

***INVESTIGACIÓN SOBRE LOS RECURSOS
NATURALES DEL NOROESTE DE MÉXICO,
PARA EL BIENESTAR COMUNITARIO***



ALFREDO ORTEGA-RUBIO

Coordinador

***INVESTIGACIÓN SOBRE LOS RECURSOS
NATURALES DEL NOROESTE DE
MÉXICO, PARA EL BIENESTAR
COMUNITARIO***

Alfredo Ortega-Rubio

Coordinador

***CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL
NOROESTE S.C. (CIBNOR) LA PAZ,
B.C.S. MÉXICO, 2025***

Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. Ortega-Rubio Alfredo. (Coordinador). 2025. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, Baja California Sur. México. 547 pág: il; 55.

© Derechos Reservados

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Instituto Politécnico Nacional # 195. Col. Playa Palo de Santa Rita Sur
C.P. 23096. La Paz, Baja California Sur. México.

Todos los derechos reservados. El contenido de esta publicación se puede reproducir parcialmente únicamente con autorización previa por escrito de los autores de cada Capítulo y siempre y cuándo se den los créditos correspondientes a los mismos y al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Las opiniones expresadas por los autores (Textos, Tablas, Figuras y Fotografías) no necesariamente reflejan la postura de la institución editora de la publicación.

Diseño Gráfico y Editorial. Alfredo Ortega-Rubio. Fotografía de la Portada. Rubén Andrade.

Primera Edición. Octubre 2025.

ISBN: 978-607-7634-51-5

Publicación de investigación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Preparación de este documento:

La edición del libro “***Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario***”, estuvo a cargo del Dr. Alfredo Ortega-Rubio. En este libro se describen las principales contribuciones que el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., (CIBNOR), ha aportado en la generación de conocimiento, formación de recursos humanos, y apropiación social del conocimiento científico, enfatizando su incidencia en el bienestar social.

Agradecimientos:

El Coordinador de esta obra agradece a todas y todos las y los Coautores de esta obra, por compartir con la sociedad las aportaciones que en sus distintas actividades han generado para el bienestar de las comunidades humanas del noroeste de México, especialmente las más vulnerables. Asimismo, agradece al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste por la oportunidad de permitirnos generar, a través de los resultados de nuestras investigaciones científicas, alternativas viables con pertinencia social y ambiental, que realmente han sido aplicadas en beneficio de nuestra sociedad, quien es la que nos financia y a quien nos debemos.

Para citar esta obra:

Ortega-Rubio Alfredo. (Coordinador). 2025. *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

INVESTIGACIÓN SOBRE LOS RECURSOS NATURALES DEL NOROESTE DE MÉXICO, PARA EL BIENESTAR COMUNITARIO

ÍNDICE

PRÓLOGO

*María Elena Álvarez-Buylla Roces ** 1

PREFACIO

*José Alejandro Díaz Méndez ** 3

SECCIÓN I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

*José Alfredo Arreola Lizárraga * y Alfredo Ortega-Rubio* 7

SECCIÓN II PROGRAMAS ACADÉMICOS

CAPÍTULO 2. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA ACADÉMICO DE PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN AL BIENESTAR COMUNITARIO

*Alejandro López Cortés ** 15

CAPÍTULO 3. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA DE AGRICULTURA EN ZONAS ÁRIDAS AL BIENESTAR COMUNITARIO	
<i>Luis Guillermo Hernández Montiel *</i>	39

CAPÍTULO 4. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA DE ACUICULTURA Y SU IMPACTO EN EL BIENESTAR COMUNITARIO	
<i>Carolina Casanova-Valero, Héctor Acosta-Salmon, Perla Sol Cervantes-Bernal y Danitzia Adriana Guerrero-Tortolero *</i>	55

CAPÍTULO 5. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA DE ECOLOGÍA PESQUERA COMO VÍNCULO VITAL AL BIENESTAR SOCIAL	
<i>Crisalejandra Rivera-Pérez *</i>	77

SECCIÓN III

UNIDADES FORÁNEAS

CAPÍTULO 6. LA UNIDAD FORÁNEA GUERRERO NEGRO: HISTORIA, HUMANISMO Y VINCULACIÓN	
<i>Raúl López Aguilar *, Rogelio Ramírez Serrano†, Rigoberto López Amador, Andrés Orduño Cruz y Marco Antonio Ramírez Mosqueda</i>	99

CAPÍTULO 7. CONTRIBUCIÓN AL BIENESTAR COMUNITARIO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA UNIDAD HERMOSILLO	
<i>Juan Bautista Vega Peralta * y José Arturo Sánchez-Paz</i>	117

CAPÍTULO 8. UNIDAD GUAYMAS: UNA TRAYECTORIA DE QUEHACER CIENTÍFICO CON COMPROMISO SOCIAL	
<i>José Alfredo Arreola Lizárraga *</i>	133

CAPÍTULO 9. APORTACIONES DE LA UNIDAD NAYARIT AL BIENESTAR COMUNITARIO

*Alfonso Nivardo Maeda-Martínez *, Rodolfo Navarro-Murillo, Ricardo García-Morales, Luis Daniel Espinosa-Chaurand, Rosa María Morelos-Castro y Rodolfo Garza-Torres*

149

SECCIÓN IV
CASOS DE ESTUDIO DEL PROGRAMA DE PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN

CAPÍTULO 10. VALORACIÓN ECONÓMICA DE RECURSOS GENÉTICOS ASOCIADOS A CONOCIMIENTOS TRADICIONALES EN BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Gerzaín Avilés-Polanco, Luis Felipe Beltrán-Morales y Alfredo Ortega-Rubio*

175

CAPÍTULO 11. CONTRIBUCIONES DE LOS MANGLARES DEL NOROESTE DE MÉXICO, PARA EL BIENESTAR COMUNITARIO

Patricia González-Zamorano, Giovanni Ávila-Flores, Blanca Estela Romero López, Jonathan Giovanni Ochoa-Gómez, Mercedes Marlenne Manzano-Sarabia, Joanna Acosta-Velázquez y José Alfredo Arreola-Lizárraga*

191

CAPÍTULO 12. COSTAS DEL NOROESTE DE MÉXICO

*Saúl Chávez López * y Miguel Ángel Imaz Lamadrid*

221

CAPÍTULO 13. AGROQUÍMICOS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA

*Gerardo Alfonso Anguiano Vega, Estela Ruiz Baca, Jesús Ricardo Parra Unda, Jaime Rendón von Osten, María Guadalupe Nieto Pescador y Celia Vázquez Boucard**

243

**CAPÍTULO 14. APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DEL
BORREGO CIMARRÓN, POR COMUNIDADES EJIDALES DE
BAJA CALIFORNIA SUR.**

Israel Guerrero-Cárdenas, Rafael Ramírez-Orduña, Gustavo
Arnaud, Guillermo Romero-Figueroa, José Ángel
Armenta-Quintana y Fany Reyes-Bolaños.*

261

SECCIÓN V
CASOS DE ESTUDIO DEL PROGRAMA DE
ECOLOGÍA PESQUERA

**CAPÍTULO 15. VALORIZACIÓN DE PRODUCTOS PESQUEROS
DEL NOROESTE DE MÉXICO**

*Julio Humberto Córdova Murueta, Norma Y. Hernández
Saavedra y Crisalejandra Rivera Pérez**

295

**CAPÍTULO 16. APROVECHAMIENTO DE LA MEDUSA BOLA DE
CAÑÓN EN EL NOROESTE DE MÉXICO, LA PESQUERÍA Y
SU DIMENSIÓN HUMANA EN EL CONTEXTO DE LA CRISIS
DEL SECTOR RIBEREÑO**

*Juana López Martínez, Eloísa Herrera Valdivia, Cintya A.
Nevárez López *, Rufino Morales Azpeitia, Javier Álvarez
Tello y Edgardo B. Farach Espinoza*

319

**CAPÍTULO 17. INVASIÓN DE ASCIDIAS SOBRE BANCOS DE
HACHAS EN LA BAHÍA DE LA PAZ, BCS**

*Moreno-Dávila Betzabé y Leonardo Huato-Soberanis**

339

**CAPÍTULO 18. ESTUDIOS GENÉTICOS PARA LA CONSERVACIÓN
Y MANEJO DE RECURSOS PESQUEROS EN EL NOROESTE
DE MÉXICO: CASO DE ESTUDIO PESQUERÍA DE ABULÓN.**

*Jorge Alberto Mares-Mayagoitia, Carmen Elvira Vargas-Peralta,
Paulina Mejía-Ruíz, Fabiola Lafarga-de-la-Cruz, Fausto
Valenzuela-Quiñonez**

363

**CAPÍTULO 19. IMPACTO SOCIAL DE LA PESCA EN LAS
COMUNIDADES LITORALES DEL ALTO GOLFO DE
CALIFORNIA**

*Eugenio Alberto Aragón-Noriega **

385

**CAPÍTULO 20. LA PESCA COMO DETONANTE DEL BIENESTAR
COMÚN DEL PUEBLO YAQUI.**

Edgar Alcántara-Razo, Jesús Guadalupe Padilla-Serrato,
Eugenio Alberto Aragón-Noriega y Guillermo Ismael
Padilla-Serrato*

405

**CAPÍTULO 21. EL CALLO DE HACHA: BIOLOGÍA Y BASES PARA
UN MANEJO SUSTENTABLE**

*Mercedes Magali Gómez Valdez * y Lucía Ocampo*

431

**SECCIÓN VI
CASOS DE ESTUDIO DEL PROGRAMA DE
AGRICULTURA DE ZONAS ÁRIDAS**

**CAPÍTULO 22. CULTIVANDO EL FUTURO DE LAS ETNIAS DEL
NOROESTE DE MÉXICO CON CIENCIA AGRÍCOLA Y
BIENESTAR COMUNITARIO**

*Gracia Alicia Gómez Anduro *, David Raúl López Aguilar,
Julio Antonio Hernández, Efraín Payan Cázares y José
Manuel Melero Astorga*

455

**CAPÍTULO 23. MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN LOS
SISTEMAS AGROACUÍCOLAS**

*Yenitze Elizabeth Fimbres Acedo y Rodolfo Garza Torres **

471

**CAPÍTULO 24. RECURSOS VEGETALES EMERGENTES PARA LA
AGRICULTURA DE ZONAS ÁRIDAS ANTE EL
AGOTAMIENTO HÍDRICO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO**

*Joselyn Seminario Peña, Alejandra Nieto Garibay *, Enrique
Troyo Diéguez y Bernardo Amador Murillo*

505

**SECCIÓN VII
CONCLUSIONES**

CAPÍTULO 25. CONCLUSIONES

*Luis Felipe Beltrán Morales * y Alfredo Ortega Rubio*

531

PRÓLOGO

Este libro integra investigaciones de diversos sistemas socioecológicos en ambientes terrestres, marinos y costeros del Noroeste de México. Refleja la calidad, diversidad y profundidad de las investigaciones que se llevan a cabo en uno de los más importantes Centros de Investigación de la Región: el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. CIBNOR, coordinado por el CONAHCYT.

Un grupo destacado de investigadores de este Centro Público del CONAHCYT resume sus resultados de sistemas agrícolas, de explotación de algunos recursos marinos, de manglares, hasta de microorganismos, entre otros. Todas las investigaciones reseñadas en este libro se han desarrollado con un claro compromiso social y se han desarrollado con rigor científico. Los resultados de los estudios integrados en este volumen son relevantes para la conservación, uso, manejo y aprovechamiento de importantes recursos naturales de la región Noroeste. El CIBNOR ha sido un faro de conocimiento y catalizador para el avance de las ciencias socio-ambientales en la Región y en el país.

Algunos de los resultados sintetizados en este libro, se podrán usar para elaborar propuestas más concretas de mayor incidencia en diversas comunidades a favor de la conservación de sus ecosistemas, de la biodiversidad regional, y también de la calidad de vida de sus comunidades, sobre todo, las más vulnerables. A partir de los estudios resumidos acá, se podrán, por ejemplo, elaborar planes de manejo, de explotación o conservación relevantes para la Región, en colaboración con las comunidades locales y los distintos niveles de gobierno.

Dra. María Elena Álvarez-Buylla Roces

Directora General del CONAHCYT.

Cd. de México, a 16 de junio, 2024

PREFACIO

A casi medio siglo de su creación, el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C (Cibnor-Conahcyt) ha mostrado su compromiso no solo con la generación de conocimiento de alto rigor y la formación de especialistas científicos, sino con la atención de problemáticas sociales y ambientales orientadas a la conservación y aprovechamiento de recursos naturales, por el sector social y productivo del Noroeste de México, impulsando también, desde uno de los territorios más aislados, la conciencia social sobre el cuidado de medio ambiente.

En el trabajo que han desarrollado a lo largo de los años, las y los investigadores del Cibnor, encontramos bosquejos de lo que en la nueva Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, se garantiza como derecho humano a la ciencia, con el fin de que toda persona goce de los beneficios del desarrollo científico y tecnológico y de otros derechos humanos facilitados por el ejercicio de las humanidades, ciencias, tecnologías e innovación, con un enfoque centrado en la persona, que incluya la preservación y protección del ambiente, pues es de esta forma, como el pueblo de México puede acceder al bienestar.

Este libro que nos entrega el Cibnor, arroja luz sobre el excepcional trabajo llevado a cabo por las y los investigadores de este Centro Conahcyt, a lo largo de su historia. En sus líneas se encontrará como lugar común el diálogo de saberes, y con diferentes actores sociales que enriquecen el quehacer científico desarrollado en muchas ocasiones en el territorio, como el lugar de encuentro natural. La obra es más que un compendio de aportes y resultados de investigación, son testimonio del compromiso incansable de su personal científico, tecnológico y administrativo que han convertido a Cibnor-Conahcyt en una referencia nacional, indiscutible, en ciencias biológicas y en el uso, manejo y preservación de los recursos naturales.

Asimismo, esta obra es un homenaje a las Unidades Foráneas de Cibnor-Conahcyt que han nacido en varias ciudades de nuestro país convirtiéndose en motores que impulsan la búsqueda de respuestas a las preguntas más apremiantes de su entorno socio-ecológico relacionado con problemáticas regionales y locales. Temas comunes son el agua; la alimentación; la producción y el impacto ambiental de las actividades productivas como la agrícola, pecuaria y pesca; el valor de los conocimientos tradicionales; el impacto del cambio climático en los ecosistemas, entre otros temas, que se cruzan con los Programas Nacionales Estratégicos del Conahcyt, en la búsqueda de soluciones integrales que tengan incidencia en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades y el bienestar de las personas.

Desde Conahcyt reconocemos el trabajo que se realiza en el Cibnor-Conahcyt y deseamos que esta obra contribuya a la reflexión del bien que representa la ciencia, cuando su interés es el bien público, el bien común.

Dr. José Alejandro Díaz Méndez

Titular de la Unidad de Articulación Sectorial y Regional, CONAHCYT.

Cd. de México, a 16 de junio, 2024

CAPÍTULO 24

Recursos vegetales emergentes para la agricultura de zonas áridas ante el agotamiento hídrico y el cambio climático

Joselyn Seminario Peña, Alejandra Nieto Garibay *, Enrique Troyo Diéguez y
Bernardo Amador Murillo

anieto04@cibnor.mx

Resumen

La generación de conocimiento acerca de especies vegetales con características que les permiten adaptarse a zonas áridas y semiáridas, como el estado Baja California Sur, México, es imperante para ofrecer cultivos vegetales alternativos. En este capítulo se presenta información que se ha generado como resultado de las investigaciones científicas que se realizan en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.. En primera instancia el capítulo explica de forma general el impacto del cambio climático y el agotamiento hídrico en la producción de recursos vegetales en zonas áridas, la resiliencia de estos y sus adaptaciones. Algunos ejemplos que se han estudiado como plantas resistentes a la sequía, a la salinidad, y a altas temperaturas, condiciones que se han acervado debido al cambio climático, se han compartido con productores agrícolas a través de talleres, cursos, colaboraciones directas con la siembra en sus parcelas entre otras actividades. Estos recursos prometen una gran posibilidad de ser aprovechados adecuadamente como alimento y otros usos, por lo que es importante seguir investigando y transferir a los agricultores el conocimiento generado con el fin

del aprovechar los recursos de manera sostenible, con mayor posibilidad de apropiación y enfrentar mejor el cambio climático.

Palabras clave: Especies vegetales: zonas áridas; cambio climático; agotamiento hídrico.

Abstract

The generation of knowledge about plant species with characteristics for its adaptation to arid and semi-arid areas, such as the state of Baja California Sur, Mexico, is essential as a new alternative of vegetable crops. This chapter presents information that has been generated as a result of the scientific research carried out at the Centro de Ciencias Biológica del Noroeste, S.C.. In the first instance, the chapter expose in a general way the impact of climate change and water depletion on the production of plant resources in arid areas, their resilience and their adaptations. Some examples that have been studied as plants resistant to drought, salinity, and high temperatures, conditions that have arisen due to climate change, have been shared with agricultural producers through workshops, courses, direct collaborations with planting in their plots among other activities. These resources promise a great possibility of being properly used for food and other uses, so it is important to continue researching and transferring the knowledge generated to farmers in order to take advantage of the resources in a sustainable way, with greater possibility of appropriation in order to face successfully the climate change.

Key words: Vegetable species: arida zones; climatic change; hidric stress.

El cambio climático y agotamiento hídrico en las zonas áridas

El cambio climático y la crisis global de abastecimiento de agua son dos problemas interrelacionados que afectan de manera significativa a las zonas áridas del planeta. Estas regiones ya enfrentan desafíos naturales relacionados a las sequías debido a la variabilidad significativa en las precipitaciones, y el cambio climático está exacerbando estos problemas (Lluch-Cota *et al.* 2022, p.37). Los impactos de las sequías pueden extenderse a diversos sectores de la sociedad y afectar a varias actividades económicas (Ortega-Gaucin y Velasco 2013, p.80). Desde el punto de vista económico, es altamente probable que el sector agrícola sea el más impactado por las consecuencias adversas del cambio climático (Mendelsohn 2008, p.6).

El cambio climático está estrechamente vinculado a la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Estos gases, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), retienen el calor en la Tierra, contribuyendo al calentamiento global (Raynal-Villaseñor 2011, p.422). Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), las principales fuentes de estos GEI son actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y ciertos procesos industriales (IPCC 2007, p.11). La quema de carbón, petróleo y gas para la energía, así como la deforestación que reduce la capacidad de los bosques para absorber el CO₂, son factores significativos en el aumento de los niveles de gases de efecto invernadero (Vargas-Mena y Yañez 2004, p.6; Catalán 2021, p.60). Estos cambios en la composición atmosférica tienen consecuencias directas, como el aumento de las temperaturas globales, cambios en los patrones de lluvias, sequías y elevación del nivel del mar (Ivanova y Gamez, 2013, p.11).

Abordar el cambio climático implica reducir las emisiones de GEI mediante la transición a fuentes de energía más limpias, prácticas agrícolas

sostenibles, conservación forestal y la implementación de tecnologías más eficientes. La comprensión y gestión de estos gases son cruciales para mitigar los impactos del cambio climático y trabajar hacia un futuro más sostenible.

Condiciones climáticas en las Zonas Áridas

Las alteraciones en los patrones climáticos pueden afectar la cantidad y distribución de las precipitaciones, exacerbando las condiciones de sequía en las zonas áridas. Las condiciones climáticas en las zonas áridas se ven influidas por variables fundamentales del ciclo hidrológico, como la humedad ambiental y la precipitación (Martínez-Austria y Patiño-Gómez 2012, p.5). Estas regiones se distinguen por tener niveles bajos de humedad, altos índices de radiación, variaciones extremas de temperatura y una precipitación media anual reducida (Troyo-Diéguez et al. 2013, p.67). Además, aproximadamente el 90% de la precipitación total anual se da únicamente durante el periodo de lluvias en estas zonas (Medrano 2012, p.12).

Durante el último siglo, se ha registrado un aumento de aproximadamente 0.8°C a 1.2°C en la temperatura global (IPCC 2018, p.4). Este incremento en las temperaturas tiene consecuencias significativas, ya que puede intensificar la evaporación y la demanda de agua, agravando así los problemas de escasez de agua en las zonas áridas (Mercado-Mancera 2010, p.61). Además, las altas temperaturas han provocado alteraciones en el ciclo de las estaciones de crecimiento, lo que ha llevado a disminuciones en el rendimiento de los cultivos locales, reducción en la disponibilidad de agua dulce y una mayor presión sobre la biodiversidad, resultando en una disminución de la cubierta vegetal (IPCC 2019, p.31).

Se han experimentado períodos de calor que superan la media superficial terrestre (13.9°C) durante los últimos años (NOAA, 2022). Este fenómeno sugiere un probable incremento en la frecuencia e intensidad de

eventos climáticos extremos, lo que trae consigo consecuencias tales como inundaciones, incendios, sequías y altas olas de calor (Kachok e Ivanova 2019, p.68). En conjunto, estos cambios en el clima global están potenciando los desafíos ambientales y socioeconómicos, afectando negativamente al sector agrícola.

Resiliencia agrícola ante el cambio climático

La agricultura es una actividad económica, social y cultural importante, no solo desempeña un papel vital en la subsistencia a nivel global, sino que también brinda diversos servicios ecosistémicos (Howden et al. 2007, p.19691). Con aproximadamente el 40% de la superficie terrestre destinada a actividades agrícolas y ganaderas, esta actividad se erige como la principal fuente de empleo en varios sectores alrededor del mundo (López y Hernández 2016, p.461). Sin embargo, la agricultura no está exenta de desafíos, y el cambio climático y el agotamiento hídrico han puesto de manifiesto su vulnerabilidad, afectando profundamente a los agricultores (Lluch-Cota et al. 2022, p.37).

En este contexto, la búsqueda de recursos vegetales adaptados a condiciones cambiantes se vuelve esencial para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en las regiones afectadas. Para fortalecer la resiliencia agrícola, se han propuesto diversas estrategias. La implementación de prácticas agrícolas sostenibles, como la rotación de cultivos, el manejo eficiente de residuos agropecuarios y el uso adecuado del agua, emerge como una vía efectiva para minimizar el estrés hídrico y preservar la fertilidad del suelo (Cotler et al. 2007, p.66).

En zonas secas, las condiciones naturales de aridez demandan mantener las bondades del territorio y aprovecharlas de manera sostenible, ya que las diversas áreas áridas han dado riqueza al país: minería, agricultura, ganadería, industria. Asimismo, alimentos, fibras, energía, tienen sus orígenes en las

RECURSOS VEGETALES EMERGENTES

zonas áridas y de nuevas investigaciones innovadoras depende mantener la prosperidad y desarrollo de estas regiones del país.

En buena medida, la alimentación nacional depende de las entidades del centro y norte, puntos que hacen que el enorme potencial agroalimentario de las zonas secas sea innegable. Es por lo anterior que se deben explorar nuevos caminos con el fin de redescubrir las bondades territoriales y mantener su productividad.

En las últimas décadas, la salinización del suelo en áreas agrícolas en zonas áridas a causa de la irrigación con agua de alto contenido salino ha experimentado un aumento significativo (Kopittke et al. 2019, p.6). Este problema de salinidad del suelo en dichas regiones se ve agravado por prácticas inadecuadas de gestión del agua, como la aplicación ineficiente de riego y la implementación de sistemas de drenaje del suelo inapropiados (Guida-Johson et al. 2016, p.207).

La diversificación de cultivos en las regiones áridas puede ser clave, ya que diferentes variedades pueden tener diferentes niveles de tolerancia a condiciones climáticas extremas (Ojeda et al. 2007, p.83). En este contexto, las investigaciones realizadas en el CIBNOR acerca de recursos vegetales emergentes para la agricultura han contribuido a generar conocimiento que deja evidencia de especies vegetales con potencial de adaptación a las características climáticas de las regiones áridas y semiáridas. Y que representan un recurso potencial en la agricultura para enfrentar ante el cambio climático, así como una esperanza para los agricultores que buscan adaptarse y prosperar en un entorno agrícola desafiante.

Recursos vegetales adaptados a Zonas Áridas

Las evidencias de las investigaciones en el CIBNOR de especies vegetales emergentes capaces de adaptarse a las condiciones adversas de sequía, salinidad y altas temperaturas que como ya se mencionó caracterizan a muchas de las zonas áridas y semiáridas del mundo y en especial de la península de Baja California han permitido identificar las características anatómicas y estrategias ecofisiológicas que les permiten esta adaptación y con ello poder realizar recomendaciones para su cultivo y manejo. Dentro de estas plantas se mencionan a continuación algunos ejemplos y resultados.

1 Plantas resistentes a la sequía:

El chile siempre ha sido un cultivo atractivo para su comercialización, aquellas variedades que crecen de forma silvestre en las zonas áridas y semiáridas, y que han tenido algún grado de manejo por la gente a través de huertos traspatio, representan un gran recurso de diversidad genética. Lo cual se traduce en la posibilidad de usarse para mejorar especies de chiles domesticados con características que les permitan enfrentar la sequía. El chile chiltepín, chilpitín, pico de pájaro como se le conoce por nombre común y de la especie *Capsicum frutescens* L. ha mostrado con poca agua mantenerla dentro de sus células para mantener su producción y además mostrando una gran versatilidad en la expresión en sus formas que a su vez son la expresión de su gran diversidad morfológica como se muestra en la Fig. 86 donde una misma planta muestra formas del fruto muy distintas (Nieto-Garibay et al., 2001, pp.25-34).



Figura 86. A) Chile *Capsicum frutescens* cultivado de semillas de frutos silvestres B) cultivados para experimentación C) expresión de diferentes formas del fruto en la misma planta.

El Nopal (*Opuntia spp.*): Esta cactácea adaptada a condiciones áridas y semidesérticas, la convierte en una opción valiosa para su cultivo en entornos desérticos debido a su capacidad para resistir la sequía y la salinidad del suelo (Juárez-Passera, 2002, p.1). El nopal cuenta con un sistema de raíces superficiales que le permite aprovechar de manera eficiente la escasa cantidad de agua presente en el suelo (Snyman 2006, p.434). Estas adaptaciones se deben a las modificaciones fisiológicas y estructurales propias de las plantas CAM, las cuales les permiten tolerar el calor y la sequía prolongada (Nieto-Garibay, 2003, p.39, Flores et al. 2022, p.291). Este cactus no solo destaca por su resistencia, sino también por su versatilidad en términos de usos. A lo largo de los siglos, sus cladodios han sido empleados como fuente alimentaria y en la medicina popular tradicional debido a sus propiedades nutricionales y beneficios para enfermedades crónicas, según diversas culturas (Santos-Díaz et al. 2017, p.1). Asimismo, el nopal se presenta como una opción agrícola prometedora en zonas áridas, ofreciendo no solo resistencia a condiciones adversas, sino también beneficios alimentarios y económicos para comunidades que buscan cultivos adaptados a estas regiones (Murillo-Amador, et al. 2003, p.281) (Fig. 87).



Figura 87. Cultivo de Nopal como parte de proyectos de investigación del CIBNOR

2 Plantas tolerantes a la salinidad:

Espárrago marino (*Salicornia bigelovii* Torr.): Esta planta es reconocida como halófito debido a su capacidad para tolerar y prosperar en suelos con niveles elevados de salinidad (Rueda-Puente et al. 2011, p.158). La tolerancia a la salinidad en las halófitas es un rasgo complejo que implica muchos cambios fisiológicos y anatómicos en sus tejidos que va desde la producción de solutos compatibles para mitigar el estrés osmótico, la compartimentación de iones tóxicos y la excreción mediante glándulas salinas especializadas (Flowers y Colmer 2008, p.946). Su desarrollo natural en las costas del Pacífico de México ha generado interés en su cultivo en regiones costeras áridas y semiáridas, destacando su utilidad agroindustrial (Rueda-Puente et al. 2017, p.2).

Se ha valorado especialmente por su producción de alimentos con alto contenido proteico, la obtención de aceites vegetales y su aplicación como forraje (Garza-Torres et al. 2020, p.2; López-Corona et al. 2020, p.77). Este interés no solo contribuye a diversificar los cultivos, sino que también fortalece

RECURSOS VEGETALES EMERGENTES

la seguridad alimentaria en áreas costeras afectadas por fenómenos como la salinización y/o alcalinización del suelo (Beltrán-Burboa *et al.* 2017, p.47). Esta planta ofrece diferentes posibilidades en su manejo y aprovechamiento, así como la alternativa de su cultivo con agua de mar sin competir por el uso de agua dulce (Fig. 88).



Figura 88. Mediciones de plantas de salicornia en medio natural y su cultivo a pequeña escala en el campo experimental del CIBNOR.

Sábila (*Aloe vera* L.): Esta especie autóctona del Mediterráneo es reconocida por su habilidad para tolerar niveles específicos de salinidad y sodicidad (Murillo-Amador *et al.*, 2014, p. 1; Mota-Iltuarte, 2023, p.464). Su distribución se encuentra en zonas semiáridas o áridas con climas cálidos y secos, aunque puede ser cultivada en una variedad de climas subtropicales y tropicales. Además, se considera una opción viable para la producción en condiciones ambientales desafiantes. Se ha comprobado que bajo condiciones moderadas de estrés, como la salinidad, se mejora la calidad del gel, aunque esto va acompañado de un impacto negativo en el crecimiento y la producción

de hojas de sábila (Sifuentes-Rodríguez et al. 2020, p.186). Según Jin et al. (2007), se ha observado que algunas especies de sábila pueden mantener un crecimiento normal incluso en presencia de condiciones estresantes por salinidad, sin afectar su crecimiento. Por otro lado, la sábila utiliza el CAM en su proceso fotosintético. A diferencia de las plantas C3 y C4, que realizan la fotosíntesis durante el día, las plantas CAM abren sus estomas de noche para reducir la pérdida de agua (Granados-Sánchez et al. 1998, p.177), lo cual le confiere niveles elevados de potencial hídrico en sus tejidos frente a situaciones como altas concentraciones de sales, temperaturas elevadas (Fig. 89).

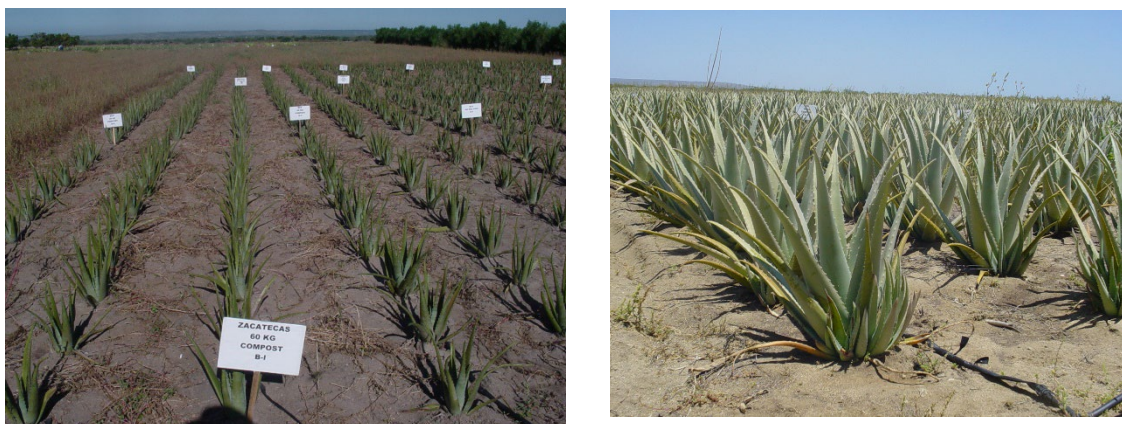


Figura. 89. Cultivo de sábila bajo tratamientos de compost en campo experimental del CIBNOR.

3. Plantas tolerantes a altas temperaturas:

Los resultados del estudio de plantas aromáticas que forman parte del uso tradicional de las zonas áridas y semiáridas, tanto por su uso culinario, medicinal e industrial gracias a los metabolitos secundarios que producen cuando se enfrentan a condiciones de estrés como la sequía, salinidad y altas temperaturas. Tal es el caso de diferentes genotipos de albahaca que han sido

RECURSOS VEGETALES EMERGENTES

estudiados para conocer su adaptación a condiciones de cultivo bajo mallas sombra y a cielo abierto. Estudiando la temperatura de la hoja de estas plantas y su desarrollo ha sido posible recomendar a los productores, aquellos genotipos que toleran mayores temperaturas y los que no, recomendando su cultivo a cielo abierto o bajo malla sombra. Como se muestra en la Figura 90, los genotipos que se encuentran por arriba de temperaturas de 38 °C son las más aptas para su cultivo bajo malla sombra y las de menores temperaturas a cielo abierto.

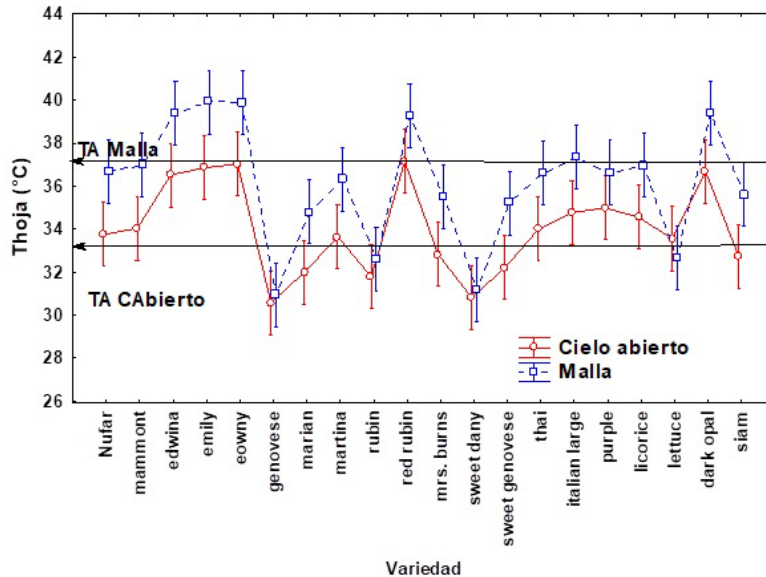


Figura. 90. Temperatura de la hoja (Th) de cada cultivar en cada sistema de producción, con malla sombra (PMS) y a cielo abierto (PCA). Las flechas horizontales indican la temperatura ambiente (Ta) promedio en cada sistema de producción 36.4 °C PMS y 33.6 °C PCA. Las barras verticales representan el error estándar de la media.

Mezquite (*Prosopis spp.*): El mezquite es una especie dominante, abarcando aproximadamente el 50% de las zonas áridas y semiáridas de México (Hernández et al. 2007, p.211). Desempeña un papel importante en la ecología

y la sostenibilidad de las regiones áridas, ofreciendo múltiples beneficios por sus productos forestales, como maderas para las comunidades humanas, y brinda refugio y alimento a la fauna silvestre (Sauceda 2014, p.176).

El cultivo del género *Prosopis* podría desempeñar un papel crucial en la agricultura de zonas desérticas, debido a que actúa como un eficiente controlador de la erosión del suelo (Abdulahi et al. 2017, p.76). Además, participa en la mejora de la fertilidad del suelo al capturar nitrógeno atmosférico gracias a su asociación simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno (Villegas-Espinoza et al., 2014, p.1051). Especialmente, aquellas bacterias que forman nódulos en las raíces de la planta, colaborando de esta manera en su capacidad de adaptación a entornos áridos y semiáridos donde la presencia de nitrógeno puede ser escasa.

4. Plantas mejoradoras de suelo:

Frijol cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp): Identificado también como frijol yorimón en los estados de Sonora y Baja California Sur, este tipo de leguminosa tiene su origen en África, pero se cultiva en diversas regiones del mundo debido a su destacado valor nutricional (Murillo-Amador et al. 2007, p.1; Rodríguez-Cruz 2014, p.1132). Este cultivo muestra resistencia a temperaturas elevadas, tolerancia a la sequía y capacidad para crecer en suelos con baja fertilidad (Carvalho et al. 2016, p.507). Las leguminosas son conocidas por su relación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*, que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico en el suelo (de Freitas et al. 2012, p.109). Esta asociación mutualista beneficia tanto a las leguminosas como a las bacterias, mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y ayudando a otras plantas a crecer en condiciones adversas (Bashan y de-Bashan 2010, p.114).

Esta especie se posiciona como cultivo significativo en la planificación de agroecosistemas sostenibles debido a las ventajas que muestran en las regiones áridas y semiáridas de México, donde existe baja disponibilidad de recursos hídricos y escasa fertilidad edáfica (Bianco y Cenzano 2018, p.2) (Fig. 91).



Fig. 91. Semillas de frijol cowpea obtenidas de plantas cultivadas en el campo experimental del CIBNOR.

Conclusiones

Los trabajos de investigación que se realizan de los recursos vegetales emergentes para la agricultura han permitido generar conocimiento para compartirlo y trasmitirlo de manera útil a los productores agrícolas. Ejemplo de ello ha sido el trabajo que se realiza con el grupo de mujeres “Guardianas del Conchalito” en La Paz, B.C.S., quienes a través de pláticas respecto a las características biológicas de la salicornia buscan su adecuado manejo, preservación y aprovechamiento (Fig. 92).



Figura 92. Taller acerca de la biología de la salicornia en su ámbito natural con el grupo de mujeres “Guardianas del Conchalito”.

La importancia de ofrecer a productores agrícolas a través de talleres, cursos, foros etc. (Fig. 93) alternativas para el aprovechamiento de recursos que vegetales adaptados a las condiciones del cambio climático, con menos requerimientos hídricos, menor impacto en el ambiente y que además tienen un interés nutricional y comercial es un trabajo que se realiza de forma común y parte importante de las investigaciones realizadas que forman parte del Programa de Investigación de Agricultura en Zonas Áridas del CIBNOR.

RECURSOS VEGETALES EMERGENTES



Figura 93. Cursos Talleres impartidos a productores con diferentes temas que forman parte de los resultados obtenidos de recursos vegetales emergentes para su adecuado aprovechamiento.

Importancia social

Las investigaciones realizadas acerca de las posibilidades de encontrar y generar conocimiento de aquellos recursos vegetales con la capacidad de adaptarse a las condiciones áridas y semiáridas, son de suma importancia para la sociedad. El cultivo de especies mejor adaptadas, con bajos requerimientos de agua y tolerancia a altas temperaturas tiene diversos beneficios entre ellos que no compiten por el agua para su uso urbano. Desde el punto de vista productivo ofrece mayores posibilidades para la obtención de recursos económicos a través de su comercialización y una mayor ganancia debido a los bajos costos de inversión para su producción. Al considerarse algunas especies locales representan además parte de los saberes de la sociedad.

Perspectivas

Es importante destacar que la introducción de estos recursos vegetales mencionados debe llevarse a cabo de manera cuidadosa, considerando factores ambientales, sociales y económicos para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. También es fundamental aumentar la inversión en investigación agrícola para explorar y validar nuevas variedades con resistencia a la sequía, salinidad y altas temperaturas. La transferencia de los conocimientos generados a los agricultores son elementos esenciales que debemos considerar para fortalecer la resiliencia en la agricultura. Proporcionar información sobre prácticas agrícolas sostenibles, técnicas de conservación del suelo y métodos de gestión del agua puede capacitar a las comunidades agrícolas para abordar de manera más eficaz los desafíos climáticos.

Literatura citada

- Abdulahi, M. M., Ute, J. A., y Regasa, T. (2017). *Prosopis juliflora* L: distribution, impacts and available control methods in Ethiopia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1), 75-89.
- Almodares, A., y Hadi, M. R. (2009). Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African journal of agricultural research*, 4(9), 772-780.
- Bashan, Y., y de-Bashan, L. E. (2010). Microbial populations of arid lands and their potential for restoration of deserts. En: *Soil biology and agriculture in the tropics* (pp. 109-137). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Beltrán-Burboa, C. E., Arce, M. E., Bianciotto O., López Ahumada, G. A., Vargas, J. M., Hernández-Montiel, L. G., Reyes-Pérez, J. J., Nieto-Garibay, A., Ruiz-Espinoza, F. H., Ayala Alvarez, F., Cisneros Almazán, R., Wong Corral, F. J., Borboa Flores, J., y Rueda-Puente, E. O. (2017). *Salicornia bigelovii* (Torr.): Un sistema modelo para incorporarse como cultivo agrícola en zonas árido-desérticos. *Biotecnia*, 19,46-50.
- Bianco, L., y Cenzano, A. M. (2018). Leguminosas nativas: estrategias adaptativas y capacidad para la fijación biológica de nitrógeno. *Implicancia ecológica. Idesia, ahead*, 0. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292018005002601>

- Carvalho, M., Castro, I., Matos, M., Lino-Neto, T., Silva, V., Rosa, E., y Carnide, V. (2016). Caracterização agro-morfológica de acessos de feijão-frade (*Vigna unguiculata*): bases para o melhoramento. *Revista de Ciências Agrárias*, 39(4), 506-517.
- Catalán Alonso, H. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 52(204), 59-83. <http://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.204.69611>
- Cotler H., E. Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta ecológica*, (83), 5-71.
- de Freitas, A. D., Silva, A., y Sampaio, E. V. (2012). Yield and biological nitrogen fixation of cowpea varieties in the semi-arid region of Brazil. *Biomass and Bioenergy*, 45, 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.017>
- Flores, J., Briones, O., y Andrade, J. L. (2022). Physiological ecology of Mexican CAM plants: history, progress, and opportunities. *Botanical Sciences*, 100(SPE), 290-324. <https://doi.org/10.17129/botsci.3107>
- Flowers, T. J., y Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New phytologist*, 179, 945-963. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x>
- Garza-Torres, R., Troyo-Diéguez, E., Nieto-Garibay, A., Lucero-Vega, G., Magallón-Barajas, F. J., García-Galindo, E., Fimbres-Acedo, Y., y Murillo-Amador, B. (2020). Environmental and Management Considerations for Adopting the Halophyte *Salicornia bigelovii* Torr. as a Sustainable Seawater-Irrigated Crop. *Sustainability*, 12(2), 707. <https://doi.org/10.3390/su12020707>
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F., y Gama-Flores, J. L. (1998). Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del ambiente*, 4(1), 169-178.
- Guida-Johnson, B., Abraham, E. M., & Cony, M. A. (2017). Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*, 49(1), 205-215.
- Hernández, A. F., Calzada, R. T., Ávila, J. A., Herrera, G. G., Valdez, J. Z., y Herrera, J. H. (2007). Características agroecológicas de la población de mezquite (*Prosopis* spp.) en la región de San Juan de Guadalupe, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6(2), 211-217.

- Howden, S. M., Soussana, J. F., Tubiello, F. N., Chhetri, N., Dunlop, M., y Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(50), 19691-19696.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Summary for Policymakers. En: Core Writing Team, R.K Pachauri y A. Reisinger (Ed.), *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 2-22). Suiza: IPCC (Geneva).
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). Summary for Policymakers. En: V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (Ed.), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (pp. 3-24). Reino Unido: Cambridge University. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Summary for Policymakers. En: P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi y J. Malley (Ed.), *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (pp. 2-22). Suiza: IPCC (Geneva).
- Ivanova, A., y Gamez, A. (2013). *Baja California Sur Ante el Cambio Climático: Vulnerabilidad, Mitigación y Adaptación*. México: UABCS, SEMARNAT, CIBNOR, CICESE, INECC, IPN-CICIMAR.
- Jin, Z., Wang, M., C. H., Liu, Z. P., y Gong, W. J. (2007). Physiological and ecological characters studies on Aloe vera under soil salinity and seawater irrigation. *Process Biochemistry*, 42:710-714, <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.11.002>
- Juárez, M. C., y Passera, C. B. (2002). In vitro propagation of *Opuntia ellisiana* Griff. and acclimatization to field conditions. *Biocell*, 26(3), 319-324. doi: 10.3389/fpls.2022.926653

- Kachok, R., y Ivanova, A. (2019). Índices de cambio climático en la reserva de la biosfera El Vizcaíno, Baja California Sur, México (1960-2012). *Revista Brasileira de Climatologia*, 24, 67-93. [https://doi:10.5380/abclima.v24i0.51845](https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.51845)
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., y Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment international*, 132(105078), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Lluch-Cota, S. E., Velázquez-Zapata, J. A., y Nieto-Delgado C. (2022). Agricultura, agua y cambio climático en zonas áridas de México. *Recursos Naturales y Sociedad*, 8 (2), 35-47. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2022.08.08.02.0004>
- López-Corona, B. E., Mondaca-Fernández, I., Gortáres-Moroyoqui, P., Meza-Montenegro, M. M., Balderas-Cortés, J. D. J., Ruíz Alvarado, C., y Rueda-Puente, E. O. (2020). Ecofisiología y bioquímica de *Salicornia bigelovii* (Torr.) por efecto de quitosano-aib bajo condiciones del desierto de Sonora. *Polibotánica*, (49), 75-92. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.5>
- Martínez-Austria, P. F., y Patiño-Gómez, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 5-20.
- Medrano, F. G. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Mendelsohn, R. (2008). The impact of climate change on agriculture in developing countries. *Journal of natural resources policy research*, 1(1), 5-19. <https://doi.org/10.1080/19390450802495882>
- Mercado-Mancera, G., Troyo-Diéguéz, E., Aguirre-Gómez, A., Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, L. F., y García-Hernández, J. L. (2010). Calibración y aplicación del índice de aridez de De Martonne para el análisis del déficit hídrico como estimador de la aridez y desertificación en zona áridas. *Universidad y Ciencia*, 26(1), 51-64.
- Mota-Ituarte, M., Pedroza-Sandoval, A., Minjares-Fuentes, R., Trejo-Calzada, R., Zegbe, J. A., y Quezada-Rivera, J. J. (2023). Water deficit and salinity modify some morphometric, physiological, and productive attributes of *Aloe vera* (L.). *Botanical Sciences*, 101(2), 463-475. <https://doi.org/10.17129/botsci.3175>

INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

- Murillo-Amador, B.; Troyo, D. E.; García, H. J. L.; Landa, H. L. y Larrinaga, M. J. A. (2000). El frijol Yorimón leguminosa tolerante a sequía y salinidad. México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Murillo-Amador, B. E., Troyo-Diéguez, E. E., y García-Hernández, J. L. E. (2003). Ecología del Nopal. En: Murillo-Amador, B. E., Troyo-Diéguez, E. E., y García-Hernández, J. L. E. El Nopal: Alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. (pp. 281-284). México: CIBNOR
- Murillo-Amador, B., Yamada, S., Yamaguchi, T., Rueda-Puente, E., Ávila-Serrano, N., García-Hernández, J. L., López-Aguilar, R., Troyo-Diéguez, E. y Nieto-Garibay, A. (2007). Influence of Calcium Silicate on Growth, Physiological Parameters and Mineral Nutrition in Two Legume Species Under Salt Stress. *J. Agronomy & Crop Science*. 193, 413-421 <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.20.11111.x>. ISSN 0931-2250.
- Murillo-Amador, B., Córdoba-Matson, M. V., Villegas-Espinoza, J. A., Hernández-Montiel, L. G., Troyo-Diéguez, E., y García-Hernández, J. L. (2014). Mineral content and biochemical variables of Aloe vera L. under salt stress. *PLoS One*, 9(4), e94870. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094870>
- Nieto-Garibay, A. (2003). Ecología del Nopal. En: Murillo-Amador, B. E., Troyo-Diéguez, E. E., y García-Hernández, J. L. E. El Nopal: Alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. (pp. 27-47). México: CIBNOR
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B. y Troyo-Diéguez E. (2001). Evaluación de variables ecofisiológicas en plantas de ají (*Capsicum frutescens*) bajo tratamientos de composta y fertilizante químico. *International Journal of Experimental Botany Phyton*. 2001, 25-34.
- NOAA National Centers for Environmental Information. (11 de marzo de 2023). Monthly Global Climate Report for Annual 2022. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202213/supplemental/page-6>.
- Ojeda B., W., Sifuentes-Ibarra, E., Rojano Aguilar, A., e Íñiguez Covarrubias Austria, M. (2007). Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. En: Austria, P. F. M., y Gómez, C. P. (Ed.), Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México (pp. 65-113). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Ortega-Gaucin, D., y Velasco, I. (2013). Aspectos Socioeconómicos y Ambientales de las Sequías en México. *Aqua-LAC*, 5(2), 78-90.
- Raynal-Villaseñor, J. A. (2011). Cambio climático global: una realidad inequívoca. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12(4), 421-427.

- Rodríguez-Cruz, F. J., Júnior de Almeida, H., y Mathias dos Santos, D. M. (2014). Growth, nutritional status, and nitrogen metabolism in *Vigna unguiculata* (L.) Walp is affected by aluminum. *Australian Journal of Crop Science*, 8(7), 1132-1139.
- Rueda-Puente, E. O., Beltrán-Morales, F. A., Ruiz-Espinoza, F. H., Valdez-Cepeda, R. D., García-Hernández, J. L., Ávila-Serrano, N. Y., Partida-Ruvalcaba, L., y Murillo-Amador, B. (2011). Opciones de manejo sostenible del suelo en zonas áridas: aprovechamiento de la halófito *Salicornia bigelovii* (Torr.) y uso de biofertilizantes en la agricultura moderna. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2), 157-167.
- Rueda-Puente, E. O., Murillo-Amador, B., Ortega-García, J., Rangel-Preciado, P., Nieto-Garibay, A., Holguín-Peña, R. J., López-Ahumada, G., Rodríguez-Félix, F., Vargas-López, J. M., y Wong-Corral, F. J. (2017). Desarrollo natural de la halófito *Salicornia bigelovii* (tor.) En zona costera del estado de Sonora. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1), 1-9.
- Santos-Díaz, M. D. S. S., Barba-de La Rosa, A. P., Héliers-Toussaint, C., Guéraud, F., y Nègre-Salvayre, A. (2017). *Opuntia* spp.: Characterization and benefits in chronic diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8634249>
- Sauceda, E. N. R., Martínez, G. E. R., Valverde, B. R., Ruiz, R. M., Hermida, M. D. L. C. C., Torres, S. M. M., y Ruiz, H. H. P. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-193.
- Sifuentes-Rodríguez, N. S., Pedroza-Sandoval, A., Zegbe, J. A., y Trejo-Calzada, R. (2020). Indicadores de productividad y calidad de gel de sábila en condiciones de estrés salino. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(2), 181-187.
- Snyman, H. A. (2006). Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. *South African Journal of Botany*, 72(3), 434-441. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2005.12.008>
- Troyo-Diéguez, E., Mercado-Mancera, G., Cruz-Falcón, A., Nieto-Garibay, A., Valdez-Cepeda, R. D., García-Hernández, J. L., y Murillo-Amador, B. (2013). Análisis de la sequía y desertificación mediante índices de aridez y estimación de la brecha hídrica en Baja California Sur, noroeste de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (85), 66-81. <https://doi.org/10.14350/riq.32404>

Vargas-Mena Amezcua, A., y Yañez-Sandoval, A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental?. Gaceta Ecológica, Boletín de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT (70), 5-56.

Villegas-Espinoza, J. A., Rueda-Puente, E. O., Murillo-Amador, B., Puente, M. E., Ruiz-Espinoza, F. H., Zamora-Salgado, S., y Beltrán Morales, F. A. (2014). Bacterias promotoras de crecimiento de plantas autóctonas y su efecto en *Prosopis chilensis* (Molina) Stunz. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(6), 1041-1053.

Para citar esta obra:

Seminario Peña, J., A. Nieto Garibay *, E. Troyo Diéguez y B. Amador Murillo 2025. Recursos vegetales emergentes para la agricultura de zonas áridas ante el agotamiento hídrico y el cambio climático. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 505-527). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.

