Bionatura

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

Investigación

Evaluación de la obtención de un extracto acuoso rico en polifenoles a partir de *Salicornia bigelovii* mediante optimización de parámetros de extracción

Evaluation of obtaining an aqueous extract rich in polyphenols from Salicornia bigelovii by optimizing extraction parameters

*Lisandra Silveira Brioso [1], Yolexis Roberta Cardona Soberao [2], Dairon Iglesias Guevara [3], Adriana Bárbara Martín Navas [4], Yaleane Martén Ojeda [5], Amaury Pérez Sánchez [6, *]*
[1]Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba
lisandra.silveira@reduc.edu.cu. https://orcid.org/0009-0002-0234-6374
[2]Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba
yolexis.cardona@reduc.edu.cu, https://orcid.org/0000-0002-0042-5805
[3] Instituto de Farmacia y Alimentos, La Habana, Cuba,
daironig1993@gmail.com,https://orcid.org/0000-0002-0044-6083
[4] Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba
adrianabmartin98@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-3404-7757
[5] Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba
yaleane.marten@reduc.edu.cu, https://orcid.org/0009-0004-6926-7704
[6] Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba
amaury.perez84@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-0819-6760

***Correspondence: amaury.perez84@gmail.com; Tel.: +53 52952591*

Available from: https://revistabionatura.org/files-web/. (Doi10.70373/RB/2026.11.03.7)

Resumen

El aprovechamiento de la halófita *Salicornia bigelovii* en Cuba es aún incipiente, por lo que esta investigación tuvo como objetivo determinar las condiciones óptimas de obtención del extracto acuoso rico en polifenoles de *S. bigelovii*, considerando método de obtención, relación masa/disolvente y tiempo de extracción. La metodología empleada consistió en una caracterización del material vegetal que confirmó su validez para la preparación de extractos por maceración e infusión-maceración, combinados con la Metodología de Superficie de Respuesta para optimizar las variables relación masa/disolvente, tiempo y temperatura. También se realizaron análisis físico-químicos, sensoriales y pruebas de toxicidad aguda oral en ratones. El análisis estadístico reveló que la combinación infusión-maceración, con relación 0,19 g/mL y 23 horas de extracción, maximiza el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante, los cuales mostraron valores de 695,3 mg/L y 59,85 %, respectivamente. En la caracterización físico-química, el extracto mostró parámetros adecuados de pH, densidad y sólidos totales, en sintonía con estudios previos. Sensorialmente, el extracto obtuvo buena aceptación en cuanto a color, olor y sabor. Los ensayos toxicológicos no mostraron efectos adversos, confirmando su inocuidad y seguridad. Finalmente, se concluye que los hallazgos de este estudio respaldan su potencial incorporación en la industria alimentaria y farmacéutica como ingrediente natural antioxidante, abriendo nuevas posibilidades para el desarrollo de productos saludables a partir de recursos vegetales no convencionales.

Palabras clave: *Salicornia bigelovii*; plantas medicinales; compuestos químicos; toxicología; análisis químico.

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

Abstract
The use of halophyte *Salicornia bigelovii* in Cuba is still in its early stages, so this research aimed to determine the optimal conditions for obtaining a polyphenol-rich aqueous extract of *S. bigelovii*, considering the extraction method, mass/solvent ratio, and extraction time. The methodology employed consisted of characterizing the plant material, which confirmed its suitability for preparing extracts by maceration and infusion-maceration. This was combined with Response Surface Methodology to optimize the mass/solvent ratio, time, and temperature variables. Physicochemical and sensory analyses were also performed, along with acute oral toxicity tests in mice. Statistical analysis revealed that the infusion-maceration combination, with a concentration of 0.19 g/mL and a 23-hour extraction time, maximizes polyphenol content and antioxidant capacity, which showed values of 695.3 mg/L and 59.85%, respectively. In the physicochemical characterization, the extract showed adequate parameters for pH, density, and total solids, consistent with previous studies. Sensory analysis of the extract yielded good acceptance in terms of color, aroma, and flavor. Toxicological tests showed no adverse effects, confirming its safety and efficacy. Finally, it is concluded that the findings of this study support its potential incorporation into the food and pharmaceutical industries as a natural antioxidant ingredient, opening new possibilities for the development of healthy products from unconventional plant resources.

Keywords
Salicornia bigelovii; medicinal plants; chemical compounds; toxicology, chemical analysis.

Introducción

Las halófitas son las plantas con el mayor nivel de tolerancia salina resultante de varios atributos morfológicos, fisiológicos y bioquímicos, tales como ajuste osmótico, compartimentación iónica y homeostasis, desintoxicación de especies de oxígeno reactivo, secreción salina y otros mecanismos que aún no están comprendidos en su totalidad. Las halófitas pueden sobrevivir en suelos muy salinos y explotar los recursos acuáticos de salinidad moderada a alta. En general, se consideran plantas altamente versátiles y, en adición a su papel esencial en la preservación de áreas costeras y como modelo científico para la investigación de mecanismos de toleración salina, su explotación como cultivos alimenticios y no alimenticios pudiera ser una estrategia ganadora en un mundo salino [(1)].

La tecnología en su estado actual ha acelerado la dirección hacia nuevas indagaciones que han sido fundamentales para identificar y analizar metabolitos de origen vegetal utilizados en la creación de nuevos medicamentos y productos alimenticios derivados de plantas[(2)]. En consecuencia, varios vegetales halófitos como *S. bigelovii*, se han utilizado tradicionalmente con fines médicos, nutricionales y alimentarios. Las halófitas son plantas adaptadas a vivir en ambientes salinos, como estuarios, costas y suelos salinos, donde la concentración de sal es significativamente mayor que en los ecosistemas terrestres convencionales.

S. bigelovii es una especie halófita que se encuentra en ambientes costeros y salinos, donde ha desarrollado adaptaciones únicas que le permiten prosperar en condiciones de alta salinidad. Criterios de [(3)]sostienen que esta halófita se encuentra en marismas inundables a lo largo de la costa norte del Pacífico Mexicano, en llanuras y planicies costeras alcalinas de la península de Baja California y en las islas Tiburón y Ángel de la Guarda.
De acuerdo con [(4)], la planta halófita *S. bigelovii* presenta diversas oportunidades de uso, que abarcan su utilización como forraje, como alimento para seres humanos, como componentes en cosméticos, como materia prima para biocombustibles y para la creación de pastillas a partir de su biomasa seca.
En los últimos años esta especie ha ganado popularidad en la gastronomía contemporánea debido a su sabor salado y textura crujiente, siendo escogida para ensaladas, guarniciones y platos gourmet. Además,

es bien sabido que *S. bigeloviie*s utilizada como alternativa a la sal dietética convencional (sal verde), para mejorar la textura de productos culinarios y para dieta de personas hipertensas [5].

Estas aplicaciones se sostienen debido a que esta suculenta exhibe una composición química rica en proteínas, fibra, vitaminas, minerales, ácidos grasos, carbohidratos y compuestos bioactivos[6]. Según refiere [7], en el caso de *S. bigelovii* se han encontrado valores de ácido ascórbico que alcanzan 6 mg/100/g^{-1} de producto fresco, el cual es muy semejante a vegetales tales como las espinacas (7 mg 100 g^{-1}) y lechuga (< 2 mg 100 g^{-1}). Igualmente, su contenido de β-caroteno alcanza valores elevados (159,0 mg/100g^{-1} de peso fresco). Por otro lado, contiene una gran variedad de minerales entre los que se encuentran sodio, potasio, magnesio, calcio, fósforo y hierro, al igual que zinc y cobre en menor cantidad, mientras que también contiene aminoácidos como histidina, isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, treonina, valina, metionina y cisteína.

Su elevado contenido de polifenoles es muy importante, ya que estudios recientes han mostrado que una alimentación que incluya una gran cantidad de polifenoles de origen vegetal puede beneficiar la salud y reducir el riesgo de enfermedades crónicas, cardiovasculares, cáncer, entre otras[8].
Los polifenoles son sustancias con una composición molecular que se distingue por contar con uno o más anillos de tipo fenólico. Se generan primordialmente en las plantas, donde su metabolismo secundario los produce en abundancia [9]. Algunas investigaciones sugieren que *S. bigelovii* contiene varios compuestos polifenólicos, incluidos flavonoides como la quercetina y el hiperósido, que tienen propiedades antioxidantes, además de componentes lignocelulósicos como glucano, xilano, lignina y ácidos fenólicos [10]. En [11] se señala la presencia notable de polisacáridos y ácido ferúlico en su composición fitoquímica.

Se piensa que el papel antioxidante de los polifenoles se debe a su variedad de acciones biológicas, que incluyen la captura de radicales libres, la quelación de metales y su habilidad para regular enzimas[12]. En [13] se propone desarrollar nuevos medicamentes nutracéuticos y farmacéuticos antivirales derivados de formulaciones ricas en fenoles encontradas en *Salicornia* spp. Los autores de este estudio sugieren que estas formulaciones pueden ser empleadas como estrategias innovadoras para combatir pandemias virales causadas por la cepa de influenza A (H1N1), Hepatitis B y C, y el virus de inmunodeficiencia humana 1 (VIH-1), indicando además que la isoquercitrina, miricetina y miricitrina obtenidas de *Salicornia* Spp. tienen el potencial de exhibir una elevada eficiencia para inhibir infecciones virales, y eventualmente mejorar la salud pública.

Es por ello que se han desarrollado distintas técnicas para la cuantificación de polifenoles con capacidad antioxidante. Las más conocidas son los métodos DPPH, ABTS y ORAC para la determinación de la actividad antioxidante, así como el Ensayo de Folin-Ciocalteau y el Método de Price y Butler, para cuantificar los polifenoles totales [14,15]. De igual modo, existen técnicas instrumentales para separar e identificar los compuestos fenólicos, los cuales se basan principalmente en métodos cromatográficos.

Sin embargo, los análisis cualitativos y cuantitativos de estos compuestos bioactivos dependen fundamentalmente de la adecuada selección del método de extracción. La extracción representa el primer y crucial paso en el estudio de plantas medicinales, ya que influye decisivamente en los resultados obtenidos. Consiste en extraer principios activos de matrices vegetales utilizando, generalmente, agua como disolvente, al mismo tiempo de que posibilita extraer fitoconstituyentes hidrosolubles, como los polifenoles[16].

La extracción de compuestos bioactivos puede realizarse mediante diferentes procedimientos. En las últimas cinco décadas, se han desarrollado métodos no convencionales como la extracción asistida por ultrasonido, campos eléctricos pulsados, digestión enzimática, calentamiento por microondas, calentamiento óhmico, fluidos supercríticos y extracción con disolventes acelerados. Sin embargo, los

métodos convencionales como la extracción Soxhlet, maceración, infusión e hidrodestilación siguen siendo puntos de referencia para evaluar la eficacia de las técnicas modernas[17]. La maceración y la infusión representan metodologías sencillas, prácticas y de bajo costo, especialmente adecuadas para extracciones a pequeña escala, como las realizadas en laboratorios[18].

Entre los aspectos que tienen mayor impacto en el proceso de extracción se incluyen las características de la materia vegetal, el tipo de solvente, la temperatura, la proporción entre masa y solvente, la presión y el tiempo de extracción. En la actualidad, la simulación de métodos de extracción de compuestos activos que se encuentran en materias vegetales ha ganado relevancia como un recurso para el cálculo y la mejora de diversos procedimientos de extracción, tanto en el ámbito comercial como en el de la investigación[19].

Aunque previamente no ha sido un tema investigado, la obtención de un extracto acuoso rico en polifenoles de *S. bigelovii* tiene un significado importante desde el punto de vista bioquímico y farmacológico. Su investigación es relevante porque optimiza la extracción de polifenoles de *S. bigelovii* puede aportar nuevos ingredientes funcionales a la industria alimentaria y biotecnológica, promoviendo el aprovechamiento de recursos vegetales poco explorados y contribuyendo al desarrollo de productos más saludables y el desarrollo de terapias naturales. Es por ello que la validación científica de extractos acuosos de esta halófita se convierte en una necesidad para su introducción en la alimentación humana, que avale tanto sus saludables beneficios como su seguridad o inocuidad alimentaria.
Existe una ruta crítica establecida para la evaluación y el desarrollo de productos que está conformada por una serie de fases de cumplimiento obligatorio, entre los cuales se incluyen evaluaciones toxicológicas y sensoriales. Los estudios de toxicidad permiten brindar seguridad en los tratamientos y son imprescindibles antes de llevar un producto a fase clínica o antes de ser considerado apto para consumo [20].

En este contexto, la ciencia que estudia los alimentos, al ser un campo que abarca diversas disciplinas, utiliza directamente la toxicología alimentaria como un recurso complementario para analizar y entender los diversos impactos que esos compuestos químicos pueden tener en la salud[21].La evaluación sensorial, por otro lado, es una técnica científica que se usa para provocar, cuantificar, examinar e interpretar las reacciones a los productos según cómo se los percibe a través de los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído. Como ciencia cuantitativa, permite recopilar datos numéricos para determinar las relaciones específicas entre las características del producto y la percepción humana[22].

A nivel mundial, esta tendencia de comprobar la calidad, inocuidad, así como los potenciales usos medicinales y alimentarios en las especies halófitas como *S. bigelovii* se han incrementado en años recientes
En Cuba, se observa una inclinación similar hacia el aprovechamiento de las Salicornias, dado que es un país en desarrollo que requiere asegurar una nutrición sostenible para sus habitantes, lo que lleva a considerar esta opción como una posibilidad reciente en la alimentación saludable[23]. No obstante, su uso y explotación como recurso alimentario y nutracéutico en el país es limitado.

A pesar de esto, en la provincia de Camagüey se dan los primeros pasos para el aprovechamiento sostenible de esta planta e incluirla en los planes de desarrollo local. En consecuencia, en la Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz se implementan dos proyectos de investigación que responden a esta temática, en los que se encuentran insertados profesores y estudiantes de la carrera de Licenciatura en Ciencias Alimentarias de la Universidad de Camagüey, en colaboración con el Instituto de Farmacia y Alimentos (IFAL) de la Universidad de La Habana. Los proyectos en cuestión son: (1) Producción sostenible y comercialización de plantas halófitas en la UEB Salinera “El Real”, playa Santa Lucía en Camagüey, y (2) Producción sostenible y comercialización de plantas halófitas en la UEB Salinera “Las

Tunas", Puerto Padre. Estos proyectos fueron elaborados e implementados por el Centro de Estudios de Gestión Ambiental perteneciente a la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad de Camagüey.

A partir de estas consideraciones, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar las condiciones óptimas de obtención del extracto acuoso rico en polifenoles a partir de *S. bigelovii* considerando método de obtención, relación masa/disolvente y tiempo de extracción, el cual se enmarca en el campo del desarrollo de métodos de extracción sostenibles enfocados en la tecnología de los alimentos.

Para dar cumplimiento al objetivo general de este trabajo, se llevaron a cabo las siguientes tareas de investigación: 1) Caracterización del material vegetal obtenido a partir de las muestras de *S. bigelovii*. 2) Determinación de las mejores condiciones de obtención del extracto acuoso de *S. bigelovii*. 3) Caracterización fisicoquímica y sensorial del extracto acuoso obtenido, y 4) Determinación de la toxicidad aguda oral del material vegetal y del extracto acuoso de *S. bigelovii*.

Materiales y métodos

Se llevó a cabo la obtención de un extracto acuoso rico en polifenoles a partir de *S. bigelovii* mediante optimización de parámetros de extracción, en el Instituto de Farmacia y Alimentos (IFAL) de La Habana. Se utilizaron, del nivel teórico del conocimiento, los métodos analítico-sintético e inductivo-deductivo, para valorar datos empíricos provenientes del análisis documental y determinar sus categorías esenciales.

Se efectuó un estudio de las mejores condiciones de extracción y obtención de un extracto acuoso rico en polifenoles a muestras de la halófita *S. bigelovii*, recolectadas en la salina "El Real", los cuales fueron desarrollados en el IFAL, con excepción de la toma, secado y molido de la muestra, los cuales se efectuaron en el "Laboratorio de Análisis Químico de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad de Camagüey".

Recolección y selección de la muestra

Los ejemplares adultos (verdes y rojos) de *S. bigelovii* fueron recolectados de forma manual el 25 de febrero de 2025 de la plantación localizada en la playa Santa Lucía de la provincia de Camagüey, en la salina "El Real", a 10 metros sobre el nivel del mar. Fueron seleccionados aquellos con características de estado vegetativo, tamaño y color similar y ausencia de daños mecánicos o biológicos. Fueron convenientemente lavados para eliminar materias extrañas, se escogieron los brotes más tiernos, descartando los más leñosos y las raíces, y se dejó secar a temperatura ambiente.

Preparación de la muestra

Las muestras frescas se secaron a 60 °C en estufa (Boxum, Shanghai) con circulación forzada durante 72 horas. Posteriormente se trituraron en molino de cuchillas de alta velocidad (200 min^{-1}) y se tamizaron a través de una malla de 1 mm de diámetro, obteniéndose un polvo fino. La muestra triturada y tamizada fue pesada en pesa analítica (Sartorius BS 124 S, Alemania) y envasada en bolsas de nailon a temperatura ambiente hasta la realización de los experimentos.

Se determinaron los pesos fresco y seco de las muestras. En el primer caso las muestras fueron pesadas en pesa analítica (Sartorius BS 124 S, Alemania) una vez lavadas y antes de ser sometidas al secado. Una vez terminada esta operación, se determinó el peso seco por diferencia entre el peso de las bandejas con las muestras y el peso de las bandejas vacías. Para conocer el peso total de las muestras se sumaron los pesos secos obtenidos anteriormente.

Los instrumentos y materiales que se utilizaron en la toma de la muestra estaban secos y perfectamente limpios con el fin de evitar contaminaciones con agentes extraños como tierra y otros materiales. Cada muestra fue cuidadosamente identificada con todos los datos correspondientes (fecha, hora, número de muestras, temperatura, peso fresco y peso seco).

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

Caracterización del material vegetal obtenido a partir de las muestras de *S. bigelovii*

Para la caracterización completa de la muestra se realizaron las determinaciones de humedad, materia seca, cenizas totales, grasas totales y cloruro de sodio (NaCl).
La humedad del material vegetal se determinó gravimétricamente mediante secado directo a 105 °C en estufa (Boxum, Shanghai) hasta peso constante, calculando la pérdida de masa. La materia seca resultante fue usada para la determinación de cenizas por vía gravimétrica, en un horno mufla a temperatura de 550 ^{o}C[(24)].

Para la determinación de grasa total en el material vegetal de *S. bigelovii* se empleó el método de Soxhlet, técnica gravimétrica basada en extracción continua con disolvente orgánico. Se pesaron exactamente 5 de muestra seca g en pesa analítica (Sartorius BS 124 S, Alemania), en un cartucho de celulosa libre de grasas, el cual se colocó en el extractor Soxhlet junto con 200 mL de éter de petróleo grado analítico. La extracción se realizó durante 6 horas con ciclos de 15 por hora, manteniendo la temperatura de ebullición del disolvente. Posteriormente, el disolvente se evaporó en estufa (Boxum, Shanghái) a 60 ºC hasta obtener el extracto lipídico puro, que se pesó para determinar el porcentaje de grasa mediante la relación entre la masa de grasa extraída y la masa inicial de muestra seca. Para garantizar la exactitud del método, se incluyó un blanco de disolvente y se verificó la ausencia de humedad residual en la muestra antes de la extracción.

La cuantificación de cloruros en muestras de *S. bigelovii* se realizó mediante el método de Mohr, siguiendo los protocolos establecidos en la norma cubana [(25)] para productos vegetales. Este método volumétrico se fundamenta en una reacción de precipitación donde los iones cloruro (Cl^-) reaccionan cuantitativamente con el nitrato de plata ($AgNO_3$) en medio neutro o ligeramente alcalino, utilizando cromato de potasio (K_2CrO_4) como indicador del punto final. Para la preparación de la muestra, se procedió a la extracción acuosa de cloruros a partir de 10 g de material vegetal. La muestra se maceró en plancha calefactora (IKA RET Basic, Alemania) con 100 mL de agua destilada precalentada a 80 ºC, manteniendo esta temperatura durante 30 minutos bajo agitación constante para garantizar una extracción eficiente. Posteriormente, el extracto se filtró a través de papel Whatman No. 1 y se llevó a un volumen final de 250 mL con agua destilada, obteniendo así una solución madre para los análisis posteriores.

Determinación de las mejores condiciones de obtención del extracto acuoso de *S. bigelovii*

Se utilizó el software Design-Expert 13.0.5.0 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, EE.UU.) para el diseño experimental y el procesamiento de datos. Se empleó un diseño de superficie de respuesta I-óptimo para la optimización numérica. Los factores evaluados fueron: (A) relación masa/ disolvente, (B) tiempo de extracción en horas y (C) aplicación o no de temperatura mediante el método de infusión. Se realizaron 16 experimentos, incluyendo tres réplicas. La Tabla 1 muestra las condiciones experimentales ensayadas.

Tabla 1 Condiciones experimentales ensayadas

Factor	Nomenclatura	Unidad	Tipo de variable	Mínimo	Máximo
Masa/disolvente	A	g/mL	Numérica	0,05	0,20
Tiempo	B	h	Numérica	8	24
Temperatura*	C	-	Nominal	1	2

*: La aplicación de temperatura mediante el método de infusión, (1) no se hierve el agua y (2) si se hierve el agua.
Se propuso una ecuación cuadrática generalizada de segundo orden (Ecuación 1) como modelo superior para expresar las respuestas en función de las variables independientes, donde Y representa las variables dependientes en estudio, X representa las variables independientes codificadas (A, B o C en este caso) y β es el valor de la respuesta ajustada en el punto central del diseño. Los otros valores β observados son

los coeficientes de regresión lineal, cuadrática y de productos cruzados, respectivamente. Se realizó una prueba de significancia estadística sobre el criterio de error total con un nivel de confianza del 95%. Para cada optimización de respuesta, así como el análisis de varianza (ANOVA), se llevaron a cabo la determinación de los coeficientes de regresión, la falta de ajuste y la eficiencia del modelo (analizada mediante el valor R^2).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i X_i \sum_{i=1}^{n} \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{=1}^{n} \sum_{j=i+1}^{n} \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

Procedimiento para la preparación de los extractos

Los extractos se prepararon según las relaciones droga/disolvente especificadas en la Tabla 2. En todos los casos se empleó el método de maceración, el cual se realizó a temperatura ambiente del laboratorio (25-27 ºC) bajo agitación constante en mini-zaranda (Retomed, MIZARD-2001) a 250 rpm durante los tiempos establecidos para cada corrida experimental. Para aquellas corridas que adicionalmente requirieron aplicación de calor (método de infusión-maceración), se procedió primero a hervir el agua en una plancha calefactora (IKA RET Basic, Alemania), retirarla del fuego y luego añadir el material vegetal correspondiente antes de iniciar el proceso de maceración. En todos los casos, las mezclas resultantes se filtraron para separar y descartar el residuo sólido, conservándose los extractos líquidos a una temperatura de -32 ºC en cámara de refrigeración (Desmon Scientific, Italia), hasta su posterior análisis.

Tabla 2. Matriz del Diseño Experimental elaborado en este estudio

Corridas	Puntos de diseño	Concentración (mg/mL)	Tiempo (h)	Temperatura
1	Réplica	0,05	16	Si
2	Modelo	0,20	16	Si
3	Falta de ajuste	0,20	16	No
4	Modelo	0,05	24	No
5	Modelo	0,05	8	No
6	Réplica	0,13	24	Si
7	Modelo	0,20	24	Si
8	Réplica	0,13	16	No
9	Modelo	0,13	8	Si
10	Modelo	0,05	16	Si
11	Falta de ajuste	0,13	8	No
12	Modelo	0,20	8	No
13	Modelo	0,13	16	No
14	Falta de ajuste	0,05	16	No
15	Falta de ajuste	0,20	8	Si
16	Modelo	0,13	24	Si

Determinación del contenido total de polifenoles

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

La cuantificación del contenido de polifenoles totales (CPT) estuvo basada en una reacción colorimétrica de oxidación-reducción. El ensayo consistió en añadir a 50 µL del extracto (diluido 1:10); 2,5 mL de la disolución diluida del reactivo FolinCiocalteu (1+ 9 H_2O). Después de 5 min, se adicionaron 2 mL de Na_2CO_3 al 7,5 % (m/v) y se conservó 2 h en oscuridad. Transcurrido ese tiempo, se determinó la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro (Rayleigh UV-1601, Beijing). Para la curva de calibración se utilizó como patrón el ácido gálico a concentraciones de 0,100,200, 300, 400 y 500 mg/L. También se realizó un ensayo en blanco preparado con 50 µL de agua destilada bajo las mismas condiciones de la muestra para calibrar el equipo y eliminar las interferencias de las absorbancias producidas por los disolventes y reactivos. Los resultados fueron expresados como ácido gálico en mg/L de extracto.

Determinación de la capacidad antioxidante mediante Ensayo del DPPH

Esto implica la evaluación a 517 nm de la disminución del radical libre estable 2,2-difenil-1-picril hidrazilo (DPPH). La absorbancia típica de este radical, que tiene un color morado profundo, se reduce en la presencia de un antioxidante (que pueda atrapar un electrón libre) o algún otro radical. Por lo tanto, se puede medir la habilidad de ciertos compuestos para captar radicales libres a través de la cuantificación del nivel de decoloración que causan en una solución de DPPH en etanol. El procedimiento se llevó a cabo según [26,27]. La absorbancia se leyó a 517 nm en un espectrofotómetro (Rayleigh UV-1601, Beijing) de 96 pocillos y se determinó la captación de radicales de DPPH* como porcentaje decoloración de la solución por la ecuación (2):

$$Capacidad\ antioxidante\ (\%) = 100 - \left[\frac{(Abs_m - Abs_B)}{Abs_{DPPH}} * 100\right] \quad (2)$$

Donde:

- Abs_m - Absorbancia de la muestra,
- Abs_B - Absorbancia del blanco, y
- Abs_{DPPH} - Absorbancia de la solución de DPPH.

Caracterización físico-química y sensorial del extracto acuoso obtenido

En la caracterización físico-química del extracto acuoso óptimo de *S. bigelovii* se determinaron, además del contenido de polifenoles y capacidad antioxidante óptimos, los parámetros de pH, densidad y sólidos totales. Para la determinación del pH, se empleó un pH-metro BASIC 20+ previamente calibrado con soluciones buffer a pH 4,0 y 7,0, realizando mediciones directas en los extractos acuosos a temperatura ambiente (25 ± 1ºC), según la metodología descrita por Miranda y Cuéllar[28]. Paralelamente, la densidad a 25°C se determinó utilizando un picnómetro de vidrio de 25 mL, siguiendo el mismo protocolo de referencia. Ambos parámetros se midieron por triplicado. Los sólidos totales del extracto acuoso se cuantificaron de forma gravimétrica, por evaporación de una alícuota de 10 mL en estufa (Boxum, Shanghái) a 105 ºC hasta peso constante, expresando los resultados como porcentaje de residuo seco.
En la evaluación del producto participaron 5 catadores experimentados. Se realizó una prueba descriptiva cuantitativa, llevada a cabo en el laboratorio de Evaluación Sensorial de la Dirección de Ciencias del Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia (IIIA), que cumple la norma[29]. El extracto óptimo se evaluó utilizando una escala lineal de 10 cm, estructurada cada 2 cm con categorías de intensidad del atributo, de forma creciente (Figura 1), de acuerdo a lo establecido por [30]. Los atributos medidos fueron herbal, salado, característico, amargo y verde-amarillo, para las características de olor, sabor y color. La creación de los descriptores se llevó a cabo de manera individual utilizando el método de asociación controlada. Los descriptores obtenidos fueron analizados en una sesión, como se sugiere en[31].

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

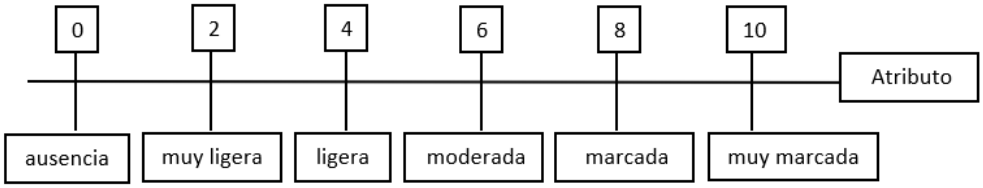


Figura 1. Escala lineal por atributos aplicada para la evaluación sensorial del extracto acuoso óptimo de *S. bigelovii*.

Determinación de la toxicidad aguda oral del material vegetal y del extracto acuoso de *S. bigelovii*

Animales y condiciones experimentales: Se utilizaron 9 ratas Sprague-Dawley (SD rat) hembras con pesos corporales entre 181-203 g. El tamaño muestral fue determinado según los lineamientos de la Guía OECD [32]. Previo al inicio experimental, los animales fueron sometidos a un período de aclimatación de 5 días bajo condiciones ambientales controladas (temperatura mantenida a 20 ± 2 ºC, humedad relativa de 75 ± 5%, ciclo de luz/oscuridad de 12 horas, con acceso ad libitum a agua y dieta estándar). Luego los animales fueron divididos en tres grupos principales:

- Grupo I: Tratado con material vegetal de *S. bigelovii* (MVS).
- Grupo II: Tratado con extracto acuoso de *S. bigelovii* (EAS), previamente concentrado en un rotoevaporador (BÜCHI R-114, Suiza) a 40 ºC y 100 rpm hasta alcanzar una concentración de 15% sólidos totales.
- Grupo Control: sin tratamiento.

La asignación de los animales fue aleatoria, y estos se marcaron con ácido pícrico para identificación y dosificación precisa según su peso.

Administración y seguimiento: Los productos de prueba fueron administrados mediante cánula intragástrica en dosis única de 2000 mg/kg de peso corporal, de acuerdo con el protocolo [32]. Previo a la administración, los animales fueron sometidos a un período de ayuno de 16 horas. Posterior a la dosificación (3 horas post-administración), se restableció el acceso a agua y alimento. Durante el período experimental de 14 días, se realizaron observaciones clínicas exhaustivas, con evaluaciones múltiples durante el primer día y monitoreo diario hasta el final del estudio. Adicionalmente, se registraron los pesos corporales en los días 1, 7 y 14 posteriores a la administración.

Eutanasia y análisis postmortem: Al concluir el período de observación, los animales fueron sacrificados siguiendo estrictos protocolos éticos utilizando una sobredosis de pentobarbital (60 mg/kg). Se procedió a realizar una necropsia completa que incluyó la evaluación macroscópica de órganos y tejidos para identificar posibles alteraciones morfológicas y signos de toxicidad, conforme a los criterios establecidos por [32]. Cuando se detectaron hallazgos relevantes, se recolectaron muestras de tejido para su posterior análisis histopatológico, con el fin de complementar la evaluación toxicológica.

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis estadístico de varianza (ANOVA) para identificar factores críticos significativos y con el objetivo de construir modelos predictivos y superficies de respuesta, así como para la optimización multivariada mediante función de conveniencia.

Resultados y discusión

Determinación del peso de la planta *S. bigelovii* fresca y seca

La ejecución del pesaje de las muestras frescas y secas de la halófita *S. bigelovii* (Tabla 3) constituye un parámetro biofísico de gran relevancia ya que ofrece información sobre la composición y el estado fisiológico del tejido vegetal de la planta, además de ser un indicador indirecto de la calidad y conservación de la muestra. Esto cumple con la función metrológica para la precisión y reproducibilidad

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

de los estudios científicos y aporta datos cuantitativos críticos como base fundamental para la contextualización y el análisis interpretativo, enriqueciendo así el significado intrínseco y resultados confiables para los análisis posteriores. La Tabla 3 muestra los resultados del pesaje de las muestras frescas y secas de *S. bigelovii*.

Tabla 3. Pesaje de las muestras frescas y secas de *S. bigelovii.*

Muestras	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
1 y 2	1 132	168,7
3 y 4	1 100	175,7
5 y 6	1 164	180,5
7 y 8	1 141	159,1
Peso total de muestra obtenida		684 g

El pesaje de los individuos de *S. bigelovii* en su estado fresco representa un procedimiento fundamental dentro del protocolo experimental de su estudio, dada su importancia para establecer una línea base cuantitativa indispensable para la evaluación posterior de las variables. El peso fresco refleja el contenido acuoso intrínseco del tejido vegetal de *S. bigelovii*, el cual es crucial para inferir el estado hídrico y la turgencia celular en el momento de la recolección, aspectos que inciden directamente en la viabilidad y funcionalidad metabólica de la muestra.

La determinación del peso de la muestra una vez secada proporciona una métrica esencial para la cuantificación precisa de la biomasa orgánica desprovista de agua, datos de extrema importancia para la normalización de los resultados experimentales y la comparación entre las diferentes muestras o tratamientos, eliminando la variabilidad introducida por el contenido de agua que puede fluctuar significativamente según las condiciones ambientales y morfológicas. Como puede observarse en la Tabla 3, del secado se obtuvieron 684 g de muestra seca, los cuales fueron utilizados para los posteriores análisis.

Caracterización del material vegetal

La Tabla 4 muestra la caracterización del material vegetal utilizado en este estudio.

Tabla 4. Caracterización del material vegetal.

Parámetros	Media	Desviaciónestándar
Humedad (%)	5,33	0,18
Materiaseca (%)	94,67	0,18
Cenizastotales (%) *	38,13	1,12
Grasastotales (%) *	1,03	0,12
NaCl (%) *	35,21	0,48

*: Base seca

Como se evidencia en la Tabla 4, se obtuvo un 5,33% de humedad, valor que sugiere que el proceso de desecación aplicado tuvo éxito en cuanto a la eliminación del contenido de agua, que es esencial para una mayor conservación y vida útil de la planta, así como para el aseguramiento de la calidad, disminución del deterioro y estabilidad, teniendo en cuenta que son menos probables los procesos de degradación hidrolítica de los componentes, el desarrollo de microorganismos y la actividad enzimática [33].

El resultado alcanzado en este estudio es similar al reportado por [34] de *S. bigelovii* en México (± 5%) y menor al informado por [35] de *Salicornia brachiata* en Sri Lanka (7%). Tales diferencias podrían atribuirse a múltiples factores ambientales y fisiológicos que modulan la homeostasis hídrica de las halófitas, como la fluctuación en la disponibilidad hídrica del medio, la intensidad lumínica, la

temperatura y la salinidad del sustrato, que pueden haber sido diferentes entre las muestras, considerando que se recolectaron en áreas geográficas distintas.
La materia seca representa el componente mayoritario en la caracterización del material vegetal. Valores considerablemente menores se han reportado de esta especie en México (18,15%) por [36] y en otras halófitas como *Salicornia ramosissima* y *Sarcocorniaperennisalpini*, especies que presentaron valores de 11,26-15,34% y 39,46-40,41%, respectivamente [37]. Esta variabilidad de valores indica que el contenido de materia seca alcanzado en este análisis es muy superior a los demás citados en cuanto a la disponibilidad de nutrientes como carbohidratos, lípidos, minerales y compuestos secundarios en la fracción sólida vegetal de *S. bigelovii*, claves para evaluar su valor nutritivo y funcional. Las causas de dicha variación podrían explicarse por factores genéticos, condiciones edafoclimáticas, por el estrés salino o debido a la etapa fenológica de la planta y las prácticas agronómicas aplicadas o, por el contrario, debido a técnicas de determinación o periodos de secado distintos.

Las halófitas tienen un nivel de cenizas más alto que otras plantas comestibles, lo que puede explicarse por el ambiente salino en el que crecen y su capacidad para retener minerales [38]. El contenido de cenizas totales arrojado en este análisis (38,13%) es muy superior en comparación con el nivel registrado previamente por [36] y [39], quienes reportaron valores de 6,25% para el género *Salicornia* y 25,75% en *S. bigelovii*, respectivamente. Las especies halófitas pueden tener divergencias en el contenido de cenizas debido a diferencias en la acumulación de minerales, condiciones edáficas y mecanismos de exclusión o acumulación de sales. No obstante, estudios preliminares en esta especie indican que la composición de cenizas totales varía entre 30-45% [40,41,42], rango en el que se ubica el resultado alcanzado en esta investigación, lo que confirma la validez de la cifra alcanzada en este estudio.
De igual modo, [43] informaron un valor similar de cenizas en *Sarcocornia fruticosa* (37,3%), sin embargo, [44] reportaron valores inferiores de esta variable en *Sarcocornianeii*(35,7-35,8%), lo que puede estar relacionado con la composición mineral de los suelos de los que se recolectaron las plantas [45].
De acuerdo con los resultados obtenidos, se destaca el bajo contenido de grasa del material vegetal. Este resultado en base seca es muy próximo a los documentados para *Sarcocornianeii* en Chile (1,07-1,08%) y *Sarcocornia perenne* en Portugal (1,20%), informados por [44] y [46], respectivamente. La investigación realizada muestra que *S. bigelovii* tiene poco contenido de grasas, por lo cual sería adecuada para el consumo humano como verdura de hoja verde [47] y confirma sus beneficios para la salud como los efectos antiglucémico e hipolipemiante, relacionados con el consumo de grasas [48].
En cuanto al porcentaje de NaCl obtenido (35,21%), se pueden observar datos aproximados en los encontrados en *Salicornia brachiata* (30% y 40% de NaCl en peso seco) según [49]; se ha documentado que *Salicornia herbacea* tiene la capacidad de recolectar más del 50% de NaCl en peso seco. Los valores anteriormente brindados se corresponden con lo planteado en estudios previos, donde se sostiene que, precisamente, el lado negativo de las halófitas es que generalmente contienen altos contenidos de sal, que van desde 15 a 50% de sales sobre la materia seca. Dicha particularidad se debe a que estas especies prosperan en aguas y terrenos con concentraciones de sal elevadas, inclusive, necesitan de suministros de sal para su óptimo desarrollo [50]; otra causa de su alto contenido de NaCl se debe a la acumulación de sales en sus tejidos como mecanismo de tolerancia frente al estrés salino [51]. Por su alto contenido de salinidad, *S. bigelovii* podría utilizarse como aditivo en algunos productos debido a su efecto protector sobre la disfunción vascular y la hipertensión [52]. El concepto de utilizar la *Salicornia* como sustituto natural de la sal (denominado biosal o sal verde), no solo aborda la necesidad dietética de reducir la ingesta de sodio, sino que también aprovecha alternativas sostenibles a la sal de mesa tradicional [35].

Determinación de las mejores condiciones de obtención del extracto acuoso de *S. bigelovii*
La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) es una estrategia experimental y analítica diseñada para determinar las condiciones óptimas de operación de un proceso, con el fin de obtener valores ideales en una o más características de interés. En este estudio, se aplicó la MSR para optimizar los niveles de

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

polifenoles totales y la capacidad antioxidante en el extracto final, evaluando las interacciones entre las variables clave del proceso. Los resultados de cada una de las corridas experimentales realizadas se presentan en la Tabla 5, donde se observa la influencia de los factores estudiados en las respuestas deseadas.

Tabla 5. Contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante obtenidos para la matriz del diseño experimental.

Corridas	Concentración (mg/mL)	Tiempo (h)	Temperatura[1]	CPT (mg/L)[2]	Antioxidante (%)[3]
1	0,05	16	Si	352,74 (10,91) bcd	34,24 (4,12) abc
2	0,20	16	Si	609,60 (12,85) i	55,94 (5,42) de
3	0,20	16	No	574,31(5,18) hi	56,34 (4,15) de
4	0,05	24	No	342,94 (10,18) abc	36,14 (3,74) bc
5	0,05	8	No	407,64 (12,24) e	27,24 (3,64) a
6	0,13	24	Si	524,62 (2,17) g	50,44 (4,85) d
7	0,20	24	Si	597,84 (13,72) i	60,14 (4,31) e
8	0,13	16	No	478,23 (12,24) f	49,54 (5,21) d
9	0,13	8	Si	346,86 (7,07) abcd	35,44 (3,85) bc
10	0,05	16	Si	311,56 (8,54) a	29,64 (4,45) ab
11	0,13	8	No	370,39 (6,871) cde	33,54 (5,03) abc
12	0,20	8	No	384,12 (10,19) de	51,94 (4,78) d
13	0,13	16	No	546,86 (9,28) gh	49,64 (3,95) d
14	0,05	16	No	329,21 (7,07) ab	40,14 (4,74) c
15	0,20	8	Si	448,82 (14,80) f	55,94 (5,57) de
16	0,13	24	Si	584,12 (12,24) hi	55,64 (4,11) de

[1]: Se refiere a la combinación o no del método de infusión-maceración.
[2:] Expresado como ácido gálico equivalente (AGE), n=3
[3]: % decoloración del radical DPPH* en presencia del extracto (n= 3).
Media (Desviación estándar). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Los resultados revelaron que las corridas 2 y 7 presentaron el mayor contenido de polifenoles totales ($p \leq 0,05$), lo que podría atribuirse a que estas combinaciones experimentales emplearon las mayores relaciones masa/disolvente (0,20 g/mL) y tiempos de extracción prolongados (superiores a 15 horas). Por el contrario, las corridas con relaciones masa/disolvente de 0,05 g/mL mostraron los valores más bajos ($p \leq 0,05$) de polifenoles totales. Esta misma tendencia se observó en la capacidad antioxidante, donde la máxima actividad de decoloración del radical DPPH* se registró con una concentración de material vegetal de 0,20 g/mL, destacando particularmente la corrida 7 que combinó el mayor tiempo de extracción (24 h) con la metodología de infusión-maceración.

El análisis estadístico demostró una fuerte correlación positiva (figura 2) entre el contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante, hallazgo que concuerda con lo reportado en la literatura científica [(53,54,55)]. Estos resultados confirman que, si bien el material vegetal contiene otros compuestos con actividad antioxidante, los polifenoles constituyen los principales responsables de esta propiedad biológica en los extractos evaluados.

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

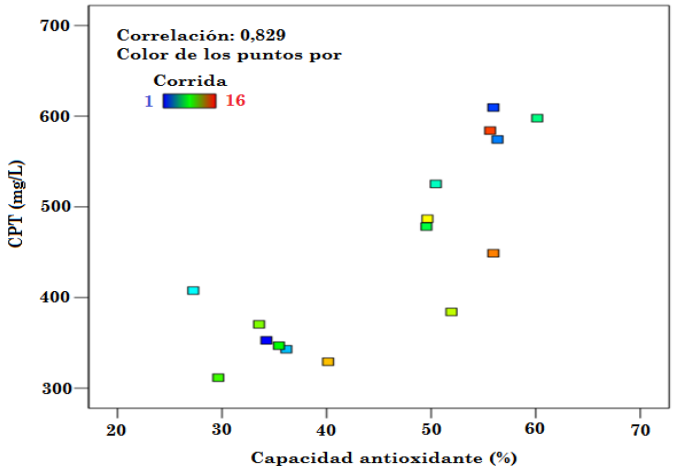


Figura 2. Correlación entre las variables contenido de polifenoles totales (mg AGE/L) y capacidad antioxidante (%) medida como % de decoloración del radical DPPH*.

Análisis de la influencia de la relación masa/disolvente, tiempo de extracción y temperatura sobre el contenido de polifenoles totales

El coeficiente de determinación (R^2) mide la variación proporcional en la respuesta atribuida al modelo más que al error aleatorio y se plantea que para un buen modelo ajustado, donde se proyecta que R^2 no debe ser menor al 80%. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la regresión (tabla 6) demuestran que el modelo lineal con interacciones es estadísticamente significativo ($p < 0,05$) con un nivel de confianza del 95 %, confirmando que la relación masa/disolvente (A), el tiempo de extracción (B) tienen un efecto significativo sobre el contenido de polifenoles totales (CPT).

Tabla 6. Análisis de varianza para la variable CPT y coeficientes de regresión

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-valor	p-valor
Modelo	1,527E+05	6	25450,62	16,94	0,0002
A-Masa/disolvente	1,083E+05	1	1,083E+05	72,07	< 0,0001
B-Tiempo	41674,91	1	41674,91	27,73	0,0005
C-Temperatura	1169,32	1	1169,32	0,7781	0,4007
AB	20169,69	1	20169,69	13,42	0,0052
AC	8154,14	1	8154,14	5,43	0,0448
BC	5523,05	1	5523,05	3,68	0,0875
Residual	13525,27	9	1502,81		
Falta de ajuste	10910,20	6	1818,37	2,09	0,2916
R^2			0,9186		
$R^2_{ajustado}$			0,8644		

El modelo presenta un alto poder explicativo, con un R^2 del 91,86%, lo que indica que explica la mayor parte de la variabilidad observada en los extractos. Sin embargo, dado que el R^2 convencional tiende a sobrestimar la calidad del modelo al aumentar el número de variables, es crucial considerar el R^2 ajustado (86,44 %). Este último penaliza la inclusión de predictores no significativos, proporcionando una medida más realista de la capacidad predictiva del modelo. Un R^2 ajustado cercano al R^2 sugiere que las variables

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

incluidas son relevantes y que el modelo no está sobre ajustado, lo que garantiza su aplicabilidad en diferentes condiciones experimentales.

Entre los factores evaluados, la relación masa/disolvente (A) ejerce la mayor influencia sobre el CPT, seguida del tiempo de extracción (B) y las interacciones AB (masa/disolvente × tiempo) y AC (masa/disolvente × temperatura). Los coeficientes positivos de la ecuación ajustada (Ecuación 3) en términos codificados indican que un incremento en estos parámetros conduce a un aumento en la concentración de polifenoles. Este comportamiento puede atribuirse a una mayor transferencia de masa y una mejora en la solubilidad de los compuestos fenólicos al optimizar dichas variables.

$$CPT\ \left(\frac{mg}{L}\right) = 455{,}02 + 109{,}44\ A + 70{,}73\ B + 8{,}74\ C + 67{,}27\ AB + 30{,}03\ AC + 25{,}75\ BC \quad (3)$$

La figura 3 presenta los gráficos de superficies de respuesta que comparan el CPT de (A) sin temperatura y (B) con aplicación de temperatura (tipo infusión), demostrando que el calentamiento incrementa significativamente el rendimiento, particularmente a altas concentraciones de material vegetal. Este efecto se atribuye a que la temperatura favorece la lixiviación al debilitar las interacciones polifenol-matriz vegetal y aumentar la solubilidad de los compuestos. Se evidencia una interacción clave entre temperatura, relación masa/disolvente y tiempo de extracción, donde el calor compensa la saturación del sistema en condiciones concentradas. Los resultados indican que para sistemas concentrados se requieren temperaturas con relaciones óptimas de disolvente, mientras que en sistemas diluidos el efecto térmico es menos determinante.

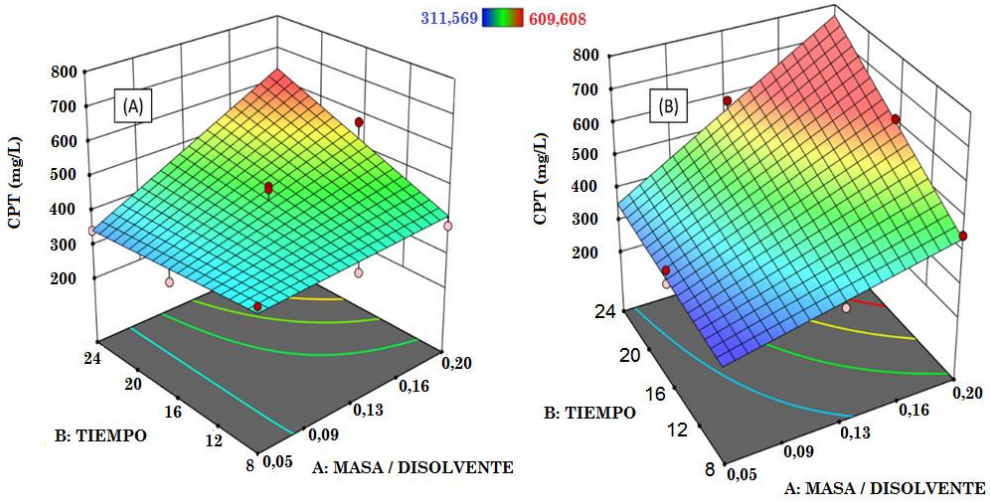


Figura 3. Gráficos de superficies de respuestas estimados para la variable CPT expresados en mg de ácido gálico equivalente. La figura (A) represente la superficie estimada cuando no se aplica temperatura y (B) cuando se aplica temperatura.

Estos hallazgos permiten optimizar el proceso de extracción, destacando que la relación masa/disolvente y el tiempo de extracción son los factores más críticos, mientras que las interacciones entre variables también contribuyen significativamente al rendimiento de polifenoles. La alta capacidad predictiva del modelo, respaldada por el R^2 ajustado, asegura que los resultados sean confiables y aplicables en el diseño de procesos de extracción eficientes.

Análisis de la influencia de la relación masa/disolvente, tiempo de extracción y temperatura sobre la capacidad antioxidante

Los resultados del ANOVA (tabla 7) revelan que el modelo lineal es estadísticamente significativo ($p < 0{,}05$) con un 95% de confianza, demostrando que la relación masa/disolvente (A) y el tiempo de

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

extracción (B) afectan significativamente la capacidad antioxidante. El modelo exhibe un alto poder predictivo (R^2 = 88,54%; R^2 ajustado = 85,68%), confirmando su robustez al mostrar una mínima diferencia (< 3%) que descarta sobreajuste. Un mayor R^2 ajustado indica que los términos no significativos no se han incluido en el modelo. Particularmente, la relación masa/disolvente presentó el mayor impacto, seguida del tiempo de extracción, lo que sugiere que estos parámetros controlan principalmente la liberación de compuestos antioxidantes. Estos hallazgos proporcionan una base cuantitativa confiable para optimizar procesos de extracción dirigidos a maximizar la actividad antioxidante en aplicaciones nutracéuticas y de alimentos funcionales, donde el R^2 ajustado garantiza la aplicabilidad del modelo en diversas condiciones experimentales.

Tabla 7. Análisis de varianza para la variable CA y coeficientes de regresión.

Fuente	Suma de cuadrado	GL	Cuadrado Medio	F-valor	p-valor
Modelo	1613,27	3	537,76	30,91	< 0,0001
A-Masa/disolvente	1402,58	1	1402,58	80,62	< 0,0001
B-Tiempo	338,11	1	338,11	19,44	0,0009
C-Temperatura	0,4153	1	0,4153	0,0239	0,8798
Residual	208,76	12	17,40		
Falta de ajuste	184,65	9	20,52	2,55	0,2379
Error puro	24,11	3	8,04		
R^2			0,8854		
$R^2_{ajustado}$			0,8568		

Los coeficientes positivos de la ecuación ajustada (ecuación 4) indican que el aumento de la relación masa/disolvente y tiempo de extracción incrementa significativamente la capacidad antioxidante (CA), debido a una mayor transferencia de masa y mejor solubilidad de estos compuestos. Aunque la temperatura mostró un ligero efecto negativo no significativo en la capacidad antioxidante medida por DPPH*, esto sugiere que podría inducir modificaciones estructurales en polifenoles complejos (flavonoides, taninos). El ensayo DPPH* evalúa específicamente la capacidad antioxidante mediante la transferencia de un electrón al radical DPPH*, reduciéndolo a su forma estable DPPH-H. Este mecanismo de transferencia electrónica es altamente sensible a la estructura molecular de los compuestos fenólicos, donde factores como la conjugación del sistema π y la presencia de grupos hidroxilos en posiciones específicas determinan su eficiencia antioxidante. Estos resultados sugieren que no es recomendable tiempos largos de exposición a altas temperaturas.

$$Capacidad\ antioxidante\ (\%) = 45{,}50 + 11{,}91\ A + 6{,}20\ B - 0{,}16\ 28\ C \qquad (4)$$

La figura 5 representa los gráficos de superficies de respuesta estimados para la Capacidad antioxidante (CA) que comparan la CA de (A) sin temperatura y (B) con aplicación de temperatura (tipo infusión). Mostrando que no existió un efecto significativo de la temperatura según el método empleado (maceración e infusión/maceración).

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

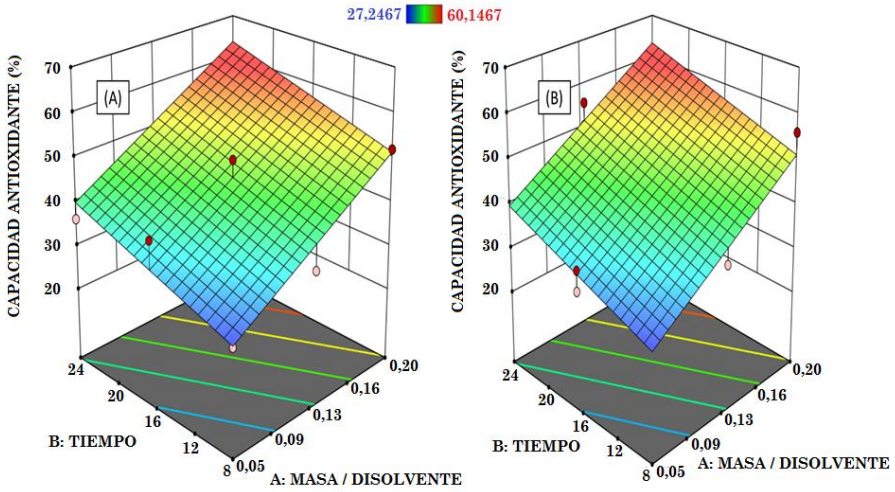


Figura 4. Gráficos de superficies de respuestas estimados para la variable CA expresados en mg de ácido gálico equivalente. La figura (A) represente la superficie estimada cuando no se aplica temperatura y (B) cuando se aplica temperatura.

Validación de los modelos ajustados y obtención del óptimo

La figura 6 presenta los gráficos diagnósticos de residuos que demuestran el adecuado ajuste de los modelos. En las gráficas de probabilidad normal (figuras 6A y 6B) se observa que los puntos siguen aproximadamente una línea recta, confirmando que los residuos cumplen con el supuesto de normalidad para ambas variables de estudio. Por otro lado, las gráficas de residuos versus valores predichos (figuras 6C y 6D) muestran una distribución aleatoria y homogénea de los puntos, sin presentar patrones sistemáticos como forma de embudo o corneta, lo que valida el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad (varianza constante).
La ausencia de tendencias claras en estos gráficos indica que no existen factores no considerados que afecten significativamente los modelos, confirmando que se han incluido todas las variables relevantes [56].
Estos resultados demuestran que los modelos cumplen satisfactoriamente con los supuestos estadísticos fundamentales, lo que garantiza la confiabilidad de las estimaciones y predicciones realizadas, y valida los procedimientos analíticos empleados en el estudio.

La distribución aleatoria de los residuos evidencia que los modelos capturan adecuadamente la variabilidad de los datos, proporcionando así una base sólida para la interpretación de los resultados.
Tras validar el buen ajuste de los modelos, se optimizaron simultáneamente el contenido de polifenoles totales (CPT) y la capacidad antioxidante (CA) mediante un enfoque multivariado. El análisis de superficies de respuesta (Figura 7) reveló que la combinación óptima para obtener un extracto acuoso con alto contenido de polifenoles corresponde a una relación masa/disolvente de 0,19 g/mL y un tiempo de extracción de 23 horas, utilizando el método combinado de infusión/maceración. Esta condición fue seleccionada mediante la función de conveniencia, que permitió maximizar ambas respuestas manteniendo los factores independientes dentro de los rangos experimentales establecidos y fijando el método que combina la infusión/maceración.

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

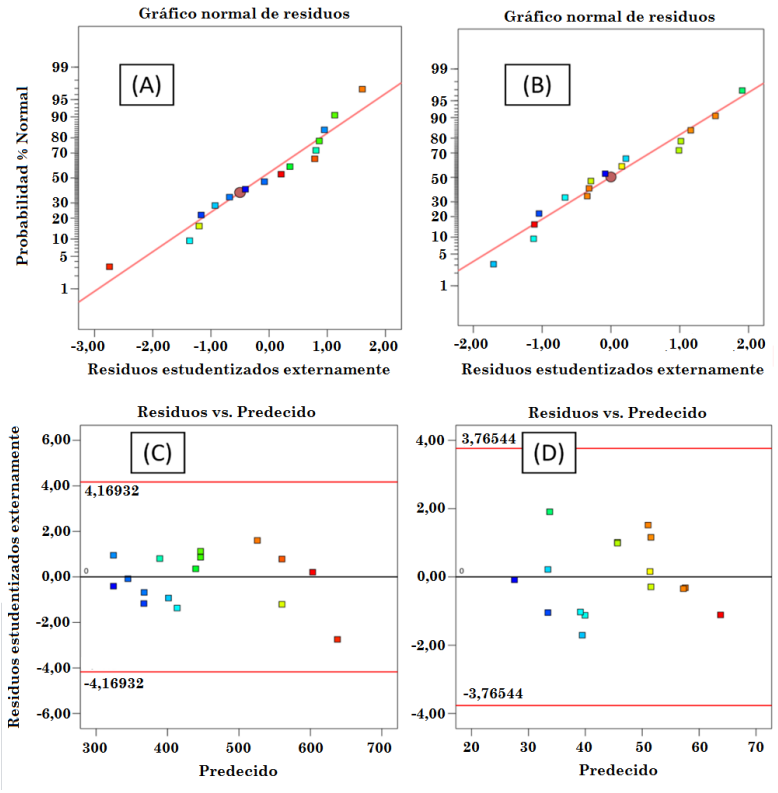


Figura 5. Gráficos de normalidad para los residuos del CPT (A) y CA (B). Gráficos de residuos vs predicho para el CPT (C) y CA (D).

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

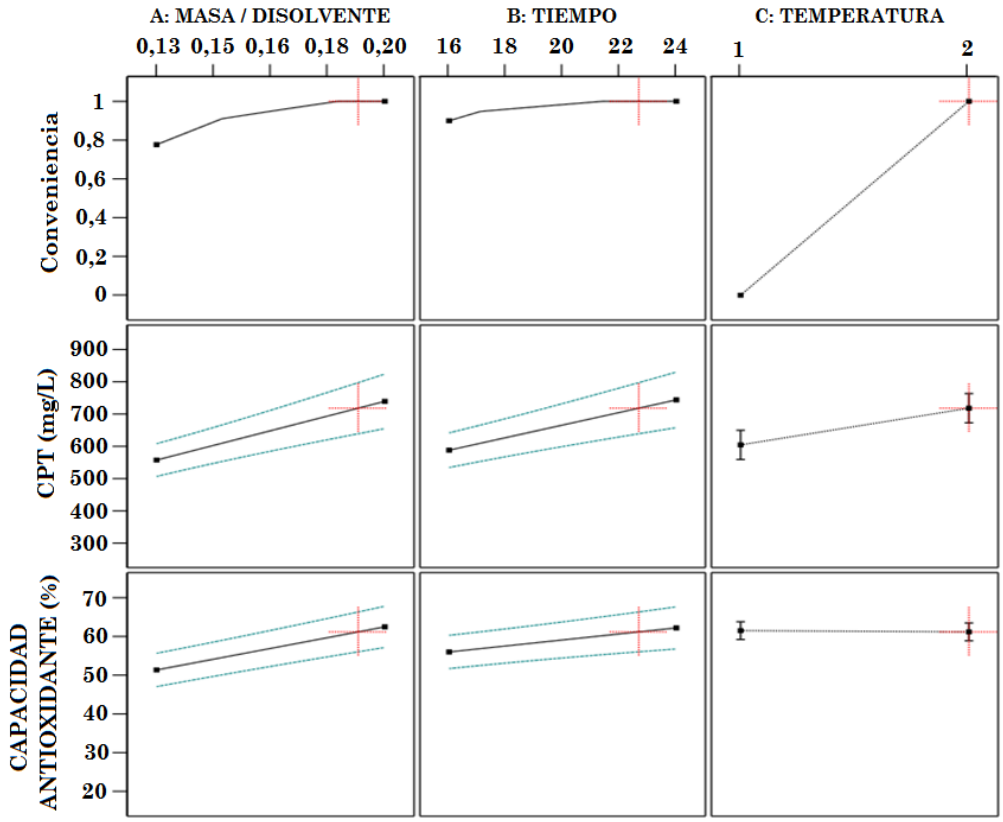


Figura 6. Obtención de la mejor combinación en función de la conveniencia estadística.

Caracterización físico-química y sensorial del extracto acuoso obtenido

Caracterización físico-química

Los resultados experimentales obtenidos bajo las condiciones óptimas predichas por el modelo (Tabla 8) demostraron una excelente concordancia con los valores teóricos, validando la robustez del mismo. El análisis estadístico mediante prueba t para una muestra reveló que no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los valores experimentales y predichos para ninguna de las variables de respuesta evaluadas: contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante.

Tabla 8. Caracterización del extracto obtenido.

Parámetros	Valor observado		Valor predicho	
	Media	DE	Media	DE
Polifenoles totales (mg/L)	695,3	12,949	718, 56	38,766
Capacidadantioxidante (%)	59,85	2,241	61,121	4,171
pH	6,271	0,155	-	-
Densidad (g/mL)	1,016	0,003	-	-
Sólidostotales (%)	3,016	0,035	-	-

DE - Desviación Estándar.

Como la *Salicornia* todavía es un producto poco investigado, se necesitan más estudios para evaluar eficazmente su contenido fenólico y capacidad antioxidante [34]. No obstante, se ha dedicado mayor atención últimamente al contenido de fenólicos en este género, que varía de 1,2 a 2 mg GAE/g FW [52,57,58,59], debido a los beneficios para la salud y la bioactividad relacionados. Aquellos que se encuentran

en los extractos de *Salicornia* en diferentes niveles de concentración son principalmente ácidos fenólicos, flavonoides y ligninas. Estos están involucrados en varias vías que contribuyen a las actividades antioxidantes y antiradicales al solicitar a *Salicornia* para el desarrollo de nutracéuticos y suplementos alimenticios [52].

Como pudo apreciarse, en este estudio fue posible obtener 695,3 mg/L de polifenoles totales. Evaluando los datos presentes en la literatura para extractos acuosos de halófitas, se han reportado valores que oscilan de 33,68 a 511,10 mg/mL, según[60]. Los mayores resultados emitidos por estos autores son 511,10 GA/mL para *Limonium vulgare*, 416,69 GA/mL para *Camelia sinensis* y 363,08 GA/mL para *Polygonumma ritimum*, cifras muy cercanas a la alcanzada en esta investigación. Además, un estudio comparativo indicó que el contenido fenólico total (TPC) variaba significativamente entre las especies, y *Cynomorium coccineum* mostró el TPC más alto, con 411,5 mg de GAE g DW. La diferenciación de fenoles en estas especies está asociada con varias estructuras fisiológicas, filogenéticas y morfológicas que emergen como respuesta a la influencia de los factores ambientales [61], aumentando bajo el incremento de las concentraciones de sal y la sequía [62].

La tolerancia de los halófitos al estrés por salinidad proviene, entre otros, de la modulación de los atributos fisiológicos y bioquímicos relacionados con la toxicidad iónica y el estrés oxidativo, mientras que el nivel de metabolitos está directamente relacionado con las condiciones salinas y la salinidad del sustrato. El aumento de la salinidad a menudo se correlaciona con una mayor acumulación de polifenoles, como se observó en *Cakilemaritima*, *Spergularia marina* y *Glaux marítima*, que mostraron niveles fenólicos elevados en condiciones de estrés [59,63].
El contenido de polifenoles es un buen indicativo de la actividad antioxidante de un producto, ya que un mayor contenido de dichos compuestos implica una mayor concentración de antioxidantes [64]. El estudio del contenido total de fenoles evidenció su relación con la actividad antioxidante. En [65] se afirma que a medida que aumenta el contenido de estos metabolitos, se incrementa el porcentaje de inhibición de los radicales libres de 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH), y concluyeron que incide significativamente en la actividad antioxidante de los extractos.

Gracias a que los halófitos contienen sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos eficaces que les ayudan a hacer frente al estrés oxidativo en el duro entorno en el que prosperan, como resultado, sus extractos exhiben propiedades antioxidantes y bioactivas que han sido identificadas [52]. En [60]analizaron varias especies y documentaron dicha variable, obteniendo valores de 1613,05 a 21,96 μg/mL. El mayor potencial antioxidante registrado bajo el análisis de estos autores estuvo presente en *L. vulgare* (21,96), *Polygonummaritimum* (24,59) y *E. peplus* (26,98), y la máxima capacidad de neutralizar los radicales libres se observó en *L. angustifolium* (42,12).

La alta actividad antioxidante encontrada en estas plantas halófitas podría estar relacionada con sus compuestos biológicamente activos. Un análisis comparativo realizado en los últimos años con respecto al contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante de los extractos de plantas de hábitats salinos confirma la conexión entre estos dos parámetros, ya que, en general, una mejor actividad antioxidante está relacionada con un alto contenido de compuestos fenólicos, como se mencionó anteriormente.

Las condiciones extremas afectan al sistema antioxidante de las plantas, lo que lleva a un aumento en la producción de formas reactivas de oxígeno. Debido a los efectos negativos de los factores abióticos, los halófitos sintetizan compuestos bioactivos que cumplen la función de protección para neutralizar las especies reactivas de oxígeno. En tales hábitats, las inundaciones, la sequía y la salinización del sustrato tienen un efecto sinérgico que multiplica el estrés en las plantas y aumenta significativamente la síntesis de compuestos con actividad antioxidante. Esto también juega un papel en la protección de las células y tejidos vegetales del calor y la radiación excesiva y la estimulación del sistema endógeno de enzimas

antioxidantes. Este hecho es la razón por la que muchos halófitas se consideran plantas medicinales, mientras que otros son objeto de investigación como fuentes potenciales de valiosos compuestos bioactivos con aplicaciones medicinales [66].

Al realizar el análisis de los valores obtenidos durante esta prueba, se puede apreciar un pH de carácter ligeramente ácido a neutro (6,271). Esto podría estar relacionado con la presencia de constituyentes químicos en el extracto de *S. bigelovii*, principalmente polifenoles, que manejan características de ácidos débiles [67]. Esta ligera acidez propicia una mejor solubilidad de principios activos presentes en la planta, y hace que compuestos ácidos como los polifenoles, presenten un comportamiento más estable en la preparación. En [68] se manifiesta que se ha demostrado que dichos compuestos, en medio alcalino, pueden sufrir una degradación oxidativa, siendo el pH por debajo 6,5 el de mejor estabilidad para plantas halófitas. Por lo antes expuesto, se puede inferir que el pH obtenido se relaciona con el contenido de compuestos fenólicos en cuanto a mayor estabilidad y calidad a los extractos [60]. Este rasgo, al mismo tiempo, corrobora la particularidad de las halófitas en cuanto a su hábitat de crecimiento; estas suelen prosperar en ambientes con alta salinidad, donde los niveles de pH pueden variar entre neutro y ligeramente alcalino [69],lo que muestra que el valor obtenido concuerda con los reportados en la literatura.

Un valor muy cercano al logrado en este estudio fue reportado por [70] para esta especie en Irán (pH = 6,11). La mínima oscilación entre ambos resultados puede indicar variación en la composición de los suelos en cuanto a salinidad y nutrientes, debido a que el pH influye en la absorción de iones, como se demostró en *Sarcocorniaperennis*[71]. Sumado a ello, investigaciones sobre la observación del crecimiento de *S. bigelovii* verifican que la aplicación de fertilizantes, especialmente durante la fase de crecimiento rápido, induce al crecimiento de esta halófita, evidenciado mediante la disminución del pH alcalino de 8 a 6 [72]. Además, en[73]señalan que *S. bigelovii* no solo disminuye el pH externo al secretar protones para que el Fe esté disponible, sino que también puede absorber Fe debido a que tiene actividad de la reductasa férrica (FR) tolerante a un pH alto.

Con respecto al contenido de densidad, cabe mencionar que son nulos los estudios acerca de la determinación de esta variable en plantas halófitas, no obstante, la investigación realizada muestra un valor de densidad próximo al informado por [74] en el aceite extraído de esta especie (entre 0,9036 y 0,9074 mg/mL) a 30 °C. Las fluctuaciones pueden variar en función de la estructura anatómica y la compactación celular, influenciada por condiciones de crecimiento y estrés abiótico. Por otro lado, las halófitas suelen encontrarse en hábitats salinos, donde su densidad puede oscilar según las condiciones ambientales, por ejemplo, especies como *Atriplexhalimus* y *Salicornia fruticosa* se han estudiado con diferentes niveles de salinidad, lo que muestra respuestas de crecimiento y métricas de densidad variables. Además, estas especies emplean mecanismos como la extrusión y compartimentación del Na^+ para evitar la acumulación de iones tóxicos, que pueden influir en los niveles de la densidad.

La composición estimada para sólidos totales, por su parte, se relaciona con la concentración de solutos disueltos y suspendidos en los extractos vegetales, la cual está condicionada por la absorción mineral, la síntesis metabólica y la translocación de compuestos orgánicos. Especies halófitas como *Salsolaaustralis* y *Suaeda marítima* han sido estudiadas en este sentido, por lo que ha sido posible descubrir niveles prometedores de sólidos totales, que respalda su potencial como cultivos en ambientes salinos, propiedades funcionales y su perfil nutricional.
Como se evidencia, en este estudio se obtuvo un 3,016% de sólidos totales, valor considerablemente menor en comparación con el contenido total de sólidos registrado en *Atriplex spp*., con valores de alrededor de 87,3 mg/g de peso seco para el total de aminoácidos, lo que indica una alta densidad nutricional. Estas divergencias demuestran que, como las halófitas prosperan en suelos salinos, su

ISSN 1390-9355
Vol.11. No 3. 2026

contenido total de sólidos puede variar como reflejo de las capacidades individuales de cada especie para acumular nutrientes y resistir el estrés.

Caracterización sensorial

La figura 8 muestra los resultados obtenidos para los descriptores sensoriales evaluados por el panel de catadores. El perfil del extracto se destaca, en primer lugar, por su nota salina intensa, atribuible a la alta concentración de sales minerales presentes en *S. bigelovii*, una halófita adaptada a ambientes costeros. Esta salinidad no solo domina el gusto, sino que también evoca aromas marinos que recuerdan al agua de mar.

Junto a estas características primarias, se percibe con intensidad moderada un perfil herbal, tanto en sabor como en olor, el cual puede asociarse a los metabolitos secundarios de la planta (como polifenoles o terpenos), que aportan reminiscencias a infusión vegetal. Este matiz refuerza la complejidad sensorial del extracto, equilibrando la dominancia salina.

En cuanto a las propiedades visuales, el extracto presenta una coloración verde con tonalidades amarillas claras, de intensidad media, resultado probablemente de la presencia de pigmentos naturales como clorofilas y xantofilas, solubilizados durante la extracción acuosa. Esta tonalidad refuerza su percepción como un producto de origen natural y fresco.

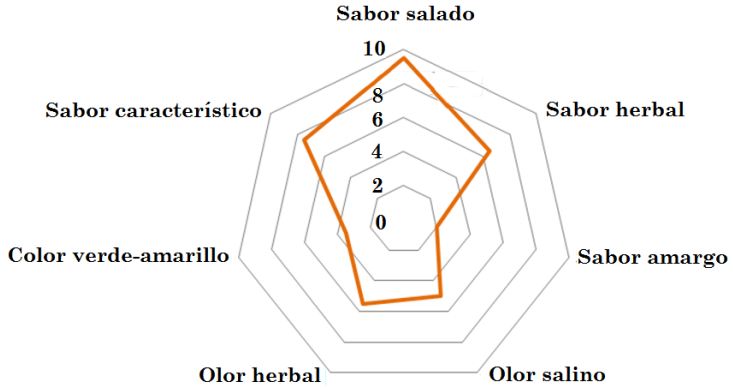


Figura 7. Caracterización sensorial del extracto acuoso obtenido.

Determinación de la toxicidad aguda oral

Los tres grupos experimentales mostraron un aumento progresivo de peso corporal durante el estudio de 14 días (figura 8).

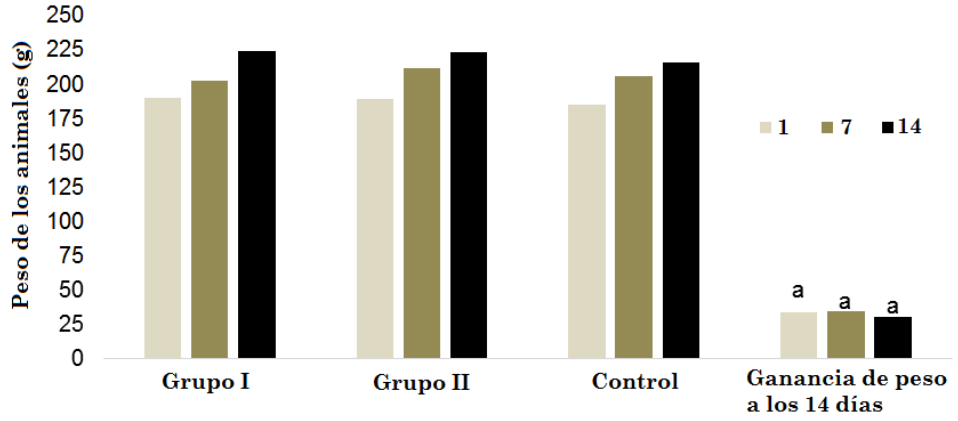


Figura 8. Incremento del peso de los animales y ganancia de peso a los 14 días. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

El grupo I registró incrementos de 13,2 g (días 1-7) y 21,3 g (días 7-14), mientras que el grupo II presentó ganancias de 23,2 g y 11,5 g en los mismos períodos. Estas variaciones fueron consistentes con los valores obtenidos en el grupo control (20,4 g y 10,3 g, respectivamente), sin diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en la ganancia de peso final entre los grupos (Figura 8). Estos hallazgos concuerdan con los reportados por [75] en su evaluación de toxicidad aguda oral con extractos de *CrotonwagneriMüll*. Los resultados demuestran que la administración oral de los productos evaluados en dosis de 2000 mg/kg no afectó el desarrollo fisiológico normal de los animales.

El análisis toxicológico integral reveló la ausencia de signos clínicos adversos, mortalidad o alteraciones comportamentales tras la administración tanto del material vegetal (MVS) como del extracto acuoso de *S. bigelovii* (EAS). La evaluación macroscópica de órganos diana (pulmones, riñones, corazón, bazo y estómago) no detectó anomalías morfológicas, incluyendo cambios de coloración, procesos inflamatorios, hemorragias o áreas de necrosis. Existe concordancia de estos hallazgos con los obtenidos en estudios previos en la especie [76], donde tampoco se observaron efectos tóxicos a la dosis límite de 2000 mg/kg. De acuerdo con los criterios establecidos en la guía OECD TG 423 (2001), estos resultados permiten clasificar los productos evaluados en la Categoría 5 (LD_{50}> 2 000 mg/kg) o como "no clasificados", lo que sustenta su perfil de seguridad para potenciales aplicaciones en la industria alimentaria.

Conclusiones

Los resultados de este estudio permiten arribar a las siguientes conclusiones. El material vegetal se caracterizó por presentar un 5,33 % de humedad, 94,67 % de materia seca, un 38,13 % de cenizas totales, así como 1,03 % de grasas totales y 35,21 % de NaCl, resultados adecuados en correspondencia con datos documentados en estudios previos. La combinación óptima para obtener un extracto acuoso con alto contenido de polifenoles de *S. bigelovii* corresponde a una relación masa/disolvente de 0,19 g/mL y un tiempo de extracción de 23 horas, utilizando el método combinado de infusión/maceración. El extracto acuoso óptimo presentó 695,3 mg/L de polifenoles totales con un 59,85 % de capacidad antioxidante, además de un pH ligeramente ácido o neutro (6,271), 1,016 g/mL de densidad y 3,016 % de sólidos totales. Se percibió con intensidad moderada un perfil herbal, tanto en sabor como en olor, y una coloración verde con tonalidades amarillas claras, de intensidad media, en la evaluación sensorial del extracto acuoso obtenido. La administración oral en dosis de 2000 mg/kg, tanto del material vegetal como del extracto acuoso de *S. bigelovii*, no afectó el desarrollo fisiológico normal de los animales, lo que permitió clasificarlos en la Categoría 5 (LD_{50}> 2 000 mg/kg) o como "no clasificados".

Contribuciones de los autores: "Conceptualización, L.S.B. y Y.R.C.S.; Metodología, L.S.B., Y.R.C.S. y D.I,G.; software, L.S.B. y A.B.M.N.; Validación, L.S.B. y A.B.M.N.; Análisis Formal, Y.R.C.S. y Y.M.O.; Investigación, L.S.B., Y.R.C.S. y D.I,G.; Recursos, Y.M.O. y A.P.S.; Curación de Datos, L.S.B., Y.R.C.S., D.I,G. y A.P.S.; Escritura—Preparación del borrador original, A.B.M.N., Y.M.O. y A.P.S.; Escritura—Revisión y edición, L.S.B. y Y.R.C.S.; Visualización, A.B.M.N., Y.M.O. y A.P.S; Supervisión, L.S.B. y Y.R.C.S.; Administración del proyecto, Y.R.C.S. y D.I.G.; Adquisición de fondos, D.I.G., A.B.M.N. y Y.M.O. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Declaración del Comité de Ética Institucional: El estudio se realizó de acuerdo con las directrices de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética (o Junta de Revisión Institucional) del Instituto de Farmacia y Alimentos (código de protocolo 026/25 y fecha de aprobación 3 de marzo de 2025).

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos:Los autores del manuscrito desean reconocer y agradecer a varios trabajadores del Instituto de Farmacia y Alimentos de La Habana por el apoyo y soporte brindando para la realización exitosa de este trabajo.

Referencias

1. Lombardi T, Bertacchi A, Pistelli L, Pardossi A, Pecchia S, Toffanin A, et al. Biological and Agronomic Traits of the Main Halophytes Widespread in the Mediterranean Region as Potential New Vegetable Crops. Horticulturae. 2022;8:195. https://doi.org/10.3390/horticulturae8030195
2. Dasgupta P, Chakraborty P, Bala NN. AverrhoaCarambola: An Updated Review. International Journal of Pharma Research & Review. 2013;2(7):54-63.
3. Garza-Torres R, Troyo-Diéguez E, Nieto-Garibay A, Lucero-Vega G, Magallón-Barajas FJ, García-Galindo E, et al. Environmental and Management Considerations for Adopting the Halophyte SalicorniabigeloviiTorr. as a Sustainable Seawater-Irrigated Crop. Sustainability. 2020;12:707. https://doi.org/10.3390/su12020707
4. Naranjo-Moran J, Peñarreta-Tivillin JP, Jaime-Carvajal J, Muñoz-Ricaurte G, Ballesteros-Lara JL. Potencial biotecnológico de salicornias en Ecuador: una revisión al establecimiento agrícola y sus propiedades terapéuticas. Revista ESPAMCIENCIA. 2025;16(1):1-11.
5. Patel S. Salicornia: evaluating the halophytic extremophile as a food and a pharmaceutical candidate. 3 Biotech. 2016;6:104. https://doi.org/10.1007/s13205-016-0418-6
6. Joshi A, Kanthaliya B, Arora J. Halophytes of Thar Desert: Potential source of nutrition and feedstuff. International Journal of Bioassays. 2018;8:5674-83. http://dx.doi.org/10.14303/ijbio.2019.8.1.1
7. López-Corona BE, Tapia-Hernández JA, López-Ahumada GA, Dórame-Miranda RF, Hernández-Martinez D, Rueda-Puente EO, et al. Potencial nutricional de la planta Salicornia bigelovii (torr.) Como una alternativa sustentable en el noroeste de México. Revista Propuesta Ambiental. 2024;2(1):4-8.https://doi.org/10.5281/zenodo.14052226
8. Muñoz AM, Ramos F. Componentes fenólicos de la dieta y sus propiedades biomedicinales. Horizonte Médico. 2007;7(1):23-31. https://www.redalyc.org/pdf/3716/371637115003.pdf
9. Sejbuk M, Mironczuk-Chodakowska I, Karav S, MariaWitkowska A. Dietary Polyphenols, Food Processing and Gut Microbiome: Recent Findings on Bioavailability, Bioactivity, and Gut Microbiome Interplay. Antioxidants. 2024;13:1220. https://doi.org/10.3390/antiox13101220
10. Kim S, Lee E-Y, Hillman PF, Ko J, Yang I, Nam S-J. Chemical Structure and Biological Activities of Secondary Metabolites from Salicorniaeuropaea L. Molecules. 2021;26:2252. https://doi.org/10.3390/molecules26082252
11. Glenn EP, O'Leary JW, Watson MC, Thompson TL, Kuehl RE. SalicorniabigeloviiTorr.: An Oilseed Halophyte for Seawater Irrigation. Science. 1991;251(4997):1065-7. https://doi.org/10.1126/science.251.4997.1065
12. Rodrigo R, Miranda A, Vergara L. Modulation of endogenous antioxidant system by wine polyphenols in human disease. ClinicaChimica Acta. 2011;412:410-24. https://doi.org/10.1016/j.cca.2010.11.034
13. Fredsgaard M, Kaniki SEK, Antonopoulou I, Chaturvedi T, Thomsen MH. Phenolic Compounds in Salicornia spp. and Their Potential Therapeutic Effects on H1N1, HBV, HCV, and HIV: A Review. Molecules. 2023;28:5312. https://doi.org/10.3390/molecules28145312
14. Leal ML. Polifenoles de la uva: Universidad Complutense de Madrid; 2016. https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/b92be5c3-e0f7-4589-98d6-1c28a1351458/content
15. Ricco RA, Agudelo IJ, Wagner ML. Métodos empleados en el análisis de los polifenoles en un laboratorio de baja complejidad. Lilloa. 2015;52(2):161–74. https://www.lillo.org.ar/journals/index.php/lilloa/article/view/329

16. Azmir J, Zaidul ISM, Rahman MM, Sharif KM, Mohamed A, Sahena F, et al. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. Journal of Food Engineering. 2013;117:426-36. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014
17. Wang L, Weller CL. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. Trends in Food Science & Technology. 2006;17:300-12. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004
18. Đurović S, Domínguez R, Pateiro M, Teslić N, Lorenzo JM, Pavlić B. Chapter 9 - Industrial hemp nutraceutical processing and technology. In: Pojić M, Tiwari BK, editors. Industrial Hemp - Food and Nutraceutical Applications2022. p. 191-218. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90910-5.00008-7
19. Flores-Martínez H, León-Campos C, Estarrón-Espinosa M, Orozco-Ávila I. Optimización del proceso de extracción de sustancias antioxidantes a partir del orégano mexicano (Lippiagraveolens HBK) utilizando la metodología de superficie de respuesta (MSR). Revista Mexicana de Ingeniería Química. 2016;15(3):773-85. https://www.redalyc.org/pdf/620/62048168009.pdf
20. Paixao A, Mancebo B, Regalado AI, Chong D, Sánchez LM. Evaluación de la Toxicidad Aguda Oral del extracto etanólico de Tephrosiavogelii Hook (kalembe). Revista Salud Animal. 2017;39(2):1-8. http://scielo.sld.cu/pdf/rsa/v39n2/rsa02217.pdf
21. Yépez RG. Introducción a la toxicología de los alimentos: una perspectiva global. CATEDEA. 2018;2:37-55. https://revistas.uclave.org/index.php/catedea/article/view/903
22. Walsh C. 6 - Consumer responses to low-salt food products. In: Kilcast D, Angus F, editors. Reducing Salt in Foods - Practical Strategies: Woodhead Publishing; 2007. p. 124-33. https://doi.org/10.1533/9781845693046.1.124
23. Cardona-Soberao YR, Chávez-Vaca VA, García-González MC, Osoria-Suárez C. Programa de capacitación para la explotación sostenible de especies de salicornia en la salina "El Real". Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN. 2023;7(12):21-35. https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/335
24. Navas AM, González MCG, Soberao YRC. Caracterización preliminar bromatológica de la Salicornia bigelovii en las salinas "El Real" y "Las Tunas". Bionatura. 2024;9(4):1-15. https://revistabionatura.org/wp-content/uploads/2025/03/6.-Articulo-r1-1.pdf
25. NC. 660 - Productos vegetales –Método rápido para la determinación del contenido de cloruro por la técnica de Mohr. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización; 2008.
26. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. LWT - FoodScience and Technology. 1995;28(1):25-30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5
27. Gutiérrez YI, Welch W, Scull R, García V, Delgado L. Propuesta de una formulación semisólida a partir de un extracto hidroalcohólico de TaliparitielatumSw. Revista de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. 2017;3(2):1-12. https://revistas.uh.cu/rcfa/article/view/4810
28. Miranda M, Cuéllar A. Manual de prácticas de laboratorio. Farmacognosia y productos naturales. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela; 2000.
29. NC. ISO-8589 Análisis Sensorial — Directivas generales para el diseño de los locales de evaluación (ISO 8589: 2007, IDT). La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización; 2010.
30. NC. ISO-6658 Análisis sensorial. Metodología. Guía general (ISO 6658:1985, IDT). La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización; 2021.
31. NC. ISO-11035 Análisis Sensorial - Identificación y selección de descriptores para el establecimiento de un perfil sensorial mediante un enfoque multidimensional - (ISO 1035:1994, IDT). La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización; 2015.
32. OECD. OECD Guideline for Testing of Chemicals: Organization for Economic Cooperation and Development; 2001. 14 p. https://ntp.niehs.nih.gov/sites/default/files/iccvam/suppdocs/feddocs/oecd/oecd_gl423.pdf

33. Zumbado HM. Análisis Químico de los Alimentos. 2da ed. Florida, EE.UU: Ciudad Educativa; 2022. https://www.researchgate.net/publication/360765824_Analisis_Quimico_de_los_Alimentos_2da_Edicion_2022
34. Acosta-Ruiz MdJ, Paniagua-Michel J, Olmos-Soto J, Paredes-Escalona E. Primer registro de la utilización de harinas de Salicornia bigelovii y Scomberjaponicus en dietas prácticas para el cultivo súper-intensivo de camarón Litopenaeusstylirostris. Latin American Journal of Aquatic Research. 2011;39(3):409-15. https://www.scielo.cl/pdf/lajar/v39n3/art02.pdf
35. Jayasundara Y, Herath N, Buddhipala A, Bandara MD, Jayasinghe L, Attanayake R, et al. Nutritional Composition and Bioactive Properties of Salicorniabrachiata: A Comparison of Drying Methods. Natural Product Communications. 2025;20(1):1-13. https://doi.org/10.1177/1934578X251315822
36. López-Robles MG, Rueda-Puente EO. Salicornia bigelovii: rica en compuestos activos antiinflamatorios que no son tóxicos en macrófagos de cerdo. 2015:1. https://www.amvec.com/memories/memorias/2016/2016_048.pdf
37. Lopes M, Silva AS, Séndon R, Barbosa-Pereira L, Cavaleiro C, Ramos F. Towards the Sustainable Exploitation of Salt-Tolerant Plants: Nutritional Characterisation, Phenolics Composition, and Potential Contaminants Analysis of Salicorniaramosissima and Sarcocorniaperennisalpini. Molecules. 2023;28:2726. https://doi.org/10.3390/molecules28062726
38. Díaz FJ, Benes SE, Grattana SR. Field performance of halophytic species under irrigation with saline drainage water in the San Joaquin Valley of California. Agricultural Water Management. 2013;118:59-69. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.017
39. Tavares A, Brás I, Silva ME. Valorização de produtos alimentares sazonais. Parte I - Caraterização físico-química de framboesa, mirtilo e salicórnia fresca cultivada em Portugal. Millenium,. 2020;2(7):143-9. https://doi.org/10.29352/mill0207e.16.00375
40. Burboa CEB, Arce ME, Oscar B, Ahumada GAL, Vargas JM, Hernández-Montiel LG, et al. Salicornia bigelovii (Torr.): un sistema modelo para incorporarse como cultivo agrícola en zonas árido-desérticos. Revista de Ciencias Biológicas y de la Sal. 2017;XIX(E3):46-50. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v19i0.413
41. Puente EOR, Elías JL, López MAH. Las Halófitas en la Agricultura de Zonas Áridas. Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española; 2012. https://dagus.unison.mx/publicaciones/libros/Libro%20Las%20Halofitas%20_Rueda%20Puente%202012.pdf
42. Ventura Y, Sagi M. Halophyte crop cultivation: The case for Salicornia and Sarcocornia. Environmental and Experimental Botany. 2013;92:144-53. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.010
43. Castañeda-Loaiza V, Oliveira M, Santos T, Schüler L, Lima AR, Gamad F, et al. Wild vs cultivated halophytes: Nutritional and functional differences. Food Chemistry. 2020;333:127536. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127536
44. Riquelme J, Olaeta JA, Gálvez L, Undurraga P, Fuentealba C, Osses A, et al. Nutritional and functional characterization of wild and cultivated Sarcocornianeei grown in Chile. Ciencia e Investigación Agraria. 2016;43(2):283-93. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202016000200011
45. Custódio L, Rodrigues MJ, Pereira CG, Castañeda-Loaiza V, Fernandes E, Standing D, et al. A Review on Sarcocornia Species: Ethnopharmacology, Nutritional Properties, Phytochemistry, Biological Activities and Propagation. Foods. 2021;10:2778. https://doi.org/10.3390/foods10112778
46. Barreira L, Resek E, Rodrigues MJ, Rocha MI, Pereira H, Bandarra N, et al. Halophytes: Gourmet food with nutritional health benefits? Journal of Food Composition and Analysis. 2017;59:35-42. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.003

47. Auris LY. Evaluación químico-bromatológica, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de dos tipos de brotes de Sarcocornia fruticosa (L.) A.J. Scott "sosa alacranera". Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2021. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNMS_33bcb9c861e3e9e643fc3635e3c64246/Details
48. Coc-Coj O, Cámara-Mota A, González-Cortés N, Jiménez-Vera R. La salicornia: una planta halófila con propiedades funcionales. Revista Iberoamericana de Ciencias. 2020;7(1):26-38. https://www.reibci.org/publicados/2020/jul/3800103.pdf
49. Glenn EP, Brown JJ, Blumwald E. Salt Tolerance and Crop Potential of Halophytes. CriticalReviews in PlantSciences. 1999;18(2):227–55. https://doi.org/10.1080/07352689991309207
50. Kumari A, Das P, Parida AK, Agarwal PK. Proteomics, metabolomics, and ionomics perspectives of salinity tolerance in halophytes. FrontiersinPlantScience. 2015;6:1-20. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00537
51. Cuadra VP, Cambi V. Morphoanatomical functional traits in xerophytic species of a saline environment. Revista Internacional de Botánica Experimental. 2014;83:389-96. https://doi.org/10.32604/phyton.2014.83.389
52. Limongelli F, Crupi P, Clodoveo ML, Corbo F, Muraglia M. Overview of the Polyphenols in Salicornia: From Recovery to Health-Promoting Effect. Molecules. 2022;27:7954. https://doi.org/10.3390/molecules27227954
53. Lang Y, Gao N, Zang Z, Meng X, Lin Y, Yang S, et al. Classification and antioxidant assays of polyphenols: a review. Journal of FutureFoods. 2024;4(3):193-204. https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.07.002
54. Flores-Aguilar E, Flores-Rivera EdP. Capacidad antioxidante de extractos acuosos de hojas de moringa y elaboración de una bebida funcional. Tecnología Química. 2022;42(2):323-40. https://tecnologiaquimica.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/5259
55. Pereira C, Barros L, Alves MJ, Santos-Buelga C, Ferreira ICFR. Artichoke and milk thistle pills and syrups as sources of phenolic compounds with antimicrobial activity. Food&Function. 2016;7:3083–90. https://doi.org/10.1039/c6fo00512h
56. Gutiérrez H, Vara Rdl. Análisis y diseño de experimentos. gda ed. México, D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.; 2008. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
57. Ventura Y, Wuddineh WA, Myrzabayeva M, Alikulov Z, Khozin-Goldberg I, Shpigel M, et al. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual Salicornia and perennial Sarcocornia halophytes as leafy vegetable crops. Scientia Horticulturae. 2011;128:189-96. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.02.001
58. García E. Respuesta fisiológica, bioquímica y morfológica de *Salicornia bigelovii* (Torr.), bajo tratamientos de aguas residuales de cultivos marinos y fertilización orgánica. Baja California Sur: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. ; 2023. https://dspace.cibnor.mx:8443/handle/123456789/3186
59. Agudelo A, Carvajal M, Martinez-BallestaMdC. Halophytes of the Mediterranean Basin—Underutilized Species with the Potential to Be Nutritious Crops in the Scenario of the Climate Change. Foods. 2021;10:119. https://doi.org/10.3390/foods10010119
60. Stankovic M, Stojanovic-Radic Z, Jakovljevic D, Zlatic N, Lukovic M, Dajic-Stevanovic Z. Coastal Halophytes: Potent Source of Bioactive Molecules from Saline Environment. Plants. 2023;12:1857. https://doi.org/10.3390/plants12091857
61. Quideau S, Deffieux D, Douat-Casassus C, Pouységu L. Plant Polyphenols: Chemical Properties, Biological Activities, and Synthesis. AngewChemInt Ed. 2011;50:586-621. https://doi.org/10.1002/anie.201000044

62. Kefu Z, Hai F, San Z, Jie S. Study on the salt and drought tolerance of Suaeda salsa and Kalanchoeclaigremontiana under iso-osmotic salt and water stress. PlantScience. 2003;165:837-44. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00282-6
63. Pungin A, Lartseva L, Loskutnikova V, Shakhov V, Popova E, Skrypnik L, et al. Effect of Salinity Stress on Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Halophytes Spergularia marina (L.) Griseb. andGlauxmaritima L. Cultured In Vitro. Plants. 2023;12:1905. https://doi.org/10.3390/plants12091905
64. Colina J, Guerra M, Guilarte D, Alvarado C. Contenido de polifenoles y capacidad antioxidante de bebidas elaboradas con panela. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 2012;62(3):303-10. https://ve.scielo.org/pdf/alan/v62n3/art14.pdf
65. Almenares-Rosales JE, Pérez-Quintero Y, Ramos-Frómeta C, Fung-Boix Y, Arias-Cedeño Q. Composición fitoquímica y actividad antioxidante de extractos de Plectranthusamboinicus cultivado con agua tratada magnéticamente. Revista Cubana de Química. 2024;36(2):1-9. https://cubanaquimica.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/5372
66. Stevanović ZD, Stanković MS, Stanković J, Janaćković P, Stanković M. Use of halophytes as medicinal plants: phytochemical diversity and biological activity. In: Hasanuzzaman M, Shabala S, Fujita M, editors. Halophytes and climate change: adaptive mechanisms and potential uses. Wallingford, Reino Unido: CABI; 2019. p. 343-58. https://doi.org/10.1079/9781786394330.0343
67. Camacho OI. Contribución a la estandarización del proceso de obtención de un extracto de hojas de Petiveriaalliacea L. (Anamú) a escala de laboratorio. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2014. https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/9a670522-007e-4942-82b8-8c599fcdd3fa/content
68. Mendoza J, Bonilla R, Osorio P. El efecto del magnetismo en el pH: Una revision bibliográfica. Universidad - Ciencia & Sociedad. 2021;22(2):41-4. https://doi.org/10.61070/ucs.v22i2.71
69. Isca VMS, Seca AML, Pinto DCGA, Silva AMS. An Overview of Salicornia genus: The Phytochemical and Pharmacological Profile. In: Gupta VK, editor. Natural Products: Research Reviews. 2. New Delhi, India: DAYA Publishing House; 2014. http://hdl.handle.net/10400.3/2374
70. Tajeddin B, Behmadi H. Respiration Rate and Some Physicochemical Characteristics of Salicorniabigelovii as a Leafy Green Veget. Journal of Food Biosciences and Technology. 2019;9(2):21-8. https://sanad.iau.ir/fa/Journal/jfbt/Article/833133
71. Elena B, Rubio L, Sánchez MJG, Fernández JA. Incorporación de K+ en presencia de Na+ en la halófita Sarcocorniaperennis. SEFV 2011 - Programa de sesiones y resúmenes de conferencias plenarias e invitadas: Universitat Jaume I, Servei de Comunicació i Publicacions; 2011. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8558677
72. Alsaeedi AH. Di Pattern of Salicornia Vegetative Growth in Relation to Fertilization. Scientific Journal of King Faisal University. 2003;4(1):105-18. http://masder.kfnl.gov.sa/bitstream/123456789/2389/2/U02M02V04I01A05.pdf?locale=en
73. Baba T, Nakagawa T, Kaburagi E, Fujiyama H. Fe absorption strategy of dwarf glasswort (Salicorniabigelovii) at high pH. Sand Dune Research. 2021;67(2):79-85. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpssdr/67/2/67_79/_pdf
74. Anwar F, Bhanger MI, Nasir MKA, Ismail S. Analytical Characterization of Salicorniabigelovii Seed Oil Cultivated in Pakistan. Journal of Agricultural and FoodChemistry. 2002;50:4210-4. https://doi.org/10.1021/jf0114132
75. Terán EC, Cuéllar A, Salas E, Pardo GL. Toxicidad aguda del extracto hidroalcohólico de CrotonwagneriMüll. Arg. (moshquera) y su efecto irritante sobre la mucosa bucal. Revista Cubana de Plantas Medicinales. 2019;24(2):e791. https://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/791

76. Lee HS. Acute oral toxicity of Salicorniaherbacea L. extract in mice. BiomedicalScienceLetters. 2016;22(2):46-52. https://doi.org/10.15616/BSL.2016.22.2.46

| ***Received:*** *[29 agosto 2026]* |***Accepted:*** *[29 septiembre 2026]* | ***Published:*** *[15 noviembre 2026]* |

Citation: *Silveira, L; Cardona, Y; Iglesias, D; Martín, A; Martén, Y; Pérez, A.* Evaluación de la obtención de un extracto acuoso rico en polifenoles a partir de *Salicornia bigelovii* mediante optimización de parámetros de extracción. *Bionatura*. 2026. Volumen 11, No 3.

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using https://reviewerlocator.webofscience.com/
All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)