, R.Z., Akhtar, T., Siddique, F., Mahmood, M.S., Khan, M.K., Ziaf, K., Rafay, M., Khan, M.A., Abbas, A., ur Rehman, T., Aguilar-Marcelino, L., Zia, M., Khater, H.F., Saeed, N.M., Abbasi, K.Y. 2023. Antioxidant rich medicinal plants as a potential candidate to treat gastric ulcer | *Plantas medicinales ricas en antioxidantes como candidatas potenciales para tratar la úlcera gástrica*. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas. 22(5):560-580. <https://scispace.com/pdf/antioxidant-rich-medicinal-plants-as-a-potential-candidate-3jn0oiuu.pdf>
- Bielsa-Fernández, M.V., Tamayo-de la Cuesta, J.L., Lizárraga-López, J., Remes-Troche, J.M., Carmona-Sánchez, R., Aldana-Ledesma, J.M., Avendaño-Reyes, J.M., Ballesteros-Amozorrutia, M.A., De Ariño, M., De Giau-Triulzi, L., Flores-Rendón, R., Huerta-Guerrero, H., González-González, J. A., Hernández-Guerrero, A., Murcio-Pérez, E., Jáquez-Quintana, J.O., Meixueiro-Daza, A., Nogueira-de Rojas, J.R., Rodríguez-Hernández, H., Zamarripa-Dorsey, F. 2020. Consenso mexicano sobre diagnóstico, prevención y tratamiento de la gastropatía y enteropatía por antiinflamatorios no esteroideos. *Revista de Gastroenterología de México*. 85(2):190-206. <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2019.11.003>
- Bevacqua, N. (17 de mayo de 2021). Secuencia de aleatorización simple con hoja de cálculo [Video]. YouTube. <http://www.youtube.com/watch?v=FuOUM2YQReo>
- Bofill-Cárdenas, M., Martín-Calero, M.J. 2018. Mecanismos del efecto gastroprotector de la pulpa del fruto verde de la Musa ABB. *Medicentro Electrónica*. 22(1):45-52. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30432018000100006. <https://www.medigraphic.com/pdfs/medicentro/cmc-2018/cmc181f.pdf>
- Canales-Pérez, R.J., Hernández-León, S., Palacios-Romero, A., García-Lazcano, A., Rodríguez-Laguna, R., Suárez-Islas, A., González-Avalos, J., Arce-Cervantes, O. 2022. Distribución natural de *Taxodium huegelii* C. Lawson en el estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 13(72):112-147. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i72.1224>
- Carroll, K.C., Morse, S.A., Mietzner, T.M. 2016. *Microbiología Médica*. McGraw-Hill Educación. 27ª. ed. Ciudad de México, México.
- Cherrada, N., Chemsá, A.E., Gheraissa, N., Laib, I., Gueboudji, Z., El-Shazly, M., Zaater, A., Abid, M., Sweilam, S.H., Emran, T.B., Nani, S., Benamor, B., Amara, D.G., Atoki, A.V., Messaoudi, M. 2024. Gastroprotective efficacy of North African medicinal plants: A review on their therapeutic potential for peptic ulcers | *Eficacia gastroprotectora de las plantas medicinales del norte de África: Una revisión sobre su potencial terapéutico para las úlceras pépticas*. *Food Science & Nutrition*. 12(4):2235-2254. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3942>
- CONAFOR. 2010. Plantas medicinales de la Farmacia Viviente del CEFOFOR: Usos terapéuticos tradicionales y dosificación. Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico; Gerencia de Educación y Capacitación. Comisión Nacional Forestal. http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Plantas_medicinales_de_la_farmacia_viviente-Conafor.pdf
- Creus, E.G. 2004. Compuestos fenólicos: Un análisis de sus beneficios para la salud. *Offarm: Ámbito Farmacéutico*. 23(6):80-84. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5325169>
- DOF. 2001. Norma Oficial Mexicana. Respuesta a la Norma NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Diario Oficial de la Federación. Junio 18, 2001. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos. México D.F., México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf
- Domínguez, Z. 2006. Los prostanoides, una revolución autacoide. *Revista de la Facultad de Medicina*. 29(2):99-101. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522006000200004
- Fox, S.I. 2012. *Fisiología humana*. McGraw-Hill Interamericana Editores. 12ª, ed. Ciudad de México, México.
- Fu, S., Chen, J., Zhang, C., Shi, J., Nie, X., Hu, Y., Maimaitiaili, A. 2021. Gastroprotective effects of *Periplaneta americana* L. extract against ethanol-induced gastric ulcer in mice by suppressing apoptosis-related pathways | *Efectos gastroprotectores del extracto de Periplaneta americana L. contra la úlcera gástrica inducida por etanol en ratones mediante la supresión de vías relacionadas con la apoptosis*. *Frontiers in Pharmacology*. 12. Artículo 798421. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.798421>
- Gaona-Ríos, S.O. 2024. Evaluación del posible efecto gastroprotector del extracto acuoso de *Taxodium mucronatum* en ratas cepa Wistar previa inducción a úlcera gástrica (modelo químico). Tesis de licenciatura. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://tesiumam.dgb.unam.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=857830>
- García, L.F. 2020. Actividad antioxidante y potencial terapéutico de terpenos y fenoles de plantas mexicanas. *Ciencia y Salud*. 3(1):10-25.
- García-Meijide, J.A., Gómez-Reino-Carnota, J.J. 2000. Fisiopatología de la ciclooxigenasa-1 y ciclooxigenasa-2. *Revista Española de Reumatología*. 27(2):43-47. <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-espanola-reumatologia-29-articulo-fisiopatologia-ciclooxigenasa-1-ciclooxigenasa-2-8546>
- González, R. 2002. Eugenol: Propiedades farmacológicas y toxicológicas: Ventajas y desventajas de su uso. *Revista Cubana de Estomatología*. 39(2):139-156. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75072002000200005
- Guerrero-Gutiérrez, J.J. 2013. Estudio químico del propóleo negro de la región de Zacatecas. Tesis de maestría. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://tesiumam.dgb.unam.mx/opac-search.pl?idx=kw&q=Estudio+qu%C3%ADmico+del+prop%C3%B3leo+negro+de+la+regi%C3%B3n+de+Zacatecas&idx=su>
- Guerrero, R., Guerrero, C. 2018. Mecanismos moleculares de las proteínas de choque térmico (HSPs) implicados en el desarrollo neoplásico. *Salud Uninorte*. 34(2):455-467. <http://www.scielo.org.co/pdf/sun/v34n2/2011-7531-sun-34-02-455.pdf>
- Henríquez, D.P., Salinas, R.J. 2013. Efecto citoprotector de un extracto de hojas de *Indigofera guatemalensis* (añil) vs. omeprazol en úlceras gástricas inducidas con indometacina en ratones. Tesis de Doctorado en Medicina. Universidad Dr. José Matías Delgado.

- <https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/07/MED/0001633-ADTESHE.pdf>
ISPCh. 2011. Registro sanitario Ultepin suspensión oral 262 mg/15 mL de bismuto subsalicilato. Departamento de Control Nacional, Unidad de Productos Farmacéuticos Nuevos; Laboratorio Bagó de Chile. Instituto de Salud Pública de Chile. <https://www.ispch.cl/sites/default/files/u7/F-18804-11.pdf>
- Khan, A. 2023. Reino plantae: clasificación (algas, musgos y helechos). Khan Academy. <https://es.khanacademy.org/science/biologia-pe-pre-u/x512768f0e18a57:reino-plantae-y-suscaracteristicas/x512768f0e18a57:reino-plantae-clasificacion/a/1312-reino-plantae-algas-musgos-y-helechos>
- Kim, Y. S., Lee, J. H., Song, J., Kim, H. 2020. Gastroprotective effects of *Inulae flos* on HCl/ethanol-induced gastric ulcers in rats / Efectos gastroprotectores de *Inulae flos* sobre las úlceras gástricas inducidas por HCl/etanol en ratones. *Molecules*, 25(23), 5623. <https://doi.org/10.3390/molecules25235623>
- López, M. 2012. Propiedades beneficiosas de los terpenos iridoides sobre la salud. *Nutrición Hospitalaria*. 5(3):5-11. <https://revista.nutricion.org/PDF/PROPIEDADES.pdf>
- López, R.M., Hernández, P.L. 2021. Fitoquímica de la familia Cupressaceae y su relación con propiedades antiinflamatorias y gastrointestinales. *Boletín Científico de Ciencias Químico Biológicas*. 8(15):45-58.
- Luján-Hidalgo, M.C., Gutiérrez-Miceli, F.A., Ventura-Canseco, L.M.C., Dendooven, L, Mendoza-López, M.R., Cruz-Sánchez, S., García-Barradas, O., Abud-Archila, M. 2012. Composición química y actividad antimicrobiana de los aceites esenciales de hojas de *Bursera graveolens* y *Taxodium mucronatum* de Chiapas, México. *Gayana Botánica*. 69(Número especial):7-14. https://www2.udec.cl/~gvalencia/pdf/GB2012_69_ne_Lujan-Hidalgo_etal.pdf
- Martínez, A.O., Vargas, S.J. 2022. Usos medicinales de la flora en México: Una revisión etnofarmacológica. *Revista Latinoamericana de Etnofarmacología y Terapias Alternativas*. 11(2):150-165.
- Mendoza, A.E., Pérez, C.D. 2022. Terpenoides en coníferas mexicanas: Una perspectiva fitoquímica y su posible aplicación biológica. *Journal of Mexican Phytochemistry*. 10(3):85-99.
- Muñoz-López, S.V. 2014. Evaluación del efecto gastroprotector del extracto acuoso de la hoja de zarzamora (*Rubus fruticosus*) en rata cepa Wistar y determinación de la CL50 mediante bioensayo con *Artemia salina*. Tesis de licenciatura, QFB. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://tesiunam.dgb.unam.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=707566>
- Onofre-Hurtado, L.F. 2024. Evaluación del efecto antiinflamatorio de los extractos etanólicos de *Rosmarinus officinalis* y *Taxodium huegelii* en ratas Wistar con el modelo de edema plantar. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://tesiunam.dgb.unam.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=852537>
- Pera, M., Poulson, R. 2000. El linaje celular asociado a la úlcera y los péptidos trefoil: Sistema de reparación de la mucosa gastrointestinal. *Gastroenterología y Hepatología*. 23(2):90-98.
- Rang, H.P., Dale, M.M., Ritter, J.M., Flower, R.J. 2009. *Farmacología*. Elsevier; Churchill Livingstone. 6ª. ed. Ciudad de México, México.
- Roesch, F., Ruiz, I., Remes, J.M. 2010. *Atlas de gastroenterología*. Editorial Alfil. 1. ed. Ciudad de México, México.
- Ruiz-de-Esparza, R., Bye, R., Meckes, M., Torres-López, J., Jiménez-Estrada, M. 2011. Antibacterial activity of *Piqueria trinervia*, a Mexican medicinal plant used to treat diarrhea. *Pharmaceutical Biology*. 45(6): 446-452. <https://doi.org/10.1080/13880200701389011>
- Russo, R.O., Speranza, M. 2006. Los flavonoides en la terapia cardiovascular. *Revista Costarricense de Cardiología*. 8(1):13-17. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-41422006000100003
- Sánchez, M.B., Cruz, V.L. 2023. Evaluación de la bioactividad de extractos vegetales: De la etnobotánica a la farmacología experimental. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 54(4):18-30.
- S.S. 2022. Panorama epidemiológico de las enfermedades no transmisibles en México. Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud; Dirección General de Epidemiología. Secretaría de Salud. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/745354/PanoEpi_ENT_Cierre2021.pdf
- Universidad Nacional Autónoma de México. 2020. Ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.). Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana; Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=taxodium-mucronatum>
- Vega-Aguilar, I.K. 2019. Determinación del efecto gastroprotector del aceite esencial de *Ligusticum porteri* en el modelo de inducción de daño gástrico con indometacina en rata. Tesis de licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://tesiunam.dgb.unam.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=790251>