

Biotecnología aplicada a la milpa: esperanza para comunidades agrícolas frente al cambio climático

¹Jesús Mireya Higuera Rubio, ²José Ricardo Rendón de Anda,
²Ayesha Peraza Magallanes, ²Carlos Ligne Calderón Vázquez.

¹Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) - Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Sinaloa, Guasave, Sinaloa, México.

²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa - Instituto Politécnico Nacional.

Correo electrónico: ccalderon@ipn.mx , jhiguar@ipn.mx



RESUMEN

La milpa, sistema agrícola mesoamericano, enfrenta retos significativos debido al cambio climático y el abandono del campo. En regiones como Sinaloa, la disminución de lluvias y el aumento de temperaturas han reducido hasta en un 88% la superficie sembrada de maíz nativo, poniendo en riesgo la producción de alimentos y la diversidad genética. A pesar de su menor rendimiento frente al monocultivo, la milpa ofrece ventajas: combina maíz, frijol, calabaza y otras especies en un sistema que garantiza diversidad nutricional, resiliencia ecológica y conservación de la biodiversidad. Reconocida por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) como patrimonio agrícola, es alternativa sostenible frente a la agricultura intensiva de la Revolución Verde. Ante este panorama, la biotecnología se presenta como una aliada. El uso de microorganismos nativos y la incorporación de biofertilizantes o biopesticidas permiten fortalecer la milpa sin romper su equilibrio ecológico. Iniciativas comunitarias ya muestran resultados alentadores, desde biorreactores

locales hasta programas de mejoramiento participativo que incrementan rendimientos sin perder identidad cultural. El futuro de la soberanía alimentaria en México dependerá de articular conocimiento ancestral y ciencia. La milpa, potenciada con biotecnología respetuosa y accesible, puede consolidarse como un modelo sustentable, capaz de alimentar a las comunidades en tiempos de incertidumbre climática.

Palabras clave: biotecnología, cambio climático, milpa, agricultura sustentable, comunidades rurales

ABSTRACT

The milpa, a Mesoamerican agricultural system, faces significant challenges due to climate change and rural abandonment. In states such as Sinaloa, decreasing rainfall and rising temperatures have reduced the area cultivated with native maize by up to 88%, threatening both

food production and genetic diversity. Despite its lower yields compared to monoculture, the milpa offers key advantages: it combines maize, beans, squash, and other species in a system that ensures nutritional diversity, ecological resilience, and biodiversity conservation. Recognized by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) as agricultural heritage, it stands as a sustainable alternative to the intensive farming promoted by the Green Revolution. In this context, biotechnology emerges as an ally. The use of native microorganisms and the incorporation of biofertilizers or biopesticides strengthen the milpa without disrupting its ecological balance. Community initiatives are already showing promising results: from local bioreactors to participatory breeding programs that increase yields while preserving cultural identity. The future of food sovereignty in Mexico will depend on taking together ancestral knowledge and science. The milpa, enhanced through respectful and accessible biotechnology, can become a sustainable model capable of nourishing communities in times of climate uncertainty.

Keywords: biotechnology, climate change, milpa, sustainable agriculture, rural communities



INTRODUCCIÓN

"Han pasado ya 4 años que prácticamente no llueve. Mi parcela está abandonada porque no tengo manera de sembrar...". Este testimonio de un agricultor en la sierra de Sinaloa revela una realidad alarmante: la desertificación y el abandono del campo están desplazando cultivos y a las personas. Comunidades rurales enfrentan una doble amenaza: el deterioro ambiental y el abandono generacional. Aunque en las ciudades las personas aún acceden a alimentos sin percibir los efectos inmediatos del cambio climático, son las comunidades rurales que viven de la agricultura de subsistencia quienes lo sienten primero y con mayor intensidad.

Un análisis reciente de los factores agroclimáticos que limitan la productividad de maíz nativo en comunidades rurales de Sinaloa indica una reducción sustancial del 88,6% en la superficie de siembra y producción, debido a la disminución de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas en los últimos años (desde 1985 hasta 2025) (Higuera et al., En prensa). En la Figura 1, se observan niveles de sequía excepcionales (CONAGUA 2025; SMN 2025), afectando zonas donde se practica el sistema milpa. Hoy en día se ha documentado que la práctica del sistema milpa incluye una gran parte de México, incluyendo el noroeste del país (Higuera et al. En prensa).

Por otra parte, factores como la inseguridad y la migración hacia zonas urbanas han orillado a los productores a abandonar el cultivo de maíz, lo cual pone en riesgo su diversidad genética y compromete la seguridad alimentaria de las comunidades (Higuera et al. En prensa).

México es uno de los países con mayor diversidad natural del mundo, por lo que es importante encontrar formas de cuidarla y, al mismo tiempo, seguir produciendo alimentos, incluso en condiciones ambientales difíciles. Ante este reto,

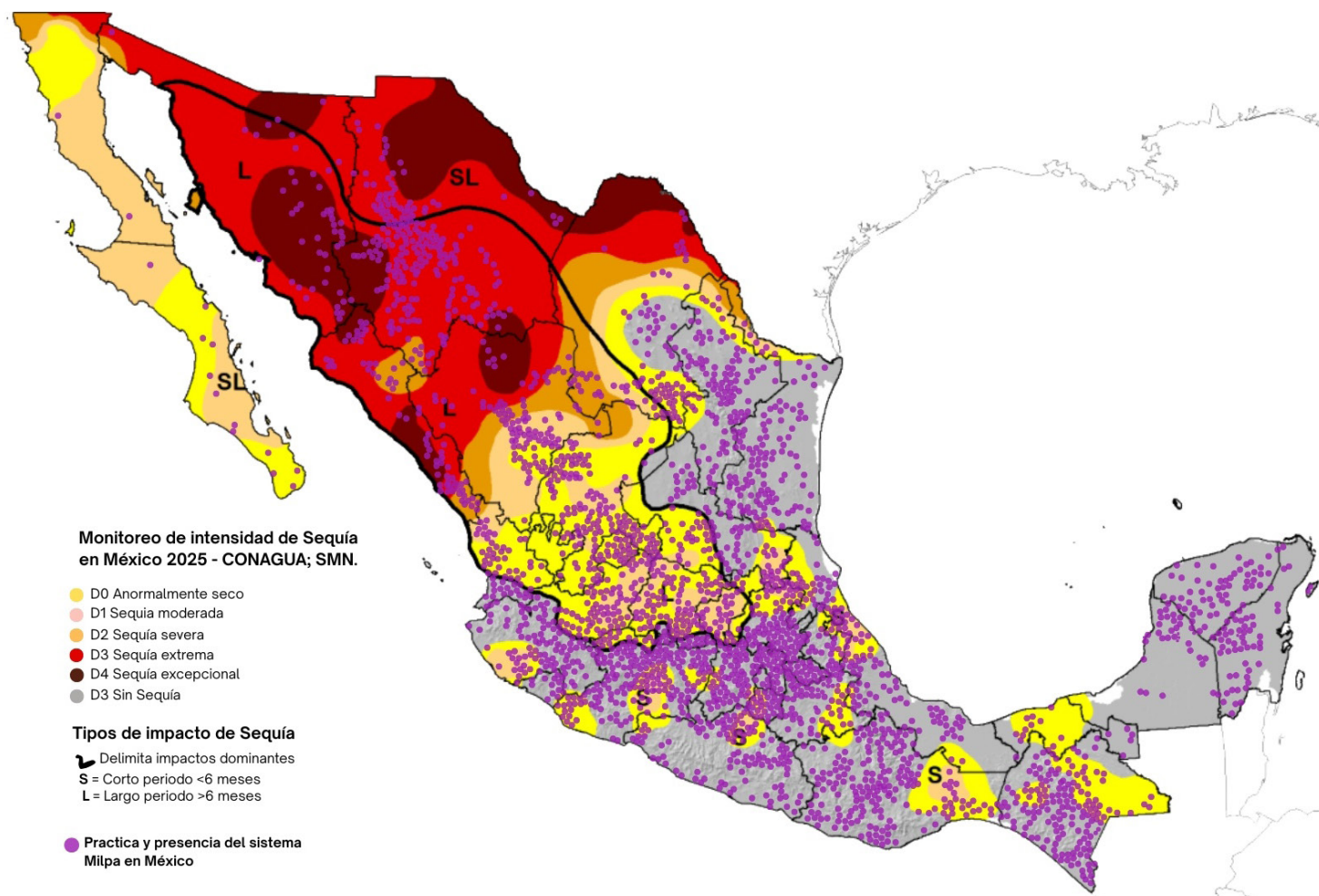


Figura 1. Monitoreo de intensidad de sequía en México del 2025 (modificada de CONAGUA 2025; SMN, 2025) y la presencia del sistema Milpa. Se muestran las categorías de sequía (D0: Anormalmente seco, D1: Sequía moderada, D2: Sequía severa, D3: Sequía extrema, D4: Sequía excepcional, DS: Sin sequía), así como los tipos de impacto de sequía predominantes (S: Corto periodo <6 meses, L: Largo periodo >6 meses). Las áreas con puntos color púrpura representan la práctica y presencia del sistema Milpa.

la milpa es una forma tradicional y sostenible de cultivar, mientras que la biotecnología ofrece herramientas modernas para potencializar la producción de alimentos.

Ahora bien, si el sistema milpa representa tantas ventajas, ¿por qué su uso disminuye y no ha sido adoptado ampliamente en el mundo? ¿Cuáles son los retos que enfrenta y cómo es que este sistema puede ayudar a producir alimentos en condiciones críticas ante las condiciones ambientales que estamos enfrentando? Y, por último, ¿cómo la biotecnología aplicada a la milpa podría aportar soluciones para enfrentar estos retos? En este sentido, este artículo busca mostrar cómo la combinación del sistema tradicional de cultivo que llamamos milpa en conjunto con soluciones biotecnológicas puede converger en un modelo de agricultura sustentable con rostro humano y amigable con el ambiente que ayude a responder a estas preguntas planteadas.

2

EL SISTEMA MILPA: TRADICIÓN CON FUTURO

2.1. Milpa, un sistema agroecológico milenario

La milpa ha persistido por más de 7.000 años; es un sistema de policultivo en el que en un mismo espacio se cultivan diferentes especies de plantas que combina diversidad biológica, adaptación climática y participación comunitaria. Una de las combinaciones más comunes es la siembra de maíz, frijol y calabaza, conocida como la “triada mesoamericana”. Cada planta cumple una función ecológica específica que mejora el rendimiento del sistema (González Díaz et al. 2017). Mientras que el frijol fija nitrógeno, el maíz actúa como soporte y aporta hierro, y la calabaza cubre la tierra, reduciendo evaporación, erosión y disminuyendo la aparición de maleza. La milpa también actúa como refugio de especies nativas de plantas, insectos y microorganismos benéficos (Altieri et al. 2015).

En contraste con el monocultivo moderno, la milpa produce diversos nutrientes al mismo tiempo y otorga beneficios referentes a 4 ejes que se ilustran en la Figura 2. Una hectárea de milpa puede alimentar hasta 13 personas con carbohidratos y 10 con proteínas, así como diversos antioxidantes y vitaminas, siendo más eficiente nutricionalmente (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, (CIMMYT) 2018). El sistema milpa también tiene un importante contexto cultural reconocido a nivel internacional (Figura 2).

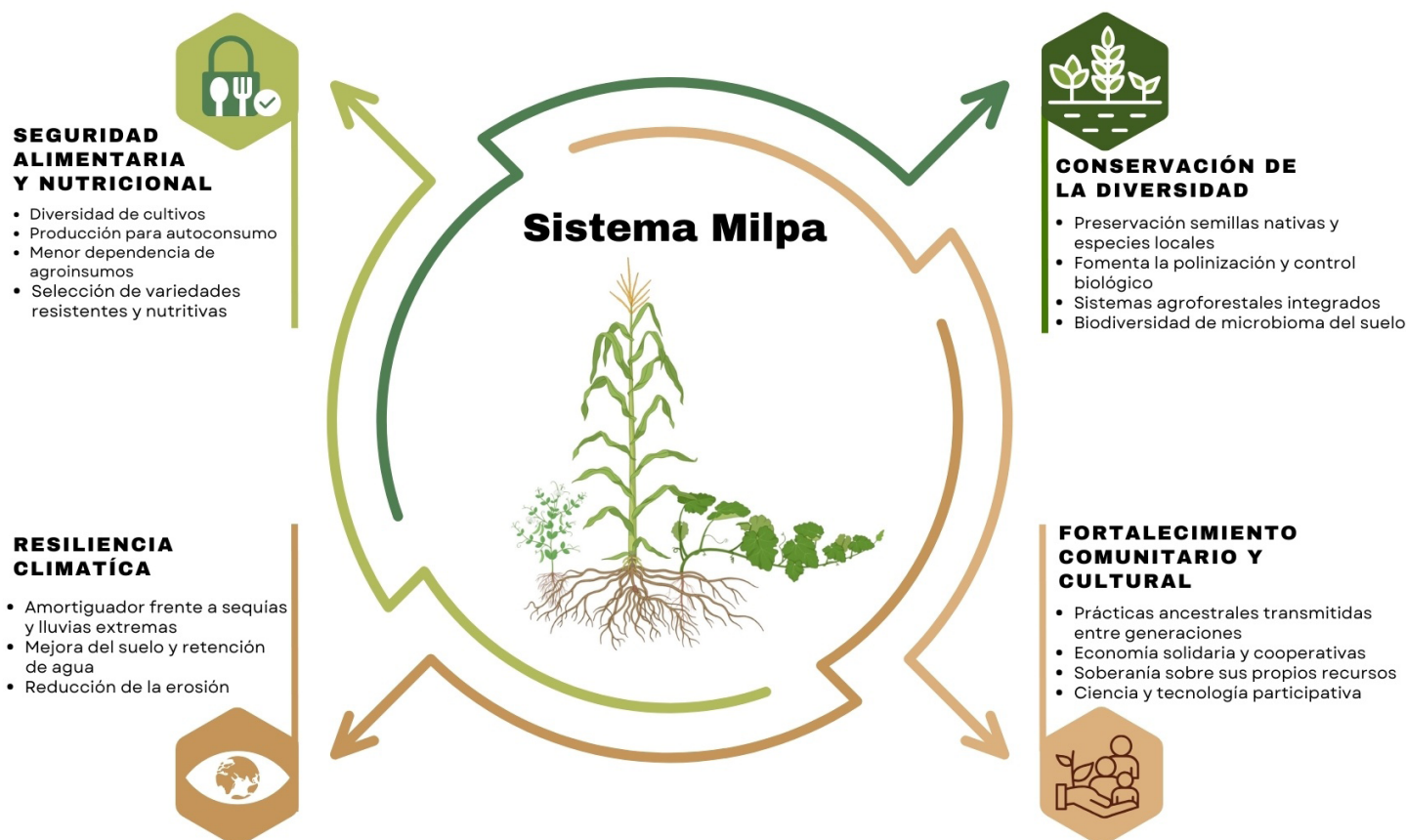


Figura 2. El sistema Milpa y sus beneficios integrales. Este diagrama circular representa las múltiples dimensiones y ventajas del sistema agrícola tradicional Milpa.

Existen también retos a vencer. El rendimiento de maíz cultivado en milpa está muy por debajo de lo reportado para monocultivo, el cual oscila entre 0.8 t/ha y 5 t/ha (Sosa-Cabrera y González-Amaro 2022). Esto se debe a que no es un sistema cultivado de manera intensiva, sin insumos externos como en el sistema de monocultivo. Además, se siembran semillas criollas adaptadas a condiciones locales, pero no necesariamente seleccionadas para producir grandes volúmenes de grano como las comerciales. La milpa prioriza la interacción ecológica y la resiliencia sobre el rendimiento; además, está diseñado para garantizar la seguridad alimentaria y la diversidad, no para maximizar un solo cultivo (Morales Valenzuela et al. 2022)

2.2. Lecciones de la revolución verde

La revolución verde tiene el mérito de haber triplicado la producción de cultivos básicos. El término “revolución verde” se refiere a un periodo en 1940 dedicado a la aplicación de ciencia y tecnología para el incremento del rendimiento liderado principalmente por Norman Borlaug en el CIMMYT, dejando de lado el equilibrio con el ambiente se desarrollaron nuevas variedades de trigo y maíz mediante mejoramiento genético y el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas (Burton 2009; van Etten 2022; Morales- Zepeda 2008). Estos cambios también trajeron la degradación del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de variedades tradicionales (Altieri y

Nicholls 2020). Hoy en día, se reconoce que las prácticas promovidas durante la revolución verde no son sostenibles a largo plazo. Por lo anterior, existe la creciente relevancia de las prácticas agronómicas sustentables, en conjunto con el desarrollo de herramientas biotecnológicas, por lo que esto ha motivado a una revalorización del sistema milpa .



3

LA BIOTECNOLOGÍA SE VA A LA MILPA

La biotecnología es el uso de seres vivos como bacterias, hongos o plantas para crear productos útiles o resolver problemas a la humanidad. En este sentido, ¿cómo podemos aplicar la biotecnología para potenciar el sistema milpa, pero sin romper la armonía entre sus componentes? Por mucho tiempo se ha creído que el uso de herramientas biotecnológicas atenta contra la naturaleza. La clave está en que la biotecnología no sustituya al sistema milpa, sino que lo complementa. Por ejemplo, podemos aplicar biotecnología en el uso de microorganismos nativos benéficos del suelo para mejorar la disponibilidad de nutrientes sin alterar la microbiota, seleccionando cepas nativas manteniendo la compatibilidad ecológica (Toledo y Barrera-Bassols 2008) (Figura 3). De hecho, ya se han desarrollado inoculantes microbianos nativos (rizobacterias, micorrizas, solubilizadores de fósforo y fijadores de nitrógeno) aislados de suelos



poco procesados, reduciendo el uso de fertilizantes químicos y fortaleciendo la nutrición de las plantas (Herrera-Estrella y Gutiérrez-Corona 2021). Otro claro ejemplo es la empresa biotecnológica SOLENA que analiza el microbioma del suelo y con inteligencia artificial ayuda a los agricultores a optimizar el uso del suelo y sus microorganismos nativos, reduciendo el uso de agroquímicos. Por otra parte, en proyectos comunitarios del programa Sembrando Vida, se usan biorreactores comunitarios para la producción local de inoculantes microbianos que mejoran los suelos.

Figura 3. La biotecnología moderna aplicada al sistema milpa mediante el uso de microorganismos nativos beneficiosos (bacterias y hongos) permite mejorar la nutrición del maíz y frijol, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos y manteniendo la armonía ecológica.



3.1. Variedades nativas resilientes frente al cambio climático

La biotecnología ha desarrollado variedades criollas mejoradas, manteniendo su adaptabilidad y fortaleciendo características nutricionales o tolerancia al estrés. Como ejemplo, Soleri et al. (2000) realizaron mejoramiento genético participativo con pequeños productores, para la selección e identificación de plantas con mejores rendimientos dentro de sus variedades criollas.

En México, el mejoramiento genético participativo ha mostrado resultados en distintas regiones. En el Estado de México, tres ciclos de selección colaborativa de maíces criollos incrementaron el rendimiento promedio de 3300 a 4100 kg/ha, con materiales preferidos por los propios agricultores al mantener características culturales valoradas (Cleveland et al. 2002). En Veracruz, comunidades Popoluca y Náhuatl adoptaron prácticas participativas de selección de semilla, de mazorca y en almacenamiento, lo

que mejoró la calidad del material de siembra (Rice et al. 1998). En Oaxaca, programas de mejoramiento participativo (PPB) han generado variedades de maíz nativo en Costa, Papaloapan y Mixteca, favoreciendo la conservación *in situ* de la diversidad y un nivel de adopción alto (CIMMYT 2009). En Puebla y Tlaxcala se impulsa el PPB con maíces nativos mediante ciclos de selección participativa, con buena aceptación comunitaria aunque aún sin reportes publicados de rendimientos ni tasas de adopción (CIMMYT 2024). Finalmente, tecnologías como la edición génica ofrecen posibilidades más precisas para modificar cultivos sin recurrir a transgénicos, respetando las preocupaciones culturales de muchas comunidades. El CIMMYT destaca que esta herramienta permite desarrollar semillas mejoradas con resistencia a enfermedades como la necrosis letal del maíz o biofortificación, reduciendo la dependencia de insumos y apoyando la biodiversidad.

3.2. Tecnologías accesibles para pequeños productores

El reto no solo es desarrollar tecnología, sino también garantizar que sea asequible, comprensible y adaptable. Las iniciativas biotecnológicas como el desarrollo de bioinsumos y biofertilizantes nativos implementadas por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) (Estrada et al. 2017), o el programa de desarrollo de variedades de maíz y trigo para el cambio climático, como sequía y suelos pobres desarrollado por CIMMYT y el programa de desarrollo de biopesticidas a base de hongos entomopatógenos y bacterias del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) han mostrado que la transferencia de conocimientos debe incluir el intercambio de información, habilidades, experien-

cias y tecnologías entre entidades científicas y comunidades, reconociendo a los campesinos como expertos de su entorno (Altieri y Toledo 2011). Herramientas como kits de diagnóstico de patógenos o bioinsumos locales pueden integrarse fácilmente si se acompañan de validación en campo, así como la intervención social por académicos.



4

EXPERIENCIAS DESDE EL CAMPO

El Grupo de Genómica Funcional del CIIDIR Sinaloa trabaja con comunidades rurales del norte de Sinaloa para documentar prácticas agrícolas, conservar variedades nativas e introducir herramientas biotecnológicas accesibles. El objetivo es fortalecer los puentes entre la investigación y las necesidades reales del campo. Así mismo se ha trabajado con comunidades de los municipios de Choix, El Fuerte y Sinaloa que enfrentan sequías extremas para crear iniciativas de con-

servación de maíces nativos de gran valor agronómico y social (Figura 4). La colaboración ha incluido colectas de semillas, talleres validación de bioinsumos elaborados localmente. En conjunto con el programa Sembrando Vida se ha creado una red de trabajo para capacitaciones técnicas. Estas experiencias muestran que la biotecnología no debe llegar como una imposición externa, sino como una construcción compartida basada en confianza (Morales Valenzuela et al. 2022).

Figura 4. Grupo de colaborativo en capacitación con de profesores investigadores del CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, Técnicos del programa gubernamental Sembrando Vida y ciudadanos de comunidades rurales del estado de Sinaloa.



5

CONCLUSIONES

La milpa representa más que un sistema de cultivo, es un patrimonio biocultural que ha garantizado la seguridad alimentaria por más de siete mil años. Frente a la crisis climática, la pérdida de biodiversidad y el abandono del campo, la milpa es una alternativa resiliente que combina nutrición, diversidad y sostenibilidad principalmente a comunidades rurales. Sin embargo, los retos actuales exigen complementar el conocimiento tradicional con herramientas modernas que fortalezcan sus beneficios. En este sentido, la biotecnología, cuando se aplica con respeto, pertinencia cultural y en colaboración con las comunidades, ofrece soluciones que van desde el uso de microorganismos nativos hasta la mejora participativa de semillas y el desarrollo de tecnologías accesibles. Lejos de sustituir la milpa, la ciencia puede potenciarla, convirtiéndola en un modelo de agricultura sustentable con rostro humano donde fortalece la resiliencia y asegura la soberanía alimentaria para las comunidades.



6 AGRADECIMIENTOS

A las comunidades rurales de Sinaloa por compartir su conocimiento, al equipo de Sembrando Vida Sinaloa por su compromiso para el beneficio comunitario.



Altieri MA, Funes-Monzote FR, Petersen P (2015) Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología* 10(1):7–20.

Altieri MA, Nicholls CI (2020) Agroecología para enfriar el planeta. *Biodiversidad, sustento y culturas*. 105:10–15.

Altieri MA, Toledo VM (2011) The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*. 38(3): 587–612.

Burton T (2009) Did you know? The Green Revolution began in Mexico [online]. MexConnect. <https://www.mexconnect.com/articles/3393-did-you-know-the-green-revolution-began-in-mexico/> [fecha de revisión 9 julio 2025].

CIMMYT (2009) Improved maize varieties for Oaxaca, Mexico. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

CIMMYT (2018) La milpa como sistema alimentario integral. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

CIMMYT (2024) En Puebla y Tlaxcala se impulsa el mejoramiento participativo de maíces nativos. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

Cleveland DA, Soleri D, Aragón-Cuevas F (2002) Participatory plant breeding with maize in Mexico and Honduras. *Agriculture and Human Values*. 19(1): 41–57. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2025) Estadísticas del agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [online]. <https://smn.conagua.gob.mx/> [fecha de revisión 10 junio 2025].

Estrada MT, López ME, Rojas JA (2017) Bioplaguicidas: alternativa ecológica en el control de plagas agrícolas. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 4(14): 45–58.

FAO (2004) El estado de la biotecnología agrícola en los países en desarrollo: La necesidad de evaluar la capacidad para

generar y adaptar tecnologías adecuadas (cap. 5) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [online]. <https://www.fao.org/4/y5160s/y5160s07.htm> [fecha de revisión 15 julio 2025].

González-Díaz H, García-Barrios R, Cruz JA (2017) La milpa mesoamericana: una red agroecológica de policultivo tradicional. *Agroecología*. 12(1): 5–18.

Herrera-Estrella L, Gutiérrez-Corona F (2021) Microorganismos benéficos en la agricultura: retos y oportunidades. *Revista Mexicana de Biotecnología*. 6(2): 98–107.

Higuera-Rubio JM, Gaytán-Pinzón GP, Peraza-Magallanes AY, Sandoval-Castro E, Lara-Ponce E, Calderón-Vázquez CL (En prensa) Maíz nativo en Sinaloa y factores agroclimáticos y socioculturales que limitan su productividad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.

Morales Valenzuela J, Torres A, Hernández F (2022) Colaboración transdisciplinaria para la

resiliencia agrícola en el noroeste de México. *Revista Frontera Biotecnológica*. 4(2): 77–88.

Morales Valenzuela J, Torres A, Hernández F (2022) Colaboración transdisciplinaria para la resiliencia agrícola en el noroeste de México. *Revista Frontera Biotecnológica*. 4(2): 77–88.

Morales Zepeda F (2008) Redes institucionales y espacio geográfico: Pautas en el desarrollo regional de la agricultura en Sinaloa, México. En *Diez años de cambios en el mundo, en la geografía y en las ciencias sociales, 1999-2008. Actas del X Coloquio Internacional de Geocrítica*. Universidad de Barcelona. 26-30 de mayo de 2008.

Rice E, Smale M, Blanco JL (1998) Farmers' use of improved seed selection practices in Mexican maize: Evidence and issues from the Sierra de Santa Marta. *World Development*. 26(9): 1625–1640.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (2025) Base de datos climatológica nacional [online].

Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/> [fecha de revisión 23 Mayo 2025].

Smale M, Bellon MR, Aguirre A (2001) Farmer management of maize diversity in the Central Valleys of Oaxaca. CIMMYT.

Soleri D, Smith SE, Cleveland DA (2000) Evaluating the potential for farmer and plant breeder collaboration: A case study of farmer maize selection in Oaxaca, Mexico. *Euphytica*. 116: 41–57.

Sosa-Cabrera E, González-Amaro RM (2022) Profitability of corn (*Zea mays* L.) grown in milpa production systems in Oaxaca, Puebla, and Veracruz, México. *Agro Productividad*.

Toledo VM, Barrera-Bassols N (2008) La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. *Icaria*.

Van-Etten J (2022) Revisiting the adequacy of the economic policy narrative underpinning the Green Revolution. *Agriculture and Human Values*. 39(4): 1357–1372.