



MEMORIA DEL II SIMPOSIO INTERNACIONAL DE “MANEJO DE AGUA A PEQUEÑA ESCALA”



Congreso
Nacional y
Congreso
Internacional
de Riego, Drenaje y Biosistemas



M.C. Sergio Iván Jiménez Jiménez
M.C. Mariana de Jesús Marcial Pablo
Dr. Ignacio Sánchez Cohen
Dr. Marco Antonio Inzunza Ibarra
Compiladores

M.c. Sergio Iván Jiménez Jiménez
Dr. Ignacio Sanchez Cohen

Organizadores

Octubre

2024

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias





IX Congreso Nacional y Congreso Internacional de Riego, Drenaje y Biosistemas

100 años de producción en México



Comité Técnico



Dr. Alejandro Zemeño González
UAAAN



Dr. Erick Dante Mattos Villarroel
UAZ



Dr. Guillermo Cebada Reyes
ITSTeziutlán



Dr. José Luis Arellano Monterrosas
COMEI



Dr. Juan Munguía López
UAAAN



Dr. Julio Cesar Rodríguez
UNISON



Dr. Miguel Servín Palestina
INIFAP



Dr. Waldo Ojeda Bustamante
COMEI



Ing. Emilio Quintana Molina
Wageningen University



M.J. Eduardo Jiménez Hernández
Universidad de Arizona



M.C. Aaron Isain Melendres Alvarez
UAAAN



Dr. Abraham Rojano Aguilar
UACH



Dr. Agustín Ruíz García
UACH



Dr. Carlos Alberto Chávez García
UAQ



Dr. Ernesto Sifuentes Ibarra
INIFAP



Dr. Felipe José Antonio Pedraza Oropeza
COLPOS



Dr. Fidencio Cruz Bautista
UNISON



Dr. Jesús López Elías
UNISON



Dr. Juan Antonio Vidales Contreras
UANL



Dr. Juan Manuel González Camacho
COLPOS



Dr. Luis Alberto Villarreal Manzo
COLPOS Puebla



Dr. Luis Samaniego Moreno
UAAAN



Dr. Mauricio Camillo García
UACH



Dr. Ricardo Israel Ramírez Gottfried
UAAAN



Dr. Ronald Ernesto Ontiveros Capurata
CONACYT-IMTA



Dra. Guadalupe Hernández Eugenio
UACH



M.C. Fabiel Vázquez Cruz
BUAP



M.C. José Rodolfo Namuche Vargas
IMTA



M.C. Mariana de Jesús Marcial Pablo
INIFAP



M.C. Sergio Iván Jiménez Jiménez
INIFAP



M.J. Martín Rubén Jiménez Magaña
UNAM FES Aragón



Dr. Ignacio Sánchez Cohen
INIFAP



M.C. René Martínez Elizondo
UACH



Dr. Noé Velázquez López
UACH



Dr. José Reyes Sánchez
UACH



Dr. Jorge Víctor Prado Hernández
UACH



Dr. Javier De Jesús Cortés Bracho
UAAAN



Dra. Manuela Bolívar Duarte
UAAAN



M. Cándido Ramírez Ruiz
Consultor Independiente



II SIMPOSIO INTERNACIONAL DE “MANEJO DE AGUA A PEQUEÑA ESCALA”

MEMORIA

M.C. Sergio Iván Jiménez Jiménez

M.C. Mariana de Jesus Marcial Pablo

Dr. Ignacio Sánchez Cohen

Dr. Marco Antonio Inzunza Ibarra

Compiladores

M.c. Sergio Iván Jiménez Jiménez

Dr. Ignacio Sánchez Cohen

Organizadores

Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación (COMEI)

IX Congreso Nacional y II Congreso Internacional de Riego, Drenaje y Biosistemas

Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Texcoco, estado de México, México.

Octubre de 2024

PRESENTACIÓN

El manejo del agua agrícola a pequeña escala se refiere a las prácticas y técnicas que los agricultores, especialmente en pequeñas explotaciones o superficies, pueden implementar para optimizar el uso del agua en la producción agrícola. Se busca maximizar la eficiencia en el uso del agua, minimizar el desperdicio y asegurar una producción sostenible, incluso en regiones con recursos hídricos limitados.

El simposio tiene por objetivo mostrar los trabajos referentes al uso y manejo del agua en regiones específicas, además de los métodos o metodologías que se están empleando para la cuantificación y ahorro de este recurso, fundamental en la agricultura.

En nuestro primer simposio se tuvieron siete ponencias donde se habló sobre la pequeña irrigación en México, el uso del agua en pastizales, la micro regionalización en el uso y manejo del agua en zonas áridas, la importancia de mediciones en grandes periodos, el manejo del agua en la cacao cultura y el balance hídrico en pequeñas cuencas.

En esta ocasión, las ponencias presentaron información sobre la transferencia de tecnología, el uso del agua en acuíferos sobreexplotados como lo son los casos de Calera, Zacatecas y de Cuauhtémoc, Chihuahua y el uso del agua en plantaciones forestales, en el Estado de Campeche y en el Valle de Cauca, Colombia.

El video de introducción del simposio puede ser revisado en <https://youtu.be/OWMqngRtWyo>.

El Manejo del Agua a Pequeña Escala



24
 Octubre
 Jueves

09:00 – 14:00 hrs



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
 Departamento de Irrigación
Auditorio: Ing. Alberto Barrios Álvarez



Presentación de Simposio
 M.C. Sergio Iván Jiménez
 CENID-RASPA, INIFAP

Los USDA Climate Hubs facilitan la adaptación al cambio climático de la producción agropecuaria de los EE.UU. de Norte América
 Dr. Andrés F. Cibils – Dr. Barbara Bennett
 USDA-EEUU



Transferencia De Tecnología En Distritos De Riego (Estudio De Caso: DR006, Palestina, Coahuila)
 Dr. Ignacio Sánchez Cohen
 CENID-RASPA, INIFAP

Manejo del riego y la cobertura vegetal en los rendimientos del cacao (*Theobroma cacao L.*) en la zona plana del Valle del Cauca
 M.sc. Oscar Eduardo Trujillo Obando
 Universidad Nacional de Colombia sede Palmira



Manejo del agua en el agro campechano, México
 M.C. Jesús Soto Rocha
 INIFAP

Eficiencia en el uso del agua y fertilizantes en los sistemas de producción de planta forestal
 Dr. Erickson Basave Villalobos
 INIFAP



Manejo del riego en unidades de producción agrícola dentro del acuífero de calera, zacatecas
 Dr. Miguel Servin Palestina
 CEZAC, INIFAP

Eficiencia de operación de los sistemas de riego en el valle agrícola de Cuauhtémoc a través de la partición de los componentes del balance hidrológico
 Dr. Orlando Ramírez-Valle
 INIFAP

Sesión de preguntas
Clausura
 M.C. Sergio Iván Jiménez Jiménez – Dr. Ignacio Sánchez Cohen
 CENID-RASPA, INIFAP



ÍNDICE GENERAL

LOS USDA CLIMATE HUBS FACILITAN LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DE LOS EE.UU. DE NORTE AMÉRICA.....	5
Resumen.....	5
Introducción.....	6
Objetivos	7
¿Cómo operan los Centros Climáticos del USDA?	7
Ejemplos de la labor de los Centros Climáticos del USDA.....	8
Cambio climático y equidad	8
Referencias	8
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN DISTRITOS DE RIEGO (Estudio de caso: DR006, Palestina, Coahuila).....	9
Resumen.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos	10
Resultados y Discusión	11
Conclusiones.....	12
Referencias Bibliográficas.....	12
IMPACTO DEL RIEGO Y LA COBERTURA VEGETAL EN LOS RENDIMIENTOS DE CACAO (<i>THEOBROMA CACAO</i> L.) EN LA ZONA PLANA DEL VALLE DEL CAUCA	13
Resumen.....	13
Introducción.....	14
Materiales y Métodos	14
Resultados y Discusión	16
Referencias Bibliográficas.....	18
MANEJO DEL AGUA EN EL AGROCAMPECHANO, MÉXICO	20
Resumen.....	20
Introducción.....	21
La disponibilidad del recurso hídrico en el estado de Campeche.	21
Agricultura de temporal y de riego en el estado de Campeche.....	26

Infraestructura hidroagícola en México y el estado de Campeche.....	29
Conclusiones.....	32
Referencias Bibliográficas.....	33
EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA Y FERTILIZANTES EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE PLANTA FORESTAL.....	35
Resumen.....	35
Introducción.....	36
Materiales y Métodos	37
Resultados y Discusión	38
Conclusiones.....	41
Referencias Bibliográficas.....	41
MANEJO DEL RIEGO EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DENTRO DE ACUÍFERO DE CALERA ZACATECAS	42
Resumen.....	42
EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO EN EL VALLE AGRÍCOLA DE CUAUHTÉMOC A TRAVÉS DE LA PARTICIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BALANCE HIDROLÓGICO.	43
Resumen.....	43
Introducción.....	44
Materiales y métodos	45
Resultados	45
Conclusiones.....	47
Literatura.....	47

LOS USDA CLIMATE HUBS FACILITAN LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DE LOS EE.UU. DE NORTE AMÉRICA

Andrés F. Cibils¹; and Barbara Bennett²

¹USDA Southern Plains Climate Hub, USDA ARS OCPARC, El Reno, OK, USA

²USDA International Climate Hub, USDA FAS, Washington DC, USA

Resumen

Los Centros Climáticos (Climate Hubs), del Departamento de Agricultura de los EE. UU. de Norte América (USDA) fueron creados hace 10 años y constituyen una red de 11 núcleos distribuidos a través del país. La misión de la red de Centros es la de apoyar a productores agropecuarios en cada región facilitando el flujo de información climática y tecnologías necesarias para la toma de decisiones que reduzcan el riesgo y fortalezcan la resiliencia de la producción agropecuaria. Los Centros buscan proveer información y recursos relevantes para la toma de decisiones que ayuden a atenuar los efectos del cambio climático sobre la producción agropecuaria. Los mismos colaboran con otras dependencias del gobierno federal, con el servicio de extensión de los estados y los municipios en los que operan, con universidades, y ONG, entre otros. El objetivo de este trabajo es describir cómo operan los Centros Climáticos del USDA y destacar los logros obtenidos en sus primeros 10 años de existencia. A la vez, se describen herramientas y metodologías de planificación desarrolladas por la red que podrían ser útiles para reducir la vulnerabilidad climática de la producción agrícola y pecuaria en otros países.

Palabras clave: Adaptación, Mitigación, Resiliencia

Introducción

Los Centros Climáticos (Climate Hubs), del Departamento de Agricultura de los EE. UU. de Norte América (USDA) fueron creados hace 10 años y constituyen una red de 11 núcleos distribuidos a través del país (Fig.1). El énfasis de cada Centro Climático es regional, excepto en el caso del recientemente formado Centro Climático Internacional, cuya función es poner a disposición de colaboradores internacionales los recursos desarrollados por la red nacional de Centros regionales. La misión de la red de Centros es la de apoyar a productores agropecuarios en cada región facilitando el flujo de información climática y tecnologías necesarias para la toma de decisiones que reduzcan el riesgo y fortalezcan la resiliencia de la producción agropecuaria.



Figura 1. Ubicación geográfica de los Centros Climáticos del Departamento de Agricultura de los EE.UU. de N.A. El Centro Climático Internacional (que no aparece en este mapa) está ubicado en Washington DC.

En la actualidad, los Centros Climáticos forman una red de más de 120 investigadores y comunicadores del clima del USDA que trabajan con socios regionales (Universidades, ONG, etc.) para cumplir la misión de facilitar la adaptación al cambio climático e incrementar la resiliencia de la producción agropecuaria. Los Centros son el resultado de una colaboración de varias

agencias del USDA, entre ellas el Servicio de Investigación Agrícola (ARS), el Servicio Forestal (USFS) y el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), y actúan como

multiplicadores de la ciencia y los servicios climáticos generados por el USDA. Los Centros también coordinan sus actividades con el Servicio Geológico de EE. UU. (USGS) y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), quienes también cuentan con organizaciones regionales para el cambio climático.

Objetivos

El objetivo de este trabajo es describir cómo operan los Centros Climáticos del USDA y destacar los logros obtenidos en sus primeros 10 años de existencia. A la vez, se describen herramientas y metodologías de planificación desarrolladas por la red que podrían ser útiles para reducir la vulnerabilidad climática de la producción agrícola y pecuaria en otros países.

¿Cómo operan los Centros Climáticos del USDA?

Los Centros Climáticos se dedican a la coproducción de conocimiento y herramientas colaborando con los usuarios, sean productores, extensionistas, asesores, u otros profesionales que se desempeñan en el ámbito agropecuario (Figura 2). Tres líneas de trabajo caracterizan el día-a-día de la labor de los Centros. Estas son: 1) síntesis de datos y transferencia de información; 2) generación de tecnología y herramientas (generalmente, herramientas de soporte de decisión); y 3) educación, divulgación y difusión. Los Centros buscan proveer información y recursos relevantes para la toma de decisiones que ayuden a atenuar los efectos del cambio climático sobre la producción agropecuaria. Los Centros colaboran con otras dependencias del gobierno federal, con el servicio de extensión de los estados y los municipios en los que operan, con universidades, y ONG, entre otros.

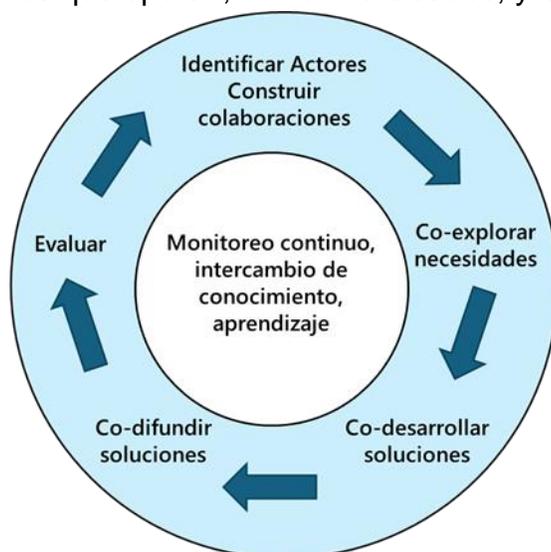


Figura 2: La metodología de coproducción de soluciones para la adaptación al cambio climático en la agricultura empleada por los Centros Climáticos del USDA (Adaptado de Vincent et al. 2018).

Ejemplos de la labor de los Centros Climáticos del USDA

A continuación, se listan algunos productos del trabajo de los primeros 10 años de labor de la red a modo de ejemplo. En cada caso se provee un enlace al sitio web que ofrece mayores detalles.

- **Migración asistida de germoplasma forestal:** Una herramienta de soporte de decisiones para la migración poblacional asistida de especies forestales en el estado de Washington en el noroeste de los EE.UU. (ver [enlace](#)).
- **Adaptación al cambio climático en los trópicos:** Se elaboraron guías de adaptación al cambio climático para la agricultura y el manejo de bosques en los trópicos (ver [enlace](#)).
- **Selección de germoplasma forestal:** Se desarrolló una herramienta para seleccionar germoplasma adaptado para revegetar áreas de incendio o degradación (ver [enlace](#)).
- **WATA:** Se generó un atlas con información local sobre estrategias de adaptación a condiciones de escasez de precipitación y agua de riego (ver [enlace](#)).
- **Vulnerabilidad al cambio climático de los principales cultivos:** Se evaluó la vulnerabilidad al cambio climático de las regiones principales de cultivo del centro-oeste de los EE.UU. (ver [enlace](#)).
- **Grass-Cast:** Se generó una herramienta de predicción estacional de la producción de forraje para pastoreo en agostaderos de la zona oeste de las Grandes Planicies de los EE.UU. (ver [enlace](#)).
- **Agro-Climate:** una serie de herramientas con información meteorológica para la toma de decisiones en la producción de cultivos en el SE de los EE.UU. y el Caribe (ver [enlace](#)).

Cambio climático y equidad

Los Centros apoyan el enfoque del USDA sobre la equidad y el acceso a los programas y la Iniciativa Justice40. Los Centros participan en programas orientados a ayudar a las comunidades a aumentar su resiliencia ante fenómenos meteorológicos extremos y proporcionando materiales para contribuir a mejorar la seguridad alimentaria y apoyar la salud mental. Este trabajo incluye colaboraciones con comunidades indígenas y otros grupos sociales minoritarios para desarrollar y ofrecer información y tecnologías específicas de la región que apoyen la toma de decisiones basadas en información climática.

Referencias

Vincent, K., Daly, M., Scannell, C., & Leathes, B. (2018). What can climate services learn from theory and practice of co-production? *Climate Services*, 12, 48–58. doi: 0.1016/j.cliser.2018.11.001.

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN DISTRITOS DE RIEGO (Estudio de caso: DR006, Palestina, Coahuila)

Ignacio Sánchez Cohen^{1*}; Sergio Iván Jiménez Jiménez¹; Mariana de Jesús Marcial Pablo³; Marco Antonio Inzunza Ibarra¹

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Plata Atmósfera (INIFAP – CENID RASPA), C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango, México.

Correo electrónico: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx - 8711499336 (*Autor de correspondencia)

Resumen

Una de las principales vicisitudes para el incremento en la eficiencia global del uso de agua en distritos de riego en México, es la carencia de tecnología y esquemas analíticos de información a nivel gerencial. El presente trabajo se focaliza en la transferencia de tecnología de riego a diferentes niveles jerárquicos de toma de decisiones en distritos de riego: Gerencial y usuarios del riego. A nivel gerencial se ha transferido un sistema computacional que optimiza patrones de cultivo; a nivel usuario se ha transferido tecnología de aforo de regaderas para incrementar la eficiencia parcelaria en el uso del agua. Ambos esquemas de transferencia fueron bien aceptados por los receptores. Tras el entrenamiento en procesos de aforo a nivel de regaderas en parcelas de los productores, los usuarios se han interesado en adquirir la instrumentación necesaria para el aforo en aras de realizar la actividad de manera sistemática durante el ciclo de riego. Con el conocimiento del volumen disponible, es posible planear de manera más efectiva las láminas de agua de riego para los cultivos, así como los tiempos de riego lo cual es crucial en la operación de los distritos de riego para no afectar los turnos en las dotaciones volumétricas.

Palabras claves: Optimización, tecnología de riego, usuarios.

Introducción

La competencia por el recurso agua en los diferentes sistemas productivos de los que depende la economía nacional, es cada día más evidente y pronunciado. Aunado a esto, las sequías recurrentes en gran parte del país, ha añadido incertidumbre a la actividad agropecuaria, principalmente a los distritos de riego, que dependen del agua en embalses para los procesos de riego, (Quiñones, et al, 1999). Ante esta situación, usuarios y tomadores de decisiones, requieren de asistencia técnica – analítica para sustentar los cursos de acción pertinentes para prevenir o mitigar el impacto que impone la escases de agua en los embalses, (Sánchez et al 2022). En el presente trabajo se hace referencia al proceso de transferencia de tecnología a un distrito de riego. Esta transferencia se realizó a dos niveles de toma de decisiones: a) a usuarios del riego en el distrito de riego y b) a tomadores de decisiones a nivel gerencial. En el primero, se realizó un taller de aforo del agua de riego en las parcelas de los productores; en el segundo, se presentó una plataforma computacional para obtener el patrón de cultivos que maximice el ingreso neto de los productores y la productividad del agua en ecosistemas con déficit hídrico.

Materiales y Métodos

Para el entrenamiento en aforo del agua de riego, éste se realizó en parcelas de productores midiendo el caudal de entrega por parte del distrito de riego utilizando para el efecto un aforador volumétrico.



Figura 1. Entrenamiento a productores del aforo del agua de riego en sus regaderas.

En cuanto a la transferencia a nivel gerencial, ésta se llevó a cabo en las oficinas del distrito de riego donde se presentó la plataforma computacional para optimizar patrones de cultivo.

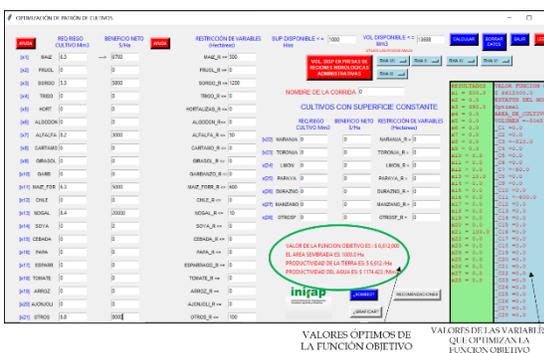


Figura 2. Presentación de la plataforma computacional para optimizar patrones de cultivo en los distritos de riego

Resultados y Discusión

El entrenamiento a los usuarios sobre el aforo del agua para riego en regaderas tuvo aceptación habiendo despertado el interés de los productores para adquirir el aforador volumétrico para mediciones periódicas. Sin embargo, también se mostró el procedimiento para aforar regaderas con el método del flotador. Este último tiene una aproximación de 80% con el método del aforador volumétrico.



Figura 3. Aforador volumétrico. Incluye una pequeña computadora para el análisis y despliegue de información

El sistema computacional para la optimización de patrones de cultivo, también tuvo el impacto esperado con el personal del distrito de riego. La Figura 4 muestra las salidas del modelo de manera gráfica. Este sistema tiene integradas ayudas para la explicación en su uso, así como recomendaciones para incrementar la eficiencia del agua de riego a nivel parcelario.

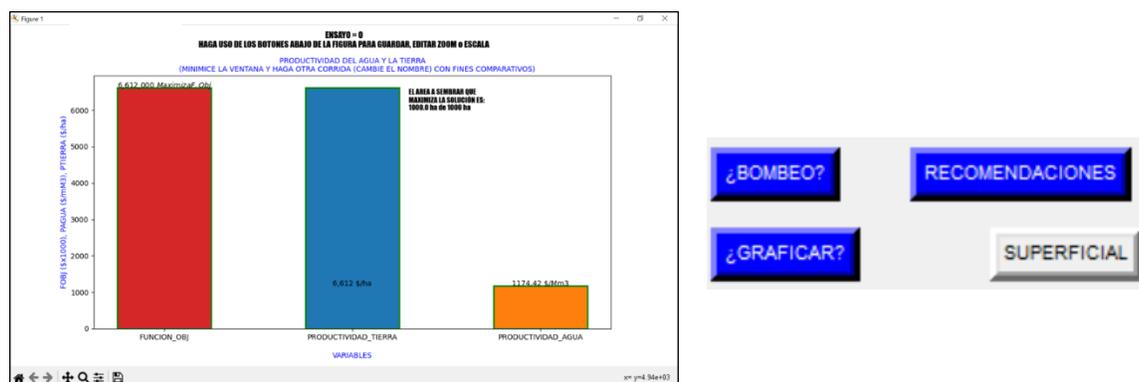


Figura 4. Opción de salida gráfica del modelo de optimización y botones para desplegar recomendaciones para incrementar la eficiencia el uso del agua a nivel parcelario. (Sánchez, et al 2022).

Conclusiones

Se espera que, con la adquisición del equipo de aforo por parte de los usuarios, se tenga más conciencia de la importancia del buen uso y manejo del agua de riego. Es importante que se incentive los esquemas de la trasferencia de tecnología a los usuarios de riego por parte de las dependencias federales y estatales en cuyo mandato se encuentra salvaguardar los recursos naturales.

Referencias Bibliográficas

- Quiñones Pedroza Hector, Helene Unland, Waldo Ojeda, and Ernesto Sifuentes 1999. Transfer of irrigation scheduling technology in México. *Agricultural Water Management*. Volume 40, Issues 2–3, Pages 333-339
- Sánchez Cohen., J. Estrada Avalos and G. González Cervantes. 2002. Irrigation Technology in the Irrigation Districts of México. *Water International*, Volume 27, No. 4 Pages 578-584.
- Sánchez Cohen, I. S. Iván Jiménez Jiménez, M. de Jesús Marcial Pablo y M. Antonio Inzunza Ibarra. 2022. OPTDIS: Plataforma para optimizar el ingreso neto en distritos de riego bajo condiciones de sequía hidrológica. *XII Reunión Nacional de Investigación Agrícola*. Villahermosa, Tabasco. Pp 71 -73.

IMPACTO DEL RIEGO Y LA COBERTURA VEGETAL EN LOS RENDIMIENTOS DE CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.) EN LA ZONA PLANA DEL VALLE DEL CAUCA

Oscar Eduardo Trujillo Obando^{1*}; Enrique Alejandro Torres Prieto²

¹Facultad Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Palmira Valle del Cauca

oetrujilloo@unal.edu.co – (57 - 3163989040)*

²Facultad Ingeniería y administración. Universidad Nacional de Colombia. Palmira Valle del Cauca

Resumen

El estudio se llevó a cabo en la granja de FEDECACAO en Andalucía, Valle del Cauca, utilizando un diseño experimental jerárquico con dos factores. El factor A incluyó cuatro combinaciones de niveles de sombreado y riego en cultivos de cacao: sin riego (57% de sombra), riego del 50% de ETc (79% de sombra), riego del 80% de ETc (84% de sombra) y riego del 100% de ETc (27% de sombra). El factor B correspondió a dos clones de cacao, EET-8 e ICS-1. Se utilizó un dron para analizar el grado de sombreado y se aplicó la metodología FAO 56 para determinar la lámina de riego, considerando un balance entre la evapotranspiración y la precipitación. El estudio indica que la combinación de un manejo hídrico adecuado y niveles óptimos de sombreado por debajo del 30% son cruciales para maximizar el rendimiento del cacao en el Valle del Cauca. Se encontró que condiciones con menor sombra y riego adecuado que garanticen la reposición total de las demanda evapotranspirativas generan mayores producciones, mientras que el clon EET-8 mostró una mejor respuesta en comparación con ICS-1. Estos hallazgos subrayan la importancia de adaptar las estrategias de cultivo a las características ambientales y a los clones específicos, promoviendo prácticas más sostenibles en la cacaocultura.

Palabras claves: Producción de cacao, Riego, Sombra.

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo crucial en Colombia, donde más de 60 mil pequeños productores dependen de él para su sustento, especialmente en áreas rurales afectadas por conflictos. A pesar de un crecimiento sostenido en la producción, el sector enfrenta desafíos como la baja productividad por hectárea y la vulnerabilidad al cambio climático. Este fenómeno ha alterado los patrones climáticos, provocando sequías y excesos de agua que afectan el rendimiento y la calidad del cultivo. La implementación de prácticas agronómicas, como el riego suplementario, se presenta como una estrategia clave para optimizar el uso del agua en zonas con disponibilidad irregular. Este estudio busca identificar las condiciones óptimas de suministro hídrico y cobertura vegetal para maximizar la productividad del cacao en el Valle del Cauca, contribuyendo a una agricultura más sostenible y posicionando a Colombia como un líder en la producción de cacao de alta calidad.

Materiales y Métodos

Localización del área de estudio:

El estudio se realizó en la granja experimental FEDECACAO, ubicada en Andalucía, Valle del Cauca, Colombia, a 950 msnm (04° 10' 33.97" LN y 76° 12' 19.90" LW) (Figura 1). La granja, de 3 ha, está mayormente dedicada a la investigación y transferencia de tecnología en cacao. La parcela experimental, "Lote 1", fue seleccionada por su cultivo tecnificado de cacao con clonación y árboles de sombra, representando un contexto adecuado para la investigación.



Figura 1. Ubicación granja experimental FEDECACAO

Cultivo de cacao

El cultivo de cacao tenía 8 años al inicio del estudio, con una altura promedio de 3 m y una densidad de 954 plantas ha⁻¹. Se utilizó un marco de plantación de 3 m x 3 m con separación entre hileras de 3 m y 4 m. El manejo agronómico incluyó fertilización, poda, control de malezas

y plagas. Los árboles estaban acompañados de especies maderables y de sombra como melina y banano.

Características del suelo:

Se realizó un análisis de suelo para evaluar propiedades físicas, químicas y mineralógicas relacionadas con la dinámica hídrica y la productividad del cacao (Figura 2). Se construyó la curva de retención de humedad utilizando el modelo de Van Genuchten. Se realizaron exploraciones del suelo a 1.20 m de profundidad y se llevaron a cabo 9 pruebas de conductividad hidráulica en condiciones saturadas e insaturadas.



Figura 2. Caracterización de las principales propiedades del suelo

Diseño experimental:

Se utilizó un diseño experimental jerárquico para evaluar la combinación de diferentes tratamientos de riego y sombreado en el cultivo de cacao. Este diseño incluyó cuatro tratamientos (ambientes) que variaron en niveles de sombreado y riego, basándose en la evapotranspiración de referencia (ET_o) correspondiente al factor A. Además, se analizaron dos clones de cacao, EET-8 e ICS-1, dentro de los ambientes de producción definidos por el factor B.

Programación del riego:

La programación del riego en tres de las cuatro parcelas experimentales, excluyendo una sin riego, se realizó utilizando un análisis de balance entre evapotranspiración y precipitación, con la metodología FAO 56 y valores de coeficiente de cultivo basal K_{cb} (0.5, 0.8 y 1.0). Se consideraron datos de la etapa fenológica del cultivo, propiedades del suelo y variables meteorológicas. El riego se aplicó mediante un sistema localizado por goteo con collarines de

polietileno y goteros autocompensados, ajustado a una frecuencia semanal y una presión mínima de 1 bar.

Variables de respuesta:

Se evaluaron 12 árboles en cada ambiente experimental, seleccionando 6 de cada clon de cacao. Las variables analizadas abarcaron aspectos clave de la producción, como el número y peso de las mazorcas, el rendimiento de cacao seco por árbol y por hectárea, así como indicadores de calidad como los grados Brix. También se consideraron parámetros relacionados con la eficiencia en el uso del agua, incluyendo la productividad y la huella hídrica.

Análisis estadístico:

Los datos se analizaron con el programa SAEG (versión 9.0) usando ANOVA/Modelos Jerárquicos Anidados. Se aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para comparar diferencias significativas entre ambientes y clones.

Resultados y Discusión

Oferta edáfica del área de estudio:

El estudio se realizó en un suelo clasificado como Mollic Endoaqualf, con características de textura arcillosa y fertilidad moderada, lo que presenta ciertas limitaciones en la disponibilidad de nutrientes (Figura 3). A pesar de su alta capacidad de retención hídrica, la elevada lixiviación de arcilla afecta la infiltración de agua y la oxigenación, lo que puede impactar negativamente en la producción de cacao. Se observó una dinámica de los niveles de agua subterránea, con un aumento durante las lluvias, lo que sugiere la necesidad de implementar sistemas de drenaje para evitar el encharcamiento y mantener condiciones adecuadas para el cultivo.

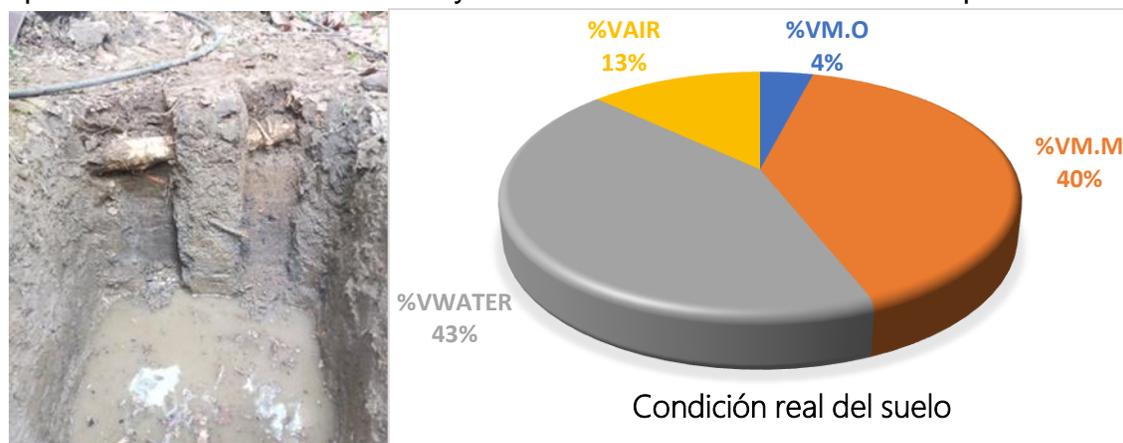


Figura 3. Condiciones de humedad en el lote de estudio (insaturada y saturada)

Oferta climática del área de estudio:

En 2023, la precipitación en el valle del río Cauca fue de 1108 mm, reflejando un patrón bimodal con lluvias en abril-mayo y octubre-noviembre (Carbonell González et al., 2011). La temperatura media fue de 24°C, con picos en septiembre y diciembre, y una humedad relativa

promedio de 69.84%. A pesar de la radiación solar relativamente constante, se observó un déficit hídrico de 375 mm entre junio y octubre, lo que llevó a un aumento en el riego suplementario (Figura 4). Sin embargo, se registraron picos de agotamiento que excedieron los niveles recomendables, lo que puede estresar a las plantas.

Las necesidades hídricas, calculadas según la metodología FAO 56, varían según el ambiente, destacando el ambiente 4 con 1417 mm anuales, de los cuales 737 mm fueron suplementarios. Ante la sensibilidad del cacao al estrés hídrico y las amenazas del cambio climático, es esencial implementar un monitoreo constante de las variables climáticas y adaptar las prácticas agrícolas. Esto permitirá mitigar riesgos y optimizar la producción, mejorando así los rendimientos a largo plazo (Jaimes Suárez et al., 2022; Carr & Lockwood, 2011; Gavilánez Luna & Farias Chica, 2019).

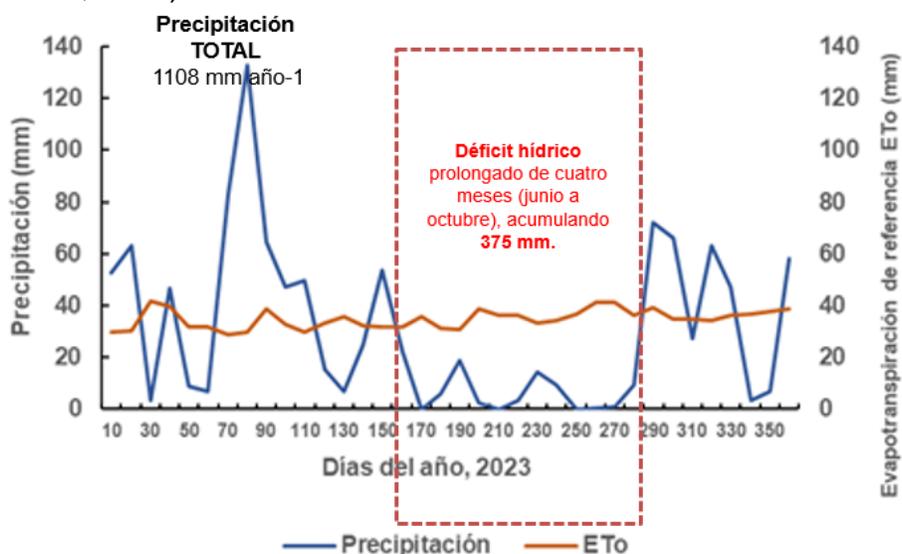


Figura 4. Comportamiento decadal de la precipitación y evapotranspiración de referencia ETo durante el año 2023.

Influencia de los Ambientes:

El análisis de las diez variables de respuesta reveló que solo el contenido de grados Brix (BRIXD) no se vio afectado ni por los diferentes ambientes ni por los clones de cacao ($p \leq 0.05$), manteniendo un promedio de 14.67 °Brix y un coeficiente de variación (CV) del 7.89 %. Este promedio es inferior a los estándares de calidad del cacao, que reportan un valor de 17.8 ± 0.3 °Brix (Piracoca Robles, 2022). La discrepancia sugiere que la variabilidad en BRIXD está más relacionada con el efecto planta/clon, posiblemente influenciada por las condiciones de humedad del suelo durante períodos de déficit hídrico y exceso de agua en la zona de estudio.

Las demás variables, como el peso de cacao en mucílago (CWM), el kilogramo de cacao seco por árbol (KDCT) y la productividad de agua (IWP), mostraron efectos significativos tanto de los ambientes como de los clones de cacao. El análisis de varianza indicó que los ambientes

- García Lozano, J. (2014). Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52256>
- Jiménez, J. de la C., Moreno, L. P., & Magnitskiy, S. (2012). Respuesta de las plantas a estrés por inundación. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 96–109. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v6n1/v6n1a10.pdf>
- Niether, W., Schneidewind, U., Armengot, L., Adamtey, N., Schneider, M., & Gerold, G. (2017). Spatial-temporal soil moisture dynamics under different cocoa production systems. *Catena*, 158(1), 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.011>
- Rada, F., Jaimez, R. E., García-Núñez, C., Azócar, A., & Ramírez, M. E. (2005). Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo períodos de déficit hídrico. *Facultad de Agronomía (LUZ)*, 22(1), 112–120. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182005000200002

MANEJO DEL AGUA EN EL AGROCAMPECHANO, MÉXICO

Jesus Manuel Soto Rocha^{1*}; Demetrio Carballo Gonzalez²; Genovevo Ramírez Jaramillo³; Mirna Hernández Pérez¹

¹INIFAP-Campo Experimental Edzná. Km.15.5 Carretera Campeche-Pocyaxum, Campeche, México. Tel 01 55 3871 8700 Ext. 88313 y 88307.

soto.jesus@inifap.gob.mx. (* Autor de correspondencia)

²Tecnorriegos de Trópico. Av. López Portillo No. 265 Infonavit las Flores, 24097 Campeche, Campeche, México. Tel 981 813 2716.

³INIFAP-CIRSE. Calle 6 Núm. 398 x 13, Av. Correa Rachó. Colonia Díaz Ordaz, Mérida, Yucatán, México. Tel 01 55 3871 8700 Ext. 88512. CP 97148

Resumen

La información de la precipitación mensual en el estado de campeche y la disponibilidad media anual del agua subterránea en la región hidrológica XII, indican un gran recurso hídrico para atender las demandas en los distintos sectores productivos. A pesar de que el riego mejora la producción de los cultivos en la agricultura. El mayor porcentaje de agricultura en esta región del sureste de México, se realiza bajo condición de temporal. Los sistemas de producción son definidos por los tipos de clima y de suelos existentes en cada municipio. El gradiente pluviométrico medio anual varia de 1200 a 2000 mm anuales de norte a sur, esto define la duración de estación de crecimiento y la aptitud de las especies vegetales estacionales, semiperenes y perennes. La comparación de los rendimientos de los cultivos estacionales y perennes, indica una mayor producción en riego versus temporal. Existe una infraestructura de 500 pozos con equipos presurizado, para suministrar riegos de auxilio en las especies vegetales cultivadas bajo riego con los distintos sistemas disponibles en el mercado. Predominando el uso de los pivotes centrales en la producción de soya y maíz en rotación. Es necesario enfatizar que el riego es importante, pero el manejo agronómico de los cultivos es clave para elevar los rendimientos y la productividad de las especies vegetales producidas en esta área del sureste de Mexico. La creación de infraestructura hidroagrícola debe considerar que la calidad del agua superficial de los ríos, lagunas y estanques es superior al agua del subsuelo que presenta excesos de sales principalmente y sodio. El manejo del agua en la agricultura campechana, requiere de sus dos sistemas de control, drenaje y riego.

Palabras claves: Cultivos de temporal y riego, brechas de rendimiento, manejo del agua.

Ene.	102.2	106.2	114.4	103.1	115.7	107.5	108.9	104.3	100.3	105.1	107.5
Feb.	118.3	118.1	114.8	112.3	131.8	107.5	109.5	113.8	108.2	108.6	108.3
Mar.	149.1	160.0	163.0	156.3	181.1	136.8	139.0	151.7	159.2	145.3	133.3
Abr.	165.4	173.9	184.4	172.7	201.4	160.4	159.3	184.1	178.1	164.9	149.3
May.	173.4	180.5	184.8	177.1	209.3	169.6	166.6	190.9	188.8	179.9	165.0
Jun.	153.6	161.7	156.2	147.4	169.9	147.4	146.7	153.9	152.3	155.2	147.0
Jul.	156.9	160.1	160.0	148.1	167.1	146.2	143.7	148.1	146.6	153.2	148.8
Ago.	151.5	158.8	154.7	141.8	160.4	143.1	144.4	145.3	145.1	148.7	150.6
Sep.	146.2	136.4	135.6	131.0	143.3	132.0	132.1	131.0	133.0	135.6	129.8
Oct.	130.5	130.5	124.5	114.9	129.8	119.4	123.6	119.4	117.8	122.6	116.3
Nov.	114.0	122.6	120.6	101.0	113.7	106.8	107.8	103.5	100.0	107.6	100.7
Dic.	115.5	121.4	120.0	99.2	112.4	101.2	109.0	92.4	96.4	106.1	105.8

Le sigue la **condensación**, donde el vapor de agua se enfría y se transforma en pequeñas gotas de agua o cristales de hielo, formando las nubes y los bancos de niebla.

En la tercera etapa, conocida como la **precipitación**, las gotas de agua o los cristales de hielo en las nubes se unen hasta llegar a un tamaño que no puede ser soportado por las corrientes de aire ascendentes y caen a la tierra en forma de lluvia, granizo, nieve o llovizna. En el cuadro 2, muestra la precipitación mensual a nivel de municipios en la entidad.

Los datos indican tres periodos de humedad bien marcados “época seca “color rojo”, intermedia “color celeste” y lluviosa “color azul y verde en el mes de septiembre por ser estadísticamente igual en todos los municipios y mayor de 200 mm/mes”. La época seca de diciembre a abril en los municipios de Calkini, Hecelchakán, Tenabo, Hopelchen, Campeche y Champotón. Los municipios de Calakmul y Escárcega indican un intervalo de enero a abril, en Candelaria y Carmen el periodo seco va de febrero a abril y únicamente Palizada reporta los meses de marzo y abril como la época seca (Soto Rocha, et al. 2023).

El mes de mayo representa el inicio de la estación lluviosa en el estado de Campeche, el gradiente de la precipitación media anual decrece de sur a norte, esto desde el punto de vista agrícola indica diferencias en el potencial productivo para las especies vegetales estacionales, semiperenes y perenes. Esta disponibilidad pluviométrica en el estado de Campeche, seguirá siendo la fuente fundamental para las actividades agropecuarias en región de México. La estación de crecimiento definida por temperatura y disponibilidad pluviométrica sigue también el patrón descrito en el gradiente de sur a norte, esto se puede apreciar en el cuadro 1, donde los municipios de Palizada, Carmen y Candelaria presentan de febrero a abril los meses más secos.

Cuadro 2. Precipitación (mm) en los municipios de Campeche.

Mes	Calk.	Hece.	Tena.	Hope.	Camp.	Cham.	Calak.	Esca.	Cand.	Carm.	Pali.
Ene.	31.2	34.6	27.4	36.5	33.8	38.4	44.9	46.1	58.2	63.5	76.3

Feb.	25.3	27.8	26.6	23.0	26.3	26.7	24.3	29.4	41.2	45.6	53.0
Mar.	18.7	18.9	19.7	22.8	24.9	22.6	23.1	22.5	24.3	38.8	41.1
Abr.	29.1	34.0	29.4	28.5	42.8	26.9	36.0	31.2	35.1	39.7	31.8
May.	72.3	87.5	87.4	76.8	91.6	76.9	84.8	83.9	94.2	88.7	88.5
Jun.	156.5	179	176.9	185.4	161	193.4	142.9	191.5	204.3	208.5	213.5
Jul.	152.8	154.3	159	167.7	135.8	172.9	125.7	179.6	170.8	196.1	193.4
Ago.	185.9	190.9	198.4	212.7	179.2	231.9	154.3	235.4	224.1	224.1	210.9
Sep.	210.3	226.9	226.8	232.6	223.1	239.3	200.1	251.4	253.6	247.3	269.6
Oct.	131.5	124.6	132.4	141.3	132.6	159.4	157.2	181.4	183.1	222.6	286.7
Nov.	52.4	49.1	54.8	56.2	56.2	69.3	73.5	79.6	101.7	106.2	143.2
Dic.	31.1	31.9	29.9	33.8	33.9	37.4	50.9	47.3	58.7	69.2	96.1

La disponibilidad de infraestructura hídrica permite tener una estación de crecimiento durante todo el año. Lo cual es una ventaja comparativa entre las regiones tropicales y subtropicales en relación a las regiones templadas donde la estación de crecimiento está limitada por la temperatura.

La **intercepción** es el siguiente paso, donde una parte del agua que cae es atrapada por las hojas y ramas de las plantas y los árboles. Aquella agua que llega al suelo, se divide en dos flujos: la **escorrentía**, que es el agua que se mueve sobre la superficie del terreno hasta llegar a un cuerpo de agua, y la **infiltración**, que es el agua que se filtra en el suelo hasta llegar al acuífero (Sisuar.IMTA.mx).

La disponibilidad del agua región hidrológica XII (Península de Yucatán). En cuanto a los volúmenes disponibles en la Península de Yucatán, en el aspecto superficial se cuenta con un volumen escurrido medio anual del orden de los 3,133 millones de m³, en las porciones suroeste (Río Candelaria), oeste (Río Champotón) y sureste (Río Escondido), de los cuales únicamente se utiliza el 1% del total (Figura1).

En lo referente al recurso hidráulico subterráneo, se cuenta con una recarga total que alcanza un volumen anual cercano a los 25,310 millones de m³, de los que una vez descontadas las extracciones y las descargas para mantener el equilibrio del sistema, se estima disponer con un volumen anual calculado de 7,969 millones de m³ (cuadro 3). De lo anterior se concluye que las aguas subterráneas son y seguirán siendo la principal fuente de abastecimiento para los sectores usuarios.

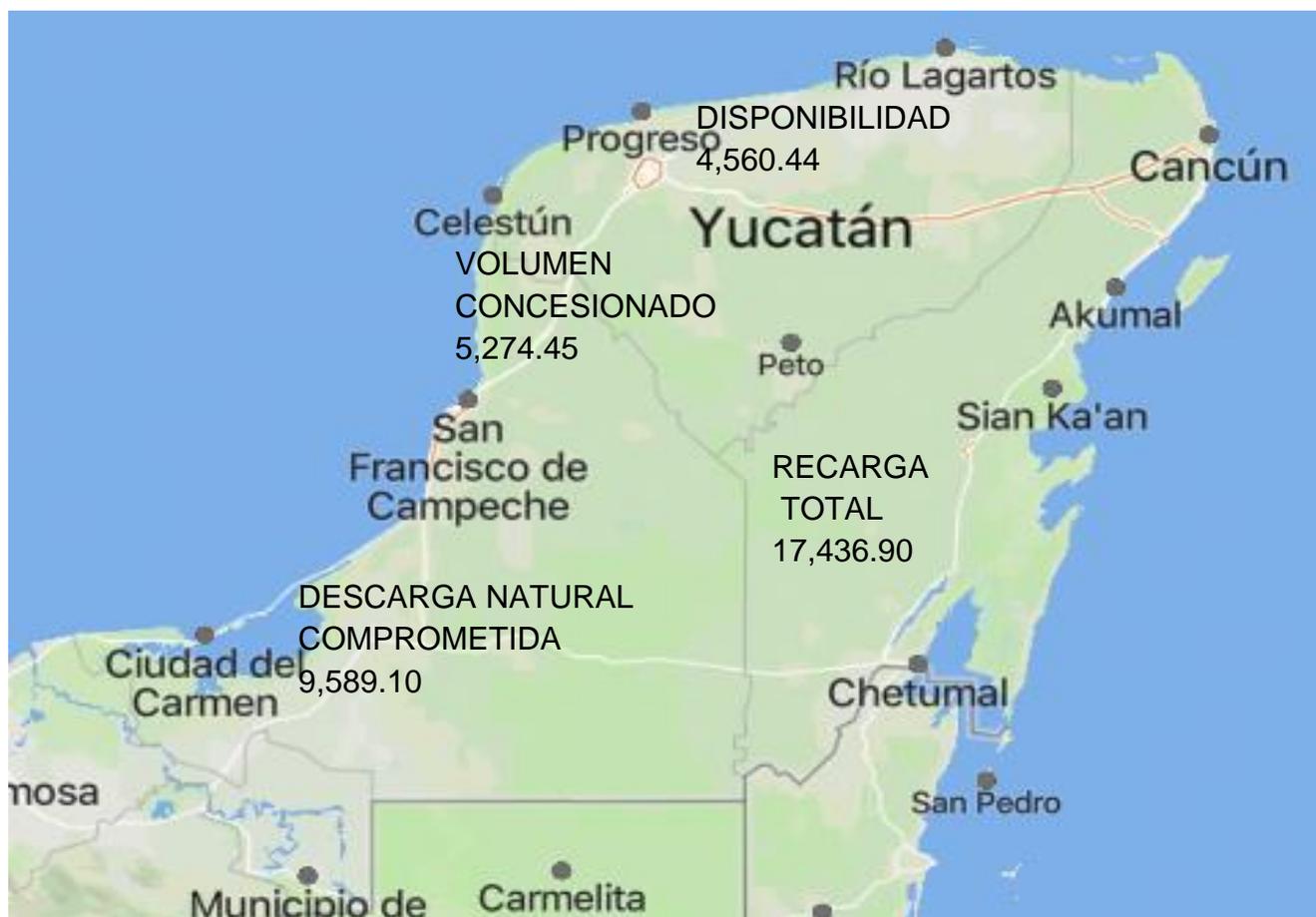


Figura 1. Balance hidrológico del acuífero “Península de Yucatán”.

Cuadro 3. Disponibilidad media anual del agua subterránea en la región XII.

Unidad hidrogeológica	Recarga total	Descarga natural comprometida	Volumen concesionado	Disponibilidad
Península de Yucatán	14,931.80	7,686.80	5,185.37	3,882.82
Cerros y valles	215.40	18.1	60.71	332.18
Xpujil	2,099.40	1,784.10	8.83	313.09
Isla de Cozumel	190.3	100.1	19.54	32.35
Total	17,436.90	9,589.10	5,274.45	4,560.44

Cifras en millones de m³/año.

La información de la precipitación mensual en el estado de Campeche y la disponibilidad media anual del agua subterránea en la región XII, indican un gran recurso hídrico para atender las demandas de este en los distintos sectores productivos. A pesar de que el riego mejora la

producción de los cultivos en la agricultura. El mayor porcentaje de agricultura en esta región del sureste de México, se realiza bajo condición de temporal, lo cual se presenta más adelante. Por último, la **transpiración** “evapotranspiración”, es el proceso por el cual el agua es transferida desde la tierra por las especies vegetales hacia la atmósfera. En el cuadro 4, se presenta un balance hídrico simple entre la precipitación y la evapotranspiración “definida por el 0.75 de la evaporación” a nivel mensual en los municipios en la entidad (Ojeda et al. 2015; Orona et al. 2015).

Cuadro 4. Balance hídrico en los municipios de Campeche.

Mes	Hece.	Tena.	Hope.	Camp.	Cham.	Calak.	Esca.	Cand.	Carm.	Pali.
Ene.	-42.0	-52.2	-49.3	-43.5	-48.4	-35.7	-35.5	-20.1	-11.8	-2.5
Feb.	-60.9	-62.0	-63.1	-57.9	-72.1	-56.3	-52.7	-44.1	-35.5	-28.5
Mar.	-92.9	-100.3	-99.4	-92.3	-113.2	-79.5	-81.7	-89.5	-80.6	-67.9
Abr.	-90.1	-101.0	-109.8	-86.7	-124.2	-84.3	-88.3	-103.0	-93.9	-91.9
May.	-42.5	-48.0	-61.8	-41.2	-80.1	-42.4	-41.1	-49.0	-52.9	-46.5
Jun.	63.8	55.6	68.2	50.5	66.0	32.4	81.5	88.9	94.3	97.1
Jul.	36.6	38.9	47.7	24.7	47.6	16.1	71.8	59.7	86.2	78.5
Ago.	77.3	79.3	96.7	72.8	111.6	47.0	127.1	115.1	115.3	99.4
Sep.	117.3	124.5	130.9	124.9	131.8	101.1	152.3	155.3	147.5	167.9
Oct.	26.7	34.6	47.9	46.5	62.1	67.7	88.7	93.6	134.2	194.8
Nov.	-36.4	-37.1	-34.2	-19.5	-15.9	-6.6	-1.3	24.1	31.2	62.5
Dic.	-54.8	-61.1	-56.2	-40.5	-46.9	-25.0	-34.5	-10.6	-3.1	16.5

Apreciándose valores positivos en los meses de junio a diciembre, destacándose que los municipios de Candelaria y Carmen tienen valores positivos de junio a noviembre y el municipio de Palizada estos valores van de junio a diciembre, en los municipios restantes la duración es de junio a octubre. Lo cual tiene una alta correlación con la duración de la estación de crecimiento mencionada anteriormente.

Esto es clave ya que los climas definen los sistemas de producción y las condiciones meteorológicas modelan el crecimiento, desarrollo y el rendimiento de las especies vegetales. Por lo cual es fundamental encontrar la sincronía entre lo que ofrece los recursos naturales y lo demandado por los cultivos establecidos en las actividades agrícolas y pecuarias en esta región del sureste de México.

Es importante destacar que cada una de estas etapas cumple una función vital en la regulación del clima, la renovación de los recursos hídricos, y la conservación de la biodiversidad. Adicionalmente, comprender el ciclo hidrológico también es clave para el manejo sostenible del agua y para anticipar y mitigar los impactos de eventos extremos relacionados con el agua, como sequías e inundaciones.

Agricultura de temporal y de riego en el estado de Campeche.

La evidencia de la necesidad de agua en las sociedades antiguas y actual, destaca su importancia fundamental en su crecimiento y desarrollo, un pilar estratégico es dado por su capacidad de producir alimentos, en el cual la agricultura de temporal y riego son claves para lograr las metas productivas de autoabastecimiento alimenticio. En México, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), proporcional información estadística sobre las superficies sembradas, cosechadas y siniestrada, los rendimientos y el volumen de producción por especie vegetal para los ciclos productivos de primavera-verano, otoño-invierno y Perennes. Las estadísticas del año 2023 destacan que existen a nivel nacional, 20,023,594 millones de hectáreas sembradas con cultivos estacionales y perennes, de las cuales 13,817,702,594 y 6,032,822 millones son de temporal y riego, respectivamente. La tendencia es que estos porcentajes cambien en el futuro con incrementos en la superficie de temporal en el sur-sureste de México, donde el régimen pluviométrico es mayor al de las zonas centro y norte del país, en donde la infraestructura hidroagrícola es esencial para la agricultura de riego, pero la presión de los demás sectores demandantes de este recurso influirá en menos volúmenes disponibles para la agricultura de riego. El portafolio de especies vegetales producidos en el estado de Campeche en las modalidades de temporal y riego es muy amplio en los ciclos productivos de primavera-verano, otoño-invierno y Perennes. A continuación, describiremos el panorama actual “año 2023” de la agricultura en el estado de Campeche (SEMARNAT. CONAGUA. 2016, 2017 y 2024).

Cultivos de temporal

Los cultivos de temporal producidos en el estado de Campeche, es muy amplio en los ciclos productivos de primavera-verano, otoño-invierno y Perennes. El cuadro 5, señala la importancia de la agricultura de temporal por las superficies sembradas y cosechas en cada ciclo productivo, en donde la sincronía de los regímenes pluviométricos y térmicos y lo demandado por las especies vegetales juegan un factor decisivo en sus niveles de producción y productividad (SARH, INIA, CIAPY 1984 y 1985).

Cuadro 5. Datos económicos de los cultivos de temporal en Campeche.

Ciclo productivo	Sembrada	Cosechada	Volumen producción	Rto.	Valor producción
P-V	41392	39374	819492	2.771	2366077541
O-I	47043	47043	115341	1.644	669795485
Perennes	35957	33662	1071902	11.536	1433135697
Total	124391	120078	2006735	5.317	4469008722

En el ciclo Otoño-invierno, Sandía y Maíz reportan las mayores diferencias de rendimiento, con diferenciales de 18.2 y 3.7 Ton/Ha, figuras 2 y 3.

Cuadro 7. Brechas de rendimientos en los Cultivos en Campeche, con y sin riego. (Ton/Ha).

INDUSTRIALES (perennes)				GRANOS P/V (estacionales)			
Cultivos	RIEGO	TEMPORAL	DIFERENCIA	Cultivos	RIEGO	TEMPORAL	DIFERENCIA
Caña de azúcar	81.100	56.555	24.545	Arroz	5.185	5.000	0.185
Palma africana	9.663	7.498	2.165	Chihua	1.395	0.608	0.787
Sábila	53.597	39.733	13.863	Maíz	5.010	2.715	2.295
FRUTALES (perennes)				Soya	2.500	2.369	0.131
Cultivos	RIEGO	TEMPORAL	DIFERENCIA	Sorgo	3.080	2.558	0.522
Aguacate	11.022	6.170	4.852	HORTALIZAS P/V (estacionales)			
Marañón	6.317	4.330	1.987	Cultivo	RIEGO	TEMPORAL	DIFERENCIA
Nanche	5.617	3.528	2.089	Chile verde	22.030	9.710	12.320
Papaya	55.467	10.710	44.757	GRANOS O/I (estacionales)			
CÍTRICOS (perennes)				Cultivo	RIEGO	TEMPORAL	DIFERENCIA
Limón	11.219	7.733	3.486	Maíz	5.010	1.306	3.704
Mandarina	8.433	7.440	0.993	HORTALIZAS O/I (estacionales)			
Naranja	11.648	9.646	2.002	Cultivo	RIEGO	TEMPORAL	DIFERENCIA
Toronja	25.100	9.860	15.240	Sandía	30.210	12.000	18.210

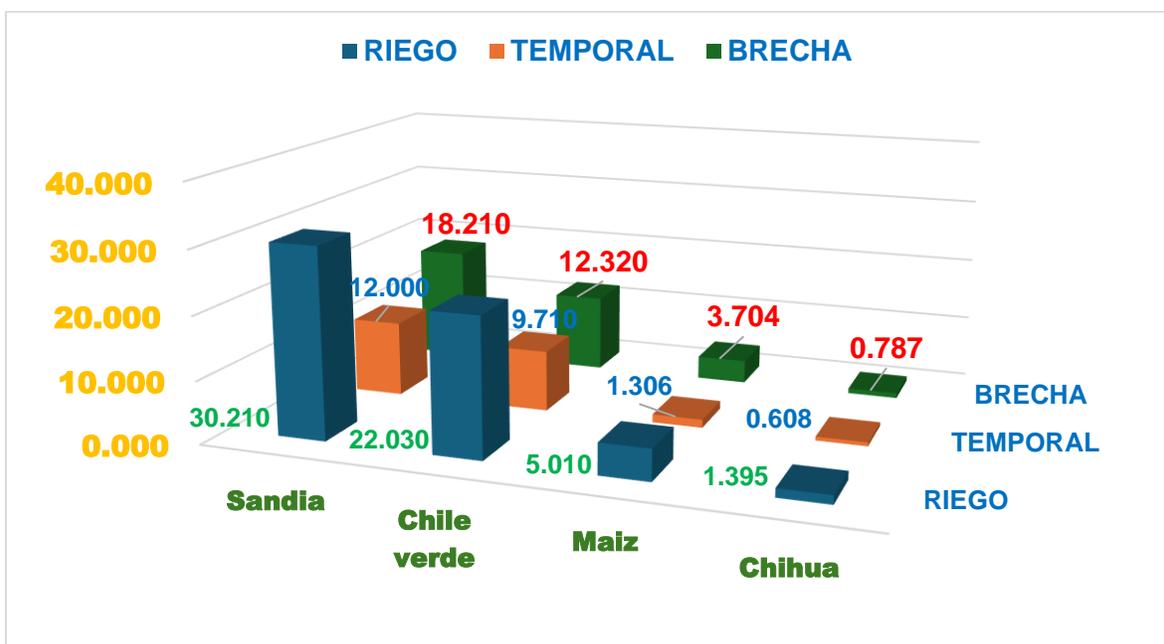


Figura 2. Brechas de rendimiento en riego y temporal en cultivos estacionales en Campeche.

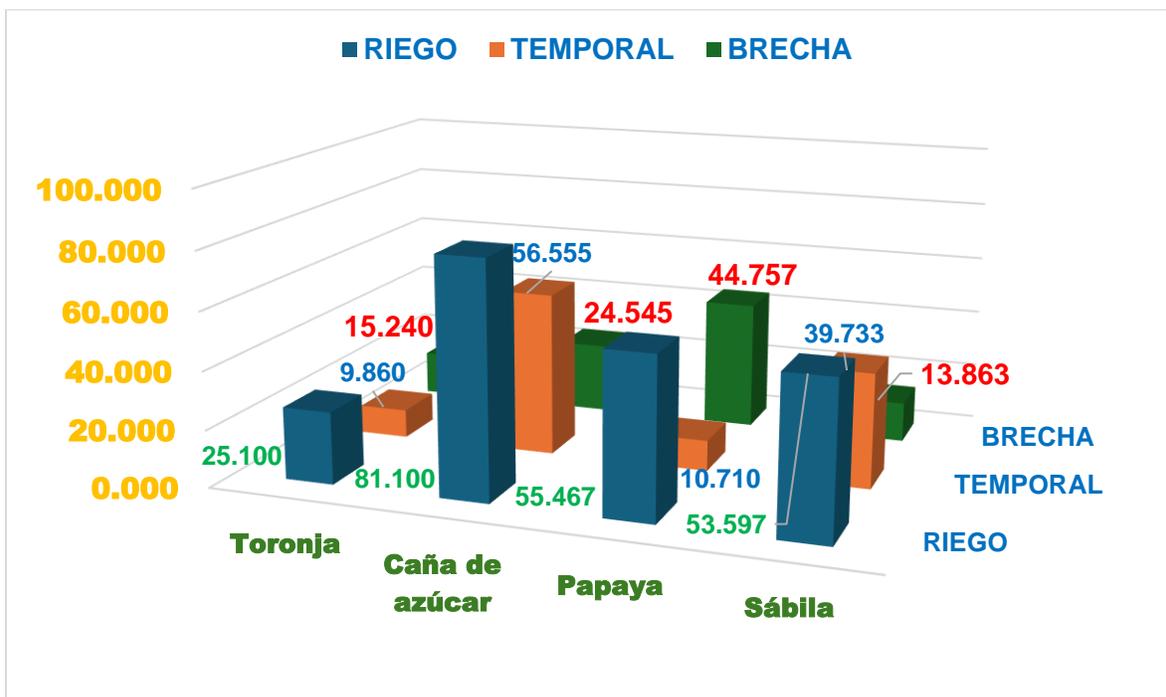


Figura 3. Brechas de rendimiento en riego y temporal en cultivos perennes en Campeche.

Infraestructura hidroagrícola en México y el estado de Campeche.

En los dos últimos siglos, los gobiernos de México han construido grandes obras de captación de aguas en los principales ríos del país. Adicionalmente, con la participación de particulares y de los gobiernos se han perforado miles de pozos profundos para la extracción subterránea de este recurso para uso agrícola.

La superficie dominada en México con aguas superficiales y subterráneas mediante la infraestructura correspondiente, es del orden de los 7.32 millones de hectáreas irrigadas, de las cuales aproximadamente 3.3 millones de hectáreas están bajo la jurisdicción de los Distritos de Riego y se tienen inventariadas 4.02 millones de hectáreas que pertenecen a obras de pequeña irrigación bajo la jurisdicción de las Unidades de Riego, las cuales se riegan principalmente con aguas subterráneas y pequeñas presas de almacenamiento y derivación. En la cuenca Península de Yucatán, que comprende los estados de Quintana Roo, Yucatán y Campeche. Existen tres tipos de infraestructura hidroagrícola, las cuales son por su importancia; Distritos de Desarrollo Tecnificados, el cual abarca la mayor superficie con 424,175 has; las unidades de riego con una superficie de 144,487 has y en este organismo de cuenca se cuenta con solo dos distritos de riego, siendo estos, el 048 Ticul, Yucatán y el 102 Rio Hondo, Q. Roo con superficie irrigada de 14424 has (Sisuar.IMTA; SEMARNAT 2016, 2018 y 2024).

A pesar de los esfuerzos enfocados en el uso de sistemas y herramientas tecnológicas para mejorar el aprovechamiento del agua, la agricultura de temporal continúa siendo una pieza clave, representando aproximada el 60% de la producción alimentaria, destacándose la participación de la zona sur de México, donde los climas tropicales húmedos y semihúmedos son de gran importancia en la producción agrícola de temporal.

En los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, se ubica el organismo de cuenca XII, Península de Yucatán, donde el mayor porcentaje de la superficie física regada es a través de bombeo de pozos, una mínima parte de escorrentías de ríos o de cuerpos de agua (lagunas o estanques). Lo reportado por CONAGUA, en el año agrícola 2017-2018. En los distritos de riego 102 y 048 de Rio Hondo, Quintana Roo y Ticul, Yucatán, respectivamente. La superficie física regado fue de 14,424 has y el volumen distribuido fue de 89.411 miles de m³. El número de usuarios en estos distritos de riego es de 5272 beneficiarios, correspondiendo 5121 al sector ejidal y 151 a particulares (SEMARNAT 2018).

El Censo Agropecuario 2022 reportó 870 853 unidades de producción agropecuaria activas y con superficie de riego. Los resultados definitivos arrojaron que 66.80 % de las unidades implementó el riego por gravedad; 17.41 %, por goteo, y 15.79 %, por aspersión (cuadro 8). De estos datos se obtiene que la región hidrológica Península de Yucatán, reporta el mayor porcentaje de riego por gravedad en el estado de Campeche, con un 41.40 %; en riego por aspersión el mayor porcentaje corresponde al estado de Yucatán, con un 62.23 % y en Quintana Roo se reporta el mayor porcentaje de riego por goteo con 54.72 %. El riego por gravedad se utiliza principalmente en Arroz, Aguacate, Limón, Naranja, Mandarina y Toronja. A igual que Mango, Zapote y Mamey. El riego por aspersión "Pivote central", se utiliza principalmente en los cultivos de Caña de Azúcar, Maíz, Soya y Sorgo. Este sistema de riego "Aspersores fijos y móviles ", también es ampliamente usado en los Pastos forrajeros. Así mismo el riego por microaspersión es frecuente su uso en los frutales anteriormente indicados. El riego por goteo es ampliamente usado en Hortalizas (Chiles, Tomate, Sandia, Pepino, Melón, Calabaza y Maíz para elote). Además de su uso en frutales como Papaya, Mango y Cítricos. El empleo de fertirriego es medianamente usada en el riego por goteo de los cultivos señalados (Canales 1998; Gonzales, 1997 y Tun 2001 y 2011).

Las láminas y frecuencias de riego no están sustentadas en información técnica agronómica que maximice la producción y calidad agrícola de los productos producidos y su rentabilidad financiera y económica de sus sistemas productivos.

Métodos de riego empleados en Campeche.

Se estima que existe una infraestructura de 500 pozos con equipos presurizado, para suministrar riegos de auxilio en las especies vegetales cultivadas bajo riego (Tun 2024).

El agua de riego en los cultivos estacionales, semiperennes y perennes es aplicada en los siguientes métodos:

Inundación, en este sistema el agua fluye por toda la superficie, es aplicado principalmente en el arroz de riego sin y con fanguero, es el que mayor superficie utiliza de este método en una superficie de 9000 hectáreas en los municipios de Hopelchen, Escárcega, Carmen y Palizada. El uso del bombeo y gravedad de los ríos palizada y candelaria es utilizado en los municipios de Palizada y Carmen.

Surcos y camas, en este sistema el agua fluye por los surcos o camas y por transporo humedece toda la superficie, es aplicado en los cultivos estacionales de maíz, chihua, frijol, chile habanero y jalapeño, tomate, cebolla, melón y sandía. En frutales como mango, aguacate, mamey, cítricos. En caña de azúcar, palma africana y pastos forrajeros.

Aspersión, en este sistema el suelo es humedecido de forma similar a la lluvia. De los equipos de riego por aspersión el más usado en la entidad es el de pivote central utilizado principalmente en la rotación soya de verano-otoño y maíz en otoño-invierno en una superficie de 5000 hectáreas en los municipios de Hopelchen, Campeche y Champotón, en caña de azúcar también es utilizado. Se estima que existen 100 pivotes en operación con superficie promedio regada de 50 a 60 hectáreas por cada equipo. En pastos y otros cultivos se utilizan aspersores fijos y móviles principalmente. El uso del cañón viajero es principalmente en pastos. La microaspersión es utilizada principalmente en frutales como limón, naranja mandarina y toronja, aguacate y mamey.

Goteo, en este sistema el agua se distribuye a cada planta en una tasa por arriba a la demanda hídrica diaria del cultivo establecido y considerando la húmeda aportada por la lluvia. Es ampliamente utilizado en hortalizas y frutales. Destacando sandía, melón, pepino, chile habanero y jalapeño, tomate, cebolla, caña de azúcar y sobre todo en las localidades que producen elote todo el año, donde destacan Nohacal y Pocyaxum en el municipio de Campeche. La superficie estimada con cintillas de distinto calibre y marca es de 2000 hectáreas en el estado.

Conclusiones.

El régimen pluviométrico estatal seguirá permitiendo que la mayor superficie agrícola sea bajo condiciones de temporal para la producción de cultivos estacionales en los ciclos de Primavera-Verano y Otoño-Invierno, esto implica sincronía entre lo demandado y lo disponible en cada municipio estatal.

En los cultivos semiperennes y perennes en los municipios de norte y centro del estado el suplemento de agua de riego es primordial para estabilizar los rendimientos. En el sur del estado es menos necesario, pero requiere ajustes entre la disponibilidad hídrica y los requerimientos hídricos de las especies vegetales establecidas.

Es necesario enfatizar que el riego es importante, pero el manejo agronómico de los cultivos es clave para elevar los rendimientos y la productividad de los cultivos producidos en esta área del sureste de México.

La creación de infraestructura hidroagrícola debe considerar que calidad del agua superficial de los ríos, lagunas y estanques es superior al agua del subsuelo que presenta excesos de sales principalmente y sodio en algunas subcuencas en esta zona hidrológica de la península de Yucatán.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez A., et al. 2016. Huellas hídricas verde y azul del maíz en el centro y noreste argentino. *Rev. FCA UNCUYO*. 2016. 48(1): 161-177. ISSN impreso 0370-4661. ISSN (en línea) 1853-8665. Tomo 48 • N° 1 • 2016. Mendoza. Argentina.
- Avilés Baeza W., et al. 2010. Manual para la producción de chile habanero *Capsicum chinense* Jacq. en Yucatán. A campo abierto y bajo estructuras de protección. *Folleto Técnico Núm. 10*. SAGARPA. INIFAP. CIR Sureste. Campo Experimental Zona Henequenera. Mococho, Yucatán, México. 32 p.
- Canales Cruz R., et al. 1998. Tecnología para la producción de tomate bajo riego por goteo. *Folleto Técnico*. SAGAR. INIFAP. CIR Sureste. Campo Experimental Edzná. Campeche, Campeche, México. 23p.
- Gonzales Meza A., et al. 1997. Maíz de alta productividad con fatigación en la zona henequenera. SAGAR. INIFAP. CIR Sureste. Campo Experimental Zona Henequenera. Mococho, Yucatán, México. 22 p.
- <http://Infosiap.siap.gob.mx/gob.mx/datos/Abiertos.php>
- <http://Sisuar.IMTA.mx/>
- IICA y Red COMAL. 2021. Gestión y manejo del agua en la agricultura. San José, Costa Rica.
- López Báez, W., et al. 2013. El Manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. *Folleto Técnico Núm. 19*. SAGARPA. INIFAP. CIR Pacifico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. 31 p.
- Ojeda Bustamante, W., et al. 2015. Calendarización del riego: teoría y práctica. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Libro, 2ª. Edición. Jiutepec, Morelos, México. 459 p.
- Orona Castro F., et al. 2015. Producción de arroz bajo riego en el estado de Campeche. *Folleto Técnico Núm. 20*. SAGARPA. INIFAP. CIR Sureste. Campo Experimental Edzná. Campeche, Campeche, México. 55p.
- SARH. INIA.CIAPY. 1984. Guía para la asistencia técnica agrícola. Área de influencia del campo agrícola experimental Chetumal. *Guía Técnica Núm. 1*. Chetumal, Quintana Roo, México. 86p.

- SARH. INIA.CIAPY. 1985. Guía para la asistencia técnica agrícola. Área de influencia del campo agrícola experimental Campeche. Guía Técnica Núm. 1. Campeche, Campeche, México. 138p.
- SEMARNAT. CONAGUA. 2016. Estadísticas Agrícolas de las Unidades de Riego Año agrícola 2014–2015. Libro. Subdirección general de infraestructura hidroagrícola. Ciudad de México. México. 1021 p.
- SEMARNAT. CONAGUA. 2018. Estadísticas agrícolas de los Distritos de Riego Año Agrícola 2016 – 2017. Libro. Subdirección general de infraestructura hidroagrícola. Ciudad de México. México. 403 p.
- SEMARNAT. Conagua. 2024. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Temporal Tecnificado, Año Agrícola 2022-2023. Subdirección general de infraestructura hidroagrícola. Ciudad de México. México. 170 p.
- Soria Fregoso M. 1983. Guía para producir maíz, frijol y hortalizas mediante un sistema sencillo de riego en la zona henequenera. Folleto para productores Núm. 4. SARH. INIA. CIAPY. Campo Agrícola Experimental Zona Henequenera. Mococho, Yucatán, México. 19 p.
- Soto Rocha, J.M., et al. 1990. Guía para producir maíz de temporal en suelos inundables (ak´alches) en Quintana Roo. Folleto para productores núm. 15. CIFAPQROO-INIFAP-SARH. Chetumal, Quintana Roo, México. 13p.
- Soto Rocha, J.M., et al. 2023. Análisis espacial y temporal de la precipitación en Campeche, México. Artículo COMEII-23018. VIII Congreso nacional y I Congreso internacional de riego, drenaje y biosistemas. Saltillo, Coahuila, México. 4 al 6 de octubre de 2023. 13p.
- Tun Dzul J. 2001. Chile Habanero. Características y Tecnología de Producción. SAGARPA. INIFAP. CIR Sureste. Campo Experimental Zona Henequenera. Mococho, Yucatán, México. 74 p.
- Tun Dzul J., et al. 2011. Diagnóstico y evaluación de sistemas de riego en el Distrito 048 Ticul, Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp.* Núm. 1 1 de julio - 31 de agosto, 2011 p. 5-18.
- Tun Dzul J., et al. 2024. Sistemas de riego para chile jalapeño en Quintana Roo: Implementación y Operación. AGRICULTURA. INIFAP. CIR Sureste. *Campo Experimental Chetumal*. Xul-Ha, Quintana Roo, México. 36 p.

EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA Y FERTILIZANTES EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE PLANTA FORESTAL

Erickson Basave^{1*}; José Luis García Pérez²; José Sigala Rodríguez¹; Homero Sarmiento López¹ y Celi Calixto Valencia³,

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), C. E. Valle del Guadiana. Durango, Durango, México. C. P. 34170.

basave.erickson@inifap.gob.mx – (55) 3871 8700 Ext. 82702 (*Autor de correspondencia)

²INIFAP, C. E. La Campana. Cd. Aldama, Chihuahua, México. C.P. 32910.

³INIFAP, C. E. Iguala. Iguala, Guerrero, México. C. P. 40000.

Resumen

En los viveros forestales existe la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes en la producción de planta forestal. Las prácticas culturales o técnicas de manejo pueden contribuir a lograr tal objetivo. No obstante, es importante adecuar estas prácticas considerando aspectos como las condiciones y características de los viveros, tipo de especies y calidad de planta a producir. En los últimos años, el uso de retenedores de humedad (polímeros sintéticos) incorporados al sustrato, se ha promovido como una técnica para reducir las necesidades de riego y las pérdidas de fertilizantes por lixiviación y lavado. Asimismo, ha habido un creciente interés por mejorar las prácticas de fertilización a fin de incrementar la eficiencia en el uso de los fertilizantes y su asimilación, especialmente los nitrogenados y así reducir la cantidad de fertilizantes químicos comúnmente utilizados en los esquemas convencionales de fertilización. En el presente trabajo se analiza desde un enfoque experimental la factibilidad del uso de retenedores de humedad y el efecto de dosis y formas de fertilización nitrogenada utilizando como modelo de estudio dos especies de *Prosopis* (*P. glandulosa* y *P. laevigata*), representativas en los viveros del Norte Centro de México. Se presentan resultados del efecto del uso de estos polímeros en la capacidad de retención de humedad en mezclas de sustrato, así como el efecto en las plantas a nivel morfológico y fisiológico. Adicionalmente, se muestran resultados de la eficiencia en el uso de nitrógeno y su asimilación en compuestos nitrogenados en plantas fertilizadas con diferentes dosis y formas de nitrógeno.

Palabras claves: calidad de planta, especies forestales, reforestación, viveros forestales.

Introducción

En México, la producción de planta forestal en vivero es una actividad preponderante en los programas de reforestación, restauración o establecimiento de plantaciones forestales comerciales (Burney *et al.*, 2015). Los viveros forestales se encargan de suministrar la planta para esos programas, debiendo producir ese material con la suficiencia y calidad requerida. Por ejemplo, entre 2020 y 2021 se reportó una producción de 272 293 894 árboles de importancia maderable y agroindustrial únicamente del programa “Sembrando Vida”.

Similar a otros sistemas de producción agrícola, esta producción elevada de planta representa gastos significativos de agua y fertilizantes, porque el agua y los nutrientes minerales son de los principales recursos que las plantas requieren para su crecimiento. Esta es la razón por la que el riego y la fertilización son algunas de las prácticas culturales más decisivas en la producción de planta forestal, especialmente en el sistema de envase, que predomina en México (Burney *et al.*, 2015). Estos gastos elevados de agua y fertilizantes ameritan atención especial porque de ello depende la sostenibilidad y rentabilidad de este sistema de producción, el cual debe ser congruente con los objetivos por los que se promueve, siendo uno de ellos contribuir a la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Resulta por tanto imperante mejorar los procesos de producción de la planta forestal privilegiando una mayor eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes, sin menoscabar los estándares de calidad de la planta producida. Lo anterior, debido al problema creciente de escasez de agua en México y por los problemas ambientales de la contaminación de cuerpos acuíferos debido al uso excesivo de fertilizantes químicos, a la par del incremento en el precio de estos insumos, que, en este caso, afecta la rentabilidad financiera (CONAGUA, 2018).

El conjunto de problemas antes mencionados justifica la necesidad de diseñar estrategias de manejo en vivero que permitan optimizar el uso del agua y fertilizantes en los sistemas de producción de planta forestal. En este contexto, las prácticas culturales tienen un papel relevante porque a través de ellas es posible contribuir a este objetivo al tiempo que se promueven las características de calidad requeridas a nivel morfológico y fisiológico en las plantas para las reforestaciones (Haase y Davis, 2017). Sin embargo, para cumplir tal propósito es conveniente adecuar dichas prácticas, especialmente aquellas directamente relacionadas al riego y la fertilización. Para esto es primordial examinar los efectos de estas técnicas considerando aspectos como las condiciones y características de los viveros, tipo de especies y calidad de planta a producir.

En el presente trabajo se analiza desde un enfoque experimental 1) la factibilidad del uso de retenedores de humedad y 2) el efecto de esquemas de fertilización nitrogenada mediante el ajuste de formas químicas y orgánicas, utilizando como modelo de estudio dos especies de *Prosopis*, representativas en los viveros del Norte Centro de México.

Materiales y Métodos

Para conocer la efectividad de los polímeros como retenedores de humedad en el sustrato se estableció un ensayo con plantas de *Prosopis glandulosa* producidas en contenedores de poliestireno de 77 cavidades con un volumen de 170 cm³ (Figura 1).

Se evaluaron tratamientos que consistieron en tres porcentajes de retenedores de humedad (Lluvia solida®) previamente hidratado, añadido a una mezcla base (MB) compuesta de turba (%) y corteza de pino compostada (%). De este modo los tratamientos fueron: 1) 100% MB (Testigo); 2) 70% MB + 30 % Hidrogel; y 3) 85% MB + 15 Hidrogel. Para cada mezcla de sustrato se determinó la densidad aparente (g cm⁻³) y porosidad total (%). Complementariamente se determinó el contenido volumétrico de agua mediante el método gravimétrico.



Figura 1. Aspecto del sustrato con retenedores de humedad y de las plantas de *Prosopis glandulosa* de siete semanas de edad cultivadas en distintas mezclas estos polímeros en el sustrato.

Por último, en *P. glandulosa* se realizaron mediciones diarias del potencial hídrico en las hojas a partir del tercer día después de suspender el riego, para conocer el efecto de los retenedores de humedad sobre el nivel de hidratación de las plantas de mezquite.

Por otra parte, se examinó la factibilidad del uso de retenedores de humedad en la producción de planta de *P. laevigata* en vivero mediante la evaluación de su efecto en la morfología, calidad de planta y estado hídrico. Se estudiaron tres niveles de retenedores de humedad (0, 25 y 50%) incorporados en un sustrato compuesto por 60% turba de musgo “peat moss” y 40% de corteza de pino.

En planta de cuatro meses de edad, se realizó un muestreo destructivo para medir la altura y el diámetro del tallo, y determinar la biomasa producida en hojas, tallo, raíz y total. Con dichas observaciones se calcularon índices morfológicos de calidad como el índice de robustez, la relación entre el peso seco aéreo y el de raíz (R: PSA/PSR) y el índice de calidad de Dickson

(ICD). Adicionalmente, se midió el potencial hídrico utilizando la cámara de presión Scholander (PMS-1000) en una prueba que consistió en someter las plantas a estrés hídrico al dejarlas sin riego en un lapso de 10 días. Cada tercer día se registró el potencial (Ψ ; MPa) en el peciolo de las hojas.

Finalmente, en cuanto a la fertilización nitrogenada se estableció un experimento en *P. laevigata* en el que se evaluaron dos niveles y dos formas de nitrógeno (N): un suministro regular de 274 mg N por planta y un suministro alto con 90 mg adicionales de N, aportado como N inorgánico (NH_4NO_3) u orgánico (aminoácidos). Se cuantificó la eficiencia en el uso del N, el estado nutricional y su asimilación mediante la determinación de aminoácidos.

Resultados y Discusión

Las mezclas de sustrato presentaron una densidad aparente de 0.23, 0.20 y 0.21 (g cm^3) para el tratamiento testigo, 30% y 15% de retenedor de humedad, respectivamente. Asimismo, la porosidad fue de 91.30%, 92.61% y 91.92% para los tratamientos en ese mismo sentido. Durante las primeras dos semanas de cultivo hubo diferencias significativas entre los dos tratamientos y el testigo ($p \leq 0.001$). El contenido volumétrico de agua fue estadísticamente superior al añadir 30% de retenedor de humedad, seguido por el 15%, y finalmente el testigo. Esta tendencia se mantuvo hasta dos semanas después cuando se disminuyó la frecuencia de riegos con una disminución drástica del contenido volumétrico del sustrato. Sin embargo, aunque con ligeras diferencias, en este periodo de evaluación la adición de los polímeros al sustrato mantuvo los niveles de contenido volumétrico de agua, estadísticamente superior al tratamiento sin retenedores (Figura 2).

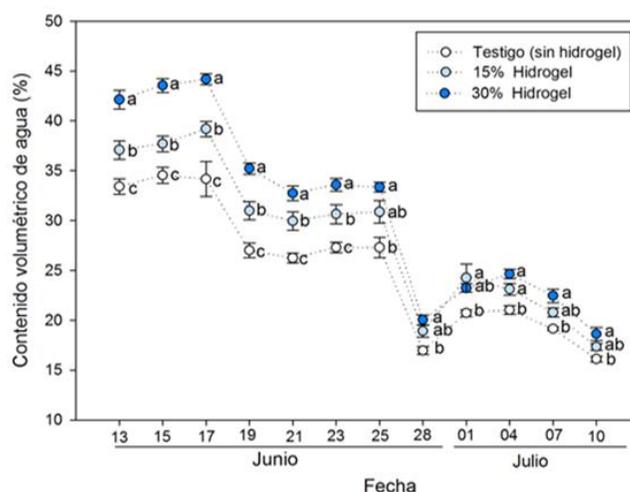


Figura 2. Contenido volumétrico de agua en sustratos con diferentes niveles de retenedores de humedad durante el cultivo de *P. glandulosa* en vivero.

El uso de los retenedores de humedad en el sustrato al 30 % retrasó la aparición de niveles de estrés hídrico severo en las plantas de mezquite hasta por siete días, sin que se presentaran indicios de mortalidad en las plantas (Figura 3).

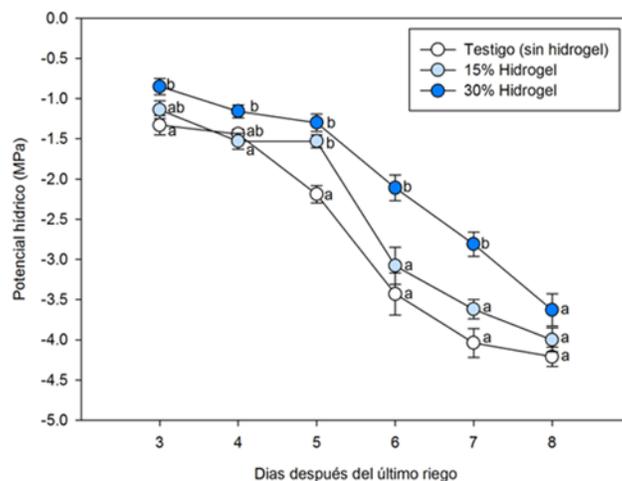


Figura 3. Estado hídrico en plantas de mezquite cultivadas en mezclas de sustrato con retenedores de humedad.

En *P. laevigata* los retenedores de humedad afectaron significativamente la mayoría de las variables, siendo las plantas producidas con 50% de dicho material las que presentaron los valores más altos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Significancia y valores promedio (\pm desviación estándar) de variables morfológicas y de calidad evaluadas en plantas *Prosopis laevigata* producidas con retenedores de humedad en el sustrato.

Variable	Valor <i>P</i> ($\alpha=0.05$)	Tratamiento		
		Control	25% de retenedor	50% de retenedor
Altura del tallo (cm)	0.0004	17.3 \pm 4.1a	16.0 \pm 4.6a	22.9 \pm 5.8b
Diámetro del tallo (g)	<0.0001	2.9 \pm 0.6a	2.9 \pm 0.6a	4.0 \pm 1.5b
Biomasa de hojas (g)	0.0013	0.2 \pm 0.1a	0.3 \pm 0.1b	0.4 \pm 0.1b
Biomasa de tallo (g)	<0.0001	0.7 \pm 0.2a	0.8 \pm 0.4a	1.4 \pm 0.6b
Biomasa de raíz (g)	<0.0001	0.6 \pm 0.2a	0.7 \pm 0.3a	1.2 \pm 0.4b
Biomasa total (g)	<0.0001	1.6 \pm 0.5a	1.9 \pm 0.9a	3.1 \pm 1.0b
Índice de robustez	0.1716 ^{ns}	-	-	-
R: PSA/PSR [†]	0.1471 ^{ns}	-	-	-
ICD [†]	<0.0001	0.2 \pm 0.0a	0.2 \pm 0.1a	0.4 \pm 0.1b

[†]R: PSA/PSR: relación peso seco aéreo/peso seco de raíz, ICD: índice de calidad de Dickson. Promedios con una letra en común no son estadísticamente diferentes a un nivel de confianza del 95% según la prueba de Tukey. ns: no significativo (n=20).

No obstante, a pesar de que las plantas que recibieron retenedores de humedad en un 50% mostraron superioridad en la morfología, y, por ende, en la calidad de planta, al someterlas a estrés hídrico éstas fueron las que más se estresaron al término de los 10 días sin riego (Figura 4). Esta respuesta puede estar asociada con el incremento del espacio poroso en el sustrato por la incorporación de hidrogel, ya que es reconocido el efecto del hidrogel en modificar las condiciones del medio de crecimiento (Chirino *et al.*, 2011). Un mayor espacio poroso podría haber expuesto a la raíz a desecación por aireación en el sustrato.

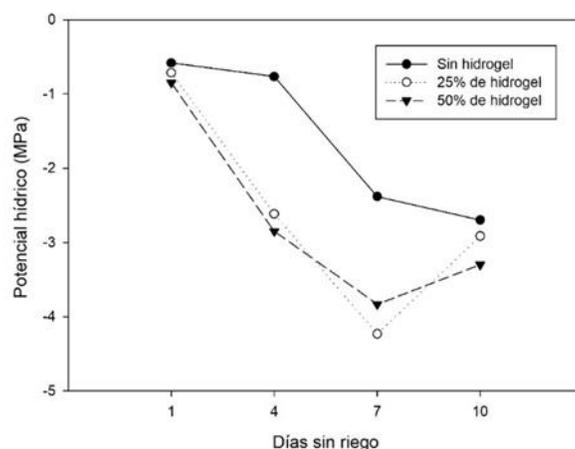


Figura 4. Dinámica del estado hídrico de plantas de *Prosopis laevigata* producidas con hidrogel y sometidas a un periodo de restricción de humedad.

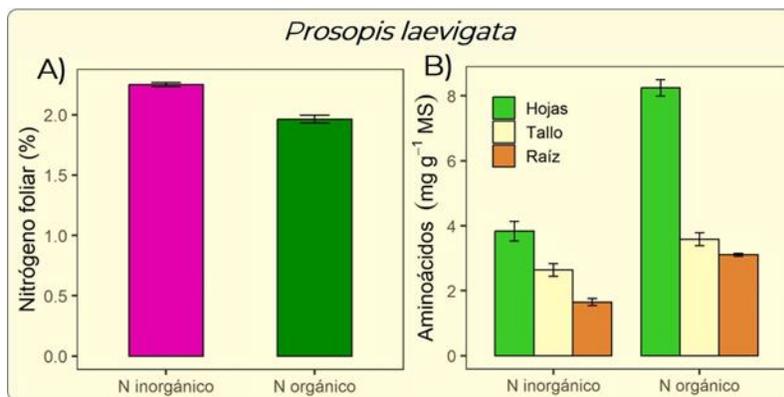


Figura 5. Concentración de N foliar (A) y aminoácidos totales (B) en plantas de *Prosopis laevigata* fertilizadas con N orgánico (aminoácidos) en comparación con N inorgánico (NH_4NO_3).

De la fertilización se encontró que la EUN fue bajo en los dos niveles de nitrógeno al no superar ni el 15%, lo que confirma la necesidad de mejorar las prácticas de fertilización en los viveros en cuanto a las dosis o rutinas que rutinariamente se emplean. La fertilización con nitrógeno inorgánico incrementó el N foliar (Figura 5A). Pero lo más destacable fue que el suministro alto

de N en la forma orgánica incrementó significativamente los aminoácidos en hojas y raíces (Figura 5B). El hecho que las plantas tengan altos contenidos de aminoácidos es ventajoso porque muchos de ellos están involucrados en la síntesis de proteínas, procesos de división celular, así como la formación de pigmentos sintéticos y algunas fitohormonas, como ácido indolacético, ácido giberélico y etileno (Baker y Pilbeam, 2015).

Conclusiones

El uso 30 % de hidrogel en el cultivo de planta de *P. glandulosa* en vivero conservó la humedad, y evitó que las plantas entraran en estrés fisiológico severo. En consecuencia, permitió el desarrollo adecuado de estas durante el ciclo de producción en vivero. Estos resultados pueden tener implicaciones prácticas en la optimización de recursos durante la producción de planta de mezquite en vivero.

En *P. laevigata* la incorporación de retenedores de humedad en el sustrato en un 50% resultó factible para mejorar la morfología y la calidad de planta en vivero; sin embargo, las plantas tendieron a ser más propensas a sufrir estrés hídrico cuando se limitó la humedad en el sustrato.

En el estudio con *P. laevigata* la concentración de aminoácidos se incrementó en más del doble cuando se suministraron aminoácidos como fuente de N, comparado con la fertilización inorgánica (NH_4NO_3). Estos hallazgos pueden guiar estrategias de manejo nutrimental para mejorar la calidad de plántulas de mezquite en viveros.

Referencias Bibliográficas

- Barker, A. V., D. J. Pilbeam. 2015. Handbook of plant nutrition. (A. V. Barker; D. J. Pilbeam, Eds.) (Second edition). Boca Raton FL: CRC Press/Taylor & Francis Group.
- Burney, O., A. Aldrete, R. Alvarez Reyes, J. A. Prieto Ruíz, J. R. Sánchez Velazquez, y J. G. Mexal. 2015. México—Addressing Challenges to Reforestation. *Journal of Forestry* 113: 404–413.
- Chirino, E., A. Vilagrosa and V. R. Vallejo. 2011. Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. *Plant and Soil* 344:99-10. DOI: 10.1007/s104-01-0730-1.
- CONAGUA. 2018. Atlas del Agua en México. Ciudad de México.
- Haase, D. L., y A. Davis. 2017. Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs. *Reforesta*: 69–93.

MANEJO DEL RIEGO EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DENTRO DE ACUÍFERO DE CALERA ZACATECAS

Miguel Servin Palestina¹; David Vargas Cano^{2*}; Jesús Antonio García²;

¹Campo experimental Zacatecas INIFAP, Ingeniería de riego, kilómetro 24.5, Zacatecas - Fresnillo, 98500 Zacatecas, México.

²Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, CP 56230, Chapingo, Estado de México, México.

miguel.servin@hotmail.com (*Autor de correspondencia)

Resumen

El acuífero de Calera presenta un déficit de recarga anual de 67.26 hm³/año. Se contabilizan 1379 aprovechamientos (pozos y norias) para uso agrícola, distribuidos en una superficie agrícola de ~20,183.2 ha entre el 2004 y 2017. Además, se encuentra en un área con una alta tasa de evapotranspiración, con incertidumbre en las precipitaciones y condiciones climáticas desfavorables, como las recientes olas de calor y sequías son indicadores que muestran que la producción de alimentos depende en gran medida del riego. Sin embargo, la conservación del agua y su gestión racional en el riego de cultivos son fundamentales para la agricultura sostenible en la región. A pesar de los esfuerzos, en la tecnificación del riego, tratamientos de aguas residuales y construcción de obras de captación, este recurso sigue siendo cada vez más escaso (calidad y cantidad) y con un costo ambiental alarmante debido al uso improductivo del agua en la agricultura tradicional. Esto se debe, entre otros factores, a que los productores desconocen los requerimientos hídricos de los cultivos, la interacción de las plantas con el medio ambiente donde se desarrollan y su efecto sobre el manejo, por otro lado, no se lleva una planeación adecuada del patrón de cultivos a establecer en función de la cantidad de agua disponible, para disminuir la presión de las aguas subterráneas. Sin embargo, para garantizar la seguridad alimentaria y optimizar el uso del agua en la agricultura, se está empleando la investigación participativa como una metodología clave. Esta aproximación involucra a los agricultores en todas las etapas de la investigación, desde la identificación de problemas hasta la implementación de soluciones. La colaboración entre investigadores y productores, sumada a la implementación de tecnologías de vanguardia como sistemas de riego en tiempo real y sensores de humedad, está revolucionando la gestión del agua en Zacatecas. Esta sinergia permite optimizar el uso del agua, aumentar la eficiencia en los cultivos y adaptarse a las condiciones cambiantes del clima. La investigación participativa y el Internet de las Cosas (IoT) se convierten en herramientas indispensables para enfrentar la escasez hídrica y garantizar la sostenibilidad del sector agrícola.

Palabras claves: Investigación participativa, LoT en la agricultura, cambio climático.

Introducción

Las áreas productivas del norte de México se localizan en ambientes semiáridos en donde el índice de aridez, con base la relación entre la precipitación media anual y la evapotranspiración potencial es inferior a 0,65. Es decir, que representa un déficit de agua. Además, forma parte del bioma más grande del mundo, que cubre alrededor del 45% de la superficie terrestre (Právālie, 2016) y sustenta aproximadamente al 38% de la población mundial (Reynolds et al., 2007).

La escasez de agua es el estado en la que los recursos hídricos disponibles no pueden satisfacer las necesidades de agua de los sectores agrícola, económico, social y ambiental (Oki y Kanae, 2006). Lo anterior, se ha convertido en una amenaza cada vez mayor para la sostenibilidad en la producción de alimentos y los ecosistemas, y se espera que sea más grave en condiciones futuras de cambio climático (Richter et al., 2020). La agricultura se cataloga como el mayor consumidor de agua del mundo y se ve afectada de forma negativa por el cambio climático y el crecimiento demográfico (Gerten et al., 2020, Zhang et al., 2020). El incremento de la extracción de agua subterránea para riego ha provocado una creciente escasez de agua en muchos lugares del mundo. Como consecuencia, el agotamiento de agua para la agricultura que afecta la producción de alimentos y, por lo tanto, amenaza la seguridad alimentaria (Liu et al., 2022).

Además, diferentes factores, como el cambio climático, las actividades humanas y los procesos naturales, amenazan la sostenibilidad de los recursos hídricos subterráneos. Estos problemas hacen que los recursos hídricos no cuenten con suficiente disponibilidad para el consumo y el riego al exceder la capacidad de recarga. Sin embargo, algunos recursos hídricos alternativos son inaccesibles, lo que obliga a las personas a depender del consumo de agua subterránea a pesar de su calidad y cantidad comprometida (Singha et al., 2021). En las regiones semiáridas, la disponibilidad de agua subterránea como fuente confiable de agua dulce está sujeta a una presión significativa para satisfacer la demanda para procesos socioeconómicos (Jha et al., 2020). Actualmente, la agricultura enfrenta un desafío para cerrar la brecha de rendimiento en un escenario de cambio climático, pero sin una expansión sustancial de las áreas agrícolas que pueda afectar severamente los ecosistemas. La deficiente gestión en zonas de agricultura intensiva, la sequía es una de las principales limitaciones que afectan a la seguridad alimentaria. Por lo tanto, es importante mejorar la eficiencia del uso del agua en los cultivos para garantizar la seguridad alimentaria disminuyendo el efecto negativo por estrés hídrico y térmico asociado con el cambio climático.

Materiales y métodos

El valle agrícola se ubica en el área de influencia del acuífero Cuauhtémoc. Este acuífero tiene una forma similar a la cuenca de Bustillo. El sitio se encuentra enmarcado en la cuenca endorreica, donde las precipitaciones son la principal fuente de recarga natural del acuífero. La precipitación promedio anual es de ~460 mm, y la temperatura en esta zona es; mínima de -10,5, máxima de 24 y media de 14,6 grados centígrados (Medina et al., 2006). La situación actual del acuífero muestra una extracción de 497.90 hm³ y una recarga de 299.40 hm³, lo que apunta a la insostenibilidad del acuífero Cuauhtémoc. El valle agrícola tiene una elevación promedio de 2000 metros sobre el nivel del mar (Alatorre et al., 2014). La principal actividad económica en la región del acuífero Cuauhtémoc es la agricultura, con una extensión de tierra de alrededor de 55,000 hectáreas que tienen acceso a riego. De estas ~ 55,000 ha, ~ 47,000 ha están dedicadas al maíz y 8,000 a la manzana. El agua subterránea es la principal fuente que mantiene la producción agrícola. Con respecto al cultivo de maíz, el 97 % se riegan con la técnica de surcos, el 2 % mediante riego por aspersión y solo el 1 % hace uso de riego por goteo (Santos-Hernández et al., 2019). Para la obtención de los componentes hidrológicos a escala de parcela se utilizó el enfoque de la partición de evapotranspiración con el enfoque *PETVI*, que es un método basado en la fusión de datos que divide el flujo de agua del suelo en evaporación del suelo (E_v) y transpiración (T_r) en función de la cobertura vegetal y su evolución fenológica durante el ciclo agrícola (Ramírez-Valle et al., 2022, Eler et al., 2024).

Resultados

El análisis del impacto de las operaciones de riego en el balance hídrico de las parcelas de observación, se realizaron la separaron los componentes de las entradas y salidas de agua en cada sitio Figura 1. Los aportes de agua consistieron en dos fuentes principales, agua subterránea y lluvia figura 1 a) y b); los sitios con mayor uso de agua subterránea fueron las parcelas con riego por surcos ($F-1 = \sim 1,200$ mm, $F-2 = 1,232$ mm), seguido de los campos regados con goteo sub-superficial ($D-1 = \sim 990$ mm, $D-2 = \sim 1.050$ mm), y por último mediante riego por aspersión ($S-1 = \sim 850$ mm, $S-2 = 980$ mm). El uso productivo del agua (es decir, transpiración [T_r]) figura 1 c), mostró valores muy similares en los seis sitios independientemente del método de riego en promedió ~ 542 mm para todo el ciclo agrícola. El uso no productivo de agua (es decir, evaporación [E_v]) figura 1 d) fue mayor en los campos irrigados por aspersión ($S1= 547$ mm, $S-2 = 575$ mm [E_v del suelo + E_v dosel]), seguido de los sitios regados por goteo ($D1= 470$ mm, $D-2 = 294$ mm), y las parcelas regadas por surcos con menor E_v ($F-1= 330$ mm, $F-2 = 271$ mm). La escorrentía o la percolación profunda del agua [figura 1e)] fue mayor en los campos irrigados por surcos ($F-1 = 325$ mm, $F-2 = 422$ mm), seguidos por los sitios regados por goteo ($D-1 = 61$ mm, $D-2 = 149$ mm) y Campos regados por aspersión ($S-1 = \sim 0$ mm y $S-2 = 129$ mm). Este último componente muestra claramente cómo el manejo de los caudales de riego afecta directamente a la E_v , escorrentía y percolación

sin afectar significativamente los valores de T_r , dado que es la demanda de agua por el cultivo para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Por otra parte, se hace evidente la deficiente operación de los sistemas de riego en cuanto al uso productivo figura 1 e) con relación al uso para T_r con respecto al total de agua entregada a la parcela en promedio 45 % se utiliza de manera productiva.



Figura 1. Balance hídrico en las parcelas de observación. a) principales aportes de agua (el color rojo es agua de lluvia y el azul es agua subterránea); b) proporción de entrada de agua (en %) [lluvia y agua subterránea]; c) uso de agua por el componente de transpiración; d) salida de agua del sistema debido a la evaporación del suelo (naranja claro), evaporación del agua de lluvia interceptada por el dosel (amarillo) y evaporación del agua de riego interceptada por el dosel (color violeta); e) escurrimiento o percolación; f) proporción de salidas de agua (en %) por cada componente.

Conclusiones

La eficiencia del uso productivo del agua en las parcelas de observación con diferentes sistemas de riego y calendarios a través de la estimación de su uso productivo y no productivo del agua cómo esos factores afectaron el balance hídrico en cada sitio de observación. Todos los sitios mostraron baja eficiencia en el uso productivo del agua ~ 45.5 %, esto indica que más de la mitad del agua aplicada no es utilizada por el cultivo. Estas bajas eficiencias productivas del agua mantienen un nivel de estrés sobre los recursos hídricos de un acuífero en continua disminución y además sobreexplotado. Ante esta situación no es conveniente que se sigan operando los sistemas de riego bajo estas condiciones. Algunas alternativas que nos pueden ayudar a aumentar el agua productiva pueden ser la implementación de campañas de extensión relacionadas con actividades de manejo del agua y programación del riego para aumentar los beneficios del agua y operar de manera eficiente los sistemas de riego presurizado instalado en el valle agrícola y que no derive una operación deficiente.

Literatura

- Alatorre, L. C., Díaz, R. E., Miramontes, S., Bravo, L. C., & Sánchez, E. (2014). Spatial and temporal evolution of the static water level of the Cuauhtemoc Aquifer during the years 1973, 1991 and 2000: a geographical approach. *Journal of Geographic Information System*, 6(05), 572.
- Erler, D. V., Dudgeon, C. L., Armstrong, A. O., Banks, E. W., Ramirez-Valle, O., Gutiérrez-Jurado, H. A., ... & Townsend, K. A. (2024). Linking transpiration to reef nitrogen supply on a tropical coral island. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 129(2), e2023JG007413.
- Gerten, D., Heck, V., Jägermeyr, J., Bodirsky, B. L., Fetzer, I., Jalava, M., ... & Schellnhuber, H. J. (2020). Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. *Nature Sustainability*, 3(3), 200-208.
- Jha, M. K., Shekhar, A., & Jenifer, M. A. (2020). Assessing groundwater quality for drinking water supply using hybrid fuzzy-GIS-based water quality index. *Water Research*, 179, 115867.
- Liu, W., Liu, X., Yang, H., Ciais, P., & Wada, Y. (2022). Global water scarcity assessment incorporating green water in crop production. *Water Resources Research*, 58(1), e2020WR028570.
- Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *science*, 313(5790), 1068-1072.
- Medina García Guillermo, Berzoza Martínez Mario, Antonio Humberto, y Chavez Silva. 2006. Libro Técnico ESTADÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS BÁSICAS DEL ESTADO DE CHIHUAHUA (PERIODO 1961-2003).

- Právělie, R. (2016). Drylands extent and environmental issues. A global approach. *Earth-Science Reviews*, 161, 259-278.
- Reynolds, J. F., Smith, D. M. S., Lambin, E. F., Turner, B. L., Mortimore, M., Batterbury, S. P., ... & Walker, B. (2007). Global desertification: building a science for dryland development. *science*, 316(5826), 847-851.
- Santos-Hernández, A. L., Palacios-Velez, E., Mejía-Saenz, E., Matus-Gardea, J. A., Galvis-Spíndola, A., Vásquez-Soto, D., ... & Peña-Díaz, S. A. (2019). Análisis del uso del agua del acuífero Cuauhtémoc, Chihuahua, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(3), 156-189.
- Singha, S., Pasupuleti, S., Singha, S. S., Singh, R., & Kumar, S. (2021). Prediction of groundwater quality using efficient machine learning technique. *Chemosphere*, 276, 130265.
- Zhang, L., Chen, F., & Lei, Y. (2020). Climate change and shifts in cropping systems together exacerbate China's water scarcity. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104060.
- Richter, B. D., Bartak, D., Caldwell, P., Davis, K. F., Debaere, P., Hoekstra, A. Y., ... & Troy, T. J. (2020). Water scarcity and fish imperilment driven by beef production. *Nature Sustainability*, 3(4), 319-328.
- Ramirez-Valle, O. (2022). Impact of Agricultural Practices on the Consumptive Water Use of Irrigated Annual and Perennial Crops of Northern México and the US Southwest (Doctoral dissertation, The University of Texas at El Paso).



@IrrigacionCOMEII



@RiegoMexico



Canal COMEII



contacto@riego.mx



www.riego.mx



+52 56 4345 6237

"Con AGUA todo, sin ella NADA"