



Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Facultades de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina

Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales

**EL CONOCIMIENTO TRADICIONAL EN LOS MODELOS DE PRODUCCIÓN
DE ALIMENTOS: ESTRATÉGIAS DE ADAPTACIÓN DEL RECURSO AGUA EN
ZONAS ÁRIDAS DEL ALTIPLANO POTOSINO.**

**Tesis para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Ambientales.**

Presenta:

LCAS. Luis Ricardo Zurita Salinas.

Director de tesis:

Dra. Virginia Gabriela Cilia López.

Asesores:

Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles.

M. C. Alejandro Durán Fernández.

San Luis Potosí, S.L.P.

Enero de 2025

Créditos institucionales


Proyecto realizado en:

Ejido de San Antonio de Coronados, Catorce, San Luis Potosí

**Agradecimiento especial a CONAHCyT por el otorgamiento de la beca nacional para
maestría**

Becario No. 1229615

**Maestría en Ciencias Ambientales a través del Programa Nacional de Posgrados de
Calidad (PNPC)**

EL CONOCIMIENTO TRADICIONAL EN LOS MODELOS DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS: ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN DEL RECURSO AGUA EN ZONAS ÁRIDAS DEL ALTIPLANO POTOSINO © 2025 by Luis Ricardo Zurita Salinas is licensed under [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) 

Agradecimientos académicos

A la Dra. Virginia Gabriela Cilia López por compartirme su conocimiento y visión, por depositar en mi su confianza y guiarme en este trayecto de aprendizaje y experiencias que sin duda aportaran de manera positiva en mi vida profesional y académica.

A mis asesores, Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles y M.C. Alejandro Durán Fernández, quienes me apoyaron durante el desarrollo de este trabajo, orientándome y compartiendo su conocimiento en favor de mejores resultados.

Al Dr. Javier Fortanelli Martínez por compartir su sabiduría y enseñanzas que hicieron de este trabajo una experiencia realmente enriquecedora.

Agradecimientos personales

Agradezco de manera atenta a las comunidades de San Antonio de Coronados y Ranchito de Coronados por permitirme realizar este trabajo y recibirme de manera cálida y amistosa durante mis visitas. Tomo en especial consideración al Sr. Antonio Pérez Medina, Comisariado del ejido de San Antonio de Coronados y al Sr. José Pablo Hernández Pérez, autoridad principal de la comunidad de San Antonio de Coronados, por permitirnos trabajar dentro del ejido.

A todas las personas que brindaron su tiempo para compartir sus experiencias y conocimiento en este trabajo: Aristeo, Natalio, Víctor Manuel, Simón, Manuel, Andrea, Fidencio, Margarito, Teodora, Cornelio, José Luis, Teófilo, Simón, Isabel, Rogelio, Hilario, Ricardo y Pedro.

Con especial cariño agradezco a Juan y Juanito Medina, quienes me apoyaron con especial entusiasmo durante mis visitas al ejido, su compañía y apoyo para el traslado y durante el muestreo fue clave para el resultado de este trabajo.

Al profesor Tomás Guerrero, por su hospitalidad y compromiso, pues fue un actor clave para el trabajo con los productores y autoridades locales.

Al Dr. Onésimo González Costilla por compartir su experiencia y conocimiento sobre las comunidades del altiplano potosino.

A mis compañeros y amigos de maestría, Melissa, Judith, Miguel, Paola y Jeanine, por su apoyo y amistad incondicional en cada parte del proceso.

A mis amigos, Andrea, Ulises, Vianey, Viridiana y Fernanda, por su apoyo incondicional, confianza y ánimos durante todo el proceso.

A mi familia, por todo el amor, la atención, el cuidado y la confianza depositada en mí, gracias por acompañarme en cada paso del proceso, por compartir su vida conmigo y ser mi fuente de fortaleza y sabiduría, los amo incondicionalmente.

A mi madre Dora Elia Salinas Rosales, quién me enseña a diario a ser mejor persona y profesional, me da fuerza y es ejemplo de constancia y dedicación, gracias por brindarme tu fuerza y compartir conmigo ese amor por la familia, te amo.

A mi padre Ricardo Zurita Escamilla, quién me apoya incondicionalmente en todas mis metas y sueños, ejemplo de trabajo duro y perseverancia, gracias por ser un pilar en mi vida y siempre brindarme seguridad y cariño. Te amo.

A mis hermanos, José Pablo y Adaliz, quienes comparten este viaje con alegría y cariño, por ser mi apoyo y compañía, los admiro y me siento feliz de ser parte de su crecimiento, gracias por darme lecciones de vida y estar siempre a mi lado, los amo.

Un especial agradecimiento a mi tía Ma. Elsa Salinas Rosales, quién me apoya constantemente en mis metas profesionales y fue pieza clave en el desarrollo de este trabajo, gracias por el cariño y la confianza.

Índice	Página
Resumen	13
Abstract	15
Capítulo 1. Generalidades del sitio de estudio	
Introducción	17
Justificación	22
Sitio de estudio	23
Objetivos y preguntas de investigación	28
Materiales y métodos	28
Referencias	32
Capítulo 2. Dinámica hidrológica general a nivel de cuenca y microcuenca	
Introducción	36
Objetivos y preguntas de investigación	38
Materiales y métodos	39
Delimitación de la cuenca y red de drenaje	39
Índice Estandarizado de precipitación (SPI)	44
Landscape Function Analysis (LFA)	49
Resultados	51
Delimitación de la cuenca y red de drenaje	51
Índice de Precipitación Estandarizado	59
Landscape Function Analysis (LFA)	65
Discusión	72
Conclusiones	76
Referencias	78

	Páginas
Capítulo 3. Prácticas, estrategias y adaptaciones productivas relacionadas al manejo y conservación de agua dentro de los sistemas productivos locales	
Introducción	82
Objetivos y preguntas de investigación	85
Materiales y método	85
Resultados	88
Discusión	105
Conclusiones	112
Referencias	114
Capítulo 4. Discusión general	
Discusión general	119
Conclusiones generales	127
Recomendaciones	128
Referencias	130

Índice de tablas	Páginas
Capítulo 1	23
Tabla 1. Rasgos hidrográficos de la subcuenca RH37Bc “Subcuenca de Catorce”	
Capítulo 2.	
Tabla 2. Características del modelo digital de elevaciones.	39
Tabla 3. Clasificación de cuenca según su área	40
Tabla 4. Valores de SPI	44
Tabla 5. Estaciones meteorológicas seleccionadas	45
Tabla 6. Estaciones climatológicas y los datos seleccionados para generar los valores faltantes en la estación 24165 (San José de Coronados)	47
Tabla 7. Índices que integran la etapa de la evaluación de la condición de la superficie del suelo	49
Tabla 8. Indicadores del estado de la superficie que componen el LFA	50
Tabla 9. Órdenes de flujos dentro de la microcuenca del Ejido de San Antonio de Coronados, Catorce	52
Tabla 10. Parámetros generales de la microcuenca del Ejido de San Antonio de Coronados, Catorce.	52
Tabla 11. Estadísticos descriptivos de los índices que componen la SSA.	65
Capítulo 3.	
Tabla 12. Descripción de las categorías y preguntas que componen la entrevista a productores	86
Tabla 13. clasificación de productores locales	88

Tabla 14. Recursos vegetales de recolección	96
---	----

Páginas

Índice de figuras

Capítulo 1.

Figura 1. Mapa de la Subcuenca de Catorce (RH37Bc), dentro de encuentran señaladas las comunidades seleccionadas y las estaciones climatológicas cercanas.	30
--	----

Capítulo 2.

Figura 2. Estaciones climatológicas y sus distancias respecto a la estación 24165 (San José de Coronados).	46
---	----

Figura 3. Cuadrantes con distintos tipos de parches en las unidades de producción en el ejido de San Antonio de Coronados:	51
---	----

Figura 4. Mapa de la delimitación de la microcuenca y la red de drenaje del ejido de San Antonio de Coronados, Catorce.	53
--	----

Figura 5. Tipos de clima dentro de la microcuenca del Ejido San Antonio de Coronados, Catorce.	55
---	----

Figura 6. Tipos de suelo dentro de la microcuenca del Ejido San Antonio de Coronados, Catorce.	56
---	----

Figura 7. Características sociopolíticas dentro de la microcuenca del Ejido San Antonio de Coronados, Catorce	57
--	----

Figura 8. Mapa y fotografías del recorrido observacional a la comunidad y presa del Puerto de vacas, Ejido de San Antonio de Coronados, Catorce	58
---	----

Figura 9. IDW (Distancia Inversa Ponderada) dentro de la microcuenca del Ejido San Antonio de Coronados,	59
---	----

	Páginas
Figura 10. A) Series temporales para cada intervalo de medición (3,12 y 48 meses) del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) de la estación climatológica 24165 (San José de Coronados)	63
Figura 11. Frecuencias de los indicadores que componen la SSA	66
Figura 12. Frecuencias de valores correspondientes al índice de estabilidad del SSA.	69
Figura 13. Frecuencias de valores correspondientes al índice de infiltración del SSA	70
Figura 14. Frecuencias de valores correspondientes al índice del estado del ciclo de nutrientes del SSA	70
 Capítulo 3.	
Figura 15. Frecuencias descriptivas para los aspectos generales de los productores y su unidad de producción	89
Figura 16. Frecuencias descriptivas sobre el desarrollo del maíz en distintas condiciones de humedad	90
Figura 17. Participación de los distintos actores en las labores productivas dentro de la parcela	91
Figura 18. Fuentes principales de germoplasma y sus distintos tratamientos	92
Figura 19. Variedades de maíz y sus características	93
Figura 20. Establecimiento de cultivo y prácticas culturales	96
Figura 21. Uso y suficiencia de la producción	98
Figura 22. Manejo del suelo y agua en la parcela	99

	Páginas
Figura 23. Percepción de la frecuencia y cantidad de lluvia en el sitio de estudio	100
Figura 24. Riesgos para la producción agrícola en el sitio de estudio	101
Figura 25. Tradiciones relacionadas a la agricultura en el sitio de estudio	102
Figura 26. Dinámica de los conocimientos tradicionales agrícolas en el sitio de estudio	103
Figura 27. Clasificación de los productores de acuerdo con el manejo del conocimiento tradicional	104

RESUMEN

El sector agrícola es la principal fuente de producción de alimentos a nivel mundial, además de ser parte importante de las cadenas económicas en todos los niveles, La producción agrícola está estrechamente ligada al régimen y los niveles de precipitación en las regiones de producción, sobre todo la agricultura de secano, cuyo suministro de agua depende únicamente de las lluvias estacionales y los escurrimientos superficiales, este tipo de agricultura se desarrolla en zonas áridas y semi áridas donde la disponibilidad de agua es limitada y se requieren adaptaciones especiales en el manejo y la conservación de humedad.

Los conocimientos agrícolas tradicionales tienen efectos positivos en la resiliencia de los sistemas productivos locales frente a las condiciones naturales de poca humedad, y como estrategias adaptativas frente a los efectos del cambio climático y la variabilidad climática. Actualmente los conocimientos tradicionales se pierden a causa de procesos de aculturación, movimientos migratorios y una mayor dependencia a la tecnología.

En el presente protocolo se identificaron las prácticas, estrategias y adaptaciones productivas relacionadas al manejo y conservación de agua realizadas por los productores locales, así como la descripción de los sistemas agrícolas de secano respecto a la disponibilidad, calidad y utilización del recurso agua en las unidades de producción dentro de la microcuenca de San Antonio de Coronados, Catorce, S.L.P.

Mediante el análisis de datos climáticos e hidrológicos locales se pudo realizar la caracterización de la microcuenca, cuyas características pueden favorecer los procesos de infiltración del agua de lluvia al ser una microcuenca grande y oblonga, con una baja red de drenaje, poca pendiente y un tiempo de concentración largo.

También se aplicó el Índice de Precipitación Estandarizado para conocer los eventos de déficit o aumento de la precipitación en un periodo de 30 años, demostrando una tendencia de aumento de humedad en el sitio de estudio, sin embargo también se pudo observar el cambio del régimen de precipitación y el aumento de la variabilidad Inter estacional de humedad, con presencia de estaciones secas más con menor humedad y de mayor duración, mientras que las estaciones húmedas se presentan con un eventos de mayor humedad pero en periodos de tiempo más cortos.

A través del Landscape Function Analysis aplicado en el suelo de las parcelas para describir el estado de la superficie del suelo, se demostró que los índices de estabilidad, capacidad de infiltración y el estado del ciclo de nutrientes presentan valores bajos en comparación con

ecosistemas conservados, pudiendo afectar procesos importantes para la salud y la productividad del suelo, por ejemplo la infiltración del agua de lluvia, el aumento de la escorrentía superficial y la reincorporación de la materia orgánica.

El manejo productivo que llevan a cabo los productores dentro de sus unidades de producción resulta insuficiente para mantener la salud del suelo, evitar los procesos de erosión y mantener la humedad por un periodo de tiempo más prolongado. Este resultado puede ser explicado por los procesos migratorios, falta de interés de las nuevas generaciones y la pérdida del conocimiento agrícola tradicional y la falta de asesoramiento técnico.

Frente a la pérdida del conocimiento tradicional, es importante documentarlo para asegurar su protección y fomentar el etnodesarrollo.

Finalmente, se identificaron amenazas que afectan las actividades agrícolas en el sitio de estudio, principalmente el retraso de las lluvias con una estación húmeda de menor duración, la falta de fuentes de agua, programas de gobierno mal enfocados, una mala organización comunitaria y el establecimiento de agricultura protegida cerca al sitio de estudio.

Palabras clave: Conocimiento tradicional, dinámica hidrológica, secano, manejo tradicional, disponibilidad, agua, suelo.

ABSTRACT

The agricultural sector is the main source of food production worldwide, and is also an important part of economic chains at all levels. Agricultural production is closely linked to the rainfall regime in production regions, especially in dryland agriculture, whose water supply depends solely on seasonal rainfall and surface runoff. This type of agriculture is developed in arid and semi-arid areas where water availability is limited, requiring special adaptations in moisture management and conservation.

Traditional agricultural knowledge has positive effects on the resilience of local production systems in the face of natural conditions of low humidity, and as adaptive strategies against the effects of climate change and climate variability. Currently, traditional knowledge is being lost due to processes of acculturation, migratory movements, and increasing dependence on technology.

This protocol identifies the practices, strategies, and productive adaptations related to water management and conservation carried out by local producers, as well as a description of dryland agricultural systems concerning the availability, quality, and use of water resources in production units within the San Antonio de Coronados micro-watershed, Catorce, S.L.P.

Through the analysis of local climatic and hydrological data, the characterization of the micro-watershed was carried out, whose features may favor rainwater infiltration processes, being a large, oblong micro-watershed with a low drainage network, slight slope, and a long concentration time.

The Standardized Precipitation Index was also applied to understand the events of precipitation deficit or surplus over a 30-year period, showing a trend of increased moisture at the study site. However, a change in the precipitation regime and an increase in interseasonal moisture variability were also observed, with drier seasons exhibiting lower moisture and longer duration, while wet seasons have higher moisture events but in shorter periods.

Using the Landscape Function Analysis applied to the soil in the plots to describe the soil surface condition, it was demonstrated that stability indices, infiltration capacity, and nutrient cycling status had low values compared to conserved ecosystems, which could affect important processes for soil health and productivity, such as rainwater infiltration, increased surface runoff, and the incorporation of organic matter.

The productive management carried out by producers within their production units is insufficient to maintain soil health, prevent erosion processes, and retain moisture for a more

extended period. This result can be explained by migratory processes, lack of interest from younger generations, loss of traditional agricultural knowledge, and the lack of technical guidance. Given the loss of traditional knowledge, it is essential to document it to ensure its protection and promote ethnodevelopment.

Finally, risks affecting agricultural activities at the study site were identified, mainly the delay of rains with a shorter wet season, lack of water sources, poorly focused government programs, poor community organization, and the establishment of protected agriculture near the study site.

Key words: Traditional knowledge, hydrological dynamics, dryland, traditional management, availability, water, soil.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DEL SITIO DE ESTUDIO

Introducción.

Actualmente el sector agrícola enfrenta un reto importante pues es el usuario más importante de agua a nivel mundial con un consumo aproximado del 70% de agua dulce del planeta. El sector agrícola es la principal fuente de abastecimiento de alimentos a nivel mundial, proporciona biocombustibles y suministros energéticos, además de ser parte importante de las cadenas económicas regionales, nacionales e internacionales (Pawlak y Kolodzieiczak, 2020; Agnes et al., 2023).

La producción agrícola está estrechamente ligada al régimen y los niveles de precipitación en las regiones de producción. Como una forma de minimizar los efectos de las sequías y las variaciones climáticas, los productores invierten en sistemas tecnificados de irrigación para mantener la producción. A nivel mundial, 275 millones de hectáreas se encuentran con sistemas de irrigación, es decir el 45% de la producción total de alimento (Sifuentes et al., 2016; Agnes et al., 2023).

Con el tiempo se han desarrollado distintos métodos de irrigación con mejor eficiencia en el uso del agua, actualmente los métodos más utilizados son los métodos de riego localizado como la microaspersión y riegos superficiales como el método de inundación. En las zonas áridas y semi áridas destacan los métodos con mayor eficiencia como la aspersión, la microaspersión y el goteo, sin embargo, estos sistemas requieren una mayor inversión en materiales y energía, lo que afecta en el consumo de agua y la emisión de gases de efecto invernadero (Agnes et al., 2023).

De acuerdo con la base de datos Beta Aqueduct (2023), México se encuentra en el lugar número 24 a nivel mundial entre los países con mayor estrés hídrico, tanto la agricultura como el uso doméstico y el industrial presentaron altos niveles de estrés hídrico. Respecto a nivel estatal, San Luis Potosí se ubicó en el puesto número 20 con un alto nivel de estrés hídrico.

Respecto al riesgo por sequía, a nivel mundial México se posicionó en el lugar número 69 con un nivel medio de riesgo por sequías. San Luis se ubicó en el lugar número 19 a nivel nacional con un score de 0.54 (Beta Aqueduct, 2023).

La región hidrológica del Salado (RH-37), catalogada por su extensión como una de las regiones interiores más importantes de México con un área de 87518.7 km², abarca más de la mitad del territorio de San Luis Potosí y se caracteriza por tener cuencas endorreicas con poca presencia

de cuerpos de agua superficiales y perenes. (INEGI,2002). Las cuencas de esta región son susceptibles a la ocurrencia de sequías de amplia cobertura, intensas y de larga duración por su clima seco, cálido y templado en algunas áreas. Estos fenómenos de sequía provocan que los volúmenes almacenados a través del tiempo disminuyan tanto en acuíferos y cuerpos de agua naturales, como en las obras hidráulicas de captación de agua en las comunidades y regiones agrícolas, con consecuencias graves en la mortalidad de ganado y una baja producción de cosechas. Un análisis regional menciona que en cincuenta años se han presentado cuatro largos periodos de sequía (FIDERCO, 2008).

Dentro de esta región hidrográfica también se identifican otras problemáticas importantes como la deficiente infraestructura hidroagrícola, baja cobertura y calidad de servicios de agua potable y alcantarillado en zonas rurales; deficiente aprovechamiento de agua subterránea y superficial; escaso tratamiento y reúso de aguas residuales provenientes principalmente del sector agrícola, industrial y urbano que terminan por contaminar los acuíferos y junto a contaminación natural de sales y elementos como el arsénico se deriva en una mala calidad de agua. Todas estas problemáticas en conjunto a una mala planificación y administración de un recurso escaso comprometen el futuro de las comunidades y su desarrollo (FIDERCO, 2008).

El acuífero Vanegas-Catorce (2401), es el acuífero en donde se encuentra el sitio de estudio, presenta valores de permeabilidad bajos, con cantidades menores a 1 m de infiltración por día, por lo que se cataloga como un acuífero pobre. A pesar de esto en esta región se sitúan la mayor cantidad de aprovechamientos de agua subterráneos Con 337 aprovechamientos subterráneos para 2021, de los cuales 167 son para uso agrícola como uso predominante, dos domésticos, uno industrial, 118 pecuario y 49 público urbano, con un volumen de extracción de 30.8 Mm³ anuales. El sector agrícola utiliza el 48.1% de este aprovechamiento, seguido del sector pecuario con el 34.2%. El incremento constante de la extracción conlleva a la sobreexplotación del acuífero con importantes repercusiones para las comunidades de la región y sus habitantes (Ramírez, 2016; CONAGUA, 2023).

Un efecto de esta sobreexplotación se puede observar en la profundidad al nivel de agua subterránea que para el año 1997 presentaba variaciones desde los 15 hasta los 48 m. en la porción sur del acuífero, entre las localidades de Estación Wadley y San Antonio de Coronados, para el año 2008 la profundidad aumento con oscilaciones entre 12 y 100 m. Estos parámetros demuestran una tendencia negativa en el abatimiento del acuífero correspondiente a 0.5 m. por año, con

abatimientos críticos de 28.7 m en algunas zonas y una tasa anual en el punto crítico de 2.5 m por año. Estos sitios críticos se ubican principalmente en la zona centro del acuífero donde se presenta la mayor densidad de aprovechamientos (Ramírez, 2016).

De acuerdo con parámetros obtenidos de estaciones meteorológicas locales, la zona se caracteriza por tener una precipitación muy escasa, lo que genera condiciones complicadas para permitir el desarrollo de agricultura, tanto de temporal como de riego. Estas condiciones adversas se ven acentuadas con la falta de infraestructura hidráulica con capacidad para almacenar y aprovechar el escaso volumen de agua disponible en la región, además de que la infraestructura presente se encuentra en malas condiciones, con azolve acumulado y agrietamientos que se traducen en fugas, lo que disminuye su eficiencia para retener el agua y provoca que sea poca la cantidad que puede ser distribuida a las zonas de cultivo.

Estas condiciones particulares tienen efectos importantes en la actividad agrícola como la pérdida de cosechas, bajos rendimientos y abandono de parcelas, así como disminución de la producción pecuaria por la falta de forraje para la alimentación del ganado, el conjunto de estos efectos provoca que las condiciones socioeconómicas de la población que se dedica al sector agrícola se vean afectadas y no se pueda realizar un aprovechamiento eficiente del recurso hídrico (Liñán y Balderas, 2015).

A pesar de que la cuenca de Matchuala (B), presenta importantes proyectos de infraestructura hidráulica como es el caso de la construcción de la presa “LA Maroma”, ubicada en la microcuenca del arroyo Jordán en la parte alta de la sierra de Catorce, con el objetivo de proveer agua para actividades agropecuarias de la región y el abastecimiento de agua para consumo humano de las zonas urbanas, las capacidades de conservación de agua de este proyecto es apenas de 1.61 Mm³, de los cuales 1.44 Mm³ serán de capacidad útil, esta cantidad es insuficiente para combatir el déficit total de la región de influencia del proyecto, el cual es de -8.5 Mm³ correspondiente a los acuíferos 2401 (Catorce-Vanegas) y 2407 (Matchuala-Cedral) (Liñán y Balderas, 2015; CONAGUA, 2020; CONAGUA, 2023).

El cambio de uso de suelo asociado a actividades humanas trae consigo impactos importantes en el balance hídrico en las pequeñas cuencas, así como también a nivel regional. Tomando en cuenta las características particulares de la cuenca de estudio donde naturalmente la tasa de evaporación es mayor que la tasa de infiltración, esto provoca que sea una cuenca más susceptible a los cambios provocados por el ser humano. La literatura señala la relación entre el

aumento de escorrentía en pie de montes y otras formas transicionales con el aumento de la superficie con cambio de uso de suelo de vegetación original a asentamientos urbanos y actividades agrícolas (Giménez de Azcaráte, 2011)

En estudios anteriores se observó la pérdida de la cobertura vegetal original de la sierra de Catorce por procesos de deforestación, fuego o sobre pastoreo lo que trae consigo una disminución o desaparición de especies características (Giménez de Azcaráte, 2011).

Según estudios recientes de 2010 a 2013 se presentaron 48 incendios forestales dentro del área de la sierra de Catorce y entre las principales causas se puede observar una presencia fuerte de causas antropógenas como fumadores, fogatas, actividades agropecuarias y una pequeña porción de incendios naturales (Cárdenas y De León, 2021). La vegetación más afectada fue el matorral desértico rosetófilo, matorral desértico micrófilo y chaparral (Rodríguez y Santacruz, 2021).

El uso de suelo tiene una gran influencia sobre varios parámetros que influyen sobre el balance hídrico como la capacidad de infiltración alta por la presencia de una mayor cobertura vegetal favoreciendo el flujo del agua hacia almacenamiento subterráneo y de manera contraria una intensificación del escurrimiento superficial y los procesos de erosión y pérdida de fertilidad del suelo gracias a procesos de deforestación (Sosa et al., 2001; Ixmáta, 2003).

De acuerdo con el World Resources Institute, la agricultura se encuentra dentro de las actividades humanas con mayor dependencia a la disponibilidad del recurso hídrico por lo que las actividades productivas, volumen de producción y beneficios van a estar estrechamente ligados a los riesgos hídricos globales. Principalmente se observa una importante relación con la cantidad de riesgos físicos como el estrés hídrico el cual se refiere a la relación entre la extracción total de agua y la cantidad de suministros renovables de agua superficial y subterránea disponibles; el agotamiento de agua de referencia, se refiere a la relación entre el consumo total y los suministros de agua renovable disponibles; la disminución del nivel freático; la amenaza de sequía y en menor medida la variabilidad interanual, la cual mide la variabilidad promedio de suministros de agua potable entre un año y otro (Hofste et al., 2019).

En la región existe una problemática documentada respecto la producción de jitomate de manera intensiva, pues desde 1997 se ha incrementado la superficie destinada a este cultivo de importancia económica, con el incremento de la producción también aumento la superficie de riego para asegurar la producción, hasta 2006, este tipo de superficie aumento en un 21.23%. Este tipo de producción trae consigo consecuencias importantes como la extracción y agotamiento de

nutrientes del suelo y el abatimiento de los acuíferos por la extracción del agua subterránea para el riego, además esta agua tiene en su composición de sales disueltas que terminan en la superficie de los suelos agrícolas, promoviendo la salinización y favoreciendo la pérdida de productividad de las parcelas en tiempos muy cortos, según la FAO, el 10% de las tierras irrigadas del mundo han sido salinizadas debido a las mañas prácticas de riego y el escaso drenaje (Zúñiga et al., 2021).

El jitomate está catalogado como un cultivo de importancia económica para México, ya que existe un aumento en la demanda mundial con un crecimiento acumulado de 32.10%. La producción mexicana represente el 90.67% del total de las importaciones de Estados Unidos, por lo que es altamente redituable. Debido su importancia, la SAGARPA tiene planes estratégicos de producción en donde se identificaron las regiones estratégicas de producción y regiones potenciales, la subcuenca de Catorce-Vanegas se encuentra dentro de la región 24 de producción en ciclo verano-primavera, junto con otras cuencas dentro de los estados de Nuevo León y Coahuila, catalogada como una región histórica con una frontera agrícola de 276,213 Ha. Estas estrategias tienen como objetivo impulsar el desarrollo de la agricultura protegida, fomentar la industrialización del jitomate, elaborar estudios de mercado para el producto en fresco y procesado de este sector agrícola e incrementar el rendimiento y mejorar la calidad e inocuidad del producto mediante la introducción de paquetes tecnológicos (SAGARPA, 2017).

Estas estrategias se traducen en una mayor disponibilidad de programas y apoyos a productores con este modelo de producción, lo que provoca desigualdad en oportunidades de los agricultores tradicionales quienes tienen dificultades para acceder a programas y apoyos que favorezcan sus modelos de producción (SAGARPA, 2017). Esta producción intensiva de jitomate también representa la competencia con otros cultivos históricos como el nopal y cultivos tradicionales como el maíz y el frijol, que al ser de temporal, quedan en evidente desventaja frente a la producción intensiva respecto al recurso hídrico, provocando la paulatina disminución de la superficie cultivada de estas especies (Munguía, 2022). Esto culmina con consecuencias socioeconómicas y culturales importantes en las comunidades rurales y agrícolas dentro de la subcuenca, pues muchos de estos sistemas de temporal y sus productos son usados para el autoconsumo y favorecen la seguridad alimentaria familiar. Al no poder continuar con estos sistemas de producción las familias pueden presentar inseguridad alimentaria, vulnerabilidad por falta de ingresos provenientes de la venta al por menor de sus cosechas y el favorecimiento de procesos de migración a ciudades cercanas en donde existe mayor oferta de empleo y mejores

condiciones de vida (Eche, 2018). Esto se aprecia con la tendencia de decrecimiento poblacional que están enfrentando la mayoría de las comunidades del municipio, causando la pérdida del conocimiento tradicional que normalmente se transmite de generación en generación. El conocimiento tradicional forma parte fundamental de los sistemas de secano por las prácticas derivadas que representan adaptaciones a las condiciones de aridez de la región, como la selección de germoplasma resistente proveniente de especies locales, lo que permite un mejor uso del agua (Gobierno del estado, 2008; Rosas-Bustos, 2020).

Justificación.

Este estudio nace de la necesidad de entender y documentar las estrategias empleadas por los agricultores de secano del altiplano potosino ante las condiciones de aridez en las distintas estaciones funcionales del año y como se ven influenciadas estas estrategias ante factores externos que intervienen en la disponibilidad del recurso hídrico. Estas estrategias ofrecen un potencial importante, pues permiten incrementar la disponibilidad de agua azul y agua verde y su uso en los sistemas de producción tradicionales en zonas áridas, donde normalmente existe una pérdida importante de agua por procesos de evapotranspiración (Stewart y Peterson, 2015).

Es importante fomentar este tipo de estudios enfocados a microcuencas ya que en este espacio es donde las interacciones entre el uso y manejo de los recursos naturales y el comportamiento de estos mismos se dan con mayor intensidad y de manera más lógica, a diferencia de cualquier otro sistema de delimitación socioeconómica o administrativa. El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) menciona en estudios recientes que la microcuenca como ámbito de planificación resulta ser la mejor opción técnica y estratégica de planificación en los sistemas de producción y el manejo de los recursos naturales (Zúñiga et al., 2021).

Además, en el aspecto social es donde convergen las partes interesadas, los agricultores, la comunidad y las instituciones, sus intereses y motivaciones, con este enfoque se favorece la armonización y la concertación de intereses (Zúñiga et al., 2021).

Los resultados obtenidos en esta investigación pueden favorecer el diseño de planes y programas mejor adaptados al contexto de las comunidades rurales del altiplano potosino, que se traduzcan en una mayor disponibilidad y gestión del recurso hídrico en los sistemas de producción tradicionales, que además de desarrollarse en situaciones áridas con la complejidad que esto

significa, también están inmersos en contextos regionales donde existe la presencia factores externos a la comunidad que están en constante competencia por el recurso hídrico y favorecen la inseguridad alimentaria, la pobreza, y la marginación también permite preservar mediante la documentación y el entendimiento los conocimientos tradicionales valiosos que han sido generados y perfeccionados a través del tiempo y que son transmitidos de generación en generación. Este conocimiento actualmente se pierde a causa de fenómenos sociales como la migración y el despoblamiento de las comunidades agrícolas, derivados de la incertidumbre económica, y las desigualdades sociales y de acceso a recursos como el agua, la pérdida de sus cosechas y la falta de alimento (Rojas, 2009).

La preservación de estos conocimientos puede generar información acerca de la importancia que tiene fomentar la inversión pública y privada en sistemas de producción tradicionales, que en el caso de este estudio están enfocados en los sistemas agrícolas de secano la subcuenca Catorce- Vanegas, en el altiplano potosino.

Esto favorece la competitividad y rentabilidad de las unidades de producción de los pequeños productores y puede generar igualdad de condiciones frente a medianos y grandes productores en el acceso a recursos naturales y económicos.

Sitio de estudio

Subcuenca Hidrográfica RH37Bc. “Catorce”.

Hidrografía

La subcuenca RH37Bc denominada como “Subcuenca de Catorce” es una de las tres subcuencas que conforman la cuenca de Matehuala, es de tipo exorreica con un drenaje principal con dirección al norte hacia la cuenca RH37Bb “Huertecillas”. Sus características se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Rasgos hidrográficos de la subcuenca RH37Bc “Subcuenca de Catorce”

Identificador	583	Elevación Máxima Subcuenca(m)	3180
Clave Subuenca	RH37Bc	Elevación Mínima Subcuenca (m)	1740
Nombre subcuenca	Catorce	Pendiente Media Subcuenca (%)	8.36
Área Km ²	3753.08	Elevación Máxima Corriente Principal(m)	2281
Perímetro Km	383.74	Elevación Mínima Corriente Principal (m)	1724
Densidad de Drenaje	1.6872	Longitud de Corriente Principal (m)	108663

Coefficiente de Compacidad	1.7664	Pendiente de Corriente Principal (%)	0.512
Longitud promedio de flujo superficial	0.14817449	Sinuosidad de Corriente Principal	1.240903036

(Recuperado: INEGI. 2023).

Agua subterránea

Respecto al agua subterránea el sitio de estudio se encuentra dentro del acuífero “Vanegas-Catorce” con clave 2401, cubre una superficie aproximada de 4,382 km² y abarca los municipios de Vanegas, Catorce, Cedral, Charcas y Villa de Guadalupe y en menor medida una porción de Santo Domingo. El acuífero tiene una profundidad al nivel de agua subterránea entre 60 y 80 m. para 2008. Con su zona de recarga ubicada al oeste y este del acuífero, sin visualizar recarga proveniente de otros acuíferos o de fuentes superficiales y sus características se describen en la Tabla 2. (CONAGUA, 2015).

Vegetación y uso de suelo.

Las variaciones de vegetación que presenta la subcuenca RH37Bc dependen de factores diversos que interactúan entre sí para generar condiciones ambientales particulares, entre los factores más importantes se encuentra el efecto de sotavento provocado por la Sierra Madre Oriental, provocando un efecto de sombra de lluvia, lo que genera la aridez característica de la región; las geformas que van a derivar en diferencias altitudinales; temperatura, humedad, composición del suelo y orografía, entre otros (Gobierno del Estado, 2006). Dentro de los tipos de vegetación se encuentran: **Chaparral** en los rangos de altitud más elevados de la Sierra de Catorce, compuesto principalmente de elementos arbustivos del género *Quercus*; **Bosque templado** en las partes altas de la sierra de Catorce, compuesto principalmente por el piño piñonero (*Pinus cembroides*) en traslapo con *Quercus pringleii*; **Matorral desértico rosetófilo y vegetación secundaria** en los pies de montes y lomeríos con predominancia de especies arbustivas y semi arbustivas de hojas alargadas y estrechas, en forma de roseta como *Yucca filifera* y *Echinocactus platyacanthus*; **Matorral desértico micrófilo y vegetación secundaria** con la mayor distribución espacial dentro de la subcuenca, presente principalmente en las partes bajas de los lomeríos, la especie dominante representativa de este tipo de vegetación es *Prosopis spp*; **Matorral crasicaule** en laderas de baja altura y planicies caracterizada por la predominancia del género *Opuntia*; **Pastizal inducido** resultado de la eliminación de la cobertura vegetal original con enfoque al pastoreo y **agricultura de riego anual y agricultura de temporal anual** en las laderas de lomeríos

para la agricultura de temporal y en planicies para agricultura de riego y de temporal. Actualmente el municipio cuenta con 20 unidades de producción de agricultura protegida. Respecto a la agricultura de temporal, el municipio cuenta con 4401 unidades de producción y el maíz grano es el cultivo más importante (Gobierno del Estado, 2006; IFT, 2019).

Clima

La región se caracteriza por ser una región árida y semi árida del desierto chihuahuense, presenta dos tipos de climas principales, predomina el clima seco (B), con las variantes de semiseco semicálido con lluvias en verano (BWkw) y seco cálido con régimen de lluvias intermedio (BSok(x')) escasas durante el año) con temperaturas promedio de los 12 a los 18°C y 5 a los 12°C en orden de mención. En las partes altas, como es el caso de la sierra de Catorce, se presenta el clima templado semifrío subhúmedo con lluvias en verano (CWo), con una temperatura promedio de 12 a 18°C (CONAGUA,2020; Rocha et al., 2022).

Dentro de la subcuenca se encuentran dos estaciones meteorológicas; la estación de San José de Coronados (clave de estación: 24,165) y la Maroma (clave de estación: 24,033), ambas activas actualmente. Estas estaciones registran una precipitación media anual de 350.5 mm con una máxima de 585 mm y una mínima de 95 mm.

Geología

La subcuenca está conformada casi con un 70% de material de tipo aluvial con permeabilidad alta, el 30% restante está constituida por rocas sedimentarias como rocas calizas y conglomerados con una permeabilidad media y finalmente de manera dispersa hacia el oeste y suroeste se presentan afloramientos de rocas ígneas extrusivas de basalto y riolita- toba ácida (CONAGUA, 2020).

Fisiografía

La región se encuentra entre dos provincias fisiográficas principales, la Mesa del centro y la Sierra Madre Oriental, y con las subprovincias de Sierras y lomeríos de Aldama y Rio Grande y Sierras y llanuras Occidentales.

Respecto a las topofomas presentes se observan Bajada con lomeríos, llanura aluvial de tipo rocoso o cementado y sierra plegada (INEGI, 2009).

Edafología

De acuerdo con sistema internacional de clasificación de suelos de la FAO, se pueden encontrar los siguientes tipos de suelo en el sitio de estudio:

Leptosol (LP): Es un suelo con un característico enraizamiento limitado, comúnmente delgados o con muchos fragmentos gruesos, dentro de la cuenca se encuentran principalmente en las partes más altas de la sierra de Catorce; **Chernozem (CH):** Pertenece a los suelos con una capa mineral superficial gruesa y acumulación pronunciada de materia orgánica en el suelo mineral superficial, con un característicos suelo superficial muy oscuro y carbonatos secundarios, dentro de la cuenca se encuentran en sitios de lomeríos bajos y pies de monte; **Kastañozem (KS):** Pertenece a los suelos con acumulación pronunciada de materia orgánica en el suelo mineral superficial, con un suelo superficial oscuro y carbonatos secundarios. El problema principal de este tipo de suelos es la constante falta de humedad.; **Phaeozem (PH):** Pertenece a los suelos con acumulación pronunciada de materia orgánica en el suelo mineral superficial, con un suelo superficial oscuro, sin carbonatos secundarios a menos que sean muy profundos y tienen una alta saturación de bases; **Calcisol (CL):** Pertenece al grupo 6 de suelos con característica acumulación de sales moderadamente solubles o de sustancias no salinas. Con una marcada acumulación de carbonatos secundarios. Dentro de la subcuenca están ubicados en los valles y planicies con altitudes bajas con vegetación escasa de arbustos xerófilos, pastos y hierbas efímeras; **Regosol (RG):** Pertenece al grupo 8 de suelos con poca o ninguna diferenciación de perfiles. Se caracterizan por ser suelos poco desarrollados que carecen de un horizonte móllico, son muy extensos en tierras erosionadas y zonas de acumulación de zonas áridas y semi áridas y en terrenos montañosos. Presentan una formación del suelo muy lenta debido a la condición de aridez de los sitios donde se encuentran (FAO, 2015; INEGI, 2023).

San Antonio de Coronados

Con una población total para 2020 de 391 habitantes, respecto a educación, 12.74% de la población mayor a 15 años es analfabeta y para este mismo estrato poblacional 51.62% no cuentan con educación básica. Respecto a infraestructura se observa que el 5.12% de las viviendas no cuentan con drenaje o excusado, mientras que el 4.09% no cuentan con energía eléctrica, el 0.51% no cuentan con agua entubada y el 10.49% cuentan con piso de tierra dentro de las viviendas. Respecto a los habitantes dentro de cada hogar se presenta un 46.29% de viviendas con hacinamiento y solo el 28.39% de las viviendas cuentan con refrigerador. Esta población tiene un índice de marginación medio con 21.11 (CONAPO,2020).

Ranchito de Coronados

Con una población total para 2020 de 279 habitantes, respecto a educación, 16.75% de la población mayor a 15 años es analfabeta y para este mismo estrato poblacional 51.20% no cuentan con educación básica. Respecto a infraestructura se observa que el 0.72% de las viviendas no cuentan con drenaje o excusado, mientras que el 0.36% no cuentan con energía eléctrica, el 0.36% no cuentan con agua entubada y el 1.79% cuentan con piso de tierra dentro de las viviendas. Respecto a los habitantes dentro de cada hogar se presenta un 36.92% de viviendas con hacinamiento y solo el 8.60% de las viviendas cuentan con refrigerador. Esta población tiene un índice de marginación bajo con 22.29 (CONAPO,2020).

Actividades económicas

Agricultura

Respecto al sector agrícola en el municipio de Catorce, para 2009 el uso de suelo para actividades agrícolas ocupaba el 9.3% del territorio total del municipio. Mientras que se observaba un potencial de tierra con vocación agrícola de 23.8% para la agricultura mecanizada y el 11.1% para la agricultura con tracción animal. Mientras que el 65.1% del territorio es clasificado como no apto para actividades agrícolas (Gobierno municipal de Catorce, 2018).. Para 2018 el municipio contaba con 20 unidades de producción para agricultura protegida (IFT, 2019). Ranchito de Coronados y San Antonio de Coronados son comunidades con una vocación agrícola importante, pertenecientes al núcleo agrario de San Antonio de Coronados, con una superficie parcelada de 1474.48 Ha., una reserva de crecimiento de 54.76 Ha. Y una superficie de uso común de 26403.77 Ha. Repartida en 205 ejidatarios o comuneros, 4 avecinados y 13 posesionarios. Sin embargo, existen 627 beneficiarios dentro de la dotación total del ejido (RAN, 2023).

Ganadería

Dentro del municipio se tiene ganado diverso de tipo extensivo, el cual representa un beneficio económico importante para la población rural, entre los que destacan el ganado bovino, asnal, caballar ovino y con mayor importancia el caprino con 33,211 cabezas para 2016(Gobierno del Estado, 2008).

Explotación forestal

La explotación de los recursos forestales en la región se reduce principalmente al uso dentro del hogar familiar como combustible, estructura y alimento, como es el caso de la palma (*Yucca spp.*), el mezquite (*Prosopis spp.*), el pino piñonero (*Pinus cembroides*) y el encino (*Quercus spp.*). También se aprovechan especies de importancia económica en mercados locales y regionales como

la candelilla (*Euphorbia antisyphylitica*) y la lechuguilla (*Agave lecheguilla*) (Gobierno del Estado, 2008).

Objetivos

Objetivos específicos.

1. Conocer la dinámica hidrológica general a nivel de cuenca y microcuenca, mediante el análisis de datos climatológicos e hidrológicos históricos locales.
2. Identificar y documentar las prácticas, estrategias y adaptaciones productivas relacionadas al manejo y conservación de agua desarrolladas dentro de los sistemas productivos locales.
3. Conocer la situación de la comunidad respecto a la disponibilidad, calidad y utilización del recurso agua destinado a los sistemas productivos locales.

Preguntas de investigación.

¿Cuál es la dinámica hidrológica general de la cuenca y microcuenca en la que se encuentra la población de interés de este estudio?

¿Cuáles son los factores naturales y antropogénicos particulares que influyen en la disponibilidad, calidad y utilización del recurso agua destinado a los sistemas productivos locales?

¿Cuáles son las diversas prácticas, estrategias y adaptaciones productivas relacionadas al manejo y conservación de agua desarrolladas dentro de los sistemas productivos locales?

¿Cuáles son las propuestas más adecuadas para mejorar la disponibilidad, calidad y utilización del recurso agua dentro los sistemas productivos locales?

Materiales y métodos

Este estudio transversal fue de carácter descriptivo, el muestreo fue por conveniencia.

Selección del sitio de estudio

Para la selección de las comunidades se tuvo un primer acercamiento con algunas autoridades regionales con la finalidad de obtener un panorama general de la dinámica y las posibles problemáticas presentes dentro del acuífero de Matehuala (RH37B). La primera reunión se llevó a cabo a inicios de enero de 2023, con Ma. Elsa Salinas Rosales, trabajadora de la Delegación Altiplano de la Secretaría de Turismo del Estado. La segunda reunión se llevó a cabo a finales de enero del 2023 con el Dr. Onésimo Gonzáles, anteriormente Titular de Ecología del

Municipio de Matehuala y profesional activo en diferentes actividades desarrolladas en las comunidades del altiplano del Altiplano potosino, participando como organizador y expositor de foros como “Los saberes de la salud” realizado por la Delegación de turismo de la Región Altiplano.

A partir de estas entrevistas, se pudo seleccionar la subcuenca RH37Bc “Subcuenca de Catorce”, como un área de interés por los conflictos derivados del aprovechamiento del agua y el asentamiento reciente de sistemas intensivos de producción hortícola, en conjunto con condiciones climáticas desfavorables.

Una vez delimitada el área de estudio, se utilizó información de la CONAPO, correspondiente al índice de marginación 2020, para seleccionar las comunidades de interés, acordes a los objetivos planteados. Se tomaron en cuenta los siguientes aspectos para seleccionar las comunidades: 1) Ubicadas en la planicie o cercanas al pie de monte de la Sierra de Catorce, 2) comunidades con una cantidad de población mayor al promedio y 3) la presencia de antecedentes con proyectos de tesis en las comunidades.

Se encontraron trabajos previos en las localidades de Ranchito de Coronados y San Antonio de Coronados, se seleccionaron ambas comunidades como sitio de estudio de este protocolo de investigación.

Ambas comunidades tienen vocación agrícola y ganadera, son comunidades con un número de habitantes aceptable y se encuentran muy cercanas la una de la otra, por lo que el desplazamiento y la aplicación de las herramientas metodológicas se realizaría de una manera más sencilla, se representan de manera espacial dentro de la subcuenca de Catorce en la figura 1.

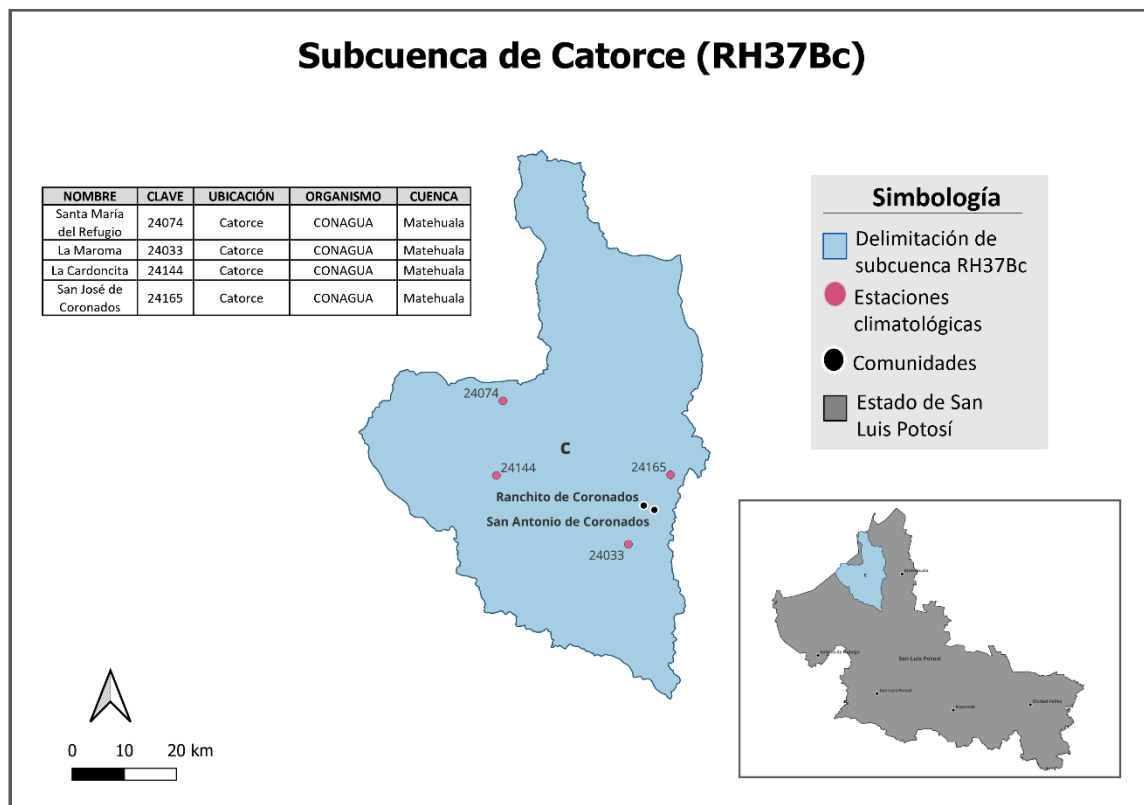


Figura 1. Mapa de la Subcuenca de Catorce (RH37Bc), dentro de encuentran señaladas las comunidades seleccionadas y las estaciones climatológicas cercanas.

Muestreo

De acuerdo con la estructura organizativa de los ejidos y sus autoridades y representantes se decidió realizar un muestreo dirigido mediante la técnica de avalancha o bola de nieve, a partir de la interacción con las autoridades ejidales (comisariado ejidal, integrantes de comités o juntas directivas) con la finalidad de ubicar y seleccionar mediante recomendaciones a los informantes con un mejor manejo del conocimiento tradicional respecto a las prácticas, estrategias y adaptaciones productivas relacionadas al manejo y conservación de agua y/o que tengan conocimiento sobre la situación del acceso, disponibilidad y contexto del recurso hídrico en la comunidad (Blanco y Castro, 2007; Berghuber, 2010) . Estos informantes deben cumplir con los siguientes criterios de selección:

- Dedicarse de manera total o parcial a actividades agrícolas.
- Tener una unidad de producción bajo el modelo de secano.
- Ser mayor de edad (≥ 18 años).
- Para la selección de informantes sobre la situación del agua en la comunidad:

- Haber desempeñado o desempeñar por al menos 6 meses algún cargo dentro del ejido relacionado a la gestión, disponibilidad y uso del agua.
- Desempeñar un rol de importancia dentro del ejido relacionado a la gestión, disponibilidad y uso del agua.
- Ser mayor de edad (≥ 18 años).

Finalmente se seleccionaron 18 participantes, pertenecientes a las comunidades de San Antonio de Coronados, Ranchito de Coronados y Refugio de Coronados,

Referencias

- Angnes, G.; Diotto, A.V.; Rodias, E.; Romanelli, T.L. (2023). Water and Carbon Footprints of Biomass Production Assets: Drip and Center Pivot Irrigation Systems. *Sustainability*, 15, 8199. <https://doi.org/10.3390/su15108199>.
- Berghuber, Konrad, Vogl, Christian R., & Gramajo, Silvel Elias. (2010). Conocimientos, costumbres y estrategias de la gestión del agua en el caserío Vista Hermosa del Departamento San Marcos, Guatemala. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 7(1), 81-107. Recuperado en 05 de junio de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722010000100006&lng=es&tlng=es.
- Beta Aqueduct. (Recuperado: mayo, 2023). Beta Aqueduct, Country Rankings. World Resources Institute. <https://www.wri.org/applications/aqueduct/country-rankings/?country=MEX&indicator=drr>.
- Blanco, C. M. C., & Castro, A. B. S. (2007). El muestreo en la investigación cualitativa. *NURE investigación: Revista Científica de enfermería*, (27), 10
- Cárdenas, G. R., & de León, G. S. (2021). Incendios forestales en la Sierra de Catorce y acciones locales para su combate en el ejido La Presa, Villa de Guadalupe, San Luis Potosí. *Revista de Geografía Agrícola*, (66), 33-53.
- CONAGUA. (2015). Resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Vanegas-Catorce, Clave 2401, en el Estado de San Luis Potosí, Región Hidrológico-Administrativa Cuencas Centrales del Norte. Comisión Nacional del Agua. DOF: 25/04/2016.
- CONAGUA. (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cedral- Matehuala (2407), estado de San Luis Potosí. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. Pp. 40.
- CONAGUA. (Recuperado: mayo de 2023). Geovisores. VII, Cuencas del Norte. SINA 3.0. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/Geovisores/RHA_VII/.
- CONAPO. (2020). Índices de marginación por localidad 2020. Estimaciones con base en el INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020.
- Eche, D. (2018). Migración y renovación generacional en la agricultura familiar indígena: estudio de caso Otavalo-Ecuador. *Siembra*, 5(1), 1-15.

- FAO, IUSS Working Group WRB. (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.
- FIDERCO. (2008). Análisis regional de la gestión del agua en la región centro occidente. Fideicomiso para el Desarrollo de la Región Centro Occidente.
- Giménez de Azcárate, J., & González Costilla, O. (2011). Pisos de vegetación de la Sierra de Catorce y territorios circundantes (San Luis Potosí, México). *Acta botánica mexicana*, (94), 91-123.
- Gobierno del Estado. (2008). Plan de manejo del área natural protegida del Sitio Sagrado Natural Wirikuta.
- Gobierno del Estado/IPICYT. (2006). Programa Estratégico Forestal del Estado de San Luis Potosí, 2006-2025.
- Hofste, R. W., Kuzma, S., Walker, S., Sutanudjaja, E. H., Bierkens, M. F., Kuijper, M. J., ... & Reig, P. (2019). Aqueduct 3.0: Updated decision-relevant global water risk indicators. World Resources Institute, 1-53.
- IFT. (2019). Cobertura del servicio móvil en las zonas agrícolas de México en el año 2019. Instituto Federal de Telecomunicaciones.
- INEGI. (2009). Síntesis de información geográfica del estado de San Luis Potosí 2002. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Dirección General de Difusión. Pp. 49-53.
- INEGI. (2002). Síntesis de información geográfica del estado de San Luis Potosí 2002. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Dirección General de Difusión. Pp. 49-53.
- INEGI. (Recuperado: mayo de 2023). SIALT (Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas). https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#close2
- Ixmata, G., & Manuel, Z.C. (2003). Análisis del balance hídrico bajo tres coberturas vegetales en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso Honduras. *Geography*.
- Liñán, J. Balderas, R. (2015). Manifestación de impacto ambiental, Modalidad Regional para el Proyecto “Construcción y operación de la Presa de Almacenamiento La Maroma”,

ubicada en el municipio de Catorce, S.L.P. Semarnat-CONAGUA-Dirección local San Luis Potosí. (Proyecto).

- Munguía, V. S. (2022). Proyectos de agricultura protegida y uso del agua subterránea en el altiplano tamaulipeco. Competencia por el agua y riesgo para la seguridad hídrica. *Revista Dycs Victoria*, 15-31.
- Pawlak, K., & Kołodziejczak, M. (2020). The role of agriculture in ensuring food security in developing countries: Considerations in the context of the problem of sustainable food production. *Sustainability*, 12(13), 5488.
- Ramírez, R. (2016). Estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Vanegas-Catorce, clave 2401, en el Estado de San Luis Potosí, Región Hidrológico-Administrativa Cuencas Centrales del Norte. CONAGUA. DOF: 25/04/2016. 4:05.
- RAN. (Rescatado: mayo, 2023). Ficha de Núcleo Agrario del Ejido San Antonio de Coronados. PHINA (Padrón e Historial de Núcleos Agrarios). Registro Agrario Nacional. <https://phina.ran.gob.mx/buscarNucleoAgrario.php>
- Rodríguez Cárdenas, G., & Santacruz de León, G. (2021). Incendios forestales en la Sierra de Catorce y acciones locales para su combate en el ejido La Presa, Villa de Guadalupe, San Luis Potosí. *Revista De Geografía Agrícola*, (66), 33–53. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2021.66.02>.
- Rojas, T. (2009). La crisis del sector rural y el coste migratorio en México. *Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana*. Año IV. N. 8. Pp. 40-81.
- Rosas-Bustos, C. (2020). Factibilidad de gestión de los conocimientos tradicionales desde el hacer de la cultura sobre el territorio. *Revista de Estudios Andaluces (REA)*. Núm. 40. Pp. 96-116. e-ISSN: 2340-2776. <https://dx.doi.org/10.12795/rea.2020.i40>.
- SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 (Jitomate mexicano). Secretaría de Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 1 ed.
- Sifuentes, E., Macías, J., Ojeda, W., González, V. M., Salinas, D. A., & Quintana, J. G. (2016). Gestión del riego enfocada a variabilidad climática en el cultivo de papa: aplicación al Distrito de Riego 075, Río Fuerte, Sinaloa, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(2), 149-168.

- Sosa, Alma & Rivera, Samuel & Barbier, Bruno. (2001). ANALISIS DEL BALANCE HIDRICO EN 4 COBERTURAS DEL SUELO EN LAS LADERAS DE YORITO, YORO, HONDURAS. *Tatascan*. 13. 75-91.
- Stewart, B. A., & Peterson, G. A. (2015). Managing green water in dryland agriculture. *Agronomy Journal*, 107(4), 1544-1553.
- Zuñiga, D., Mendoza, R., & Watson, G. (2021). Gestión y manejo del agua en la agricultura. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

CAPÍTULO 2

DINÁMICA HIDROLÓGICA GENERAL A NIVEL DE CUENCA Y MICROCUENCA

Introducción

La cuenca hidrográfica es un territorio definido de manera natural por un parteaguas, las partes de mayor altitud donde se generan la mayor cantidad de escurrimientos, confluyendo y desembocando en un punto común, conocido como punto de salida de la cuenca. Son unidades funcionales ligadas a las dinámicas hidrológicas y procesos socio ecológicos, (López y Patrón, 2013). Dentro de esta unidad de análisis territorial se pueden reconocer tres zonas funcionales dentro de la cuenca: a) La de captación o cuenca alta, donde predominan los procesos erosivos debido a características como porcentajes de pendientes mayores a los presentes en las otras dos zonas b) La de almacenamiento o cuenca media, donde predominan procesos de transporte y c) La de descarga o cuenca baja con una mayor estabilidad, con el favorecimiento de la deposición de materiales (Valdés y Hernández, 2018).

Dentro de estas zonas se encuentran numerosas unidades de paisaje físico geográfico donde se generan diversos servicios ambientales de regulación, aprovisionamiento, soporte e incluso culturales, estos servicios son aprovechados por las poblaciones humanas, obteniendo un beneficio importante de estas unidades de territorio, impactando en la calidad de vida de las poblaciones urbanas y rurales y a la salud de los ecosistemas a nivel mundial (Hall et al., 2015).

En las cuencas hidrográficas se desarrollan una gran cantidad de procesos naturales y antrópicos derivados de la industria, urbanización, agricultura, deforestación e incendios forestales, entre otros (Andrade y Ribeiro, 2020).

La dinámica hidrológica está representada por los componentes del ciclo hidrológico en un área determinada, es la caracterización de las variaciones de la cantidad de agua que circula desde las entradas como la precipitación, el caudal superficial y el subterráneo, hasta las salidas como los procesos de evapotranspiración y el caudal de salida de una cuenca, así como los procesos de almacenamiento a través del tiempo (Cifuentes et al., 2022).

La observación de la dinámica hidrológica en ecosistemas áridos y semiáridos es muy importante, ya que la interacción de la atmosfera-vegetación-suelo es mucho más intensa por la limitación del recurso agua. En estos ecosistemas, además de la poca disponibilidad de agua,

también existe una alta variabilidad entre las estaciones y el área, así como los procesos de evapotranspiración (Martínez et al., 2017).

En este contexto, la recarga de acuíferos subterráneos y las escorrentías superficiales se ven disminuidas en muchos ecosistemas debido a los efectos del cambio climático que afecta de manera global y local los regímenes de precipitación. En distintos modelos se observa la disminución de la precipitación, que es la principal aportación natural y una de las principales variables en el balance hídrico de la cuenca (Jodar et al., 2018).

Las microcuencas que se ubican en ecosistemas áridos y semi áridos son especialmente sensibles a los impactos del cambio climático, principalmente por la limitante natural de recursos hídricos que sucede en este tipo de ecosistema y la alta heterogeneidad en la estructura vegetal. Los procesos bioquímicos y ecológicos se desarrollan en función de estas características y su interacción con los efectos del cambio climático (Osborne et al., 2022).

Las sequías son fenómenos climáticos que se agudizan y se presentan de manera más frecuente por el cambio climático y tienen impactos en los sistemas productivos locales, con una capacidad de adaptación disminuida a las amenazas derivadas del clima, son responsables de la baja productividad agrícola de los productores minifundistas, por eso es importante monitorear de manera constante estos parámetros que influyen en la principal entrada de agua en el sitio de estudio (Ahmad et al., 2022).

El cambio del uso del suelo es otro factor que tiene efectos negativos dentro de las cuencas, afectan directamente ciertas variables involucradas en el mantenimiento del balance hídrico general, como, por ejemplo: la tasa de infiltración, evapotranspiración, el aumento de la escorrentía superficial y la recarga de cuerpos de agua, disminuyendo la disponibilidad de agua en la cuenca (Andrade y Ribeiro, 2020).

Además de los efectos particulares derivados del cambio de uso de suelo, ya se ha observado mediante modelos aplicados a cuencas, el efecto combinado de este proceso antrópico con los procesos de variabilidad y cambio climático, en donde ciertos factores (drivers), generan un efecto en cadena pudiendo incrementar o disminuir a su vez la magnitud de otros, con resultados alarmantes en la distribución espaciotemporal de los flujos hídricos y sus componentes y un aumento en los eventos peligrosos como sequías más frecuentes y prolongadas e inundaciones (Aboelnour et al., 2020).

El enfoque geográfico y funcional de las cuencas empleado como una herramienta de diagnóstico y de planificación de desarrollo nos permite entender y explicar de una manera más detallada los grandes subsistemas (natural y antrópico) que convergen dentro de ella, así como los subsistemas y sus componentes que se mencionan a continuación: el subsistema natural con componentes geológicos, hídricos, edafológicos, climáticos y bióticos; el subsistema social integrado por componentes culturales, políticos, socioeconómicos y tecnológicos (Jaramillo et al., 2021).

La aplicación de este enfoque identifica a la cuenca como el espacio donde las interacciones entre el uso y manejo de los recursos naturales y el comportamiento de estos mismos se dan con mayor intensidad y de manera más lógica, a diferencia de cualquier otro sistema de delimitación socioeconómica o administrativa. IICA menciona en estudios recientes que la microcuenca como ámbito de planificación resulta ser la mejor opción técnica y estratégica de planificación en los sistemas de producción y el manejo de los recursos naturales (Zúñiga et al., 2021).

Por estas razones, se relata la importancia de la delimitación y caracterización de cuencas y microcuencas de acuerdo con su morfología y características hidrológicas generales y ambientales, pues de ellas depende el grado de vulnerabilidad a desastres y riesgos ambientales de las poblaciones y ecosistemas dentro de las cuencas hidrográficas (De Lima, 2011).

Las cuencas ubicadas en regiones con condiciones áridas y semiáridas alrededor del mundo presentan de manera natural, cambios inter estacionales importantes a lo largo del tiempo, sin embargo, derivado de factores externos y problemáticas ambientales, la tasa de estos cambios está aumentando de manera considerable, cambiando de manera significativa la biodiversidad de estos lugares, la productividad del ecosistema y los servicios ambientales que pueden proporcionar.

Pregunta de investigación

¿Cuál es la dinámica hidrológica general de la cuenca y microcuenca en la que se encuentra la población de interés de este estudio?

Objetivo específico

1. Conocer la dinámica hidrológica general a nivel de cuenca y microcuenca, mediante el análisis de datos climatológicos e hidrológicos históricos locales.

Materiales y métodos

Delimitación de la cuenca y red de drenaje

La delimitación de la cuenca y su red de drenaje se realizaron mediante el programa ArcMap 10 y su extensión SPATIAL ANALYST, a partir de un modelo digital de elevaciones obtenido del Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM 3.0), específicamente del estado de San Luis Potosí, con las características que se muestran a continuación (Tabla 2).

Tabla 2. Características del modelo digital de elevaciones.

Características	Descripción
Año de publicación	2013
Resolución	15 m x 15 m
Valores de Z	Enteros positivos y negativos.
Unidades de Z	Metros.
Datos de referencia geodésica	El datum corresponde a ITRF92 época 1988.0, elipsoide GRS80, coordenadas geográficas.
Cobertura geográfica	Territorio continental de los Estados Unidos Mexicanos.
Error medio cuadrático general	4.8 m
Error medio cuadrático por rango de pendiente (%):	
De 0 a 14	4.5 m
De 15 a 36	6.0 m
Mayor que 36	7.2 m
Medio de distribución	Principalmente por internet mediante el portal del INEGI. Considera diversas opciones.
Formato de distribución	BIL (Banda entrelazada por línea). Forma Raster, para las descargas total del territorio y por entidad federativa. Formato TIFF (Tagged Image File Format) para las descargas por selección de área y carta respectivamente.

Software utilizado para su generación	ArcGis 10.3
---------------------------------------	-------------

(INEGI, 2023)

Se aplicaron los tratamientos correspondientes al modelo digital de elevaciones, para derivar la dirección del flujo superficial y la acumulación del flujo aguas abajo.

Se generó la red de drenaje de acuerdo con un umbral numérico que permita definir de manera correcta los cauces. Para determinar el umbral se determinó el tamaño de píxel del MDE: DE 225 m² (15m x 15m) en un área determinada por la superficie de la subcuenca RH37Bc de 3762 km² (3,762,000,000 m²). Una vez generada la red de drenaje, se pudo determinar el orden del flujo para clasificar los cauces de acuerdo con el orden al que pertenecen, también se ubicaron los puntos de interés dentro de la microcuenca, para este protocolo es zona parcelada donde se ubican las parcelas de ambas comunidades. Se ubicaron dos puntos principales y a partir de ellos se realiza la delimitación espacial de la microcuenca. Finalmente, se definieron los cauces principales de ambos puntos, seleccionando de manera manual los fragmentos que componen al cauce principal. Este proceso genera una serie de parámetros físicos generales que son importantes para la caracterización de la cuenca, que serán importantes para definir índices de clasificación de cuenca.

- a) Área de cuenca (km²)
- b) Perímetro de cuenca (km)
- c) Longitud del cauce principal (km)

Clasificación del tamaño de cuenca

El área de la cuenca es el área plana proyectada de manera horizontal, comúnmente delimitadas por parteaguas y usualmente se pueden representar en kilómetros cuadrados o hectáreas para el caso de las cuencas muy pequeñas (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de cuenca según su área

Tamaño de cuenca (km ²)	Descripción
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
251 a 500	Intermedia- pequeña
501 a 2500	Intermedia-grande
2501 a 5000	Grande
> 5001	Muy grande

(Campos, 1992)

Índice de Gravelius (Forma de la cuenca)

este índice describe la geometría de la cuenca y está relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico. Este valor adimensional tiene designado como valor igual a 1 a cuencas de formas circulares, lo que quiere decir que entre más cercano sea el valor calculado a uno, la cuenca tiene más capacidad para concentrar agua. Mide la tendencia de la cuenca hacia crecidas, rápidas y muy intensas o sostenidas, aumentando el riesgo de ocurrencia con valores más grandes o extremos (Cruz et al., 2015).

Fórmula	Donde
$Cg = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$	Cg = Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius
	A = Área de la cuenca (km ²)
	P = Perímetro de la cuenca (km)

De acuerdo con el valor obtenido en la aplicación de la fórmula se puede obtener la siguiente clasificación de acuerdo con la forma de cuenca:

Redonda: 1-1.25 (Cg)

Ovalada: 1.26-1.50 (Cg)

Oblonga: >1.51 (Cg)

Densidad de drenaje

Es la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto al área de esta. cuantifica el grado de desarrollo de un sistema hidrográfico y permite conocer su complejidad. A mayor densidad de drenaje, el tiempo de escorrentía es menor, por lo cual se considera como otro indicador de peligrosidad. Las precipitaciones y la topografía, entre otros factores, condicionan la red de drenaje; en cuencas planas y de alta densidad de drenaje, se espera estabilidad de regímenes de caudales, debido al escurrimiento superficial y al aporte de aguas subterráneas. Este parámetro brinda información de la eficiencia del drenaje (Camino et al., 2018).

Fórmula	Donde
$D = \frac{\sum L_i}{A}$	D = Densidad de drenaje (km/km ²)
	∑Li= Suma de las longitudes de los cauces (km)
	A = Superficie de la cuenca (km ²)

De acuerdo con el valor obtenido en la aplicación de la fórmula se puede obtener la siguiente clasificación de acuerdo con la red de drenaje de cuenca (Camino et al., 2018):

- a) Baja: <1 (km/km²)
- b) Media- baja: 1.01-2 (km/km²)
- c) Media- alta: 2.01-3 (km/km²)
- d) Alta: <3.01 (km/km²)

Tiempo de concentración

Representa el tiempo de viaje de una gota de lluvia que cae en el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca u escurre superficialmente hasta su salida (Camino et al., 2018).

Fórmula	Donde
$t_c = \left(\frac{0.870 L^3}{H} \right)^{0.385}$	tc = Tiempo de concentración en horas
	L = Longitud del cauce (km)
	H= Diferencia de nivel entre la salida de la cuenca y el punto hidráulicamente más alejado (m)

El valor resultante de esta fórmula se expresa en horas, Suponiendo un suceso de lluvia constante, el Tc es el tiempo de equilibrio o duración necesaria para que se alcance el caudal máximo.

Pendiente media del cauce principal

Es un valioso indicador del grado de respuesta de un cauce ante la torrencialidad de la precipitación. En muchas ocasiones es subjetivo estimar el comienzo del cauce principal, en este caso se considera el cauce de máxima longitud (Camino, 2018).

Fórmula	Donde
$j = \left(\frac{H_{max} - H_{min}}{L} \right) \times 100$	j = Pendiente media del cauce (%)
	Hmax = Altitud máxima del cauce (m)
	Hmin = Altitud mínima del cauce (m)
	L = Longitud del cauce (m)

La clasificación de este parámetro se puede observar a continuación (Ortiz, 2004):

- a) Plano: 0-3%
- b) Suave: 3-7%
- c) Mediano: 7-12%
- d) Accidentado: 12-35%
- e) Fuerte: 35-50%
- f) Muy fuerte: 50-75%
- g) Escarpado: >75%

Índice Estandarizado de precipitación (SPI)

Es un índice sencillo, potente y flexible que cuantifica el déficit de la precipitación para varias escalas temporales (3, 6, 12, 24 y 48 meses) en un sitio determinado, estos déficits reflejan el impacto de la sequía en la disponibilidad de los distintos recursos hídricos. Es importante que las mediciones sean a largo plazo. El índice funciona a partir de con el ajuste de series históricas de precipitación mensual con condicionantes para el uso de este índice como: tener un mínimo de 30 años de valores mensuales de precipitación, con un óptimo de 50 o 60 años y no tener un faltante en las series de datos mayor al 20% respecto al total.

La precipitación se normaliza utilizando una función de probabilidad de modo que los valores de SPI se consideran en realidad como desviaciones estándar de la mediana y una distribución normalizada permite realizar estimaciones entre periodos secos y húmedos (OMM, 2012). Se utilizó el programa SPI Generator para el tratamiento de los datos, también Excel para la creación de gráficas y tablas. Las categorías usadas en la clasificación de los valores de SPI se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de SPI

Valor de SPI	Condición
≥ 2	Excepcionalmente húmedo
1.60 a 1.99	Extremadamente húmedo
1.30 a 1.59	Muy húmedo
0.80 a 1.29	Moderadamente húmedo
0.51 a 0.79	Ligeramente húmedo
-0.50 a 0.50	Cercano a lo normal
-0.79 a -0.51	Ligeramente seco
-1.29 a -0.80	Moderadamente seco
-1.59 a -1.30	Muy seco
-1.99 a -1.60	Extremadamente seco
≤ -2	Excepcionalmente seco

(SMN, 2023)

Las series históricas de precipitación mensual fueron obtenidas del Sistema Meteorológico Nacional, obteniendo la estación más cercana a las comunidades de estudio para el desarrollo del SPI (marcada en azul), así como las estaciones seleccionadas para completar faltantes en las series de precipitación. A continuación, se muestran las estaciones seleccionadas (tabla 5).

Tabla 5. Estaciones meteorológicas seleccionadas

NO	NOMBRE	CLAVE	UBICACIÓN	ORGANISMO	CUENCA	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD	OP
1	San José de Coronados	24165	Catorce	CONAGUA	Matehuala	1729	23.594444°	100.910000°	SI
2	Santa María del Refugio	24074	Catorce	CONAGUA	Matehuala	1973	23.733333°	101.224444°	SI
3	La Maroma	24033	Catorce	CONAGUA	Matehuala	1819	23.464444°	100.989444°	SI
4	La Cardoncita	24144	Catorce	CONAGUA	Matehuala	2360	23.592778°	100.903333°	SI
5	Santo Domingo	24077	Santo Domingo	CONAGUA	San Pablo	1971	23.327778°	100.736944°	SI
6	San Andres	32084	Villa de Cos	CONAGUA	Fresnillo Yesca	2087	23.699444°	-101.930000°	SI
7	Coyotillos	24160	Charcas	CONAGUA	San Pablo	2201	23.285556°	-101.210833°	SI
8	San Antonio del mezquite	24191	Santo Domingo	CONAGUA	Fresnillo Yesca	2080	23.164444°	-101.885833°	SI
9	Concepción de la norma	32011	Mazapil	CONAGUA	Camacho-Gruñidora	2011	23.843333°	-101.960000°	SI
10	San Tiburcio (DGE)	32078	Mazapil	CONAGUA	Sierra de Rodríguez	1885	24.147778°	-101.482611°	SI

Se observó para cada estación meteorológica que no se superara el límite de datos faltantes. Para la estimación de los datos faltantes de los registros de precipitación se utilizó el método del U.S. National Weather Service (WS), este método es una alternativa eficiente para completar registros de información de datos faltantes en una serie continua.

Fórmula	Donde
$P_x = \frac{\sum (P_i W_i)}{\sum W_i}$	P_x = Dato perdido de la estación x
	P_i = Dato existente en la estación auxiliar i, para lo cual i= 1, 2, ... n para el mismo día.
	$W_i = \frac{1}{D_i^2}$ <p>D_i = Distancia entre cada estación circundante auxiliar y la estación x donde se presenta el dato perdido</p>

Para la realización del IPS, se seleccionó a la estación climatológica 24165 (San José de Coronados), con un faltante de 8.7% en los registros de precipitación diaria, este porcentaje es menor al 20% aceptable para el desarrollo de la metodología.

Las estaciones climatológicas y sus distancias respecto a la estación 24165 (San José de Coronados)

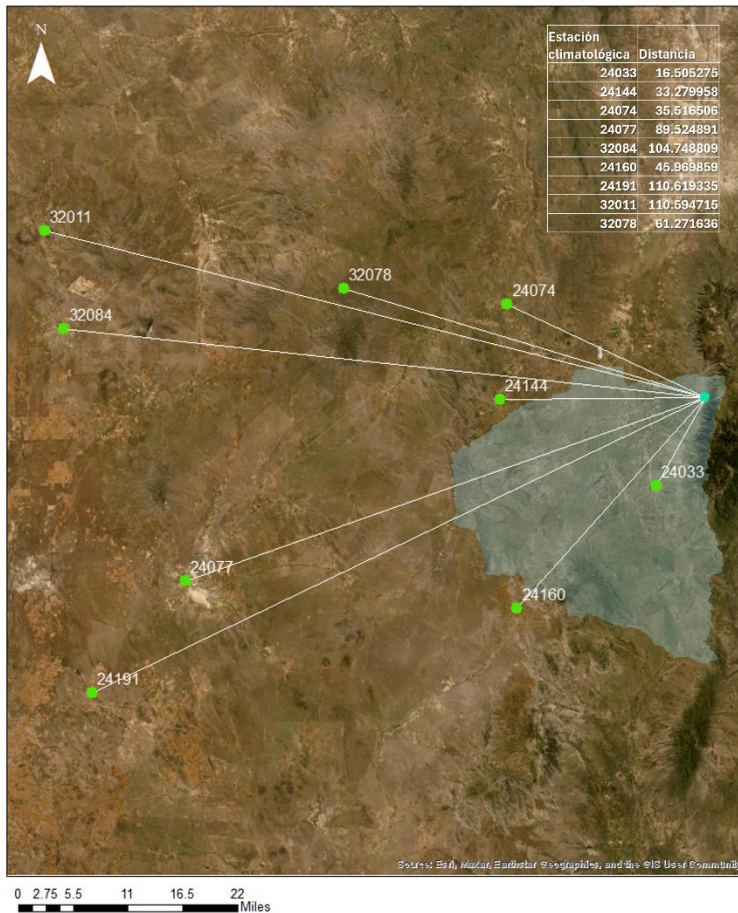


Figura 2. Estaciones climatológicas y sus distancias respecto a la estación 24165 (San José de Coronados).

La obtención de los registros faltantes se realizó a partir de otras 9 estaciones cercanas con las condiciones suficientes para aplicar el método del U.S. National Weather Service (WS). En la figura 2, se muestran las distancias de cada una de las estaciones meteorológicas respecto a la estación elegida para realizar el índice.

En la tabla #, se muestran los meses faltantes de cada año para la estación 25165. De acuerdo con la metodología para la obtención de faltantes, son necesarios tres datos de la

misma fecha para calcular de manera correcta la precipitación diaria, en la tabla 6 también se muestran los datos obtenidos de las nueve estaciones seleccionadas para cada una de las fechas, finalmente se puede observar su distancia y el valor W de cada estación.

Una vez completado el proceso para obtener los registros de precipitación diaria faltantes, se continuó con la metodología del SPI para la estación climatológica 24165 (San José de Coronados).

Tabla 6. Estaciones climatológicas y los datos seleccionados para generar los valores faltantes en la estación 24165 (San José de Coronados)

MES	24033	24144	24074	24077	32084	24160	24191	32011	32078	VALOR PRED
ene-78	0		0	0						0
feb-78	0.12903226		0	0						0.10322941
mar-78	0.5483871		0	0						0.43872499
abr-78	0.7		0	0						0.56001955
may-78	0.48387097		0.50645161	0.77419355						0.49566727
jun-78	0.86666667		1.04666667	0						0.87419924
jul-78	3.41935484		0.06451613	0.49677419						2.76023534
ago-78	1.64516129		1.11612903	3.72258065						1.61024782
sep-78	5.13		4.43333333	3.51333333						4.96566822
feb-79	0.5		0.10344828	0.89285714						2.21114583
ene-80					0.25806452			0.06451613	0.22580645	0.20247913
feb-80					1.37931034			1.37931034	1.55172414	1.48386115
ago-80					2.48387097			2.80645161	0.51612903	1.35068318
sep-80		1.84666667		0.16666667	1.3					1.61477765
feb-81			0.81428571	0.70714286	0.78571429					0.79845069
abr-81				4.16666667	1.46666667			1.86666667		2.70826755
jun-81					1.31666667			1.71666667	2	1.80548651
sep-81				1.9	4.35			2.43333333		2.79661729
ago-81	1.19354839	3.06129032	0.29032258							1.37436378
ene-82		0.36129032		0	0					0.29156741
dic-82				0.33333333	0		0.06451613			0.15745201
may-86	1.03225806	1.29032258	0.87096774							1.05185033
sep-87	3.2	1.93333333		2.66666667						2.94242248
jun-88	3.24333333	3.33333333	0							2.77935088

jul-88	1.83870968	1.64516129	0.32580645							1.58265016
sep-88	1.6	1.33333333	0.63333333							1.41233179
oct-88	0.67741935	0.64516129	0							0.57191948
nov-88	0.16666667	0	0							0.11400419
dic-88	0	0.25806452	0							0.04341905
ene-89	0	0	0							0
feb-89	0	0	0							0
mar-89	0	0	0							0
abr-89	0.43333333		0	4.16666667						2.30024361
may-89	0.06451613	0.77419355	0.16129032							0.19821459
mar-93	0.03225806	0		1.61290323						0.06803458
dic-93	0.4516129	0.48387097	0							0
jun-94	2.93548387	1.03333333	2.98333333							0
jul-94	2.83870968	0	1.22580645							2.12283227
ago-94	0.48387097	0.3	2.38709677							0.73409094
sep-94	2.16666667	0.85666667	1.7							1.87732188
mar-96	0	0		0						0
dic-96	0	0		0						0
dic-01	0.03225806		0.25806452	0.20967742						0.07609724
ene-04	0.48387097	0	0.4516129							0.39769489
jul-11	0.80645161		0.36666667	2.06129032						3.82348105
ago-11	1.03225806			1.41290323	0.67741935					1.03615701
sep-11	1.06666667			3.95	1.25					1.16352732
oct-11	0.38709677				0.67741935	0.05483871				0.3562195
nov-11	0.1				0	0.14666667				0.10306233

DIST (KM)	16.505275	33.279958	35.516506	89.524891	104.748809	45.969859	110.619335	110.594715	61.271636
W (1/D2)	0.00367075	0.00090289	0.00079276	0.00012477	9.1138E-05	0.00047321	8.1722E-05	8.1758E-05	0.00026637

Landscape Function Analysis (LFA)

Es un procedimiento de monitoreo que utiliza indicadores visuales evaluados en campo de manera rápida que permite evaluar el funcionamiento biogeoquímico de los paisajes dentro de las cuencas hidrográficas (Tongway y Hindley, 2004). Se evalúa a través de los procesos que se desarrollan en la superficie del suelo y miden la eficacia con la que la ladera opera como un sistema biofísico.

Esta metodología se compone de dos etapas: la primera conocida como la medición de la organización del paisaje y una segunda etapa llamada evaluación de la condición de la superficie del suelo (SSA). Para este estudio se realizó únicamente etapa de SSA, debido a que la organización del paisaje en los sitios de muestreo está dada por el establecimiento de los sistemas productivos y las actividades agrícolas continuas.

La evaluación de la condición de la superficie del suelo se compone de tres índices principales: la estabilidad del suelo, la capacidad de infiltración de agua y el potencial del ciclo de nutrientes. Estos índices funcionan a partir de once indicadores de la superficie del suelo (Tabla 7).

Tabla 7. Índices que integran la etapa de la evaluación de la condición de la superficie del suelo.

Índices SSA	Objetivo	Fórmula
Estabilidad del suelo	Se define como la habilidad del suelo para resistir a distintas fuerzas erosivas y su resiliencia después de un disturbio. El rango de valores para este índice es de 8 a 40 puntos	$ES = (AC + RSD + PRS + TSE + MD + CB + PGLL + CH)$
Capacidad de infiltración de agua	Se define como el proceso en que el agua de lluvia se divide en una parte almacenada en el suelo (disponible para las plantas) y otra parte que se sale del sistema derivada de la escorrentía (puede incluir materiales transportados como suelo superficial, nutrientes y semillas). El rango de valores para este índice es de 6 a 57 puntos	$CIA = (CEP + RS + PRS + (CH * origen * descomposición) + RSD + TX)$
Estado del ciclo de nutrientes	Se define como la eficiencia que tiene el suelo para reincorporar la materia orgánica a los ciclos de nutrientes. El rango de valores para este índice es de 4 a 43 puntos	$ECN = (CEP + (CH * origen * descomposición) + CB + RS)$

Los indicadores que componen el análisis se describen en la tabla 8.

Tabla 8. Indicadores del estado de la superficie que componen el LFA

Indicador de la superficie del suelo		Descripción	Estabilidad	Infiltración	Estado de ciclos de nutrientes
1	Protección contra las gotas de lluvia (PGLL)	Evaluar el grado de la cobertura física y la cobertura vegetal que amortiguan el efecto del impacto de las gotas de lluvia en la superficie del suelo.			
2	Cobertura de especies perennes (CEP)	Estimar la cobertura basal de pastos perennes y/o la densidad de dosel de árboles y arbustos.			
3	Cobertura de hojarasca, origen e incorporación (CH)	Evaluar la cantidad, origen y el grado de descomposición de la hojarasca.			
4	Costra biológica (CB)	Evaluar la cobertura de la costra biológica en la superficie del suelo.			
5	Agrietamiento de la costra (AC)	Evaluar la extensión de la costra que se encuentra agrietada, dejando el material adherido disponible a procesos erosivos.			
6	Tipo y severidad de la erosión (TSE)	Evaluar el tipo y la severidad de la erosión actual del suelo.			
7	Materiales depositados (MD)	Evaluar la naturaleza y la cantidad del aluvión transportado y depositado en la zona de estudio.			
8	Rugosidad de la superficie (RS)	Evaluar la rugosidad de la superficie de acuerdo con su capacidad para capturar y retener recursos móviles como: agua, propágulos, suelo superficial y materia orgánica.			
9	Resistencia al disturbio (RSD)	Evaluar la facilidad con la que el suelo puede sufrir disturbios mecánicos y generar material adecuado para sufrir procesos erosivos por agua y viento.			
10	prueba de reducción del suelo (PRS)	Evaluar la estabilidad natural de fragmentos de suelo en condiciones de humedad.			
11	textura del suelo (TX)	Clasificar la textura del suelo superficial y relacionarlo con su permeabilidad.			

(Tongway y Hindley, 2004).

Para la evaluación de cada uno de los indicadores, se utilizó la metodología propuesta por Tongway y Hindley (2004). Esta metodología se aplicó en las 19 unidades de producción establecidas en el muestreo. Dentro de cada parcela Se realizó un transecto de 50 m. de longitud en favor de la pendiente dentro de la unidad de producción y se identificaron las áreas del suelo con diferentes características de suelo superficial y composición vegetal. Una

vez delimitadas las diferentes áreas dentro de la unidad de producción, se utilizó un cuadrante de 1m x 1m para delimitar el área a observar y obtener un registro fotográfico de cada cuadrante (figura 3). Posteriormente se evaluaron los once indicadores.

La información recabada en cada cuadrante fue tratada a través de una base de datos en office Excel para realizar el cálculo de los tres índices para la evaluación de la condición de la superficie del suelo y posteriormente en SPSS para la obtención de las frecuencias y estadísticos descriptivos (media, valor mínimo, valor máximo y desviación estándar) de cada indicador e índice.

Este proceso permite la caracterización del comportamiento individual de cada tipo de parche en función de la estabilidad, infiltración y reciclado de nutrientes (Oyarzábal et al., 2013).



Figura 3. Cuadrantes con distintos tipos de parches en las unidades de producción en el ejido de San Antonio de Coronados: a) tabla agrícola en barbecho, b) borde entre tablas agrícolas, c) tabla agrícola cultivada.

Resultados

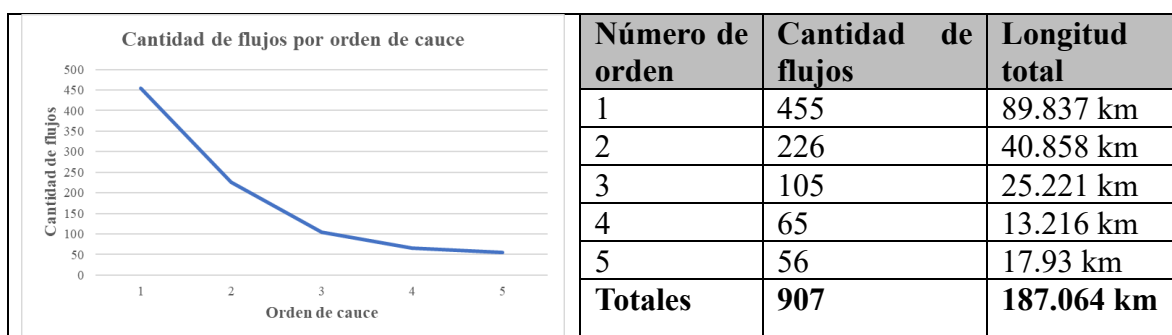
Delimitación de la cuenca y red de drenaje

Se realizó la delimitación de la cuenca partiendo de un modelo digital de elevaciones. Una vez delimitada de manera espacial la microcuenca del Ejido de San Antonio de Coronados, Para la identificación de los flujos superficiales de la cuenca, se obtuvo el punto de salida de la microcuenca, que se refiere al sitio de interés a onde llega la mayor cantidad de agua. Una vez ubicado el punto de salida, se generó la dirección del fujo de cada cauce, desde los puntos de inicio de cada escorrentía hasta los cauces con un mayor número de flujos contribuyentes. Con esta información se pudo identificar el orden de los flujos dentro de la

microcuenca del ejido de San Antonio de Coronados, considerando a las corrientes de primer orden como aquellas corrientes portadoras de nacimientos y que no tienen afluentes, las corrientes de segundo orden resultan de la unión de dos más cauces de orden 1, así respectivamente con los órdenes subsecuentes dentro de la microcuenca.

De acuerdo con el sistema Strahler (1964) se identificaron 5 órdenes diferentes en los cauces de carácter intermitente ya que solo tienen caudal en temporada de lluvias y efímeros ya que solo transportan agua inmediatamente después de un evento lluvioso y con una forma dendrítica, caracterizado por una ramificación de tipo arborescente en la que los cauces tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos, presentes principalmente en suelos con características homogéneas, con permeabilidad moderada y pendientes suaves. La información general de los cauces se presenta (MINAMBIENTE, 2019) en la tabla 9.

Tabla 9. Órdenes de flujos dentro de la microcuenca del Ejido de San Antonio de Coronados, Catorce.



Número de orden	Cantidad de flujos	Longitud total
1	455	89.837 km
2	226	40.858 km
3	105	25.221 km
4	65	13.216 km
5	56	17.93 km
Totales	907	187.064 km

También se obtuvo la longitud total del cauce principal, posteriormente se obtuvieron los parámetros generales (área y perímetro) de la microcuenca presentados en la tabla 10.

Tabla 10. Parámetros generales de la microcuenca del Ejido de San Antonio de Coronados, Catorce.

Parámetro	Cantidad
Perímetro de Cuenca	250.69 km
Área de Cuenca	1464.82 km ²
Longitud de cauce principal	19.468 km
Altitud máxima	2500 m
Altitud mínima	1799 m
Desnivel	701 m

De acuerdo con la clasificación de Campos (1992), esta microcuenca corresponde a una cuenca de tamaño intermedia- grande ($501 \text{ km}^2 < 1464.82 \text{ km}^2 > 2500 \text{ km}^2$). En la figura 4, se observa de manera gráfica la delimitación de la Microcuenca del Ejido de San Antonio de Coronados, Catorce.

Forma de la cuenca
(Índice de Gravelius)

Se obtuvo el valor correspondiente para determinar la forma de la microcuenca mediante la siguiente operación:

$$Cg = \frac{250.69}{2\sqrt{\pi * 1464.82}} = 1.84$$

De acuerdo el valor obtenido con respecto a la clasificación (Sema, 2017), se puede determinar que la microcuenca es de forma oblonga ($Cg=1.84 > 1.50$).

Densidad de drenaje

Se obtuvo el valor correspondiente para determinar la densidad de drenaje dentro de la microcuenca mediante la siguiente operación:

$$Dd = \frac{1510.431}{1464.82} = 1.03 \text{ km/km}^2$$

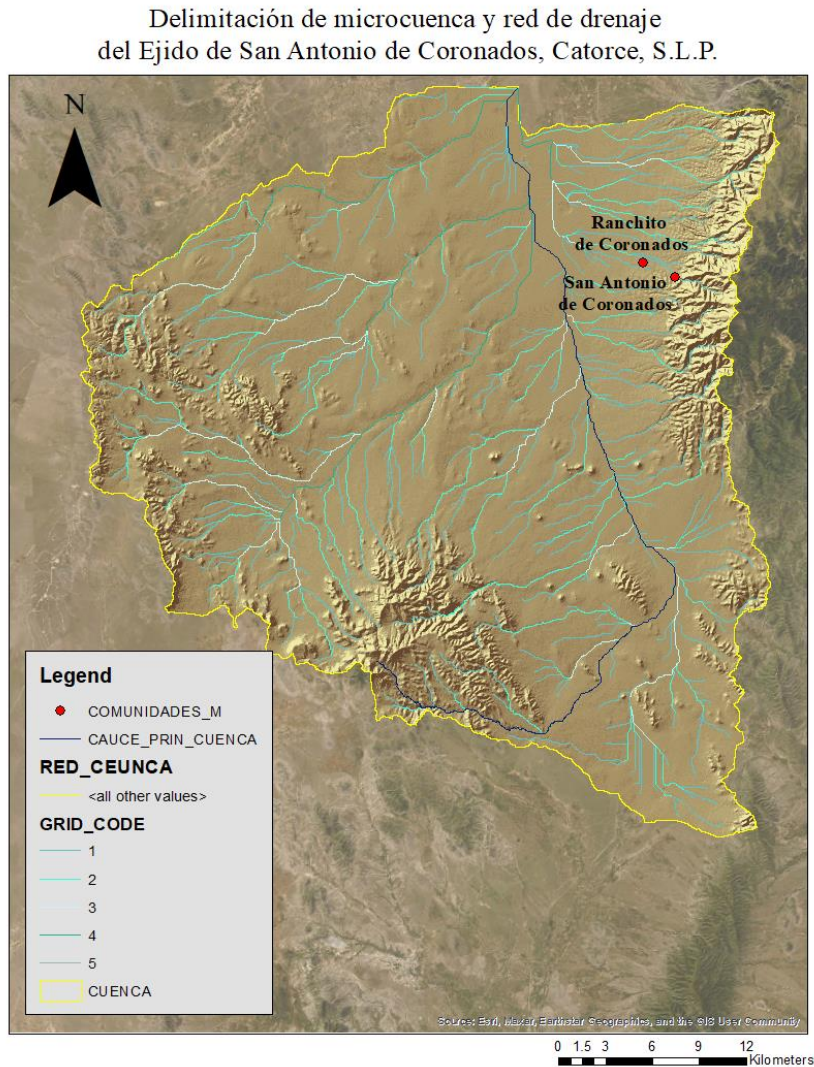


Figura 4. Mapa de la delimitación de la microcuenca y la red de drenaje del ejido de San Antonio de Coronados, Catorce.

De acuerdo el valor obtenido con respecto a la clasificación (Junco, 2004), se puede determinar que la microcuenca posee una densidad de drenaje baja ($DD = 0.1 < 1.03 < 1.8$).

Tiempo de concentración

Se obtuvo el valor correspondiente para determinar el tiempo de viaje que requiere una gota de lluvia que cae en el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca para llegar al punto de salida de la microcuenca mediante la siguiente operación:

$$Tc = \left(\frac{(0.870 * 19.46^3)}{(2500 - 1799)} \right)^{0.385} = 13.45 \text{ horas}$$

Suponiendo una lluvia de intensidad constante, el tc es el tiempo de equilibrio o duración necesaria, para que se alcance el caudal máximo, en este caso el tiempo estimado es de 13.12 horas.

Pendiente media del cauce principal

Se obtuvo el valor correspondiente para determinar el porcentaje de la pendiente media del cauce principal. De acuerdo con la ecuación siguiente se puede definir la pendiente como suave.

$$j = \left(\frac{(2500 - 1799)}{19468.6577} \right) \times 100 = 3.60$$

Caracterización de la microcuenca del ejido de San Antonio de Coronados, Catorce.

Se obtuvo el valor correspondiente para determinar el porcentaje de la pendiente media del cauce principal. De acuerdo con la ecuación siguiente se puede definir la pendiente como suave.

Adicional a la delimitación de la microcuenca y su red de drenaje, se realizó una caracterización general de la microcuenca a través de parámetros naturales y antrópicos que tienen influencia en el desarrollo de las actividades agrícolas de los sitios de interés. A continuación, se relatan los resultados obtenidos para cada parámetro.

Tipos de clima

Se encontraron tres tipos de climas dentro de la microcuenca (figura 5); el seco templado (BS0kw) fue el clima más importante, presente en el 97.5% del área total de la microcuenca, principalmente en las partes bajas la microcuenca, seguido del semiseco templado (BS1kw) con el 1.6% del área total establecido en el pie de monte y lomeríos de la sierra de catorce, finalmente el clima templado subhúmedo (C(w0)) con el 0.01% del área total, este último presente en las zonas más con mayor elevación de la sierra de Catorce.

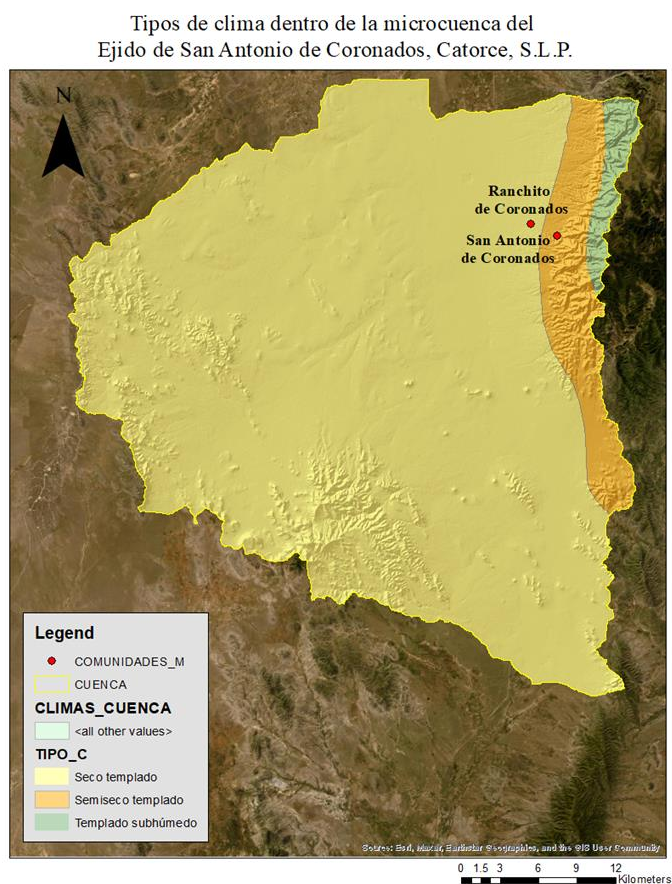


Figura 5. Tipos de clima dentro de la microcuenca del Ejido San Antonio de Coronados, Catorce.

por el suelo de rendzina predominante al oeste de la microcuenca con el 22.82% de la superficie. Además de estos, las comunidades de interés y su zona parcelada en donde se encuentran las unidades de producción visitadas se encuentran establecidas sobre xerosol gypsic con el 15.62% de la superficie y el regosol calcárico con el 10.04% respectivamente.

Tanto el clima seco templado y el semiseco templado están catalogados como climas áridos bajo el índice de aridez de Lang con puntajes < 40 , mientras que el templado subhúmedo está catalogado como clima húmedo, sin embargo, este último se encuentra en un área menor dentro de la microcuenca, en sitios con características difíciles para el establecimiento de cultivos.

Tipos de suelo

Se encontraron seis tipos de suelo dentro de la microcuenca (figura 6), de los cuales el más importante respecto a su área fue el xerosol calcico, con el 44.34% (64221.05701 hectáreas) del área total de la microcuenca, seguido

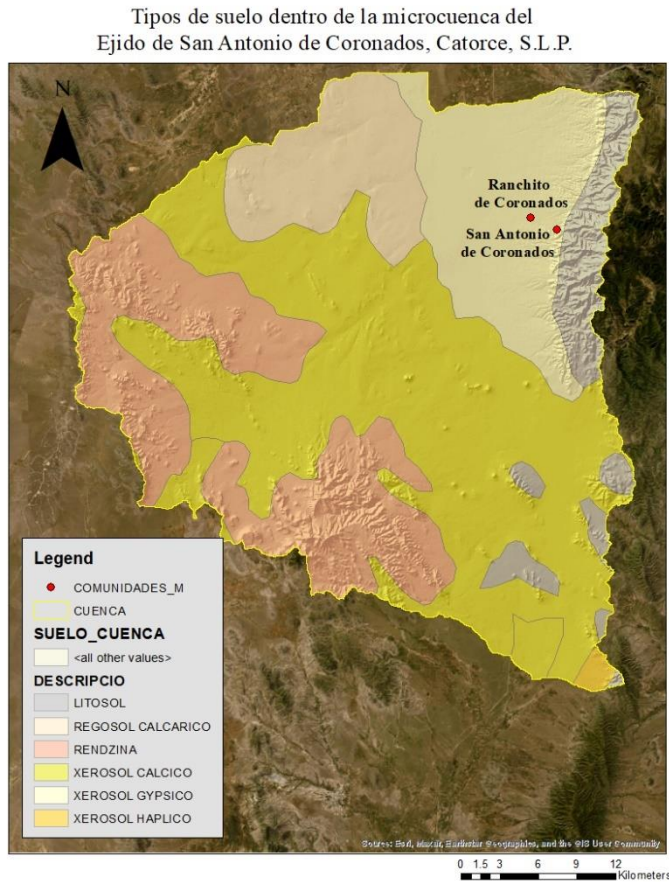


Figura 6. Tipos de suelo dentro de la microcuenca del Ejido San Antonio de Coronados, Catorce.

tenencia comunitaria de la tierra está presente en el 11.06% del territorio de la microcuenca

Tenencia de la tierra

Respecto a los tipos de tenencia de la tierra presentes dentro de la microcuenca, se encontraron los siguientes: El más importante de acuerdo con su extensión es la propiedad ejidal con un 56.76% de la superficie total de la microcuenca, seguido de la propiedad privada

Finalmente, los tipos de suelos con menor superficie fueron; el litosol con 6.71% de la superficie total, ubicado principalmente al este de la microcuenca, en las partes con más elevación de la sierra de Catorce, finalmente el xerosol hálpico con el 0.47%.

Características sociopolíticas

De acuerdo con la información obtenida del RAN (Registro Agrario Nacional), dentro de la microcuenca están presentes distintos tipos de propiedad (figura 7); el más importante de acuerdo con su extensión es la propiedad ejidal con un 56.76% de la superficie total de la microcuenca, seguido de la propiedad privada con un 32.16%, finalmente la

con un 32.16%, finalmente la tenencia comunitaria de la tierra está presente en el 11.06% del territorio de la microcuenca.

Zona de parcelas

Dentro de la microcuenca se pueden catalogar unidades de producción de riego anual y de temporal. La agricultura de riego solo está presente en una unidad con una extensión de 68.43

Características sociopolíticas dentro de la microcuenca del Ejido de San Antonio de Coronados, Catorce, S.L.P.

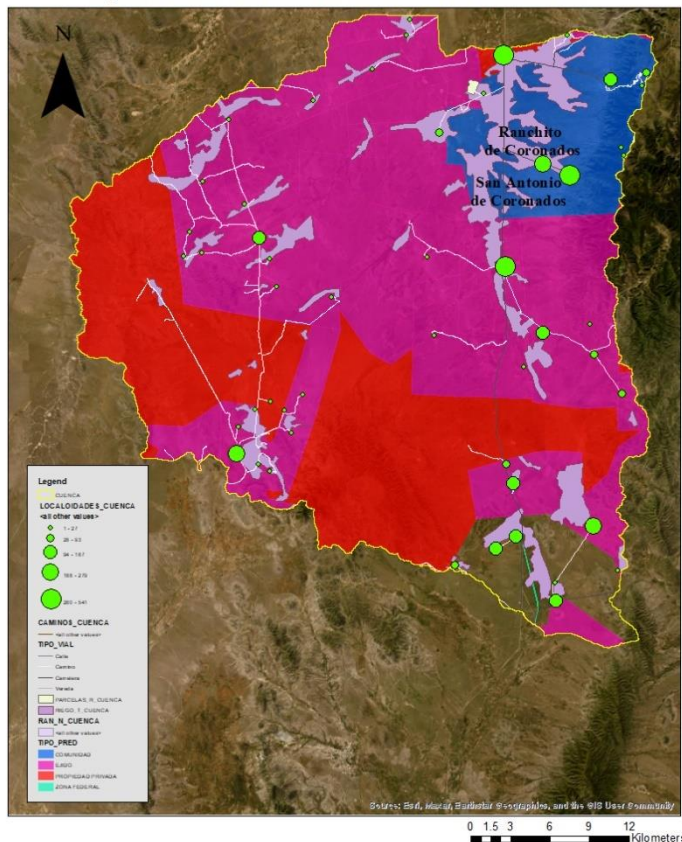


Figura 7. Características sociopolíticas dentro de la microcuenca del Ejido San Antonio de Coronados, Catorce.

hectáreas, cercana a Estación Wadley, mientras que las parcelas con agricultura de temporal abarcan una extensión de 14412.07 hectáreas. De la extensión total de zona parcelada que marca el RAN, 8046.05 hectáreas pertenecen a tenencia ejidal pertenecientes a San Antonio de Coronados y 1068.44 hectáreas perteneciente a un ejido diferente; 4273.67 hectáreas de tenencia comunitaria y 1023.89 hectáreas de tenencia privada. Se puede observar que la mayoría de las zonas parceladas se encuentran a lo largo de la carretera estatal número 43 (Vanegas-Laguna seca).

Población

Respecto a centros de población dentro de la microcuenca, en total existen 50 comunidades con una población que va desde los 2 habitantes con comunidades en su totalidad despobladas, como es el caso de Cerrito blanco y Puerto de las vacas, esta última se visitó en los recorridos observacionales programados, pues aquí se encuentra una presa, la

cual es la fuente de agua más importante para el mantenimiento del ganado menor y mayor para el Ejido de San Antonio de Coronados, en la figura 8 se muestra de manera gráfica parte del recorrido observacional.

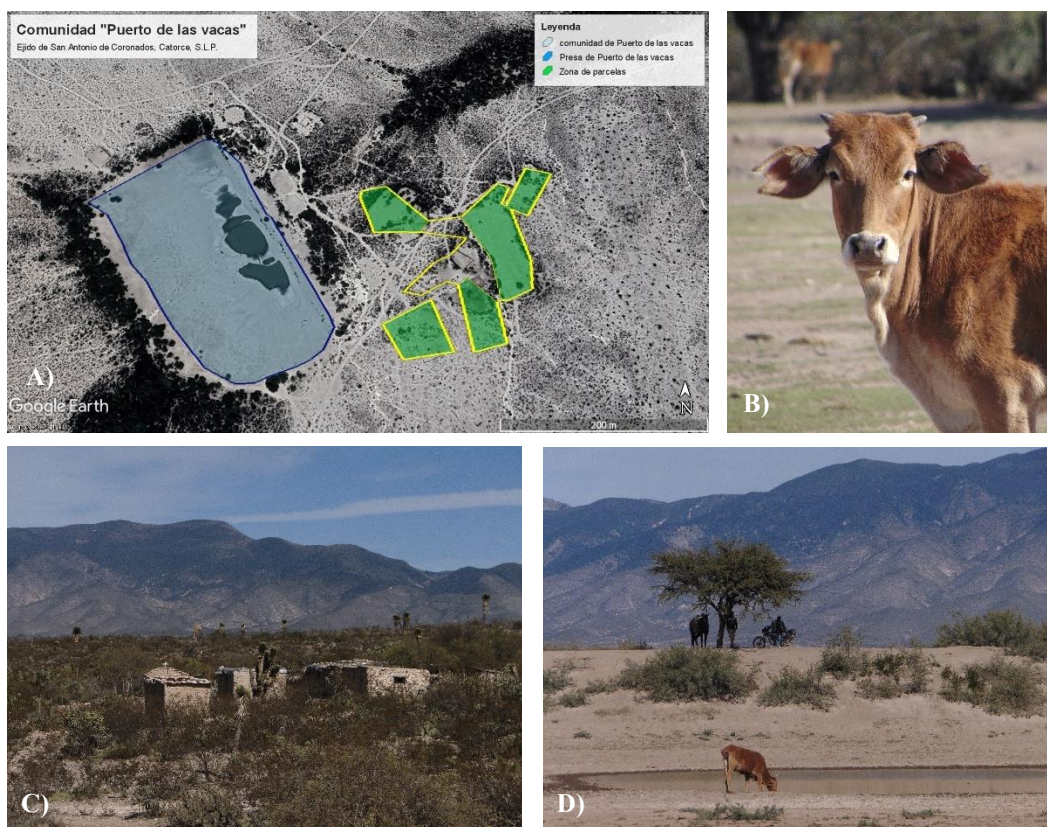


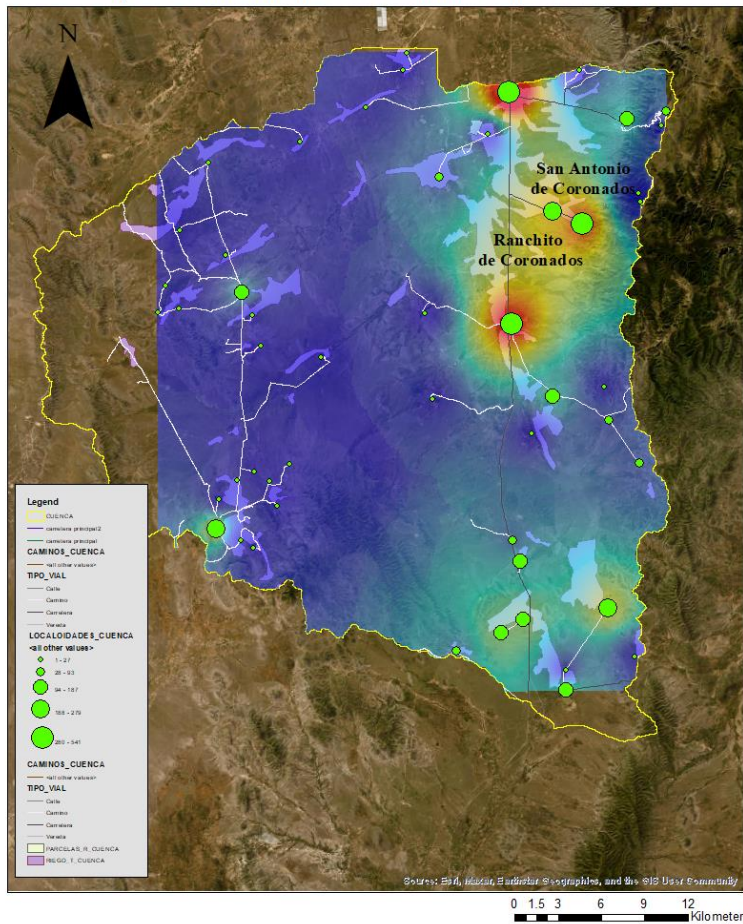
Figura 8. Mapa y fotografías del recorrido observacional a la comunidad y presa del Puerto de vacas, Ejido de San Antonio de Coronados, Catorce. A) Mapa de la comunidad y presa del Puerto de las Vacas, Ejido de San Antonio de Coronados, Catorce; B) Ganado bovino perteneciente a ejidatarios de la región; C) Casas dentro del pequeño núcleo de población, al fondo la sierra de Catorce; D) Vista oriente del bordo que conforma la presa, con evidente disminución del nivel de agua.

Las comunidades con mayor número de habitantes se encontraron al noreste de la microcuenca, sobre todo aquellas establecidas junto a la carretera estatal número 43 (Vanegas-Laguna Seca), la cual corre de sur a norte y es la principal vía de comunicación en la región. Entre los principales núcleos de población destacan: Estación Wadley con 541

habitantes, Guadalupe del Carnicero (La Maroma) con 430 habitantes, San Antonio de Coronados con 391 habitantes y Ranchito de Coronados con 279 habitantes.

IDW (Distancia Inversa Ponderada)

IDW (Distancia Inversa Ponderada) dentro de la microcuenca del Ejido de San Antonio de Coronados, Catorce, S.L.P.



Como parte de la caracterización, se realizó el IDW (figura 9), esta función delimita las zonas de mayor probabilidad de desarrollo dentro de la microcuenca a partir de la cercanía de los sitios a centros de población importantes y vías de comunicación como caminos y carreteras, podemos observar que, para el caso de la microcuenca de San Antonio de Coronados, la zona más apta para el desarrollo se sitúa al noreste de la región,

Figura 9. IDW (Distancia Inversa Ponderada) dentro de la microcuenca del Ejido San Antonio de Coronados, Catorce.

Índice de Precipitación Estandarizado

Se obtuvieron los resultados para las temporalidades de 3, 12 y 48 meses respectivamente. El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) a una temporalidad de tres meses, permite observar con mayor resolución los eventos extremos relacionados con la precipitación en las distintas temporadas durante el año, se puede observar una alternancia constante entre fenómenos húmedos y secos a través del tiempo. También se pueden observar

que años como 1981, 1995, 1996, 2002, 2003, 2006 y finalmente 2010, presentaron una tendencia de mayor humedad en distintos niveles tuvieron condiciones favorecedoras de humedad desde moderadamente húmedas hasta meses en 1995 que fueron excepcionalmente húmedos. Lo mismo sucede con las condiciones opuestas, pues existen años como 1979, 1983, 1984, 1990, 1998, que en su mayoría registraron valores dentro de alguna categoría para condiciones seca, con algunos meses que incluso alcanzan la categoría de excepcionalmente secos en 1984.

Se puede observar que, a partir de la década de los noventa, se presentaron condiciones extremas entre las diferentes estaciones de un mismo año, años como 1990, 1992, 1999, 2000, 2005 y 2008, alcanzando categorías en los meses de menor precipitación con condiciones extremadamente secas y en los meses con mayor precipitación con condiciones muy húmedas.

Respecto a las frecuencias de la temporalidad de tres meses (Figura 10), se observa una distribución normal con el mayor número de eventos dentro del umbral de condiciones normales para la región, sin embargo, existen un par de categorías dentro de la clasificación de SPI que tienen un número elevado de eventos, el primer valor es -0.6 con 19 eventos dentro de la categoría de condiciones ligeramente secas; el segundo valor corresponde a -1.2 con 14 eventos dentro de la categoría de condiciones moderadamente secas.

El SPI con una temporalidad de 12 meses tiene una resolución menos precisa respecto a las diferentes estaciones dentro de cada año, sin embargo, gracias a que permite el análisis tomando al año como unidad de análisis, es más fácil poder identificar eventos prolongados de condiciones secas o, al contrario, eventos de aumento de humedad a través del tiempo.

El análisis dio como resultado siete eventos importantes que sobrepasan los límites normales de condiciones secas en diferentes niveles de acuerdo con la categorización dada por el índice, de los cuales, tres se destacan por su duración y su intensidad; el primer evento importante se observa en los años de 1979 a 1980 categorizado como moderadamente seco, seguido por el evento más importante desarrollado desde 1983 a 1986, con una categorización que va desde condiciones ligeramente secas al inicio y al final del evento, hasta llegar a las condiciones excepcionalmente secas en los años de 1984 y 1985, el tercer evento se desarrolló desde 1989 a 1990, con una categorización que va desde condiciones ligeramente secas hasta llegar a las condiciones excepcionalmente secas a mitad de 1990.

Los cuatro eventos restantes tienen duraciones de un año a varios meses con una categorización de condiciones ligeramente secas hasta condiciones moderadamente secas.

Después del año 1990, se puede observar una disminución drástica de los eventos con condiciones secas para dar paso a un aumento en los eventos de condiciones húmedas, se observan siete eventos importantes que sobrepasan los límites normales de condiciones húmedas diferentes niveles de acuerdo con la categorización dada por el índice, el primer evento de mayor humedad se presentó en los años de 1995 a 1996 con una categorización que sobrepasa las condiciones excepcionalmente húmedas, el segundo evento se presentó de 1998 a 1999 y el tercero entre 2000 y 2002, este par de eventos presentaron categorías menos intensas, con una categorización de condiciones que van de ligeramente húmedo a muy húmedo; El cuarto evento se presentó de 2002 a 2004, este evento es el más importante en cuanto a duración y con una categorización que sobrepasa las condiciones excepcionalmente húmedas en el año de 2003; Los últimos tres eventos de mayor humedad se presentaron de 2006 a 2007, 2008 a 2009 y durante el 2010, con una menor categorización de intensidad ya que presentaron condiciones de humedad que van desde ligeramente húmedo a muy húmedo en algunos meses del 2010.

Respecto a la tabla de frecuencias de la temporalidad de 12 meses, se observa diferencias entre los distintos valores dentro de la categorización de las condiciones de humedad respecto al número de eventos. El valor -0.4 fue el que obtuvo mayor número de eventos (29), sin embargo, este valor se encuentra dentro de las condiciones normales de humedad para la región, el siguiente valor en importancia fue 0.7 con 27 eventos, categorizado como ligeramente seco, los valores subsecuentes con un número importante de eventos se encuentran dentro de las categorizaciones mencionadas anteriormente.

Finalmente, el SPI con una temporalidad de 48 meses nos permite apreciar de una manera general la tendencia de los patrones de humedad a través del tiempo. Los resultados demuestran que desde 1978 hasta 1995, existieron eventos frecuentes con un incremento en la intensidad de estos desde 1984 y teniendo su punto más intenso en 1985 con condiciones extremadamente secas. En 1989 vuelve a incrementarse nuevamente la intensidad de los eventos hasta regresar a condiciones normales en 1995. Se observa también que después de 1995, los eventos con mayor condición de humedad comienzan a incrementarse hasta tener un punto máximo en la intensidad para 1998 y un segundo punto máximo en 2003 con la

categorización de los eventos como extremadamente húmedos, a pesar de las fluctuaciones en las categorías de intensidad a través de los años, desde 1996 hasta 2006, se mantiene un nivel por arriba de las condiciones normales de humedad para la región. Finalmente, entre 2007 y 2009 los niveles de humedad se mantienen dentro de las condiciones normales de humedad, pero en 2010 se puede observar un aumento discreto de la humedad donde las condiciones se categorizan como moderadamente húmedas, estos resultados se parecen a los observados en estudios realizados en una cuenca con condiciones ambientales parecidas, en donde se observó un aumento en las condiciones de humedad entre 2007 y 2010 (Velázquez et al., 2023).

Respecto a la tabla de frecuencias de la temporalidad de 48 meses, el valor -0.8 obtuvo el mayor número de eventos (27), este valor se encuentra dentro de las condiciones moderadamente secas. El valor 0.8 fue el segundo en importancia con 21 eventos, este valor se encuentra dentro de las condiciones moderadamente húmedas. Finalmente, el valor -0.7 y 1.2 respectivamente, tienen 20 eventos registrados, -0.7 se encuentra dentro de las condiciones ligeramente secas y 1.2 se encuentra dentro de las condiciones moderadamente húmedas.

En la figura 10 se muestran las gráficas de resultados del SPI para cada temporalidad observada, así como las tablas de frecuencias respectivas.

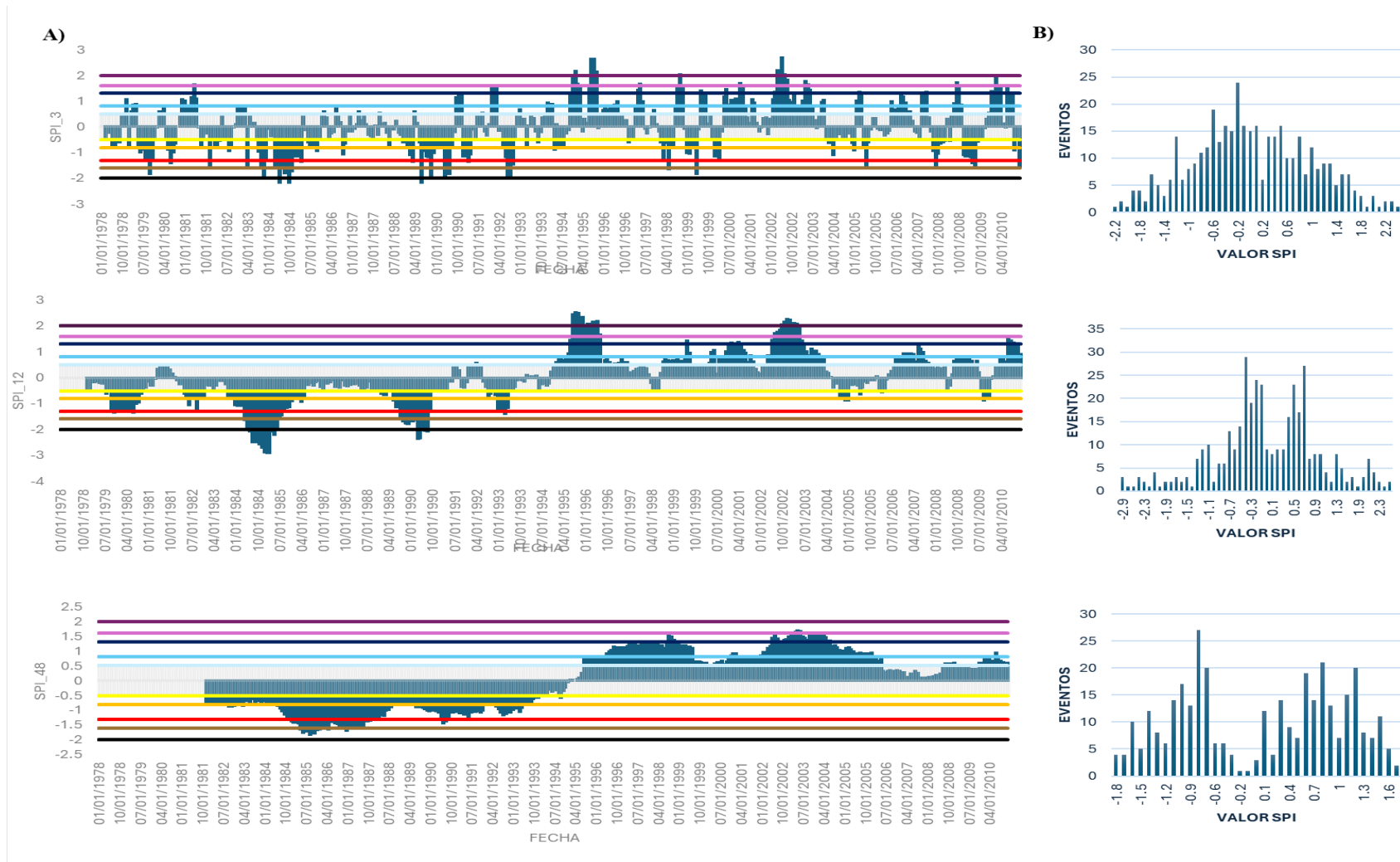


Figura 10. A) Series temporales para cada intervalo de medición (3,12 y 48 meses) del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) de la estación climatológica 24165 (San José de Coronados), donde los valores menores a -1 representan algún evento seco importante. B) Gráficas de frecuencias de eventos para cada intervalo de medición (3, 12 y 48 meses) de acuerdo con el valor del SPI

Landscape Function Analysis (LFA)

Se obtuvieron las estadísticas descriptivas de los índices principales que integran la metodología LFA. En la tabla 11 se muestran los valores mínimos, máximos, la desviación estándar y la media de los índices de estabilidad, infiltración y estado del ciclo de nutrientes en el suelo dentro de cada unidad productiva muestreada.

Tabla 11. Estadísticos descriptivos de los índices que componen la SSA.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Estabilidad	47	14.00	27.00	18.6383	2.92237
Infiltración	47	9.80	21.80	13.4926	2.57053
ECN	47	4.00	13.50	6.9213	2.18890
N válido (por lista)	47				

Respecto al índice de estabilidad, se puede observar que el valor mínimo encontrado fue de 14, mientras que el máximo fue de 27, se presentó una media de 18.6 en los valores observados, respecto a la puntuación máxima de 40 que está marcada dentro de la metodología, lo que sitúa al valor observado por debajo de la mitad de la escala. Estos resultados son parecidos a los obtenidos en estudios realizados en áreas con condiciones de pastizales con un manejo deficiente en ecosistemas semi áridos, donde el valor fue de 23.7 (Safaei et al., 2019).

Para el índice de infiltración se puede observar que el valor mínimo encontrado es de 9.8, mientras que el valor máximo fue de 21.8, con una media de 13.49. Este resultado se puede caracterizar como un valor bajo en comparación con el valor máximo de 56 que maneja la metodología para este índice en particular. Finalmente se puede observar que el índice del estado del ciclo de nutrientes presentó un valor mínimo de 4 y un valor máximo de 13.5, con una media de 6.92. Este resultado es particularmente bajo respecto a los 43 puntos que maneja la metodología para este índice en particular.

Estos resultados concuerdan con estudios previos en la región central de Argentina, en donde predomina un clima árido, en donde convergen la agricultura de riego y la de temporal. Se pudo observar que, en suelos desnudos de las parcelas muestreadas, los valores

de los tres índices son semejantes a los obtenidos en el presente estudio, mostrando diferencias importantes respecto a las parcelas trabajadas recientemente y las que se encuentran abandonadas, así como los tipos de parches y las especies vegetales presentes en ellos (Tabeni et al., 2016). En la figura 11 se muestran las frecuencias para cada uno de los indicadores observados en las unidades de producción.

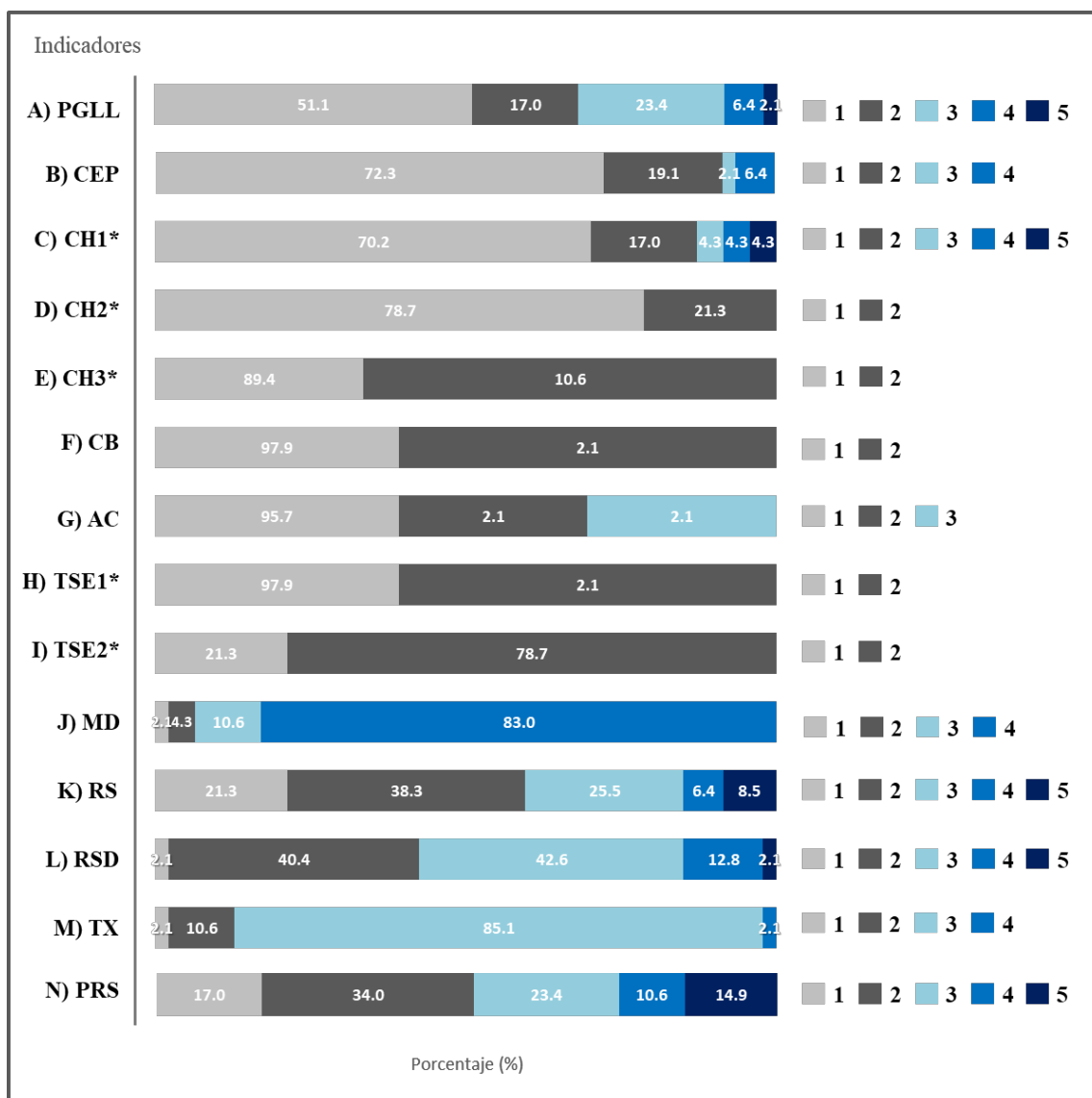


Figura 11. Frecuencias de los indicadores que componen la SSA. **A) Protección contra las gotas de lluvia:** A1) 1% o menos, A2) 1 a 15%, A3) 15 A 30%, A4) 30 A 50%, A5) más de 50%; **B) Cobertura de especies perennes:** B1) 1% o menos, B2) 1 a 10%, B3) 10 A 20%, B4) más de 20%; **C) Cobertura de hojarasca:** C1) <10%, C2) 15% A 25%, C3) 25 A 50%, C4) 50 A 75%, C5) 75 A 100%; **D) Origen de hojarasca:** D1) local, D2) transportado; **E) Grado de descomposición de la hojarasca:** E1) nulo, E2) bajo; **F) Costra biológica:** F1) 1% o menos, F2) 10 A 50%; **G) Agrietamiento de la costra:** G1) sin presencia de costra, G2) costra presente pero ligeramente agrietada, G3) costra presente pero intacta o lisa; **H) Tipo de erosión:** H1) laminar, H2) terraceta; **I) Severidad de la erosión:** I1) ligera, I2) insignificante; **J) Materiales depositados:** J1) más de 50% de cobertura de varios cm de profundidad, J2) cantidad moderada de material

*disponible con cobertura de 20 a 50%, J3) baja cantidad moderada de material disponible con cobertura de 5 a 20%, J4) nada o muy baja cantidad de material disponible con cobertura de 0 A 5%; **K) Rugosidad de la superficie:** K1) <3 mm de relieve de la superficie, K2) depresiones superficiales 3-8 mm, k3) depresiones profundas 8-25 mm, pastos densos, K4) depresiones profundas con base visible, K5) depresiones muy profundas >100 mm; **L) Resistencia al disturbio:** L1) arena suelta, L2) fácilmente rompible, L3) moderadamente dura, L4) muy dura y quebradiza, L5) no quebradiza; **M) Textura del suelo:** M1) arcilla limosa a arcilla pesada, M2) franco arcilloso arenoso a arcilloso arenoso, M3) franco arenoso a franco limoso, M4) arenoso a arenoso arcilloso; **N) Prueba de reducción del suelo:** N1) 50% de pérdida estructural entre 5-30 segundos, N2) 50% de pérdida estructural entre 30-300 segundos, N3) 10-25% de suelo permanece después de 5 ciclos de movimiento, N4) 25-75% de suelo permanece después de 5 ciclos de movimiento, N4) 75-100% de suelo permanece después de 5 ciclos de movimiento*

Se puede observar que el 51% de las unidades de producción presentaron 1% o menos del suelo con alguna protección contra el impacto al suelo que causan las gotas de lluvia, seguido por un 37% con el 15 al 30% del suelo con algún tipo de protección. Respecto a la cobertura de especies perennes el 73.3% de las unidades de producción presentaron hasta un 10% de cobertura en el suelo, mientras que solo el 6.4% de las unidades de producción presentaron un más del 20% del suelo con algún tipo de cobertura derivada de las especies perennes, principalmente en los cuadrantes evaluados en los bordos que separan las tablas o en zonas y en zonas cercanas a los bordos de la unidad de producción.

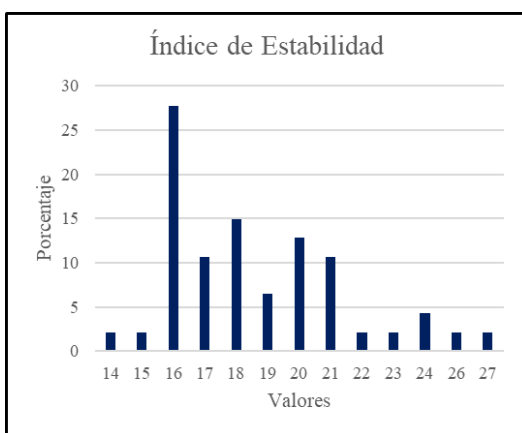
También se evaluó el porcentaje de la cobertura de hojarasca, el 70.2% de los cuadrantes evaluados presentaron un valor menor al 10%, de este porcentaje el 70.7% de la hojarasca era de origen local, es decir, materia orgánica proveniente de especies dentro del cuadrante, ya sean especies nativas o remanentes de cultivos establecidos, por ejemplo, maíz, frijol o avena. El grado de descomposición de esta materia orgánica fue nula en el 89.4% de los casos, mientras que el porcentaje restante presentó un grado bajo de descomposición.

La presencia de costra biológica fue escasa en los cuadrantes evaluados, solo el 2.1% de los cuadrantes presentaron costra, principalmente aquellos cercanos a los bordos de las parcelas y en algunos bordos con un grado mínimo de labranza, en donde las condiciones de conservación de la costra hacen posible su presencia. La costra presentó muy poco agrietamiento, con un 4.2% de los cuadrantes. Respecto a los procesos de erosión observados en los cuadrantes, el 97.3% presentaron erosión laminar, sin embargo, este tipo de erosión se presentó en un nivel insignificante de severidad, también se presentó erosión en forma de terracetos (2.1%), sobre todo en los cuadrantes cercanos a las entradas y las salidas de las acequias y los canales derivados de los bordos en las tablas agrícolas.

La cantidad de los materiales depositados en los cuadrantes fue de 0 a 5% de cobertura respecto al área total del cuadrante. La rugosidad de la superficie fue uno de los indicadores con mayor diversidad de categorías observadas, pues el 38.3% de los cuadrantes presentaron depresiones entre 3-8 mm, el 25.5% presentaron depresiones profundas de 8.25 mm, finalmente el 21.3% de los cuadrantes presentaron depresiones menores a 3 mm de profundidad, el resto de las observaciones con una profundidad mayor a las ya mencionadas se derivan de los métodos de labranza del suelo que se utilizan dentro de las parcelas, principalmente por los surcos realizados por la rastra o los discos del tractor, pues los muestreos se realizaron en una temporada del año en donde ya se había realizado la labranza del suelo previa a las primeras lluvias.

La resistencia del suelo ante un disturbio se pudo observar que de manera general se pueden categorizar en dos, el 42.6% de los cuadrantes presentaron un suelo moderadamente duro, principalmente en los cuadrantes cercanos a los bordes de las parcelas y los bordes de las tablas agrícolas, donde el trabajo de labranza no tiene el mismo impacto que en el resto de la parcela, sin embargo, también se presentó esta condición en cuadrantes con suelo labrado, pero algunos meses atrás y que gracias a la falta de producción el suelo se volvió a endurecer; el 40.4% presentaron un suelo fácilmente rompible, correspondiente a cuadrantes ubicados al interior de las tablas agrícolas en donde las actividades de labranza del suelo son más frecuentes. Lección

Respecto a la textura del suelo, el 85.1% de las muestras se catalogaron como suelos franco-arcillosos a franco-limosos, este tipo de suelo presenta una tasa de infiltración moderada, los suelos franco-arcillosos o arcilloso-arenosos fueron el tipo de suelo que sigue en importancia con el 10.6% de los cuadrantes observados, estos tipos de suelo tienen una tasa de infiltración baja. Finalmente, en la prueba de reducción del suelo, el 34% de los cuadrantes perdieron el 50% de su estructura entre los 30 segundos y los 5 minutos que estuvieron en contacto directo con el agua, mientras que el 23.4% de los cuadrantes mantuvieron entre el 10 al 25% de su estructura tras 5 minutos de contacto directo con el agua más cinco ciclos de movimiento consecutivo. También se obtuvieron las frecuencias para cada índice, las cuales se muestran en la figura 12. Respecto al índice de estabilidad, se puede observar que la mayoría de las observaciones presentaron un valor de 16 en la escala de medición con 13 de las 47 observaciones realizadas en las unidades de producción.

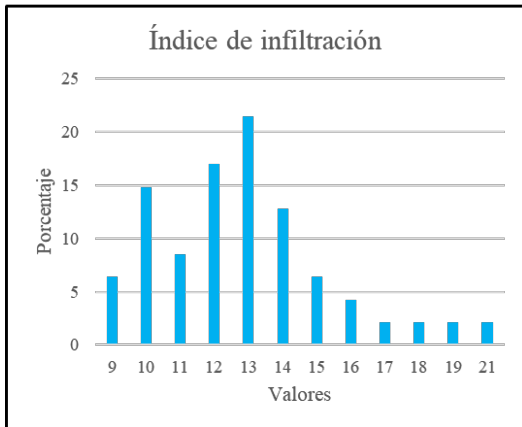


Estabilidad				
Valores	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
14.00	1	2.1	2.1	2.1
15.00	1	2.1	2.1	4.3
16.00	13	27.7	27.7	31.9
17.00	5	10.6	10.6	42.6
18.00	7	14.9	14.9	57.4
19.00	3	6.4	6.4	63.8
20.00	6	12.8	12.8	76.6
21.00	5	10.6	10.6	87.2
22.00	1	2.1	2.1	89.4
23.00	1	2.1	2.1	91.5
24.00	2	4.3	4.3	95.7
26.00	1	2.1	2.1	97.9
27.00	1	2.1	2.1	100.0
Total	47	100.0	100.0	

Figura 12. Frecuencias de valores correspondientes al índice de estabilidad del SSA.

Este valor muy por debajo del valor máximo (40) que maneja este índice en condiciones de ecosistemas saludables y conservados. Estos resultados son similares a lo encontrado en otros estudios realizados también regiones áridas y semiáridas, ya que especialmente en ecosistemas con estas características en donde la cobertura vegetal es menor y no hay tanta protección al disturbio del suelo, la presencia de costra biológica resulta un factor muy importante en la protección del suelo y el mantenimiento de la estabilidad (Doria, 2022).

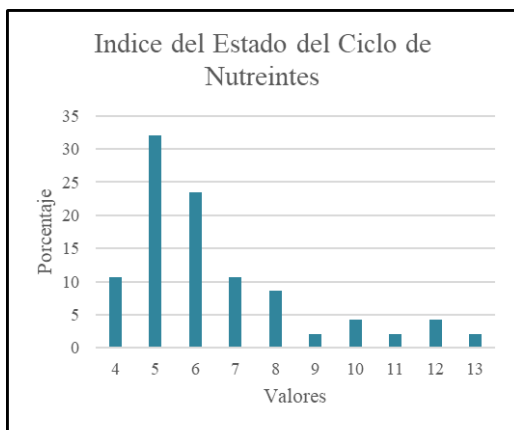
Respecto al índice de infiltración (figura 13), se puede observar que la mayoría de las observaciones se presentaron dentro del rango de 13 a 13.9 en la escala de medición con 21.5% de las observaciones. Hablando de valores puntuales de medición, 10.6% de las observaciones presentaron un valor de 10.8 en la escala de medición, mientras que un mismo porcentaje de las observaciones presentaron 12.8 en la escala de medición, ambos valores fueron los valores puntuales con mayor porcentaje. Estos resultados se encuentran muy por debajo del valor máximo (57) que marca la escala para un ecosistema natural y conservado, en trabajos similares se observa que factores como la rugosidad del suelo y la presencia de hojarasca pueden ser de gran importancia para mejorar la capacidad de infiltración del suelo (Doria, 2022). En este estudio de se pudo observar un bajo porcentaje en la cobertura de la materia orgánica dentro de los cuadrantes y una baja rugosidad del suelo, esto explica el resultado.



Infiltración				
Valores	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
9.80	3	6.4	6.4	6.4
10.30	1	2.1	2.1	8.5
10.50	1	2.1	2.1	10.6
10.80	5	10.6	10.6	21.3
11.80	4	8.5	8.5	29.8
12.30	3	6.4	6.4	36.2
12.80	5	10.6	10.6	46.8
13.10	1	2.1	2.1	48.9
13.30	2	4.3	4.3	53.2
13.60	2	4.3	4.3	57.4
13.70	1	2.1	2.1	59.6
13.80	4	8.5	8.5	68.1
14.20	1	2.1	2.1	70.2
14.25	1	2.1	2.1	72.3
14.30	2	4.3	4.3	76.6
14.80	1	2.1	2.1	78.7
14.90	1	2.1	2.1	80.9
15.20	1	2.1	2.1	83.0
15.80	2	4.3	4.3	87.2
16.30	1	2.1	2.1	89.4
16.50	1	2.1	2.1	91.5
17.30	1	2.1	2.1	93.6
18.80	1	2.1	2.1	95.7
19.80	1	2.1	2.1	97.9
21.80	1	2.1	2.1	100.0
Total	47	100.0	100.0	

Figura 13. Frecuencias de valores correspondientes al índice de infiltración del SSA

Respecto al índice del estado del ciclo de nutrientes, se puede observar en la figura 14, que la mayoría de las observaciones se presentaron dentro del rango de 13 a 13.9 en la escala de medición con 21.5% de las observaciones. Hablando de valores puntuales de medición, 10.6% de las observaciones presentaron un valor de 10.8 en la escala de medición, mientras que un mismo porcentaje de las observaciones presentaron 12.8 en la escala de medición, ambos valores fueron los valores puntuales con mayor porcentaje.



Estado del Ciclo de Nutrientes				
Valores	Frecuencia	Porcentaje	% válido	% acumulado
4.00	1	2.1	2.1	2.1
4.50	4	8.5	8.5	10.6
5.00	3	6.4	6.4	17.0
5.50	11	23.4	23.4	40.4
5.90	1	2.1	2.1	42.6
6.00	3	6.4	6.4	48.9
6.50	6	12.8	12.8	61.7
6.60	1	2.1	2.1	63.8
6.90	1	2.1	2.1	66.0
7.00	2	4.3	4.3	70.2
7.50	2	4.3	4.3	74.5
7.90	1	2.1	2.1	76.6
8.50	4	8.5	8.5	85.1
9.00	1	2.1	2.1	87.2
10.00	1	2.1	2.1	89.4
10.50	1	2.1	2.1	91.5
11.00	1	2.1	2.1	93.6
12.00	1	2.1	2.1	95.7
12.50	1	2.1	2.1	97.9
13.50	1	2.1	2.1	100.0
Total	47	100.0	100.0	

Figura 14. Frecuencias de valores correspondientes al índice del estado del ciclo de nutrientes del SSA

Este índice define la eficiencia con la que la materia orgánica se reintegra al suelo, se puede observar que dentro de los diferentes parches en las unidades de producción observadas en el estudio existe un bajo porcentaje en este índice, con valores que van desde un 4, hasta un 13.5 en la escala de medición, en donde la mayoría de las observaciones se presentaron en el rango de 5 al 5.9 con el 32% de las observaciones, siendo 5.5 el valor puntual con 23.4% de las observaciones, estos resultados coinciden con los observado en otros estudios, en ecosistemas semiáridos de la región central de Irán, donde los porcentajes en parcelas de pastoreo con un manejo del suelo pobre fue de 15.6%, es decir con condiciones de manejo y ambientales parecidas al sitio de estudio de este estudio. Estos porcentajes fueron menores a los observados en parcelas con una mejor condición de manejo (30.7%) y ecosistemas con un mejor grado de conservación, como es el caso de un bosque semi esparcido dentro de la misma área de estudio (22.7%) (Gaitán et al., 2018; Safaei et al., 2019).

En otro estudio similar realizado áreas semiáridas de pastoreos en el sudeste australiano, se observaron resultados similares a los encontrados en este estudio, en donde se observa valores menores en los diferentes índices que integran la metodología LFA, respecto al estado de ciclo de nutrientes, se presentaron valores de 30%, en las parcelas con mayor intensidad de pastoreo y estrategias de manejo poco apropiadas, estos valores se sitúan por debajo del umbral de preocupación potencial , lo que promueve la poca funcionalidad de los servicios ecosistémicos y la degradación del ecosistema (Read et al., 2016).

Discusión

La delimitación de la cuenca dio como resultado la visualización de una cuenca de tamaño grande, con pendientes de poca inclinación, una baja densidad de drenaje y un tiempo de concentración de larga duración. Estos resultados favorecen los procesos de infiltración en eventos de precipitación importantes, se pueden sugerir que derivados de factores externos como la presencia de vegetación y la textura de suelo se puedan presentar condiciones de alta permeabilidad, favoreciendo altas tasas de infiltración y alimentación del flujo subsuperficial (González, 2004).

Este estudio es útil para el desarrollo de proyectos de manejo y conservación de los recursos naturales para esta microcuenca en particular, especialmente en el contexto de las actividades agrícolas tradicionales, en donde se busca la reducción en los procesos de erosión y la retención de humedad para mejorar la disponibilidad de agua en el suelo (Méndez et al., 2021).

La interpretación de estos resultados toma en cuenta principalmente las condiciones de un ecosistema natural, sin intervención humana, sin embargo al analizar los mapas creados a partir de información relacionada al uso del suelo, poblaciones y actividades humanas dentro de la cuenca, así como la presencia de infraestructura, podemos darnos cuenta de la influencia de estos factores en la dinámica hídrica dentro de la cuenca, pues se ha observado que una concentración parcelaria en sitios clave de drenaje y el tipo de manejo en las unidades de producción, pueden alterar los factores que regulan los procesos de infiltración y la escurrimiento a nivel del suelo (González, 2004), Se han observado diferencias significativas en las tasas de escurrimiento y de infiltración para distintos tipos de uso de suelo, siendo las áreas de cultivo activas y en barbecho, los usos de suelo con una mayor tasa de escurrimiento y una menor tasa de infiltración (Lozano et al., 2020).

Se puede observar también que un gran número de parcelas se encuentran en el punto de salida de agua de la cuenca, donde se concentra la mayor cantidad de escurrimiento en eventos lluviosos, esta misma área de acuerdo con información oficial, presenta dos tipos de suelo categorizados como xerosoles (gípsico y cálcico), estos suelos, comúnmente relacionados a ecosistemas áridos, presentan muy poca profundidad y bajo contenido de materia orgánica, características que facilitan que un porcentaje mayor de agua salga de la

cuenca por escorrentía y se disminuya la tasa de infiltración, especialmente en las zonas parceladas, en donde es común la práctica de desmonte.

Los resultados obtenidos en los distintos índices para evaluar la SSA dentro de las parcelas, dan soporte a los resultados encontrados en la delimitación del a cuenca, pues se observa la importancia que tiene el manejo del suelo productivo adecuado dentro de las unidades de producción, con la finalidad de mantener un agroecosistema saludable que fomente la productividad y evite la degradación del suelo, se observó que factores como el enriquecimiento de materia orgánica entre los ciclos productivos ayuda a mejorar las condiciones nutricionales, de estabilidad y cohesión del suelo, en comparación con sitios en donde no existe un manejo integral de suelo (Safaei et al., 2019).

Se ha documentado como distintas técnicas de manejo del suelo, así como el aumento en la intensidad del uso del suelo derivado de las actividades agrícolas puede generar cambios en su estructura, especialmente en el porcentaje de macro y micro agregados y las funciones que tienen en el tamaño de los poros y el sistema de drenaje. Estos cambios tienen un efecto directo en la estabilidad del suelo dentro de las parcelas. Al favorecerse los micro agregados por la labranza del suelo se puede ver afectada la infiltración del agua de lluvia y aumentar la escorrentía y la erosión del suelo (Volverás y Amézquita, 2009).

Además del manejo productivo dentro de la unidad de producción, también se han identificado una serie de factores que pueden influir en los valores obtenidos por la metodología de LFA, entre los cuales se mencionan; los cambios Inter estacionales propios de las áreas de estudio y la diferenciada sensibilidad de cada ecosistema, entre otros factores.

En estudios anteriores se demuestra como el mantenimiento y restablecimiento de la vegetación nativa dentro de las parcelas es un factor significativo en la funcionalidad y las características del paisaje, donde especies como la *Larrea nítida* Cav. en un ecosistema árido tiene la capacidad de elevar los valores obtenidos en los tres índices analizados, si bien, esta especie no presentó valores significativos en una temporalidad menor, a largo plazo se observa como mejora la estabilidad, infiltración y los ciclos de nutrientes en el suelo. Resulta interesante al encontrar en el sitio de estudio la presencia de *Larrea tridentata* Cav. la cual pertenece a la misma familia que su similar argentina, lo que podría sugerir un efecto similar en los suelos de las unidades de producción en el ejido de San Antonio de Coronados (Tabeni et al., 2016).

Así mismo el mantenimiento de la vegetación nativa y otras coberturas vegetales en partes estratégicas de las parcelas durante los ciclos de producción pueden mejorar los valores de estabilidad del suelo y el ciclo de nutrientes (Mahmoud et al., 2022). Partiendo del hecho de que algunos productores ya tienen establecida *Larrea tridentata* Cav. en los bordos que delimitan las tablas agrícolas en sus parcelas, sería importante fomentar el uso de estas especies vegetales nativas en las parcelas que aún no están establecidas, ya que además de su efecto sobre los ciclos de nutrientes y la materia orgánica, también funcionan como barreras contra los procesos erosivos producidos por el viento, el cual se ha demostrado que en muchas regiones áridas es el principal factor de erosión del suelo. Se podría investigar un diseño apropiado de bordos que además de realizar su función en la distribución del agua proveniente de las acequias, también permita la mejora de las condiciones del suelo en la parcela. Otra área de oportunidad son las coberturas vegetales nativas utilizadas durante el proceso de producción anual, que permitan la protección del suelo y el mantenimiento de sus características. Se ha observado en diversos estudios como la vegetación tiene un efecto importante en diferentes procesos dentro de la cuenca), sobre todo en regiones áridas y semi áridas, incluida la regulación de las dinámicas hídricas, la protección del suelo ante los procesos erosivos y la mejora de sus características (textura y salinidad) (D'Odorico y Bhattachan, 2012).

Se puede proponer a esta metodología en particular como una forma accesible y fácil para medir la funcionalidad del suelo, esto permite a los productores tradicionales tener la posibilidad de diseñar nuevas estrategias con un enfoque más integral de manejo dentro de sus unidades productivas, con la finalidad de mejorar la calidad del suelo y la productividad del agroecosistema. Para complementar la situación de la dinámica hídrica dentro de la cuenca, los resultados del SPI respecto a las variaciones de la precipitación concuerdan con las predicciones de distintos modelos como el RCP 4.5 y el RCP 8.5 para la región, los horizontes medios y lejanos demuestran un aumento de hasta 10 mm de precipitación en la mayor parte de la microcuenca, lo que nos dice que lejos de una disminución de precipitación, lo que se observa es un mantenimiento de los niveles e incluso un incremento (ICAYCC, 2024). Este resultado también concuerda con los reportado en estudios similares, como el realizado en la cuenca alta del Pánuco, con estaciones ubicadas en sitios semi áridos del altiplano potosino en donde se observa un cambio en la distribución de precipitación inter

anual en dos simulación, la primer a un furo cercano (2040-2070) y la segunda en un periodo lejano (2070-2100), en ambos periodos se observa un aumento de la precipitación de hasta 150 mm de lluvia en los meses de septiembre y octubre, y una disminución de hasta 100 mm en los meses de junio y julio. Estos resultados significan un cambio en los patrones de precipitación regionales con la aparición de lluvias tardías justo al comienzo de la estación fría, al mismo tiempo que se presentan condiciones de menor humedad en la estación cálida (Velázquez, 2023). También se ha observado que existe una tendencia a la variabilidad extrema en periodos inter estacionales, en la cuenca, resultados que se observan en sitios similares, donde los valores de SPI muestran estaciones cálidas con condiciones extremadamente secas y de mayor duración, al mismo tiempo que se presentan estaciones frías con un aumento ligero de la humedad, sin embargo, con patrones muy inestables dependiendo la región (Magallanes et al., 2019).

El manejo de la humedad del suelo puede servir como un factor protector frente a la marcada variabilidad inter estacional que se observa en la microcuenca, ya que, al haber una mayor humedad en el suelo, esta tiene un efecto atenuante en la temperatura durante los eventos de calor extremo, que son cada vez más frecuentes por el cambio climático (Maraun et al., 2025).

Sin embargo, la falta de información actualizada en las estaciones meteorológicas solo permitió el análisis de las tendencias de precipitación hasta el año 2010, esta situación es una limitante de este estudio.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la delimitación de la microcuenca, demuestra que, por sus características morfométricas, la microcuenca de San Antonio de Coronados es de tamaño intermedia-grande ($< 1464.82 \text{ km}^2$), con una pendiente ligera (3.6°) y una densidad de drenaje baja (**1.03 km/km^2**). De acuerdo con estos resultados se puede concluir que las características morfométricas y red de drenaje que presenta esta microcuenca puede favorecer los procesos de infiltración de agua de lluvia en el suelo y generar una mayor disponibilidad de agua para las actividades productivas.

El régimen de precipitación forma parte de la dinámica hídrica de la microcuenca de San Antonio de Coronados, de acuerdo con el índice estandarizado de precipitación (SPI), se observa una tendencia de aumento de humedad a través del tiempo, sin embargo, los resultados en la temporalidad de tres meses demuestra que a pesar del aumento de humedad, también hay una mayor variabilidad inter estacional, con condiciones de humedad y temperatura más extremas entre la estación húmeda y seca, incluyendo un cambio en la duración entre cada una, de acuerdo con estos resultados, se puede concluir que la principal entrada de humedad para la microcuenca presenta una variabilidad extrema, que puede interferir en la dinámica hidrológica general, especialmente en el proceso de infiltración de humedad al suelo y en el proceso de evapotranspiración, esta condición puede tener un efecto negativo en la producción de los sistemas agrícolas locales

Los resultados observados en el método LFA, específicamente en los índices de estabilidad (18.63), infiltración (13.49) y el estado del ciclo de nutrientes con un valor de (6.92), sugieren que las condiciones de la superficie del suelo no tienen el mejor resultado en comparación con lo observado en un ecosistema árido conservado. De acuerdo con los resultados observados se puede concluir que el estado de la superficie del suelo dentro de las parcelas tiene un efecto negativo en la dinámica hidrológica de la microcuenca de San Antonio de Coronados, al no tener en el suelo de las parcelas las características adecuadas para que procesos como la infiltración del agua de lluvia al suelo, el mantenimiento de la humedad y la disminución de la escorrentía se lleven a cabo de manera adecuada.

De manera general se puede concluir que la dinámica hidrológica en la microcuenca de San Antonio de Coronados está dada por factores positivos como las características morfométricas y la red de drenaje del a cuenca, que actúan como contrapeso a los factores

como la variabilidad extrema de la precipitación y las condiciones de la superficie del suelo poco favorables para el desarrollo de los procesos naturales de infiltración y almacenamiento de agua en el suelo.

Finalmente, se puede concluir que los factores que intervienen en la dinámica hídrica general de la microcuenca de San Antonio de Coronados pueden ser explicados a través de fenómenos climáticos como el cambio climático, la variabilidad climática y fenómenos meteorológicos extremos como el fenómeno del niño y la niña, para los cuales son necesarias estrategias de adaptación y mitigación que permitan el aumento de la resiliencia de los productores y las comunidades.

Por otro lado, existen factores se derivan de un manejo agrícola incorrecto y se sugiere la necesidad de mejoras en prácticas tales como el fomento a especies de cobertura, el mantenimiento de la vegetación nativa, la incorporación de materia orgánica al suelo y la aplicación de métodos de labranza con un menor impacto en la estabilidad y estructura del suelo, incluso métodos de no labranza podrían mejorar las condiciones del suelo.

Referencias

- Aboelnour, M., Gitau, M. W., & Engel, B. A. (2020). A comparison of streamflow and baseflow responses to land-use change and the variation in climate parameters using SWAT. *Water*, 12(1), 191.
- Ahmad, Mokbul Morshed, Muhammad Yaseen, and Shahab E. Saqib. "Climate change impacts of drought on the livelihood of dryland smallholders: Implications of adaptation challenges." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 80 (2022): 103210.
- Andrade, M. P. D., & Ribeiro, C. B. D. M. (2020). Impacts of land use and cover change on Paraíba do Sul watershed streamflow using the SWAT model. *Rbrh*, 25, e12.
- Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., López de Armentia, A., Del Río, J. L., & De Marco, S. G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 73-97.
- Campos, A. (1992). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. 2 ed., México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, pp. 33-34.
- Cifuentes, M. R., Rodríguez, C. I., Ruiz de Galarreta, V. A., & Gabellone, N. A. (2022). Dinámica hídrica y balance hidrológico en la cuenca del embalse Lago del Fuerte, Tandil.
- Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Carrillo González, F. M., & Téllez López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia*, 23(64), 26-34.
- D'Odorico, P., & Bhattachan, A. (2012). Hydrologic variability in dryland regions: impacts on ecosystem dynamics and food security. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1606), 3145-3157.
- De Lima, S. G. (2011). ¿Qué es una cuenca hidrográfica? Foro Peruano para el Agua GWP Perú.
- Doria, O. (2022). *Efecto de una obra de conservación del suelo en la restauración de la costra biológica del suelo y su impacto en las funciones del ecosistema*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales.

- Gaitán, J. J., Bran, D. E., Oliva, G. E., Aguiar, M. R., Buono, G. G., Ferrante, D., ... & Maestre, F. T. (2018). Aridity and overgrazing have convergent effects on ecosystem structure and functioning in Patagonian rangelands. *Land Degradation & Development*, 29(2), 210-218.
- González, A. I. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles*, (38), 311-330.
- Hall, J. S., Kirn, V., & Yanguas-Fernández, E. (Eds.). (2015). La gestión de las cuencas hidrográficas para asegurar los servicios ecosistémicos en las laderas del neotrópico. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales.
- ICAyCC. (2024). Escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, ARG6, IPCC. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático. <https://atlasclimatico.unam.mx/ar6/visualizador>
- INEGI. (2023). Continuo de elevaciones mexicano y modelos digitales de elevación. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Catorce, San Luis Potosí 24006.
- Jaramillo Monroy, F., Wehncke Rodríguez, E. V., Flores Armillas, V. H., Pohle Morales, O. M., & López-Medellín, X. (2021). Enfoque regional de manejo integrado del agua en la microcuenca El Pantano, Morelos, México. *Economía, sociedad y territorio*, 21(65), 275-304.
- Jodar-Abellan, A., Ruiz, M., & Melgarejo, J. (2018). Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 35(3), 240-253.
- López, R. F. P., & Patrón, E. R. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión.
- Lozano-Trejo, Salvador, Olazo-Aquino, Jaime, Pérez-León, María I., Castañeda-Hidalgo, Ernesto, Díaz-Zorrilla, Gustavo O., & Santiago-Martínez, Gisela M.. (2020). Infiltración y escurrimiento de agua en suelos de una cuenca en el sur de México. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 57-66. Epub 20 de junio de 2020. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.443>

- Magallanes-Quintanar, R., Blanco-Macías, F., Galván-Tejada, E. C., Galván-Tejada, J., Márquez-Madrid, M., & Valdez-Cepeda, R. D. (2019). Tendencias negativas del Índice de Precipitación Estandarizado regional predominan en el estado mexicano de Zacatecas. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 487-499.
- Mahmoud, A., Zaied, A., & Akraym, A. M. (2022). Landscape Function Analysis along Precipitation Gradient in the Rangeland of Southern Al-Jabal Al-Akhdar, Libya. *Desert (2008-0875)*, 27(1).
- Maraun, D., Schiemann, R., Ossó, A., & Jury, M. (2025). Changes in event soil moisture-temperature coupling can intensify very extreme heat beyond expectations. *Nature Communications*, 16(1), 734.
- Martínez-Yrizar, A., Álvarez-Sánchez, J., & Maass, M. (2017). Análisis y perspectivas del estudio de los ecosistemas terrestres de México: dinámica hidrológica y flujos de nitrógeno y fósforo. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88, 27-41.
- Méndez-Gutiérrez, A. G., Corral-Rivas, S., Nájera-Luna, J. A., Cruz-Cobos, F., & Pompa-García, M. (2021). Análisis morfométrico de la cuenca El Salto, Durango, México. *Terra Latinoamericana*, 39.
- MINAMBIENTE. (2019). Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 160 p.
- OMM. 2012. Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario. Organización Meteorologica Mundial.
- Osborne, B. B., Bestelmeyer, B. T., Currier, C. M., Homyak, P. M., Throop, H. L., Young, K., & Reed, S. C. (2022). The consequences of climate change for dryland biogeochemistry. *New Phytologist*, 236(1), 15-20.
- Oyarzabal, M., Bustamante, M. L., Paruelo, J. M., & de Sudamérica, C. S. 4. Estimación del Índice de Cobertura Vegetal (ICV) en el marco del Índice de Conservación de los Pastizales Naturales (ICP) en campos ganaderos de los Pastizales del Cono Sur.
- Read, Z. J., King, H. P., Tongway, D. J., Ogilvy, S., Greene, R. S. B., & Hand, G. (2016). Landscape function analysis to assess soil processes on farms following ecological restoration and changes in grazing management. *European Journal of Soil Science*, 67(4), 409-420.

- Safaei, M., Bashari, H., Mosaddeghi, M. R., & Jafari, R. (2019). Assessing the impacts of land use and land cover changes on soil functions using landscape function analysis and soil quality indicators in semi-arid natural ecosystems. *Catena*, 177, 260-271.
- SMN. (2023). Índice Estandarizado de Precipitación (SPI). <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/spi>
- Tabeni, S., Yannelli, F. A., Vezzani, N., & Mastrantonio, L. E. (2016). Indicators of landscape organization and functionality in semi-arid former agricultural lands under a passive restoration management over two periods of abandonment. *Ecological Indicators*, 66, 488-496.
- Tonway, D., & Hindley, N. (2004). Landscape Function Analysis: procedures for monitoring and assessing landscapes with special reference to Minesite and Rangelands.
- Valdés-Carrera, A. C., & Hernández-Guerrero, J. A. (2018). Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México. *Revista Geográfica de América Central*, 1(60), 189-229.
- Velázquez-Zapata, Juan Alberto. (2023). Evaluación del índice de precipitación estandarizado (SPI) con datos de alta resolución en clima histórico y futuro en el centro de México. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 15(2), 23-43. Epub 05 de noviembre de 2024. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2023.06.030>
- Volverás Mambuscay, B., & Amézquita Collazos, E. (2009). Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*, 58(1), 35-39.
- Zuñiga, D., Mendoza, R., & Watson, G. (2021). Gestión y manejo del agua en la agricultura. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

CAPÍTULO 3.

PRÁCTICAS, ESTRATEGIAS Y ADAPTACIONES PRODUCTIVAS RELACIONADAS AL MANEJO Y CONSERVACIÓN DE AGUA DENTRO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS LOCALES

Introducción

Los conocimientos tradicionales se pueden definir como aquellos conocimientos traducidos en habilidades, saberes y técnicas, generados en el interior de las sociedades humanas, y que se producen a lo largo del tiempo, buscan preservar y transmitir a más personas debido a los variados beneficios que pueden ofrecer, son conocimientos interactivos, orales, relacionados con tradiciones y costumbres de cada localidad, donde se crean; requieren ser replicados para mantenerse y transmitirse de manera adecuada y tienen la capacidad de adaptarse a los cambios que ocurren en el contexto actual de las comunidades. Estos conocimientos pueden variar de acuerdo con factores como el género y la edad de las personas que lo transmiten y pueden ser tangibles e intangibles, lo que ofrece un catálogo de opciones de aprendizaje (Tovar et al., 2024).

Este conocimiento se diferencia del científico por ser de carácter empírico, basado en observaciones y datos no sistemáticos, son dinámicos ya que se encuentran en constante transformación al incorporar elementos nuevos y desechando otros que ya no son aplicables al entorno ambiental, cultural, tecnológico y económico en el que fueron creados (Tardío et al., 2018).

Los conocimientos tradicionales agrícolas contribuyen a establecer pautas en el manejo de los sistemas agrícolas locales expresados en el conocimiento del clima, la biodiversidad y la conservación del agua y el manejo del suelo para la producción agrícola, son conocimientos asociados a recursos biológicos y contribuyen al resto de los conocimientos en la generación de una identidad comunitaria y permiten satisfacer necesidades básicas como la obtención de alimento, medicinas, materiales para construcción y energía, así como funciones espirituales y culturales (Palacios, 2011; CONABIO-GIZ, 2017; Cruz et al., 2020).

A partir de estos conocimientos tradicionales se pueden establecer los componentes del sistema de producción tradicional, el cual esta conformado por las características de las y los productores tradicionales, las características ambientales del agroecosistema en el que

se desarrolla la comunidad junto con las actividades de cada productor y finalmente las características que describen el tipo de manejo productivo que realizan dentro de sus parcelas. Los distintos perfiles de productores se pueden caracterizar en cuanto a la cantidad de conocimiento tradicional en estos tres pilares fundamentales (Ahmed et al., 2022).

Los indicadores climáticos locales, forman parte de estos conocimientos, se pueden definir como las observaciones de los productores a las características climáticas y a los sistemas físicos, biológicos y socioeconómicos que componen el medio en el que viven y desarrollan sus actividades productivas. Estas observaciones contribuyen a entender el funcionamiento del clima a escala local (Reyes et al., 2016).

La conservación de estos conocimientos, trae muchos beneficios para la comunidades que fomentan su protección y transmisión a las nuevas generaciones, también tiene efectos positivos en el ambiente natural en donde las comunidades se establecen y desarrollan, algunos de estos beneficios son; el mantenimiento de la relación espiritual y cultural entre las comunidades y los recursos biológicos y naturales, se conserva un mayor porcentaje de biodiversidad, sobre todo las especies nativas y endémicas de la región, se promueve un aprovechamiento de los recursos de manera sostenible y ayudan a mantener los servicios ambientales de los ecosistemas (CONABIO-GIZ, 2017).

La agroecología es un enfoque de la agricultura que este ligado al medio ambiente y con una sensibilidad social mayor que los métodos convencionales, se centra en la mejora de la producción a través de la sostenibilidad ecológica. Los conocimientos tradicionales son fundamentales bajo este enfoque, ya que se busca entender las relaciones y los procesos ecológicos entre que ocurren dentro de los agroecosistemas locales y poder administrar de una mejor manera los recursos y disminuir los impactos negativos de las actividades agrícolas en el ambiente y la sociedad (Altieri, 1997).

En la actualidad se pueden distinguir tres rasgos básicos a tomar en cuenta para que los sistemas agroecológicos puedan ser exitosos, el rasgo ecológico que abarca los aspectos técnico-agronómicos en donde el agroecosistema es la unidad de análisis principal con su grado de simplificación, estructura y función; el rasgo sociocultural desde una perspectiva histórica en donde se incluyen movimientos sociales y la elaboración de estrategias políticas mediante la acción social colectiva; finalmente el rasgo político en donde se busca la equidad y la nivelación de desigualdades (Aguilera, 2010).

La aplicación de los conocimientos tradicionales en los sistemas de secano resulta muy útil frente a un panorama de cambio climático con el aumento de la frecuencia e intensidad de la sequía en los ecosistemas áridos y semi áridos a nivel global, Estos conocimientos tienen efectos positivos al crear sistemas de producción resilientes ante la falta de agua. Las estrategias adaptativas que emplean los agricultores van desde los métodos de labranza, la selección y almacenamiento de las especies nativas con mejor adaptación y el manejo del suelo y el agua (Kanchebe, 2013; Rivera et al., 2016).

Los conocimientos tradicionales en conjunto con las nuevas tecnologías pueden generar oportunidades para un manejo integrado del agua en la agricultura local, sobre todo frente a las problemáticas de la variación en las estaciones húmedas, la calidad del agua y la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos y superficiales, así como el incremento de la demanda hídrica (Fantesco y Yessoufou, 2022).

De acuerdo con la teoría de resiliencia, la integración de información proveniente de una diversidad de fuentes de conocimiento puede aumentar la capacidad de recuperación de los sistemas agrícolas al ampliar la gama de respuestas ante una crisis o perturbación, lo que se combina con la capacidad dinámica de los conocimientos tradicionales y la hibridación con otras formas de conocimiento. Existe un proceso de coevolución de los conocimientos con los sistemas ecológicos y sociales (Tardío et al., 2018).

En las investigaciones a nivel mundial, el conocimiento tradicional de los pueblos originarios y campesino es relegada a un segundo plano, mientras que se da prioridad a estudios con bases científicas que si bien, ofrecen análisis sobre las consecuencias del cambio climático a nivel global, no son capaces de aportar información exacta de los efectos del cambio climático a nivel local (Tardío et al., 2018).

Actualmente los conocimientos tradicionales se encuentran en un proceso de pérdida a nivel mundial, a causa del desuso o poca utilización de los conocimientos tradicionales y factores externos como los procesos de aculturación, los nuevos modelos agrícolas con una mayor dependencia a la tecnología y los agroquímicos (Sharma et al., 2021), la integración de las comunidades a los mercados actuales y el abandono del campo para dedicarse a otras actividades económicas. Por este motivo, es importante documentar el conocimiento de las distintas comunidades, para asegurar su protección y la continuidad de estos en un marco que

promueva su uso para fomentar el desarrollo agrícola y comunitario, también conocido como etnodesarrollo (Martínez et al., 2019).

Objetivo específico

1. Identificar y documentar las prácticas, estrategias y adaptaciones productivas relacionadas al manejo y conservación de agua desarrolladas dentro de los sistemas productivos locales.
2. Conocer la situación de la comunidad respecto a la disponibilidad, calidad y utilización del recurso agua destinado a los sistemas productivos locales.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las diversas prácticas, estrategias y adaptaciones productivas relacionadas al manejo y conservación de agua desarrolladas dentro de los sistemas productivos locales?

¿Cuáles son las propuestas más adecuadas para mejorar la disponibilidad, calidad y utilización del recurso agua dentro los sistemas productivos locales?

Materiales y métodos

Entrevistas semiestructuradas a productores tradicionales.

Con el objetivo de identificar y documentar las prácticas, estrategias y adaptaciones productivas relacionadas al manejo y conservación de agua desarrolladas dentro de los sistemas productivos locales se realizaron entrevistas semiestructuradas a los productores seleccionados mediante el método de bola de nieve. Estas entrevistas tienen la característica de ofrecer un grado de flexibilidad aceptable, lo que permita que, a partir de una serie de preguntas establecidas, el entrevistado tenga la libertad de profundizar más en la información que proporciona y se pueda obtener respuesta con mayor valor informativo.

Se explicó los objetivos de la entrevista, y se solicitó la autorización de cada entrevistado para el uso de la información fines científicos y educativos. Se diseñó una guía de entrevista con preguntas agrupadas de acuerdo con categorías de información, estas preguntas permitirán obtener la información necesaria para el cumplimiento de los objetivos

del protocolo de investigación. La entrevista consta de 58 preguntas, a continuación, se muestran las categorías que componen la entrevista (Tabla 12):

Tabla 12. Descripción de las categorías y preguntas que componen la entrevista a productores

Aspectos generales de la unidad de producción	
Esta categoría tiene el objetivo de caracterizar las unidades de producción, número de parcelas, tiempo que tienen en producción, fuente de abastecimiento de agua, tipo de riego e inversión de dinero y tiempo en el abastecimiento de agua.	
Preguntas abiertas	Preguntas cerradas
4	2
Métodos para diseñar el calendario agrícola	
Esta categoría tiene el objetivo de caracterizar los conocimientos tradicionales que permiten a los agricultores predecir las condiciones predominantes del año, también los conocimientos sobre el desarrollo y el rendimiento de cultivos de acuerdo con las distintas condiciones en las que puede presentarse la precipitación	
Preguntas abiertas	Preguntas cerradas
2	1
Germoplasma	
Esta categoría tiene el objetivo de caracterizar las actividades y estrategias relacionadas al uso y conservación del germoplasma, las variedades utilizadas y sus características.	
Preguntas abiertas	Preguntas cerradas
6	0
Siembra	
Esta categoría tiene el objetivo de caracterizar algunos aspectos de la siembra como la profundidad de siembra y la profundidad de humedad en el suelo.	
Preguntas abiertas	Preguntas cerradas
2	0
Establecimiento y prácticas culturales	
Esta categoría tiene el objetivo de caracterizar las actividades y estrategias que se llevan a cabo durante el ciclo de producción enfocadas a la protección, mantenimiento, producción y mejoramiento en el rendimiento de los cultivos	
Preguntas abiertas	Preguntas cerradas
12	1
Manejo de suelo y agua	
Esta categoría tiene el objetivo de caracterizar las actividades y trabajos, métodos y condiciones apropiadas que permiten la conservación de la humedad y que ayudan a invertir la degradación del suelo en todos sus componentes (físicos, químicos y biológicos).	
Preguntas abiertas	Preguntas cerradas
7	1
Percepción de la frecuencia y cantidad de las lluvias	

Esta categoría tiene el objetivo de caracterizar la percepción de los agricultores respecto al cambio en la temporalidad, duración, intensidad y suficiencia de la lluvia para mantener la producción en la unidad de producción	
Preguntas abiertas	Preguntas cerradas
4	1
Amenazas	
Esta categoría tiene el objetivo de caracterizar las amenazas que afectan a la producción de los agricultores, la frecuencia, respuesta y fortalezas que ayudan a contrarrestar sus impactos negativos, ya sea por apoyos externos u organización comunitaria.	
Preguntas abiertas	Preguntas cerradas
9	0
Ritos y tradiciones	
Esta categoría tiene el objetivo de caracterizar las tradiciones o festividades relacionadas con la llegada de las lluvias y las buenas cosechas.	
Preguntas abiertas	Preguntas cerradas
1	0
Conocimiento tradicional	
Esta categoría tiene el objetivo de caracterizar los procesos de conservación, mantenimiento y transformación del conocimiento, así como la pérdida de este.	
Preguntas abiertas	Preguntas cerradas
4	0

Clasificación de los productores de acuerdo con al manejo del conocimiento tradicional

De acuerdo con clasificaciones realizadas en estudios previos, se utilizó la información obtenida en ciertas categorías para realizar una clasificación general de los productores locales respecto al manejo del conocimiento tradicional. Para esta clasificación se tomaron tres aspectos principales que comprende la definición del conocimiento tradicional: 1) la edad de los productores, 2) el conocimiento de las prácticas agrícolas tradicionales, 3) el conocimiento del medio natural en el que viven y desarrollan las actividades agrícolas y 4) manejo del germoplasma local.

Para la asignación de los valores en las prácticas agrícolas tradicionales y el conocimiento del medio natural, se realizó de la siguiente manera:

Expertos: Productores que mencionaron las prácticas agrícolas/indicadores ambientales convencionales, pero además mencionaron técnicas y conocimiento más complejo que el resto de los productores.

Suficientes: Productores que mencionaron las prácticas las prácticas agrícolas/indicadores ambientales convencionales.

Insuficientes: Productores que no fueron capaces de mencionar las prácticas convencionales de manejo o indicadores ambientales para la observación del medio (solo se menciona uno o ninguno).

En la tabla 13 se observan estos aspectos junto a su descripción:

Tabla 13. Aspectos principales utilizados en la clasificación de los productores locales

Clasificación de los productores locales									
Edad	Valor	Prácticas agrícolas tradicionales	Valor	Conocimiento del medio natural	Valor	Tipo de semillas	Valor	Tipo de productor	Valor
≥ 60 Años	2	Expertos	2	Expertos	2	Autoproducción	2	productores expertos	6, 7, 8
< 60 Años	1	Suficientes	1	Suficientes	1	Semilla local	1	productores convencionales	3,4,5
		Insuficientes	0	Insuficientes	0	Comercial/mejorada	0	productores nuevos/principiantes	1,2

Resultados

Aspectos generales de los productores y su unidad de producción.

De las 19 entrevistas semiestructuradas realizadas a productores pertenecientes al Ejido de San Antonio de Coronados, el 88.9% son hombres, con un rango de edad que va de 50 a 94 años, la mayoría pertenecen a la comunidad de Ranchito de Coronados.

En lo que corresponde a las unidades de producción, el 61.1% de los productores mencionó tener al menos dos parcelas, mientras que el resto de los productores poseen un número distinto. El área de las parcelas en el sitio de estudio es muy variable, con una extensión de hasta 30 hectáreas por parcela. Lo mismo sucede con la antigüedad productiva, con parcelas activas por más de 70 años, estos periodos temporales se deben a la herencia continua de los dotes parcelarios, siendo trabajadas por distintas generaciones de una misma familia desde una edad temprana.

A continuación, se pueden observar las frecuencias descriptivas sobre los productores entrevistados (Figura 15).

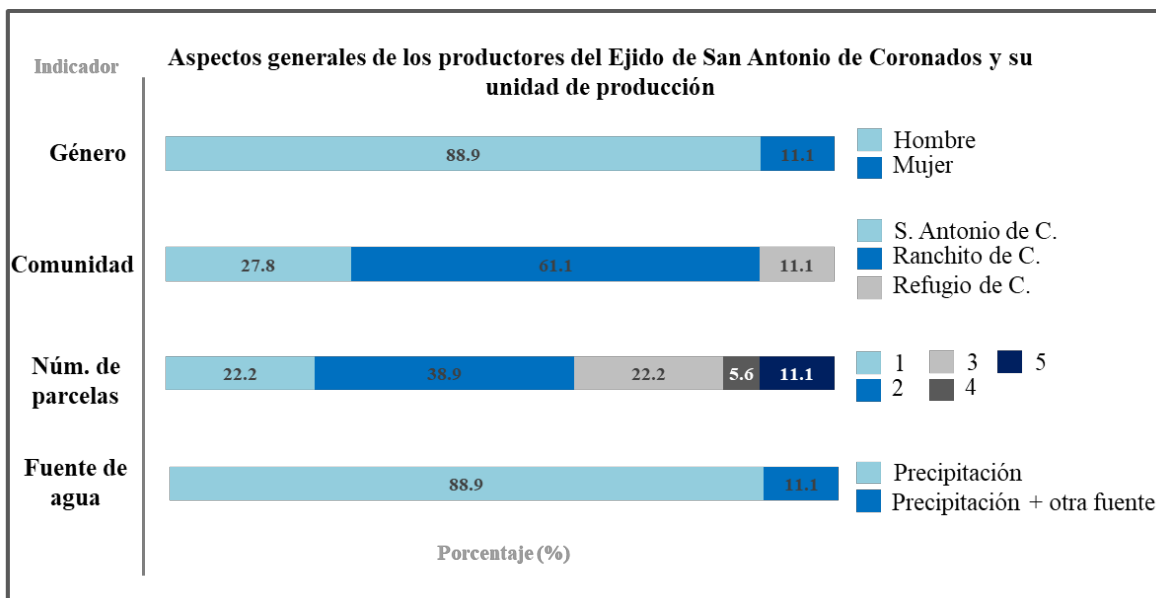


Figura 15. Frecuencias descriptivas para los aspectos generales de los productores y su unidad de producción

Como se puede observar en la figura 15, El tipo de agricultura que desarrollan los productores de las comunidades estudiadas se puede catalogar como agricultura de secano con manejo de escorrentías, pues el 100% de ellos mencionaron que la fuente principal de abastecimiento era el agua de lluvia, mientras que el 11.1% mencionaron el uso de otras fuentes de agua como pozo o noria, este mecanismo de abastecimiento de agua solo se encuentra disponible en las tierras de uso común que se encuentran cercanas a la comunidad de Estación Wadley; también se mencionó el uso del agua proveniente del manantial ubicado en la parte alta de la cuenca, este manantial abastece de agua para uso doméstico a ambas comunidades, sin embargo, cuando la cantidad de precipitación es favorable, el agua también se utiliza para el riego de las huertas y las parcelas más cercanas a la comunidad, mediante un sistema de canales de piedra que distribuyen el agua desde las piletas de almacenamiento. Respecto al riego, solo 1 productor menciona contar con riego rodado, pero solo dentro de la parcela que se encuentra en el área de uso común cercana a la comunidad de Wadley, el resto de los productores mencionaron no contar con sistema de riego.

Métodos para diseñar el calendario agrícola

Se preguntó a los productores si tenían manera de predecir si un año serio lluvioso o no, el 16.7% no respondieron a la pregunta, el 38.9% no tienen manera de predecir las condiciones del año y el 44.4% mencionaron formas diferentes de predecir las condiciones de humedad.

Entre los productores que mencionaron conocer maneras para predecir las condiciones de humedad se pudieron identificar conocimientos transmitidos por sus padres y abuelos que consideran factores relacionados a la observación del cielo y las condiciones atmosféricas durante los primeros meses del año, la formación de nubes y sus características, la humedad presente en diversos objetos como las rocas en el suelo, la presencia de corrientes de aire y el método de las cabañuelas. Otros productores mencionan que ahora dependen de los pronósticos climáticos proporcionados por las fuentes en medios de comunicación e internet.

También se les preguntó a los productores sobre el desarrollo del maíz en años con distintas condiciones de humedad, las respuestas se muestran en la figura 16, en donde se observa que, en los años con poca humedad, se identifican años con condiciones muy secas y años con condiciones secas. De acuerdo con lo mencionado por los productores, el desarrollo incompleto de las plantas fue la condición predominante con el 35.5% de las menciones, con un crecimiento disminuido observado en el bajo porte de los individuos, ausencia de la espiga y la ausencia de mazorca, entre otras características.

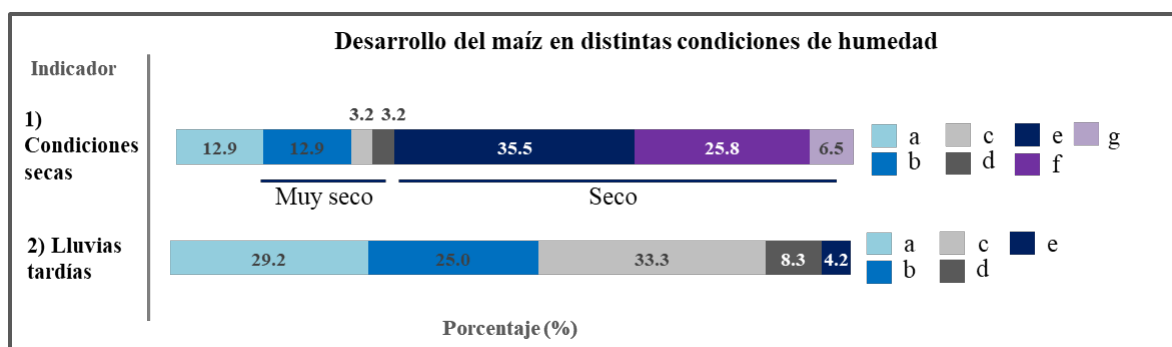


Figura 16. Frecuencias descriptivas sobre el desarrollo del maíz en distintas condiciones de humedad. 1) *Desarrollo del maíz en condiciones secas:* 1a) No contestó, 1b) No hay germinación, 1c) Germinación con desarrollo interrumpido, 1d) No hay siembra, 1e) Desarrollo incompleto, 1f) Crecimiento en manchones/entrada de las acequias, 1g)

Desarrollo completo, pero con mazorcas pequeñas; 2) Desarrollo del maíz con lluvias tardías: 2a) No contestó, 2b) Pérdidas por heladas, 2c) Siembra de cultivos alternativos, 2d) No se siembra, 2e) Desarrollo incompleto.

El crecimiento en manchones y en la entrada de las acequias, además de la producción de *molonquitos*, descrito como mazorcas de tamaño muy pequeño y baja cantidad de granos. Respecto a la producción en lluvias tardías, el 33.3% de las respuestas mencionan el establecimiento de cultivos alternos con mayor resistencia a las bajas temperaturas del sitio, algunos de estos cultivos son: cebada, avena, alfalfa y pastos para ser utilizados como forraje.

Durante el ciclo productivo, se desarrollan diferentes actividades dentro de la parcela, principalmente la labranza, la siembra, el cultivo del suelo, el deshierbe y la cosecha. El principal participante en estas actividades es el padre o el jefe de familia con el 37.5% de la participación en cada una de estas actividades, seguido por otros actores fuera de la familia nuclear como trabajadores contratados durante el ciclo productivo y vecinados de la comunidad (30%). Para el caso de dos productores mencionaron el trabajo en conjunto entre familiares lejanos para el levantamiento de sus respectivas cosechas, como un método de intercambio de trabajo (figura 17).

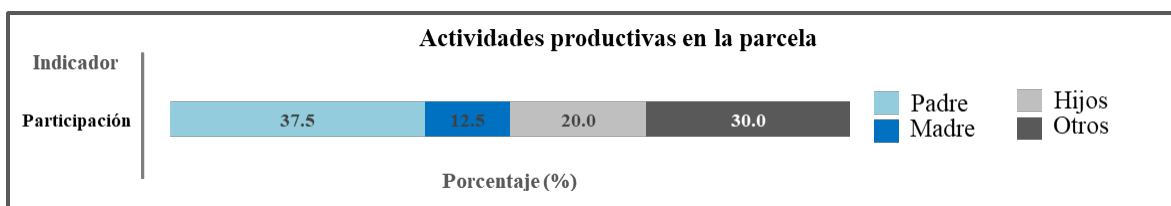


Figura 17. Participación de los distintos actores en las labores productivas dentro de la parcela

Labranza

Los trabajos para la preparación del suelo se realizan a partir de tractores e implementos agrícolas mecanizados, siendo referido este método por el 100% de los productores, ya sea por medio de maquinaria propia o a través de la renta o la contratación de maquinistas dentro de la misma comunidad, el 11.1% de los productores mencionó que aún utiliza la yunta cuando las condiciones económicas no permiten la contratación del tractorista. Los productores mencionan que la preferencia por este método es debido a la

rapidez con respecto a métodos como la yunta, lo que facilita el aprovechamiento de la humedad del suelo. Las labores de preparación del suelo Son realizadas antes de las lluvias por todos los productores a excepción de uno, el 38.9% de ellos mencionaron específicamente el primer trimestre del año como el periodo ideal.

Germoplasma

De acuerdo con lo mencionado por los productores, actualmente, el germoplasma proveniente de la autoproducción ha sido sustituido por las semillas locales que encuentran en comunidades y municipios vecinos, principalmente proveniente de productores con una mayor producción, esta fuente de aprovisionamiento representa el 47.6% de las fuentes de semilla disponibles (figura 18).

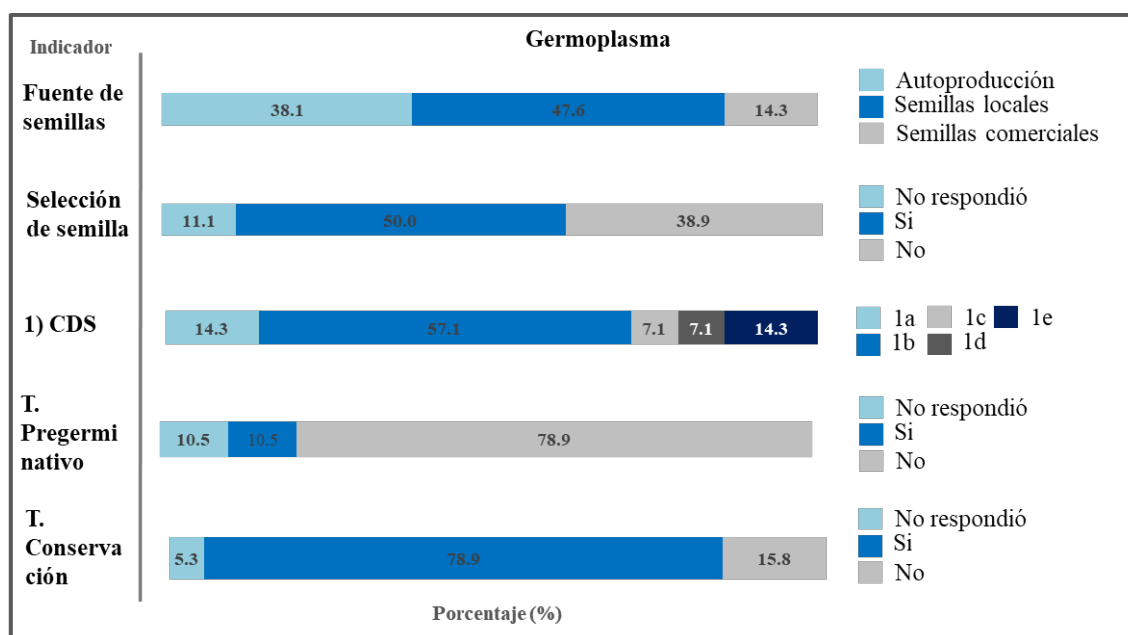


Figura 18. Fuentes principales de germoplasma y sus distintos tratamientos. *1) CDS (Características deseadas en la selección de semillas): 1a) Otras características, 1b) tamaño de la mazorca, 1c) número de hileras de granos, 1d) aspecto saludable, libre de enfermedades y plagas, 1e) número de granos llenos.*

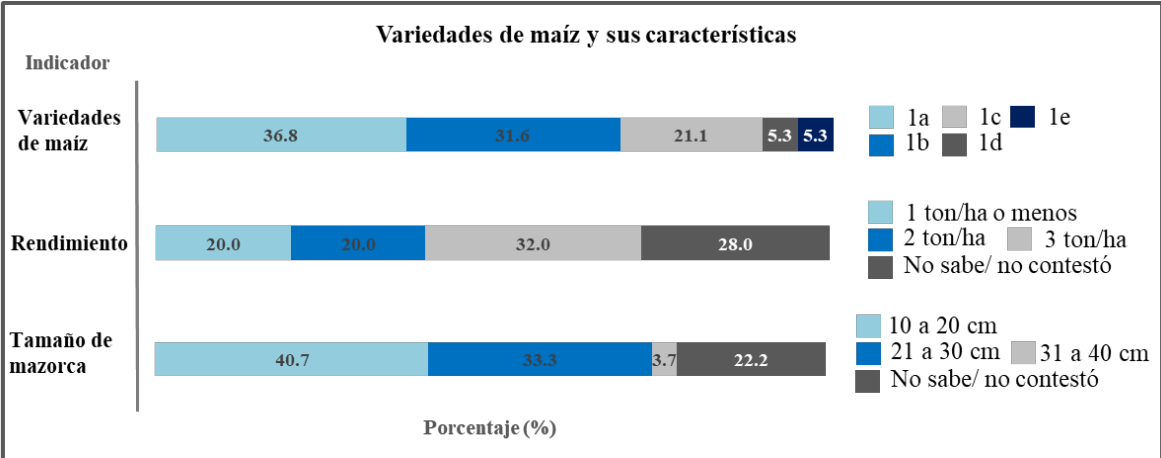
Respecto a los diferentes tratamientos realizados en el germoplasma, el 50% de los productores mencionaron que realizan algún proceso de selección de semilla, el principal

factor que toman en cuenta es el tamaño y ancho de las mazorcas con el 57.1%, aunque también se toman en cuenta algunos otros factores mencionados en la figura anterior.

El 78.9% de los productores mencionaron no realizar ningún tipo de tratamiento pregerminativo anterior a la siembra en parcela, mientras que el 10.5% realiza la hidratación de las semillas un día antes de la siembra para disminuir el tiempo de germinación, estos productores mencionaron realizarlo solo cuando la temporada de siembra es más corta por la falta de lluvias o cuando la humedad del suelo no es la apropiada. Finalmente, para el resguardo del germoplasma, el 78.9% de los productores usan pastillas comerciales para evitar que las semillas se piquen mientras llega la temporada de siembra.

La variedad de maíz más usado entre los productores fue el maíz criollo blanco tremes, con el 36.8% de las menciones, debido a su ciclo de crecimiento breve que se adaptado a las estaciones secas del sitio, seguido por el maíz criollo blanco de crecimiento prolongado entre cuatro y seis meses (31.6%). También se mencionan otras variedades menos frecuentes en la figura 19. El rendimiento en las variedades mencionadas fue variado, sin embargo, el 32% de los productores mencionaron la obtención de 3 toneladas por hectárea con condiciones de humedad adecuadas, en contraste un 28% de los productores mencionaron no saber el rendimiento de las semillas que utilizan.

El tamaño más común de la mazorca fue de 10 a 20 cm de largo con el 40.7% de las menciones de los productores, además mencionaron la poca presencia de plagas y enfermedades en las plantas, principalmente atribuido a un efecto protector de las temperaturas bajas en las estaciones frías, especies como el gusano cogollero, la cochinilla, otros gusanos defoliadores y los hongos del maíz, son poco frecuentes durante el ciclo productivo, restringidos a épocas de mayor temperatura. Respecto a la resistencia a la sequía,



los productores mencionan que el maíz criollo tremes, puede resistir hasta un mes y medio sin lluvia, mientras que el maíz con periodos de crecimiento más largos puede resistir hasta tres meses sin lluvia, en un estado de crecimiento pausado hasta la llegada de un evento de precipitación.

Figura 19. Variedades de maíz y sus características. *1) Variedades de maíz: 1a) criollo blanco tremes, 1b) criollo blanco de crecimiento prolongado, 1c) criollo pinto, 1d) grano de oro/ olotón, 1e) maíz de los indios (originario del estado de Puebla.*

Otro de los cultivos de importancia para los sembradores fue el frijol, la variedad conocida como pinto americano fue la más importante con el 39% de las menciones, seguida por el rebocero o borrado, también se mencionaron variedades como frijol bayo o bayo gordo (9.8%), pinto saltillo o saltillero (12.2% y flor de mayo (4.9%). Todas las variedades de frijol tuvieron un ciclo de crecimiento de tres meses. Respecto a la calabaza, la variedad encontrada fue la criolla, con un ciclo de crecimiento de tres meses. Ambos cultivos son menos resistentes a la sequía con respecto al maíz, así que se siembran en menor cantidad, por esta razón la mayoría de los productores mencionaron que no conocían el rendimiento de estos cultivos, aunque algunos mencionaron aproximaciones entre media y una tonelada. Las plagas más comunes en estos cultivos son la cochinilla, pulgón, chapulín, palomilla blanca, lombriz de la raíz, borreguilla, en la calabaza un productor mencionó la herbivoría por jabalí y en caso del frijol rebocero, dos productores mencionaron que esta variedad tiene resistencia a la herbivoría de la liebre.

Siembra

La mayoría de los productores realizan la siembra con tractor y se menciona que el promedio de la profundidad de siembra para el maíz va desde los 10 hasta los 20 centímetros, mientras que para el frijol se realiza de manera más superficial por el tipo de crecimiento de cada especie. Se mencionó también que la humedad en el suelo debe estar entre los 20 a los 40 centímetros para que la semilla pueda tener una tasa de germinación buena. Las distancias de siembra se determinan en función del tamaño de la semilla y la apertura de disco que se esté usando en la sembradora. Se menciona que a menor distancia entre plantas el maíz va a generar mayor forraje y menos mazorcas lo que puede afectar al rendimiento.

Establecimiento y prácticas culturales

Se realizan dos ciclos de producción durante el año, el ciclo de primavera verano, donde se siembra maíz, calabaza y frijol y un ciclo de invierno donde se siembra cebada y avena, ya que son cultivos con una mayor resistencia a bajas temperaturas. Se menciona que en años recientes el ciclo de primavera verano no se ha podido llevar a cabo por la falta de lluvias y los productores tienen que esperar al ciclo de invierno para poder obtener un poco de forraje para el ganado, sin embargo, tampoco es seguro que se presenten las condiciones de humedad necesarias para llevar a cabo el ciclo de invierno cada año.

El establecimiento de los cultivos se realiza de manera separada, el maíz y el frijol se siembran en tablas agrícolas separadas sin rotación de cultivo entre las mismas, la calabaza es el único cultivo que se siembra de manera intercalada entre el cultivo de maíz o en los bordes de las tablas. La rotación de cultivo se observa en el segundo ciclo del año con la siembra de avena y la cebada.

Respecto al deshierbe, se realiza hasta frecuentemente en dos momentos del desarrollo, el primero a los 15 días después de la germinación y tiempo después cuando el maíz aún no está muy grande para que pueda entrar el tractor sin dañar a la planta. Un productor mencionó el uso de herbicidas, pero con la finalidad de detener su desarrollo y mantener las arvenses en un determinado tamaño (figura 20).

El 78.9% de los productores mencionaron no cubrir en suelo durante el ciclo productivo, lo mismo sucede con el manejo del rastrojo sobrante dentro de la parcela, el 63.2% de los productores no incorporan el rastrojo al suelo, simplemente lo reúnen como alimento para el alimento de su ganado o para venta a otros productores.

Respecto a la aplicación de abono, solo un 26.3% de los productores mencionaron que aplican abono a sus parcelas, principalmente estiércol de chiva o caballo, el cual se queda en la parcela cuando el ganado entra a pastorear, también mencionan el reciente apoyo gubernamental de un fertilizante granulado, sin embargo, no conocen la formulación de este. Solo uno de los productores mencionó la incorporación a través de la labranza del suelo de las arvenses que crecieron y dejaron crecer durante el ciclo de cultivo, Los productores que no realizan aplicación de abono mencionan que es por la falta de ganado al tener que venderlo para obtener recurso económico, pero reconocen a la tierra arrastrada por las escorrentías desde las partes altas y a la materia orgánica que aporta la vegetación nativa como una clase de abono que tiene propiedades en el suelo de la parcela.

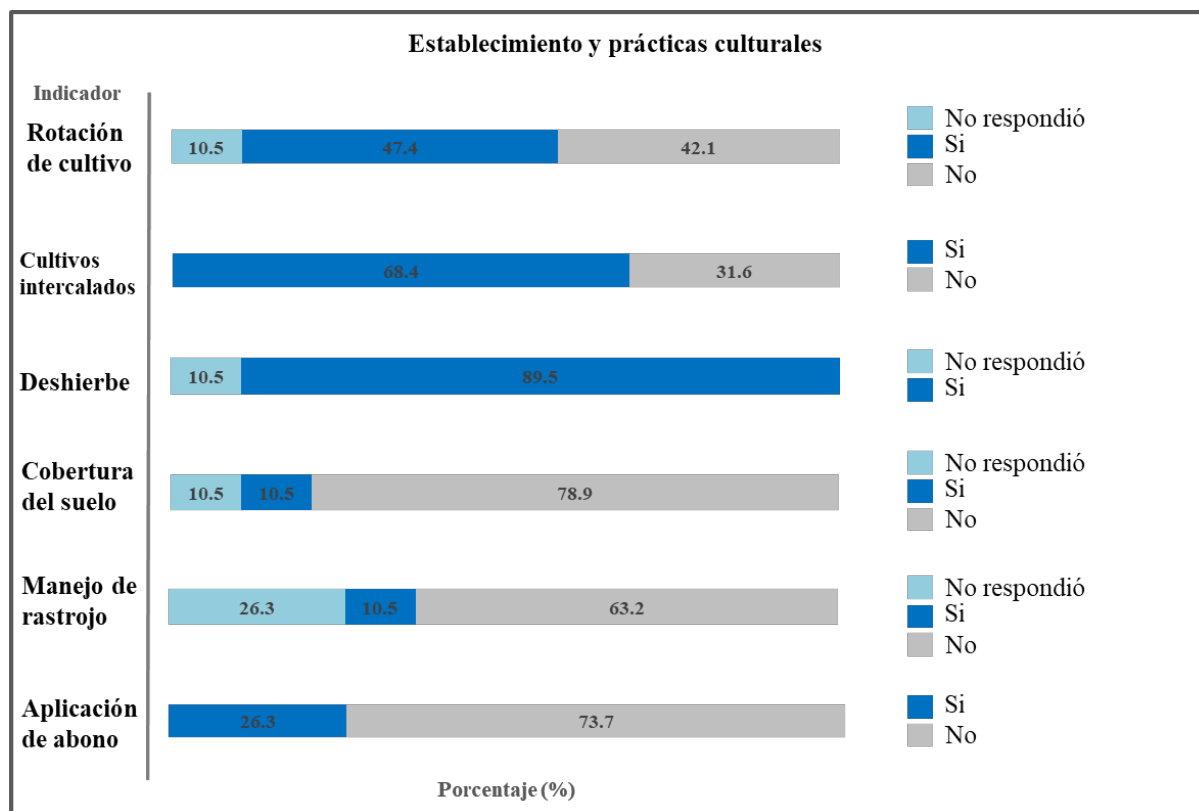


Figura 20. Establecimiento de cultivo y prácticas culturales

Como una estrategia para obtener recursos, EL 89.5% de los productores realizan recolección de plantas silvestres para consumo familiar y como forraje para ganado, la mayoría de estos recursos solo están presentes en la época húmeda del año, a continuación, se presentan los recursos vegetales mencionados por los productores, el 47.4% de ellos mencionan que estos recursos se encuentran con menos frecuencia que antes debido a la frecuente sequía que se presenta en el sitio de estudio (tabla 13).

Tabla 14. Recursos vegetales de recolección

Nombre	Usos	Temporada de recolección	Parte utilizada
Nopal (<i>Opuntia spp.</i>)	Alimentación Forraje	Todo el año (pencas) Abril, mayo y junio (tunas)	Pencas Fruto (tuna)
Quelites*	Alimentación	Estación húmeda	Hojas

Biznaga (<i>Ferocactus pilosus</i>)	Alimentación	Marzo, abril	Flor (cabuche)
Magüey (<i>Agave spp.</i>)	Alimentación	Marzo en adelante Invierno (miel)	Flor (quiate de magüey) Miel de magüey
Estafiate (<i>Artemisia ludoviciana</i>)	Medicinal	Abril, mayo y junio	Tallo y hojas
Palma (<i>Yucca spp.</i>)	Alimentación Forraje	Mayo	Flor (Flor de palma) Hojas
Epazote*	Medicinal	Abril, mayo y junio	Hojas
Mezquite (<i>Prosopis spp.</i>)	Alimentación Combustible	Todo el año	Fruto (vainas) Tallo y ramas
Orégano*	Alimentación Medicinal	Estación húmeda	Hojas
Laurel*	Alimentación Medicinal	Todo el año	Hojas
Hierba anís*	Alimentación Medicinal	Todo el año	Hojas
Manrubio*	Medicinal	Abril, mayo, junio	Hojas

**Plantas no identificadas con variantes de nombre común de acuerdo con la zona en donde se utilizan.*

La cosecha resultante de las parcelas se destina principalmente a la alimentación familiar con el 48.6%, se puede observar en la figura 21, sin embargo, el 89.5% de los productores mencionan que en los últimos cinco años la producción fue insuficiente para sus necesidades y han tenido que comprar maíz en la misma comunidad con productores vecinos o en las tiendas locales y la CONASUPO, también consiguen los faltantes en municipios cercanos y otras comunidades cercanas.

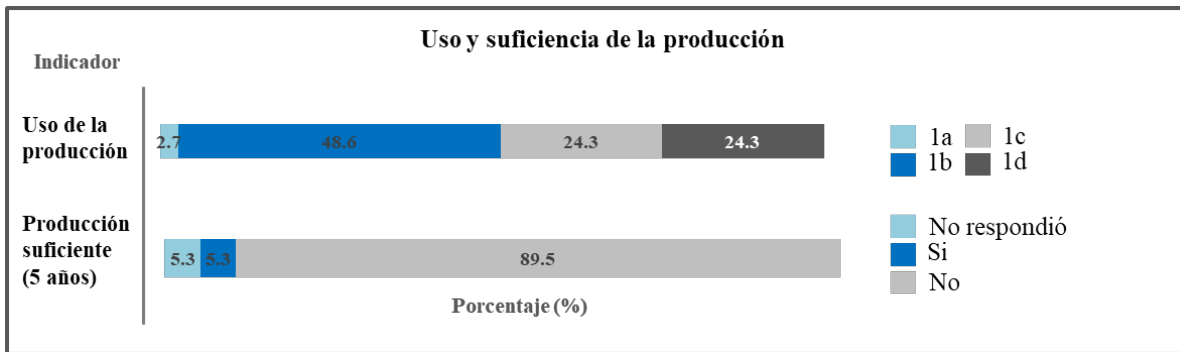


Figura 21. Uso y suficiencia de la producción. *1) Uso de la producción: 1a) No contestó, 1b) alimentación familiar, 1c) forraje, 1d) comercialización*

Manejo de suelo y agua

Respecto a la modificación de la pendiente, el 89.5% de las parcelas e incluso las huertas familiares tienen tablas agrícolas o “*melgas*”, delimitadas por bordos de tierra o roca que distribuyen el agua que proviene de las acequias, estas obras tienen el objetivo de distribuir la humedad de manera homogénea dentro del área total de la parcela o la huerta. El 73.7% de los productores combinan los bordos con el establecimiento de especies perenes como el maguey, que tiene doble función al mantener estables los bordos a través del tiempo además son una fuente de forraje para el ganado de los productores y sirven como barreras físicas para evitar que el ganado de otros productores entre con facilidad a sus parcelas y dañen sus cultivos, también se utilizan las especies nativas como la gobernadora y el mezquite, para darle estabilidad a los bordos y sirven como forraje para el ganado. Respecto a los linderos, ninguno de los productores estableció alguna especie que funcione contra los efectos erosivos del viento.

El 84.2 % de los productores reconocen a las escorrentías como una fuente de agua importante para las parcelas, sin embargo, este mismo porcentaje observa una disminución en la frecuencia de estas escorrentías en los últimos cinco años, un productor menciona que anteriormente el descenso de las escorrentías ocurría hasta diez veces por año, mientras que en los últimos dos años se había presentado una sola vez por año. Todos los productores mencionaron contar con obras de derivación compuestas por acequias y bordos para mejorar la distribución de humedad, sin embargo, solo un productor mencionó tener alguna obra de captación para almacenar el agua y asegurar el suministro por un periodo más prolongado, esta información se puede observar en la figura 22.

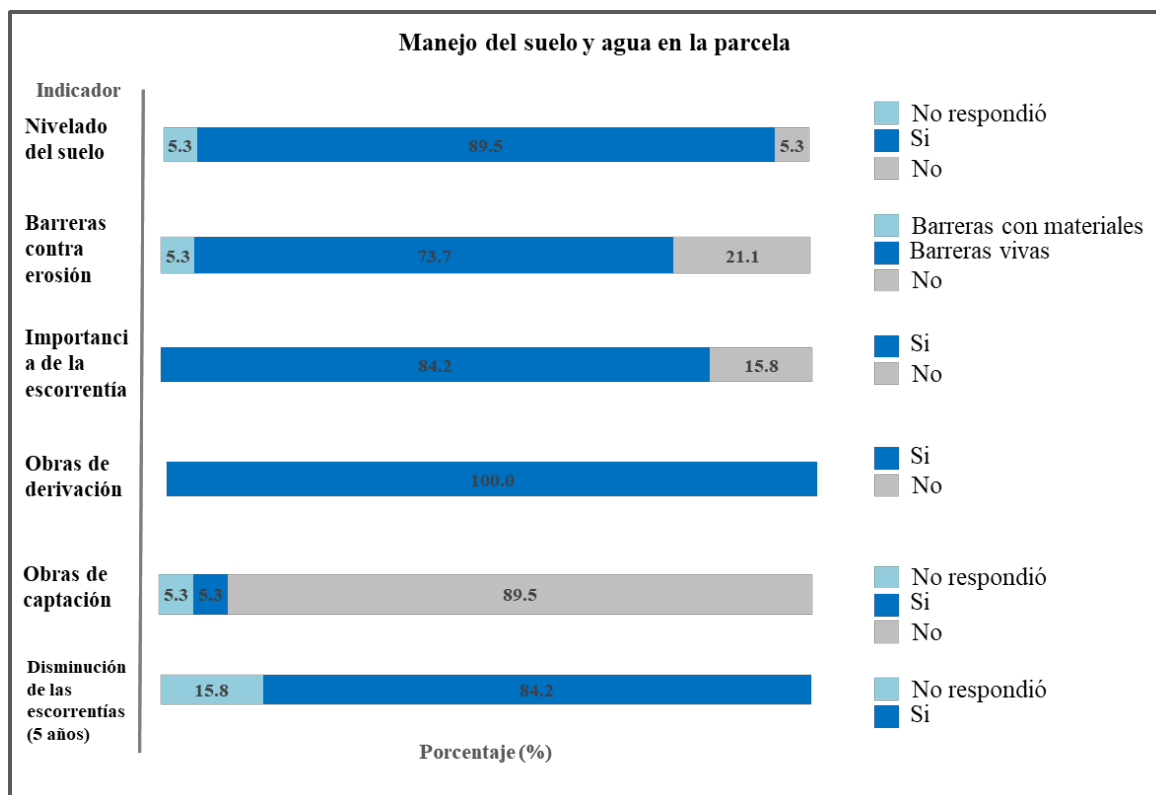


Figura 22. Manejo del suelo y agua en la parcela

Percepción de la frecuencia y cantidad de lluvia

Respecto a los patrones de precipitación en la región, el 63.2% de los productores mencionan un retraso en la temporada de lluvia, anteriormente la lluvia se presentaba en los meses de abril, mayo y junio, mientras que actualmente la lluvia está presentándose hasta los meses de septiembre y octubre, además las lluvias que se presentan tienen una menor duración (68.4%) y con una intensidad menor a la que se presentaba anteriormente (63%). Incluso algunos productores hablan sobre ligeras diferencias entre las parcelas más cercanas a la sierra con la entrada de un poco más de humedad a las que se encuentran en la planicie. Todos los productores mencionaron que en los últimos cinco años las lluvias fueron insuficientes para mantener sus parcelas con producción.

La respuesta ante estos cambios es directamente no sembrar las parcelas con el 34.8% de las respuestas, sin embargo, se mencionaron una variedad de respuestas como buscar trabajos en otros sectores como la construcción, las personas jóvenes pueden salir a trabajar fuera de las comunidades, mientras que los más grandes tienen que quedarse y seguir intentando para conseguir al menos un poco de forraje para su ganado, incluso se opta por reducir el número de

cabezas de ganado mediante la venta, finalmente se abandonan las parcelas o se venden (figura 23).

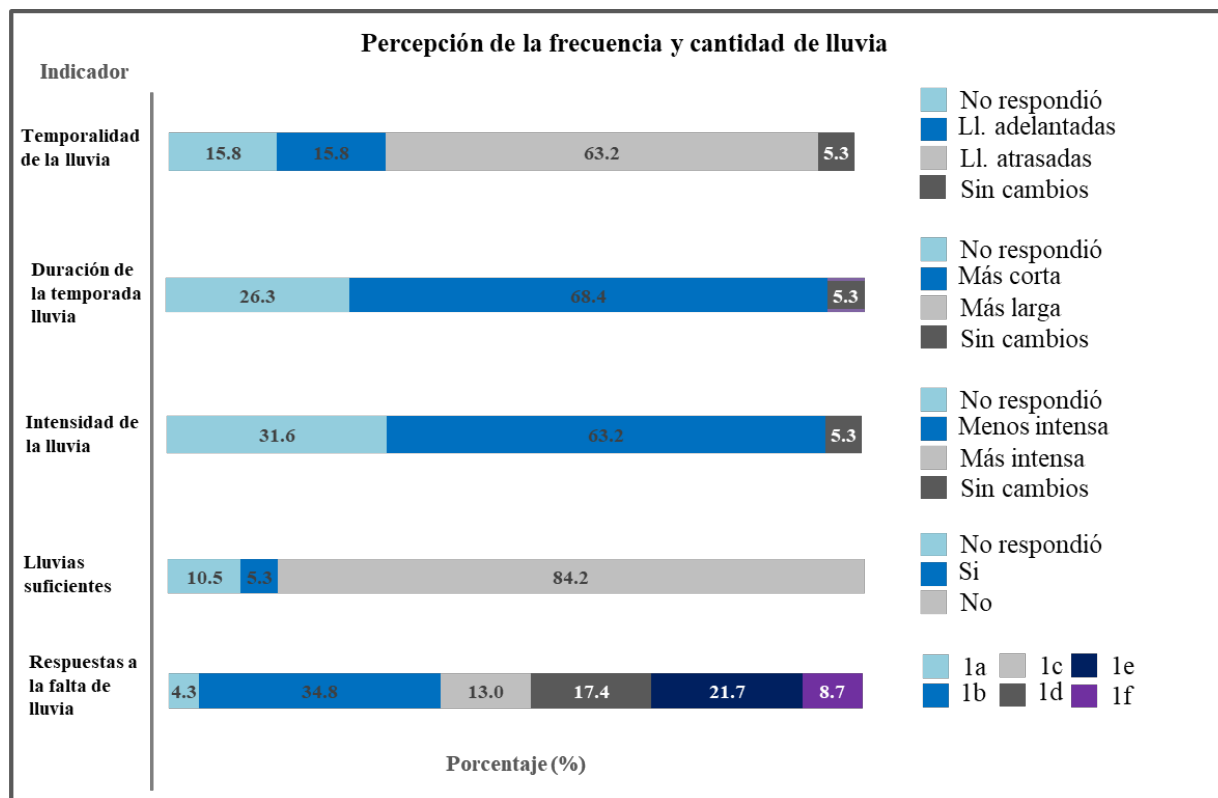


Figura 23. Precepción de la frecuencia y cantidad de lluvia en el sitio de estudio. *1) Respuestas a la falta de lluvia: 1a) No contestó, 1b) no sembrar, 1c) diversificar actividades económicas, 1d) otras respuestas: emigrar, venta del ganado por la falta de forraje, alimentar al ganado con especies silvestres, comprar forraje a un precio más elevado; 1e) sembrar de cualquier manera; 1f) diversificación de cultivos.*

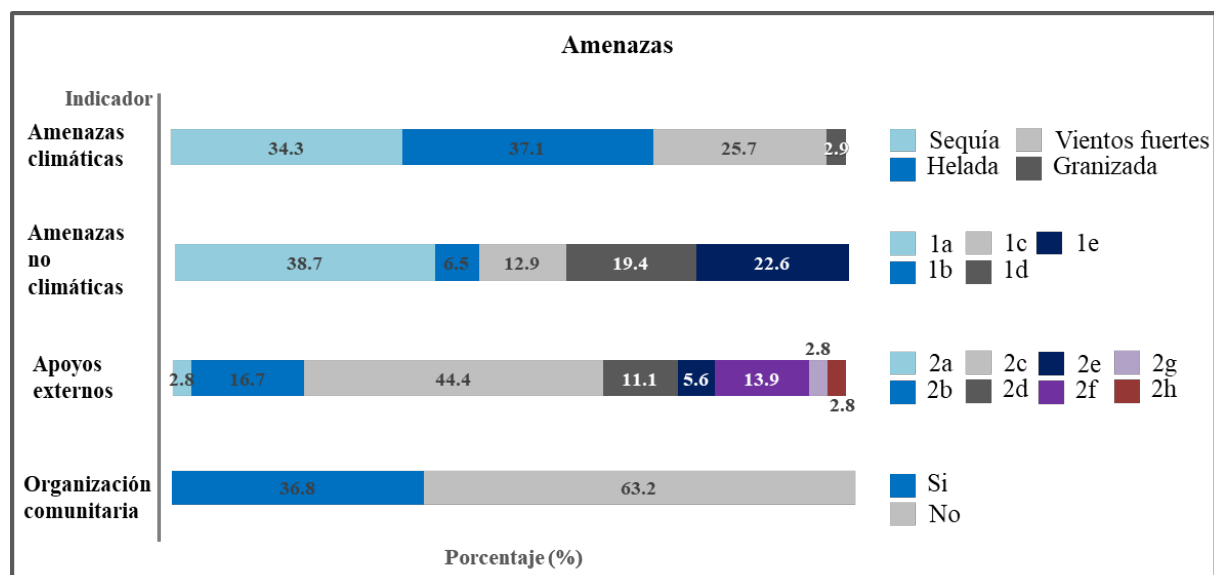
Amenazas

Respecto a los fenómenos climáticos extremos, el 37.1% de los productores identificaron las heladas entre los amenazas más frecuentes, seguidas por los eventos de sequía con un 34.3% de las respuestas, mientras que en las amenazas no relacionadas al clima, el 38.7% de los productores identificaron el bombardeo de nubes para la producción hortícola de la región como el la principal amenaza, mencionan que desde que se comenzaron a producir, frecuentemente sobrevuelan avionetas por la zona y se han visto cambios en los patrones de lluvia, además de las amenazas presentadas en la figura 24, también se mencionaron amenazas como la contaminación de las fuentes de agua, fallas mecánicas de la maquinaria agrícola, las plagas y

enfermedades, el abandono de las tierras de cultivo, servicios de provisión de agua costosos, la falta de seguros agrícolas y el uso de agroquímicos en el suelo.

Respecto al acceso a apoyos externos, el 44.4% de los productores mencionaron a PROCAMPO como el programa más importante en la región, además de un apoyo reciente de fertilizantes (16.7%) que no se han podido aplicar debido a la falta de cultivos en las parcelas a causa de la poca humedad. El 94.7% de los productores mencionan que los apoyos actuales no son suficientes para satisfacer las necesidades de los productores y sus familias o los costos totales que se requiere para la producción, los productores prefieren apoyos relacionados al acceso de maíz para el consumo familiar o simplemente que hubiera atención de las administraciones municipales y estatales respecto al problema con las hortícolas y la disminución de las lluvias.

Finalmente, El 63.2% de los productores coincidieron en que existe una organización comunitaria deficiente, pues la existencia de un comisariado comunal y un comisariado ejidal genera división entre las comunidades, mencionan también que existen grupos con intereses que intentan decidir sobre el resto de la población y que históricamente han existido conflictos entre los habitantes de ambas comunidades, finalmente mencionan que existe individualismo y las personas prefieren arreglar sus problemas de manera individual.



1) **Figura 24.** Amenazas para la producción agrícola en el sitio de estudio. *Amenazas no climáticas: 1a) Bombardeo de nubes para la producción hortícola, 1b) mala*

gestión de la infraestructura hidráulica, 1c) mala distribución del recurso agua, 1d) ocurrencia de eclipses; 1e) otros.

- 2) **2) Apoyos externos:** 2a) *No respondió*, 2b) *fertilizante granulado*, 2c) *PROCAMPO*, 2d) *infraestructura hidráulica*; 2e) *despensas familiares*; 2f) *apoyo a adultos mayores*; 2g) *semillas*; 2h) *no tiene apoyos externos*.

Ritos y tradiciones

De acuerdo con la figura 25, aún existen tradiciones relacionadas a la llegada de las lluvias y buenas cosechas, se realizan misas y peregrinaciones que se dedican especialmente a estos aspectos, la tradición más mencionada es el día de San Isidro Labrador, patrón de la agricultura, la festividad se realiza el 15 de mayo y consiste en sacar a pasear la figura de San Isidro por las calles de las comunidades y los camiones del ejido con la finalidad de obtener bendiciones que mejoren su producción en las parcelas, también se mencionan las fechas de fundación del pueblo en donde se realiza una cabalgata que se dirige desde el centro de las comunidades hasta el puerto de las vacas en donde se realizan misas y se realiza una velada en el campo, concuerda con el 20 de noviembre, fecha que conmemoran los héroes que les dieron sus tierras.

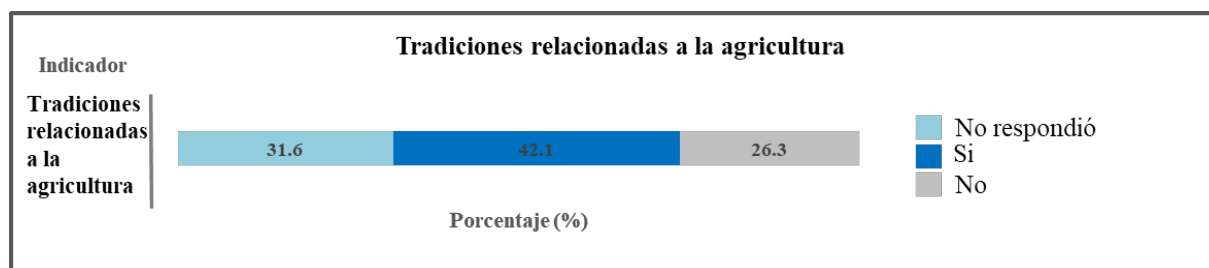


Figura 25. Tradiciones relacionadas a la agricultura en el sitio de estudio

Conocimiento tradicional

Finalmente se habló del conocimiento tradicional donde el 60% de los productores identificaron a sus padres como los principales transmisores del conocimiento, solo un productor mencionó al a experiencia propia como la principal fuente de conocimiento. El 54.5% de los Productores transmiten a su vez el conocimiento tradicional a sus hijos y en menor proporción a otros sujetos como trabajadores de sus parcelas y otros habitantes de la comunidad que buscan consejos. Los conocimientos tradicionales se perfeccionan constantemente en un 52.6% de los

productores pidiendo consejos a las personas de mayor edad y experiencia, también buscan nuevas fuentes de conocimiento que les ayuden a mejorar el manejo de sus parcelas, por ejemplo, el enfoque orgánico y la adopción de las nuevas tecnologías.

Se observaron opiniones divididas entre los productores acerca de la dinámica que sigue el conocimiento tradicional en la actualidad, el 57.9% de los productores mencionan que el conocimiento tradicional se está perdiendo porque las nuevas generaciones buscar emigrar a otros sitios en busca de nuevos empleos, también existe un desinterés por la agricultura y un desapego de los jóvenes por las parcelas.

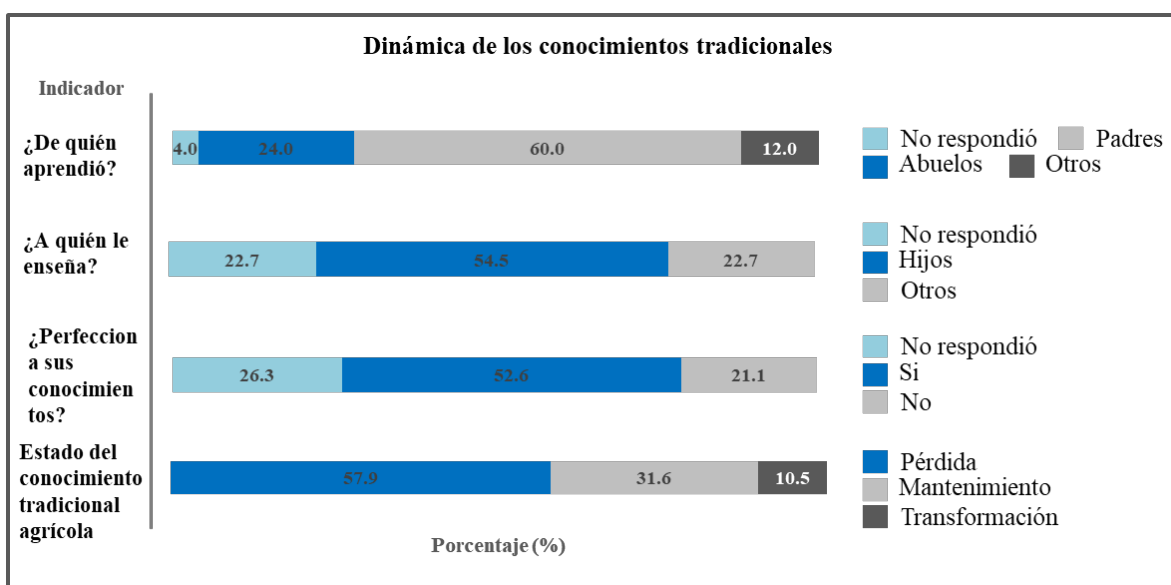


Figura 26. Dinámica de los conocimientos tradicionales agrícolas en el sitio de estudio

Clasificación de los productores de acuerdo con al manejo del conocimiento tradicional

De acuerdo con la clasificación propuesta en este estudio para clasificar a los productores participantes de acuerdo con el manejo del conocimiento tradicional en las actividades agrícolas, se observó que el 42.1% de los productores son expertos y tienen un conocimiento más avanzado en las técnicas y manejo de los sistemas productivos locales, así como en las características del medio natural en el que viven y se desarrollan. El 47.4% de los participantes se clasificaron como productores convencionales, con el conocimiento suficiente en las técnicas y manejo tradicional de las unidades de producción, sin embargo, no son capaces de identificar técnicas más avanzadas que les permitan mejorar la producción de sus parcelas, ni tampoco son capaces de identificar cambios y patrones naturales en las

condiciones ambientales del lugar en donde viven. Finalmente, el 10.5% de los productores se clasifican como productores nuevos o principiantes con un conocimiento limitado en las técnicas y el manejo productivo en sus parcelas, así como en las condiciones ambientales del lugar que habitan.

En la figura 26 se describen los factores que se utilizaron para la clasificación de los productores.

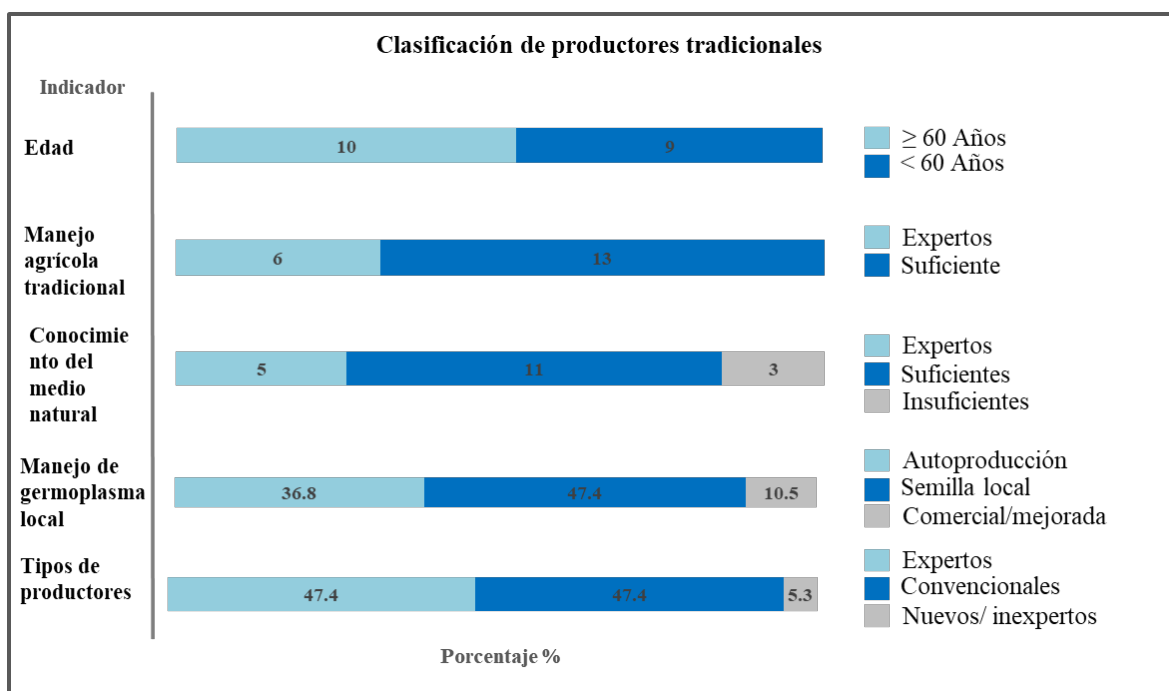


Figura 27. Clasificación de los productores de acuerdo con al manejo del conocimiento tradicional

Discusión

El 100% de los productores identificaron al agua de lluvia y las escorrentías como la principal fuente de abastecimiento para las actividades agrícolas, mientras que el 88.9% mencionan no tener acceso a alguna otra fuente de abastecimiento, se puede caracterizar a los sistemas en el sitio de estudio como agricultura de secano. Los conocimientos tradicionales en los sistemas de secano se enfocan principalmente en la conservación, uso y optimización de la humedad del suelo y la materia orgánica, con la finalidad de aumentar la resiliencia de los agroecosistemas, contribuir a la seguridad alimentaria de las comunidades y minimizar el riesgo derivado de distintos factores, como los efectos del cambio climático (Boerma y Koohfkan, 2004).

Se observó una carencia en la utilización de indicadores utilizados tradicionalmente para pronosticar el clima, puede ser resultado del desuso y la pérdida de estos conocimientos, así como el debilitamiento de la relación entre el productor y su medio, esto concuerda con lo descrito en la literatura para otros sitios agrícolas, la pérdida de este conocimiento tradicional puede influir en la planeación de la producción y la aplicación de diversas estrategias de adaptación (Gilles et al., 2014; Kom et al., 2023).

Estos indicadores locales representan una importante fuente de información a nivel local, tanto para los productores como para el resto de las instituciones que intervienen en la productividad agrícola y el desarrollo de estas comunidades (Reyes et al., 2016; Basdew et al., 2017).

Los indicadores ambientales, principalmente aquellos relacionados al clima, como el desfase de las precipitaciones anuales o la duración de la temporada húmeda, la variación de los vientos predominantes y la temperatura; así como los indicadores relacionados al desarrollo de sus cultivos, son bien conocidos por la mayoría de los productores entrevistados, sobre todo aquellos de más experiencia que han presenciado los cambios en su comunidad a través del tiempo. El dominio de estos indicadores ambientales se observa en más sitios con presencia de agricultura de secano a nivel mundial (Zagre et al., 2024).

Estas observaciones complementan la información obtenida de manera oficial con las estaciones meteorológicas y otros métodos a nivel local, ya que tienen poca cobertura en el territorio, además de faltantes de datos en distintos periodos de tiempo. Estos indicadores funcionan como una herramienta para observar los impactos del cambio climático en las

comunidades y además son una forma en que los productores pueden ser conscientes de las variaciones y consecuencias del cambio climático en la comunidad y sus parcelas (Reyes et al., 2016).

La labranza del suelo efectuada en las unidades productivas fue en su mayoría a través de trabajo mecanizado, este tipo de labranza convencional tiene efectos directos en la capacidad de retención de humedad, mediante la modificación de la capacidad de infiltración y porosidad del suelo. Esto concuerda con estudios previos, en donde se observó que los sistemas de labranza mínima o no labranza, promueven una retención de humedad en el suelo mayor que los sistemas convencionales, además se favorecen las poblaciones de hongos y bacterias y el porcentaje de materia orgánica (Domínguez et al., 2005; Demuner et al., 2014; Gómez et al., 2018; García et al., 2018).

Respecto a la producción de maíz, los productores mencionaron que hubo una dramática disminución en años recientes a causa de las condiciones de sequía presentes en la región, esto concuerda con los resultados pronosticados en distintos modelos para la producción de maíz en México, en donde se menciona que con un aumento de la temperatura de 2 °C, puede haber una reducción de la precipitación del 20%, asociada a una reducción de las áreas con condiciones aptas para la producción de maíz de hasta un 18%, especialmente en las áreas de secano en el noreste del país, con caídas de producción que pueden llegar hasta 0.25 t/ha. (PINCC, 2023).

De acuerdo con una clasificación agroclimática del maíz en México, la microcuena de San Antonio de Coronados pertenece al grupo B de la Altiplanicie septentrional, con un clima semiárido con precipitaciones veraniegas que históricamente alcanzan los 350 mm de lluvia al año, esta región tiene la precipitación mínima aceptable para la producción de maíz de temporal, por esta razón el sitio de estudio, solo se tiene el 8% de las razas de maíz consideradas a nivel nacional, además estas razas no son muy favorecidas por las altas temperaturas, las heladas, granizadas, lluvias intensas, incendios y sequías que se presentan de manera frecuente en su área de distribución, como lo mencionan el 29.2% de los productores al relacionar a las heladas con las lluvias tardías que se han estado presentando y que amenazan su producción (Rojas y Mota, 2002).

Es importante la conservación del germoplasma local, ya que tiene una mayor adaptabilidad ante las condiciones ambientales del ejido de San Antonio de Coronados,

normalmente las variedades de maíz encontradas en regiones parecidas es el cónico norteño, seguido por las razas ratón y Celaya, con una distribución en sitios con poca precipitación (260 hasta 500 mm), Estas ventajas permiten la continuidad de la producción en las parcelas con condiciones adversas (Reveles et al., 2014; González et al., 2018).

Una de las respuestas más comunes fue la pérdida del germoplasma local a causa de la sequía durante los años recientes y la dificultad para conseguir más semilla en la región, sin embargo, algunos de los productores mencionaron conservar un poco de semilla almacenada. Esto podría ser un área de oportunidad para realizar recolectas sistemáticas con la finalidad de almacenar las variedades locales que se distribuyen en las diferentes regiones del estado de San Luis Potosí.

El proceso de selección de semilla realizado por los productores, no toma en cuenta demasiadas características, a excepción del tamaño de la mazorca y en algunas ocasiones, la cantidad de hileras de grano, por esta razón se puede concluir que no poseen procesos de selección de semilla complejos, esto contrasta con los procesos observados en otras regiones del país en donde se buscan características como el rendimiento, la resistencia a las plagas y enfermedades, el costo de la semilla, el tamaño de la mazorca y finalmente la resistencia a la sequía (Delgado et al., 2018).

Una mejora en los procesos de selección de la semilla podría traer consigo ventajas como el aumento del rendimiento y la reducción del gasto en insumos, en comparación con las variedades de maíz comercial que se pueden encontrar en los sitios comerciales de abastecimiento, así como el favorecimiento de ciertas características de acuerdo con su uso, en este caso el maíz que se produce es empleado en gran medida como forraje para ganado, así que se podría favorecer el material genético que genere una mayor cantidad de hojas (Martínez et al., 2015). Por lo general las semillas mejoradas tienen requerimientos mayores de insumos externos que pueden repercutir en la calidad del suelo a largo plazo (Delgado et al., 2018).

De acuerdo con algunos estudios realizados en variedades tradicionales de maíz, existe una tendencia en la reducción de los rendimientos en especies tradicionales, de hasta una tonelada, respecto a observaciones históricas, esto concuerda con las respuestas obtenidas en este estudio (Camacho et al., 2024).

En general se observa que el 73.7% de los productores del ejido de San Antonio de Coronados no realizan un manejo adecuado en sus parcelas al no incorporar materia orgánica al suelo, el 78.9% no realizan manejo de arvenses o alguna otra forma de cobertura del suelo, tampoco mantienen especies perenes para evitar los procesos erosivos causados por el agua y la lluvia, al menos no de manera consciente para esta función en específico.

La rotación e intercalación de cultivos en sistemas productivos de secano, acompañados del establecimiento de sistemas agroforestales (SAF), con especies perennes como el nopal (*Opuntia* spp.) y Leucaena (*Leucaena* spp.), demuestran mejores resultados que los sistemas tradicionales simplificados, con una mayor resiliencia ante los efectos de la variabilidad climática y mejores índices de sostenibilidad, obteniendo mejores rendimientos de cultivo y una disminución en los procesos erosivos (Osuna et al., 2019).

Por el contrario, en sistemas de producción más homogéneos, como es el monocultivo, aumenta la escorrentía y disminuye la tasa de recarga y humedad del suelo, lo que aumenta la magnitud del impacto en el suelo en periodos lluviosos más cortos y con lluvias de mayor intensidad (Pinilla, 2023).

La importancia de la aplicación de abono de manera continua entre los ciclos de producción reside en la incorporación de los macros y micronutrientes esenciales para el desarrollo adecuado de los cultivos. La falta de nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio o magnesio, entre otros, puede provocar desde un pobre desarrollo de los individuos, hasta el fracaso total del cultivo, sobre todo si están presentes estresores externos como la falta de humedad, estrés salinos u otras alteraciones (Sharma et al., 2021).

El manejo adecuado del suelo con la aplicación de materia orgánica, la protección del suelo con acolchados orgánicos o la reintegración al suelo del rastrojo sobrante de la cosecha y los trabajos de labranza del suelo a nivel de parcela también son factores importantes para la dinámica hidrológica del suelo.

Existe una tendencia compartida entre los productores que forman parte de este estudio y resultados encontrados en otros estudios con características similares, donde se demuestra que, en gran parte de las estrategias de adaptación a las condiciones climáticas realizadas por los productores, se dirige la atención a los cultivos y las variedades que siembran en sus unidades de producción, estableciendo variedades más resistentes, cambiando de cultivo o cambiando la época de siembra. Sin embargo, son muy pocos los

productores que dirigen sus estrategias al buen manejo del suelo para el mantenimiento de la humedad, teniendo poco éxito en el aumento del rendimiento (Zagre et al., 2024).

En sistemas de secano, existen dos momentos clave para la producción; el primero momento es después de la cosecha, al mantener cubierto el suelo con el rastrojo sobrante se disminuye la cantidad de superficie que se encuentra en contacto directo con los factores ambientales como la radiación solar y el viento, además tiene un efecto en la rugosidad de la superficie del suelo, favoreciendo los procesos de infiltración, Estudios demuestran que si se combina con una labranza profunda al finalizar la temporada de lluvias puede mejorar el almacenamiento de agua en el suelo y favorecer el rendimiento del ciclo productivo posterior (El Gayar, 2020).

El segundo momento es durante la etapa de crecimiento de los cultivos, que inicia con la siembra y termina con la cosecha, en este momento se busca tener la mayor cantidad de agua disponible para el proceso de transpiración, mientras se favorece la productividad, mediante las prácticas culturales se intenta optimizar el contenido de agua en la zona del suelo donde se encuentran las raíces, favorecer la dirección del flujo capilar hacia la zona de raíces, disminuir la escorrentía superficial y disminuir la evaporación del agua del suelo (El Gayar, 2020).

Es de esperarse que en los sistemas en donde existe un manejo tradicional adecuado, presenten resiliencia ante eventos de sequía, posicionándose como sistemas adaptados, sobre todo en zonas con aridisoles tropicales (Sharma et al., 2021).

La falta de un sistema agroecológico más complejo es evidente de acuerdo con las respuestas de los agricultores, este tipo de sistemas tienen la ventaja de conservar el suelo y el agua de manera más eficiente, con prácticas sencillas como la rotación de cultivos y el establecimiento de cultivos perennes y semi perennes en los bordos de las acequias, pueden ayudar a disminuir la velocidad de la escorrentía y aumentar la infiltración. Sistemas parecidos ser están implementando actualmente en zonas áridas y semi áridas de México (Osuna et al., 2019).

El uso de acolchado de origen orgánico y el establecimiento de especies de cobertura para la protección del suelo, es una de las actividades en el manejo que puede contribuir de manera importante a la disminución de las pérdidas de humedad por procesos evapotranspiración, al mismo tiempo que reduce la escorrentía y promueve la infiltración.

(Zribi et al., 2011; Delgadillo et al., 2022). Actualmente el cambio climático ha generado un incremento desproporcionado en el potencial de evapotranspiración, que se deriva de los cambios en el régimen de precipitación y el aumento de la temperatura atmosférica (Monterroso et al., 2021; Sardans et al., 2024).

Se han documentado las múltiples ventajas del manejo agroecológico en la producción local alrededor del mundo, sin embargo, así como se observó en este estudio, la transición de los sistemas de agricultura convencional hacia sistemas agroecológicos u otros con un menor impacto ambiental no está siendo exitosa. Tan solo en España, en sistemas de secano parecidos a los encontrados en San Antonio de Coronados, solo el 15.1% de la superficie total sembrada con pastos, el 3.5% de la superficie de cereales y el 11.2% de la superficie de leguminosas están siendo manejadas bajo sistemas más sostenibles. Entre algunas de las razones que los productores españoles mencionan para no adoptar el manejo agroecológico se encuentran los rendimientos más bajos, las condiciones climáticas, la dificultad de este tipo de manejo en grandes extensiones y la falta del apoyo técnico necesario para establecer el sistema y después encontrar un mercado específico para estos productos (Villora et al., 2022). Estas respuestas coinciden con algunas obtenidas durante las entrevistas a los productores de la comunidad, pues algunos mencionaron la falta de capacitación en temas de producción por parte del gobierno,

La migración representa el principal fenómeno mencionado por los productores que influye en la pérdida del conocimiento tradicional, pues de estos nuevos patrones de emigración se derivan procesos de aculturación, con la adopción de nuevos patrones culturales y actividades económicas, lo que, según diversos autores limita la adaptación y la mitigación de los sistemas agrícolas locales al cambio climático a distintos niveles, pues entre los distintos temas que se manejan dentro del conocimiento tradicional están presentes aquellos relacionados al clima, con la identificación de las condiciones atmosféricas y el tipo de nubes, que al no ser practicados de manera continua van perdiendo su funcionalidad ante los cambios acelerados derivados de la situación climática actual (Cruz et al., 2020). Además de la pérdida del conocimiento tradicional agrícola, también se fomenta un desapego a las tierras de trabajo en las nuevas generaciones, abandonando las parcelas familiares o incluso poniéndolas a la venta a personas externas a la comunidad, este fenómeno tiene un efecto en la estructura de la comunidad (Mercado, 2008).

Se observó una disminución en la transmisión de los conocimientos tradicionales mediante los métodos informales convencionales que utilizan los productores para compartirlos con el resto de la comunidad, por esta razón podría ser importante reforzar la transmisión de estos conocimientos a través de métodos formales y además incorporar nuevos métodos de transmisión, que favorezcan la colaboración comunitaria y los eventos participativos (Gilles et al., 2014; Salinas y Meléndez, 2024)

Estos conocimientos ancestrales representan estrategias adaptativas ante los cambios en el clima actuales en las comunidades agrícolas.

El mantenimiento de los conocimientos tradicionales genera beneficios importantes a nivel local como: el reforzamiento de la identidad cultural, la seguridad alimentaria, un manejo adecuado de los recursos naturales locales y la disminución de la pobreza; a nivel global aporta en la conservación de la biodiversidad, el mantenimiento de los servicios ecológicos y promueve la diversidad cultural y el intercambio de conocimientos (Boerma y Koohafkan, 2004).

Los conocimientos tradicionales se traducen en prácticas agrícolas únicas en cada comunidad y región, contribuyen al manejo sostenible de los recursos locales, mejoran las condiciones de vida de los productores y sus familias, ayudan a reducir la pobreza y proveen de sustento a las comunidades, estos conocimientos deben ser incluidos dentro de los programas gubernamentales y productivos, desde un enfoque colaborativo entre aquellos actores que manejan los conocimientos científicos y los productores de cada región, transmisores y guardianes del conocimiento tradicional (Malapane et al., 2024).

Conclusiones

Se lograron documentar las practicas y adaptaciones productivas relacionadas al manejo y la conservación de agua dentro de los sistemas productivos. El 88.9% de las unidades de producción corresponden a sistemas de secano, por lo que las prácticas y adaptaciones se centran en el manejo del suelo para mantener la humedad proveniente de las precipitaciones y escorrentías.

Actualmente el 44.4% de los productores aún tienen la capacidad de observar los indicadores ambientales que les permiten prever las condiciones climáticas para la siembra de sus cultivos, principalmente a través de la observación del cielo y las condiciones atmosféricas.

También conocen el desarrollo de sus cultivos ante distintas condiciones de humedad, diferenciando entre el desarrollo del maíz en condiciones secas y muy secas.

Una de las principales estrategias es la adopción de la mecanización de las actividades agrícolas con el uso del tractor por el 100% de los productores, principalmente por la rapidez al realizar las actividades.

Las prácticas en el manejo del germoplasma están poco desarrolladas, el 47.6% de los productores aun prefieren las semillas locales, aunque mencionan la reciente disminución en la disponibilidad. A pesar de que se realiza la selección de semillas, el 57.1% de los productores solo se guían por el tamaño de mazorca, sin tomar en cuenta más factores. Se puede concluir que el manejo del germoplasma es insuficiente frente a las amenazas que se presentan actualmente.

El manejo dentro de la parcela se destaca por ser un manejo simple con prácticas benéficas como la rotación y la intercalación de cultivos, sin embargo, se observa de manera general un deficiente manejo en la cobertura y estructura del suelo, el 78.9% de los productores no cubren el suelo ante las fuerzas erosivas y el 78.7% tampoco realizan aplicación de abono, con estos resultados se puede concluir que la mayoría de los productores tienen un manejo poco adecuado para mantener y mejorar la estructura y protección del suelo ante las fuerzas erosivas dentro de la parcela.

Las prácticas para el manejo del agua fueron las más apropiadas por los productores, ya que el 89.5% de ellos realizan nivelado del suelo y el 100% tiene obras de derivación con el uso de bordos y acequias, con esta información se puede concluir que tienen los

conocimientos adecuados a las condiciones de humedad del sitio en donde desarrollan sus actividades.

Otra práctica documentada es la recolección de recursos útiles, el 89.5% de los productores mencionaron sustituir los faltante de la producción por recursos de recolección con fines diversos. Esta es una estrategia positiva frente a la baja productividad de las parcelas.

Con estos resultados, se puede concluir que las prácticas y estrategias que los productores emplean para hacer frente a las condiciones cambiantes de humedad no son las más adecuadas, pues el 89.5% de ellos, mencionó no tener la producción suficiente para abastecer sus necesidades durante estos últimos cinco años.

Se logró conocer la situación de la comunidad respecto a la disponibilidad, calidad y utilización del recurso agua destinado a los sistemas productivos locales. El 63.2% de los productores menciona un atraso en la temporada de lluvias, comenzando incluso en el mes de septiembre, lo que acorta la ventana de producción por las bajas temperaturas de los últimos meses del año, también mencionan una disminución en la cantidad e intensidad de las lluvias. El 84.2% de los productores mencionaron que las lluvias no son suficientes para mantener la producción.

Respecto a las amenazas climáticas, la sequía y las heladas fueron las más importantes, mientras que las en las amenazas no climáticas, el establecimiento de la producción hortícola intensiva es la principal amenaza descrita. Tomando en cuenta esta información se concluye que la disponibilidad de agua esta siendo afectada por distintas amenazas, lo que dificulta el desarrollo de las actividades agrícolas de manera adecuada.

Se concluye que los conocimientos tradicionales están sufriendo una pérdida con el 87.9% de las menciones, gracias a fenómenos socioculturales ligados a la baja producción agrícola, y la búsqueda de nuevas fuentes de trabajo y bienestar.

Finalmente se pudieron clasificar a los productores tradicionales de acuerdo con el manejo del conocimiento tradicional en las actividades agrícolas, concluyendo que el 42.1% de los productores son productores expertos que conocen prácticas adecuadas para mejorar la producción y conocen plenamente el medio natural en el que viven y se desarrollan.

Referencias

- Aguilera Fernández, E. (2010). Hacia la autosuficiencia energética en el cereal de secano: un estudio de caso en Orce (Granada) (Master's thesis).
- Ahmed, M., Hayat, R., Ahmad, M., Ul-Hassan, M., Kheir, A. M., Ul-Hassan, F., ... & Ahmad, S. (2022). Impact of climate change on dryland agricultural systems: a review of current status, potentials, and further work need. *International Journal of Plant Production*, 16(3), 341-363.
- Altieri, M. (1997). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*.
- Basdew, M., Jiri, O., & Mafongoya, P. L. (2017). Integration of indigenous and scientific knowledge in climate adaptation in KwaZulu-Natal, South Africa. *Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems*, 3(1), 56-67.
- Boerma, D., & Koohafkan, P. (2004). Local knowledge systems and the management of dryland agro-ecosystems: some principles for an approach. GIAHS background document. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Camacho-Villa, T. C., Aparicio-Sánchez, S., Costich, D. E., & Vidal-Martínez, V. A. (2024). Dinámicas de mantenimiento y de pérdida in situ del maíz raza Jala. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 15(1).
- CONABIO-GIZ. 2017. Conocimiento tradicional asociado a los recursos biológicos. Cuaderno de divulgación 1. Proyecto Gobernanza de la Biodiversidad: Participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven del uso y manejo de la diversidad biológica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)-Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México (GIZ). Ciudad de México. México.
- Cruz Hernández, Sergio, Torres Carral, Guillermo Arturo, Cruz León, Artemio, Salcedo Baca, Irma, & Victorino Ramírez, Liberio. (2020). Saberes tradicionales locales y el cambio climático global. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1917-1928. Epub 13 de diciembre de 2021. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2748>
- Delgadillo Ruiz, E., Vázquez Rodríguez, G., Tirado Torres, D., Robles Buenrostro M. F., Pérez Gallegos, . D. O., Hernández Moreno, J. D., & Arias Hernández, L. A. (2022). Efecto de la implementación de acolchados en los componentes del balance hídrico superficial. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 16, 1–9.

- Delgado-Ruiz, F., Guevara-Hernández, F., & Acosta-Roca, R. (2018). Criterios campesinos para la selección de maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores y Villa Corzo, Chiapas, México. *CienciaUAT*, 13(1), 123-134.
- Demuner-Molina, G., Cadena-Zapata, M., Campos-Magaña, S. G., Zermeño-González, A., & Sánchez-Pérez, F. D. J. (2014). Efecto de labranza y mejoradores de suelo en humedad y desarrollo radicular. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 123-130.
- Domínguez López, R. F. (2005). Evaluación de sistemas de labranza para la conservación de humedad y energía en zonas semiáridas. Buenavista, Saltillo, Coahuila Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- El Gayar, A. (2020). Soil and Crop management relation with water use efficiency in Dryland agriculture. *International Journal of Agricultural Invention (IJAI)*. 5(1): 75-89.
- Fanteso, B., & Yessoufou, K. (2022). Diversity and determinants of traditional water conservation technologies in the Eastern Cape Province, South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(3), 161.
- García, D. Y., Cárdenas, J. F., & Parra, A. S. (2018). Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físicoquímicas y microbiológicas en un Inceptisol. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 16-25.
- Gilles, Jere L., Yucra, Edwin, García, Magali, Quispe, Rogelio, Yana, Gladys, & Fernandez, Héctor. (2014). Factores de pérdida de conocimientos de uso de los indicadores climáticos locales en comunidades del Altiplano Norte y Central. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 1(1), 7-15. Recuperado en 28 de enero de 2025, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182014000100003&lng=es&tlng=es.
- Gómez-Calderón, N., Villagra-Mendoza, K., & Solorzano-Quintana, M. (2018). La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 167-177.
- González-Martínez, J., Rocandio-Rodríguez, M., Chacón-Hernández, J. C., Vanoye-Eligio, V., & Moreno-Ramírez, Y. D. R. (2018). Distribución y diversidad de maíces nativos (*Zea mays* L.) en el altiplano de Tamaulipas, México. *Agroproductividad*, 11(1), 124-130.

- Kanchebe, E. (2013), "Reducing vulnerability of rain-fed agriculture to drought through indigenous knowledge systems in north-eastern Ghana", *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, Vol. 5 Iss 1 pp. 71 – 94.
- Kom, Z., Nethengwe, N. S., Mpandeli, S., & Chikoore, H. (2023). Indigenous knowledge indicators employed by farmers for adaptation to climate change in rural South Africa. *Journal of Environmental Planning and Management*, 66(13), 2778-2793.
- Malapane, O. L., Musakwa, W., & Chanza, N. (2024). Indigenous agricultural practices employed by the Vhavenda community in the Musina local municipality to promote sustainable environmental management. *Heliyon*, 10(13).
- Martínez-López, Anabel, Cruz-León, Artemio, Sangerman-Jarquín, Dora Ma., Cárdenas, Salvador Díaz, Cervantes Herrera, Joel, & Ramírez-Valverde, Benito. (2019). El estudio de los saberes agrícolas como alternativa para el desarrollo de las comunidades cafetaleras. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(7), 1615-1626. Epub 04 de diciembre de 2020. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.2113>.
- Mercado-Mondragón, J. (2008). Las consecuencias culturales de la migración y cambio identitario en una comunidad tzotzil, Zinacantán, Chiapas, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 5(1), 19-38.
- Monterroso-Rivas, Alejandro Ismael, & Gómez-Díaz, Jesús David. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Terra Latinoamericana*, 39, e774. Epub 05 de abril de 2021. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>.
- Osuna-Ceja, E. S., Figueroa-Sandoval, B., Martínez-Gamiño, M. Á., & Pimentel-López, J. (2019). Un sistema agroforestal de secano para el altiplano semiárido de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(SPE22), 89-103.
- Palacio, V. E. A. (2011). Revalorización de los saberes tradicionales campesinos relacionados con el manejo de tierras agrícolas. *Iberóforum. Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana*, 6(11), 98-120.
- PINCC (Programa de Investigación en Cambio Climático). (2023). *State and Perspectives of Climate Change in Mexico a Starting Point*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

- Pinilla Mendoza, A. M. (2023). Impacto de los cambios en el uso del suelo sobre el balance hídrico en zonas de llanura (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Reyes-García, V., Fernández-Llamazares, Á., Guèze, M., Garcés, A., Mallo, M., Vila-Gómez, M., & Vilaseca, M. (2016). Local indicators of climate change: the potential contribution of local knowledge to climate research. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(1), 109-124.
- Reveles-Torres, L. R., Luna-Flores, M., Mejía-Gurrola, A., Hernández-Martínez, J., & García Hernández, S. (2014). Razas actuales de maíz de secano en el estado de Zacatecas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(7), 1155-1168.
- Rivera-Ferre, M. G., Di Masso, M., Vara, I., Cuellar, M., Calle, A., Mailhos, M., ... Gallar, D. (2016). Local agriculture traditional knowledge to ensure food availability in a changing climate: revisiting water management practices in the Indo-Gangetic Plains. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(9), 965–987. doi:10.1080/21683565.2016.1215368.
- Rojas, J. C. G., & Mota, M. E. (2002). Agroclimatología del maíz de México. *Revista Geográfica*, 123-140.
- Salinas, M. T., & Meléndez, R. P. (2024). Cambio climático y seguridad alimentaria: Importancia del conocimiento ancestral. *PLURIVERSIDAD*, (14).
- Sardans, J., Miralles, A., Tariq, A., Zeng, F., Wang, R., & Peñuelas, J. (2024). Growing aridity poses threats to global land surface. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 776.
- Sharma, S. B., Thivakaran, G. A., & Thakkar, M. G. (2021). The game changing role of traditional ecological knowledge based Agri amendment systems in nutrient dynamics in the stress prone semi arid tropics. *Scientific Reports*, 11(1), 9425.
- Tardío, J., de Santayana, M. P., Valverde, R. M., Molina, M., & Mata, L. A. (2018). Inventario español de los conocimientos tradicionales relativos a la biodiversidad agrícola: Volumen 1. Introducción, metodología y fichas (419 páginas). Gobierno de España, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Tovar, L. C. Á., García, P. E. E., & Fragoso, O. D. (2024). Los conocimientos tradicionales: Una caracterización basada en casos concretos. *Revista de El Colegio de San Luis*, 14(25), 1-37.

- Villora, R. A., Carlón, A. D., Díez, A. G., & Román, L. P. (2022). Dificultades en los sistemas cerealistas de secano para iniciar la transición a manejo agroecológico. *Tierras de Castilla y León: Agricultura*, (308), 86-90.
- Zagre I, Akinseye FM, Worou ON, Kone M and Faye A (2024) Climate change adaptation strategies among smallholder farmers in Senegal's semi-arid zone: role of socioeconomic factors and institutional supports. *Front. Clim.* 6:1332196. doi: 10.3389/fclim.2024.1332196
- Zribi, W., Faci González, J. M., & Aragüés Lafarga, R. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas.

DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados obtenidos en el presente estudio nos permiten observar una panorámica general de la situación en el Ejido de San Antonio de Coronados, respecto a la actividad agrícola, los conocimientos tradicionales y la dinámica hídrica y como estos factores interactúan entre sí.

El enfoque del manejo de cuencas para la planificación del desarrollo comunitario es esencial para generar estrategias que impacten de manera positiva las comunidades, en México existen muchos estudios enfocados en cuencas y subcuencas, sin embargo, hay relativamente pocos enfocados directamente a microcuencas (Hernández y Manzo, 2022). La caracterización morfométrica de la microcuenca es utilizada como una herramienta inicial para la generación de estudios posteriores de mayor complejidad, tanto hidrológicos como ambientales ya que, de acuerdo con los parámetros morfométricos obtenidos, nos da una perspectiva acerca de su fragilidad, su capacidad de erodabilidad, su capacidad de drenaje e infiltración y los cambios que puede sufrir a partir de actividades humanas y sus efectos (Chuéz et al., 2024). La caracterización morfométrica realizada para la microcuenca de San Antonio de Coronados demostró que la microcuenca tiene la capacidad de atenuar los efectos de los eventos de crecida por su forma y pendiente, por otro lado, la red de drenaje es baja lo que podría suponer un problema en el movimiento del agua superficial, al mismo tiempo que favorece la infiltración al subsuelo (Hernández y Manzo, 2022).

Como se observa en los resultados del primer capítulo de este documento, existe un cambio en la distribución y temporalidad de las precipitaciones en la zona de estudio, con una tendencia a la ocurrencia de lluvias tardías, referida también en las entrevistas a los productores. Estas condiciones favorecen periodos secos más prolongados y el retraso en la siembra por falta de humedad en el suelo, ocasionando que la ventana de tiempo en la que el maíz, la calabaza y el frijol pueden desarrollarse sea más reducida por la aparición de heladas en la estación fría del año. Si bien, la mayoría de los productores sembraron en verano, la humedad no fue suficiente para provocar la germinación y las plantas que, si lograron germinar, no completaron su desarrollo. Estas condiciones requieren de un plan de acción estratégico que permita a los productores afrontar los cambios derivados de la falta de agua.

Como ya se mencionó, el cambio en el régimen de precipitación es causado por una combinación de factores regionales y globales, sistemas de baja presión, formación de

monzones y huracanes, el fenómeno del niño oceánico y el cambio climático, por lo que, las acciones deben estar enfocadas a la adaptación de las comunidades y aumentar su resiliencia (Bravo et al., 2017; Ruiz et al., 2023). Partiendo del resultado obtenido en el SPI, se observa que existe una tendencia de aumento de humedad en la zona de estudio, sin embargo, también existe una mayor variación Inter estacional que provoca condiciones extremas entre las distintas estaciones, con veranos más secos y extendidos y otoños e inviernos más húmedos, pero más cortos, con eventos de precipitación más intensos y la aparición de fenómenos climáticos más intensos como huracanes y sequías (Rodríguez et al., 2018; Murray, 2021).

La pérdida de humedad del suelo en las temporadas secas de los ecosistemas áridos y semi áridos puede alcanzar el 40% derivadas de la evapotranspiración, mientras que el 65% es derivado de procesos de evaporación directa del suelo, algunos estudios demuestran la pérdida de hasta 0.7 mm de agua por día en algunos sitios de Australia (Tugwell et al., 2020), Estos procesos son potenciados por una tendencia de aumento de la temperatura promedio a nivel nacional, pronosticada por diferentes modelos climáticos, teniendo un impacto en las tasas de evapotranspiración durante las épocas secas (PINCC, 2023). Las estrategias de conservación de la humedad en el suelo pueden mejorar las condiciones dentro de la unidad de producción para el mantenimiento de los cultivos básicos. El manejo productivo es un pilar esencial en el mejoramiento de las condiciones de humedad, con prácticas adecuadas para el manejo del suelo, las arvenses y el manejo de escorrentías.

La metodología LFA aplicada en las unidades de producción, demostró que las características superficiales del suelo, específicamente relacionadas a la estabilidad del suelo, la infiltración del agua de lluvia y el estado del ciclo de los nutrientes presentan valores muy por debajo de los marcados para un suelo de un ecosistema saludable y conservado. Respecto al manejo que se da por parte de los productores, en la mayoría de los casos se puede decir que es insuficiente respecto a las condiciones ambientales predominantes en la región y más si se toman en cuenta los cambios observados en el régimen de precipitación.

La pérdida de las variedades locales de cultivos es un problema que se deriva de los años recientes debido a la escasa o nula productividad por condiciones relacionadas al cambio climático o la variabilidad climática (Xiong et al., 2022), pues se calcula que el 92.7% del abastecimiento de semilla en las comunidades se debe al autoabastecimiento, entre los mismos miembros de la familia o de integrantes de la misma comunidad y se ha visto que

existe un porcentaje bajo de intercambio con otras comunidades (55.9%). Estos resultados se presentaron en comunidades dentro del altiplano mexicano, específicamente de los estados de Puebla y Tlaxcala. Este sistema de abastecimiento de semilla tradicional está siendo rápidamente reemplazado por la compra de semilla en las tiendas comunitarias DICONSA y otros centros de abasto cercanos, Estas semillas son el resultado del manejo del germoplasma por parte de los productores y sus familias durante el transcurso del tiempo, las distintas razas con sus divergencias fenotípicas particulares representan un reservorio importante de la agrobiodiversidad mexicana y al mismo tiempo es una estrategia adaptativa ante las condiciones de falta de humedad que se presentan en los ecosistemas áridos y semi áridos, con adaptaciones morfológicas y fisiológicas importantes como una mayor precocidad en comparación con otras razas de climas más húmedos, individuos más pequeños y con mazorcas reducidas para eficientizar el gasto energético y más resistencia antes situaciones de estrés salino e hídrico (Byrne, 2023).

Las variedades tradicionales de semillas han surgido a través de procesos de selección humanos y naturales, a través del tiempo, que involucran el manejo tradicional y factores estresores que actúan sobre la plasticidad de las variedades para generar una mejor adaptación a las condiciones ambientales, sin embargo, el cambio climático ha provocado que la plasticidad de muchas variedades a nivel mundial, sea insuficiente para enfrentar los cambios de múltiples condiciones al mismo tiempo, derivadas del cambio climático (Mercer y Perales, 2010).

La reproducción e intercambio de semillas es un esfuerzo para la conservación in situ de semillas criollas en el Ejido de San Antonio de Coronados, sin embargo sería importante reforzar con infraestructura y conocimiento técnico los procesos de selección y almacenamiento del germoplasma, pues en las entrevistas se observa como existen deficiencias en los procesos de selección, pues muy pocos productores toman en cuenta factores específicos a la hora de separar material para la siembra del siguiente ciclo.

Sería adecuado pensar en la conformación de un sistema de semillas en donde se conjunten los esfuerzos de los procesos locales, llevados a cabo por los propios agricultores, con la producción, el uso, el intercambio y el desarrollo de las semillas locales y el vínculo con los sistemas formales, constituidos por los centros de investigación y los bancos de germoplasma nacionales e internacionales para trabajar sobre el material obtenido en las

comunidades y generar mejoras en el germoplasma y que al mismo tiempo pongan estos nuevos materiales a disposición de las comunidades para su uso en el campo (SeedChange, 2020; Byrne, 2023).

El mejoramiento de las semillas en sistemas de secano está enfocado en mejorar la tolerancia a la sequía, partiendo del material local existente con características que los productores tienen el interés de mantener, sobre todo dependiendo de el uso que la mayoría de los productores le den a su producción, ya sea para mejorar el rendimiento de grano si es para el consumo familiar o de rastrojo, si lo que se quiere es una fuente para alimentación de ganado (Luna et al., 2015).

Existen diferentes perspectivas que componen la importancia del germoplasma en las comunidades, la perspectiva utilitaria considera a estos recursos filogenéticos como la expresión de la biodiversidad que participa en procesos evolutivos y servicios ecosistémicos; en la perspectiva patrimonial, este germoplasma pertenece a las comunidades rurales y pueblos originarios, favoreciendo la soberanía alimentaria; finalmente es también un patrimonio cultural ligado a los procesos de aprovechamiento y producción (Camacho et al., 2024).

La importancia de la conservación de los sistemas tradicionales de semillas el mejoramiento de las semillas locales, además de conservar aquellas semillas con características valiosas, también se favorecen servicios ecosistémicos y procesos evolutivos resultantes del mantenimiento y uso de la diversidad genética local. Por el contrario, al favorecer la entrada de semillas externas se alteran los procesos evolutivos que intervienen en a la adaptación local (Mastretta et al., 2024).

La diversificación de cultivos puede ser una opción viable para el mantenimiento de la producción en el ejido, priorizando especies nativas, pues son las mejores adaptadas a las condiciones ambientales locales y pueden ser las que presenten una mayor resiliencia ante los cambios actuales derivados de la actividad humana y el cambio climático y/o la variabilidad climática.

Una opción viable, es la producción y comercialización del orégano, en México se utilizan alrededor de cuarenta especies distintas, dependiendo la región en donde se encuentra y se denomina como orégano mexicano, en la región del altiplano en donde se ubica la zona de estudio existen principalmente dos especies de orégano, *Lippia* (Verbenaceae) y

Poliomintha (Lamiaceae), adaptadas a las condiciones áridas y semi áridas del altiplano potosino (Rocha et al., 2014), este recurso vegetal fue mencionado por algunos productores en las entrevistas semiestructuradas y también se pudo observar de manera directa en las unidades de producción. El orégano mexicano es un recurso vegetal que está tomando importancia a nivel nacional por sus diversos usos como recurso alimentario, medicinal, como conservador natural de alimentos, saborizante y cosmético (Mora et al., 2022). Esta especie tiene características que pueden ser útiles dentro del contexto ambiental en donde se encuentran las unidades de producción del ejido, pues debido a su rango de distribución dentro del estado, se puede encontrar en la zona de estudio como una especie nativa y de crecimiento rápido, es resistente a condiciones de sequía y a perturbaciones (López, 2014),

El mezquite es otro recurso forestal emblemático de las zonas áridas y semi áridas del altiplano potosino, actualmente se ha observado que tres especies del género *Prosopis* distribuyen en esta región, estas especies tienen usos variados en alimentación, medicina, forraje y forestal. El mezquite es una especie adaptada a las condiciones de estrés hídrico y salino de los ecosistemas áridos y semiáridos, esta resistencia natural favorece la disponibilidad de forraje por medio del ramoneo verde o seco del ganado local o mediante el consumo de las vainas y las harinas que se producen a partir de ellas, incluso como alimento para el humano (Ruiz, 2011; Saucedo et al., 2014).

La producción de estas especies tiene ventajas en el manejo del suelo, pues al ser especies perennes, no es necesario retirar las plantas del suelo y volver a sembrar, lo que favorece métodos de labranza mínima del suelo o no labranza, por lo que se puede restaurar la estructura del suelo (macro y micro agregados), ayudan a estabilizar el suelo por el efecto de las raíces y generan un efecto protector ante procesos erosivos derivados del agua o el viento, generan una cobertura permanente del suelo y aportan materia orgánica, lo que favorece la infiltración y el mantenimiento de la humedad para el uso de las plantas, finalmente ayuda a mantener la estructura vegetal dentro del agroecosistema al servir como especie nodriza o colonizadora y que favorezca la conectividad del paisaje, esto se traduce en un aprovechamiento sostenible, además se observa que el orégano mexicano y el mezquite (variante de *Prosopis glandulosa*) se distribuye de manera natural en el matorral desértico rosetófilo, este tipo de ecosistema se encuentra dentro de la microcuenca sobre todo en el píe

de monte cercano a las comunidades, así que también podría ser un recurso obtenido por recolección (Giménez de Azcaráte y González, 2011; López, 2014; INEGI, 2024).

Además, muchas de estas especies ya son usadas de manera tradicional por las comunidades y se fomenta el mantenimiento de saberes tradicionales que forman parte de la identidad cultural de la población. Se han documentados casos alrededor del mundo, sobre todo en regiones áridas o semi áridas con agricultura de secano que utilizan los conocimientos tradicionales en el manejo agrícola como una herramienta para disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones frente a los efectos del cambio climático o la variabilidad climática, un ejemplo de esto son las comunidades Sammani en el noreste de Ghana, que han implementado todo un sistema agrícola basado en conocimientos tradicionales, con el uso de especies resistentes a la sequía, el manejo del suelo con la agregación de materia orgánica para mejorar la retención de humedad y la aplicación de terracetos con línea vegetales para disminuir la escorrentía superficial (Kanchebe, 2013).

Debido a las características que posee México respecto a la gran biodiversidad con la que cuenta nuestro territorio, así como la riqueza cultural en cuanto a pueblos originarios y comunidades campesinas, el país tiene el potencial necesario para poder diseñar y establecer modelos alternativos de agricultura que se enfoque en la sostenibilidad, con la protección de los recursos locales, la mejora de la seguridad alimentaria y un enfoque económico diferente al que se emplea en la agricultura convencional y que favorece los procesos de aculturación, homogenización de los productos agrícolas y dependencia a agroquímicos y tecnificación completa del campo (Pérez et al., 2014).

Para que la transición de los modelos productivos convencionales a modelos agroecológicos pueda ser una realidad, debe existir una base institucional fuerte, con capacidad de diseñar y aplicar programas enfocados a la agricultura, distintos a los que ya se encuentran establecidos en las comunidades agrícolas de México.

En las entrevistas a los productores se mencionaron programas como el PROCAMPO, así como otros programas asistenciales enfocados a adultos mayores, estos programas actualmente se traducen en un apoyo económico, que si bien, ayuda a solventar parte de los gastos derivados de las actividades agrícolas como la siembra, el barbecho, el deshierbe y la cosecha, no aportan una cantidad suficiente para lograr la rentabilidad de la producción. Respecto a los apoyos asistenciales, se puede decir por lo que platican los

agricultores, que es una contribución para mejorar el bienestar de la población, al menos de un grupo vulnerable, este recurso es usado comúnmente para la compra de alimentos, pero no aporta a la mejora del bienestar del resto de la población.

Actualmente existen programas de gobierno como Producción para el Bienestar y Sembrando vida, los cuales están enfocados en la producción agrícola y el establecimiento de sistemas agroforestales, ninguno de estos programas está presente en la región ya que los lineamientos que rigen su funcionamiento delimitan su aplicación a poblaciones vulnerables de alta y muy alta marginación, comunidades originarias, mujeres y regiones con problemas de violencia importantes. En el estado de San Luis Potosí son pocos los municipios de la región altiplano los que cuentan con estos programas.

Se realizó una evaluación a los alcances en cuatro dimensiones principales; seguridad alimentaria, bienestar económico, sostenibilidad de los sistemas agroforestales y el fortalecimiento del tejido social. Para el caso del programa Sembrando Vida, se observaron efectos positivos dentro de estas cuatro dimensiones, mejorando la disponibilidad y el acceso a alimentos, con una mejora en la alimentación de las personas, también mejoró el ingreso de las personas debido a la transferencia económica, el fomento a ingresos complementarios y el fomento del ahorro familiar; hubo un fortalecimiento en los vínculos comunitarios y fomento del trabajo colectivo y la organización, con una mayor participación de las mujeres en actividades agrícolas; se observa una adopción a los sistemas agroforestales propuestos y el desarrollo de capacidades en el manejo agrícola (CONEVAL, 2024).

Sin embargo, estos programas de carácter federal tienen áreas de oportunidad importantes al afrontar contextos socioculturales y agroambientales diversos, también se observa un menor éxito de estos modelos en zonas áridas y semi áridas (CONEVAL, 2024).

La expansión hacia otras regiones como el ejido de San Antonio de Coronados, podría ser un motor de desarrollo, según lo expresado en las entrevistas, los conocimientos agrícolas que poseen los productores son transmitidos directamente de sus abuelos y familiares, si bien ya se mencionó que los conocimientos documentados en este estudio pueden no ser suficientes ante un escenario de cambio climático, tampoco existe un acercamiento real por parte entidades oficiales educativas o gubernamentales para brindar asesoría técnica que pueda orientar a los productores a tomar decisiones relacionadas con su actividad en el campo.

Los rasgos de infraestructura demostraron ser un factor clave en el desarrollo rural, dentro de la microcuenca, la carretera estatal número 6 que va de San Luis Potosí a Vanegas, resulto ser el principal rasgo que delimita las zonas de mayor probabilidad de desarrollo, a lo largo de esta carretera se encuentran los focos de mayor desarrollo a nivel local, además representa la conectividad con otras regiones de importancia para la comercialización de los productos agrícolas que se generan en las comunidades de estudio. La inversión en infraestructura puede generar un impacto positivo en los mercados locales y regionales al facilitar la movilidad de los productos y el resto de las actividades agrícolas.

La articulación de los factores ambientales y productivos con los factores socioeconómicos e institucionales que forman parte de la estructura de la comunidad juegan un papel crucial en el desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación de las actividades agrícolas ante el cambio climático. En regiones áridas y semi áridas alrededor del mundo están articulando redes de colaboración entre los distintos *stakeholders*, que permitan el acceso de los productores a servicios de créditos, seguros agrícolas, capacitaciones técnicas, al conocimiento de otros productores con más experiencia y subsidios gubernamentales (Guodaar et al., 2024; Zagre et al., 2024).

Finalmente, los procesos de transmisión y mantenimiento de los conocimientos tradicionales, se observa una tendencia a la pérdida de los mismos por distintos factores socioculturales, principalmente la situación económica de los agricultores de la región que obliga a las nuevas generaciones a buscar un mejor nivel de bienestar fuera de sus comunidades de origen, favoreciendo así los procesos migratorios hacia zonas urbanas como es el caso de la migración hacia la ciudad de Monterrey o hacia Estados Unidos.

Esta migración genera un impacto negativo por una disminución en la transmisión del conocimiento tradicional, además de favorecer procesos de aculturación al adoptar nuevos patrones culturales y al olvidar los conocimientos ancestrales que fueron heredados por sus padres y abuelos, esta misma situación sucede con los jóvenes que se quedan en la comunidad pero que prefieren dedicarse a otras actividades como la minería o el comercio. La disminución de este conocimiento hace más vulnerable a la comunidad ante el cambio climático (Cruz et al., 2020).

CONCLUSIONES GENERALES

Este estudio descriptivo, nos permitió conocer la dinámica hidrológica general de la microcuenca de San Antonio de Coronados ya que de manera general se caracterizó como una microcuenca de tamaño intermedio-grande con 1464.82 km² de área total, con una forma oblonga y una densidad de drenaje baja (1.03 km/ km²), en conjunto con una pendiente ligera, tiene un tiempo de concentración de 13.45 horas. Estas características pueden favorecer los procesos de infiltración y la recarga de agua subterránea.

Se concluyen que existe un cambio respecto a los regímenes de humedad en distintas escalas temporales, principalmente una marcada variación inter estacional entre la estación húmeda y la estación seca, así como una tendencia de aumento de humedad en el sitio de estudio a través del tiempo.

Respecto al LFA, se concluye que, de acuerdo con lo obtenido en los índices de estabilidad, con un valor promedio de 18.63, infiltración con un valor de 13.49 y el estado del ciclo de nutrientes con un valor de 6.92. Estos valores están por debajo de los observado en ecosistemas conservados, las características superficiales del suelo dentro de las parcelas no presentan las mejores condiciones para garantizar la conservación y salud del suelo, así como otros procesos que se desarrollan en su superficie.

Se identificaron y documentaron las prácticas, estrategias y adaptaciones productivas relacionadas al manejo y conservación de agua, se puede concluir que existen áreas de oportunidad para mejorar la resiliencia de los sistemas productivos ante las condiciones ambientales y otros factores negativos, las labores culturales durante el ciclo de cultivo, el manejo de arvenses y la selección de semillas entre otras, son áreas que podrían desarrollar mejores estrategias para el aumento de la producción.

El indicador con las mejores estrategias es el manejo del agua con el establecimiento de las acequias y bordos de distribución (100%), el uso de especies vegetales como barreras anti erosivas (73.7%) y la nivelación del suelo (89.5%).

Se logró tener un panorama general de la disponibilidad, calidad y la utilización del recurso agua en el sitio de estudio, concluyendo que existen amenazas climáticas y no climáticas, internas y externas que afectan su producción y la dinámica actual de los conocimientos tradicionales. Principalmente el atraso de la temporada de lluvias

(63.2%) y la disminución en la intensidad (68.4%) y la cantidad de precipitación (63.2%). También el bombardeo de nubes por parte de los productores hortícolas de la región (38.7%).

Finalmente, se observa la pérdida del conocimiento tradicional (57.9%), causada por el desinterés de las nuevas generaciones en las actividades agrícolas y la búsqueda de una mejor calidad de vida en otros sitios o realizando actividades económicas distintas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el desarrollo de más trabajos que documenten el conocimiento tradicional de las comunidades agrícolas en los diferentes sistemas productivos y bajo características ecológicas y socioculturales diversas que permitan caracterizar de manera más completa a las comunidades rurales, pues al día en que se culmina este trabajo, aún hay pocos estudios enfocados en la documentación de los conocimientos tradicionales en el norte del estado.

También sería interesante el desarrollo de más estudios relacionados con la dinámica hidrológica en esta región ya que actualmente, la información disponible en las distintas fuentes no es suficiente para estudiar los efectos del cambio climático a nivel local, además, por las características climáticas de la región, la disponibilidad de fuentes es muy variable y la cantidad de agua disponible para la producción agrícola, así también en otras actividades humanas resulta insuficiente.

Se recomienda el diseño y aplicación de programas agrícolas con un enfoque comunitario, tomando en cuenta los conocimientos tradicionales locales y los contextos socioculturales propios de cada región. Que tengan como objetivo promover el trabajo conjunto entre la comunidad, quienes conservan el conocimiento empírico y el sector institucional quienes mantienen el conocimiento científico, con la finalidad de generar mejores estrategias de adaptación ante las distintas amenazas que afectan la producción local.

Se recomienda fortalecer los procesos comunitarios para la conservación de la diversidad genética a través de intercambios de saberes entre los productores de mayor experiencia, los técnicos especializados en manejo agroecológico y productores de comunidades cercanas, promover la creación de bancos comunitarios de semilla y el mejoramiento de las semillas locales in situ y ex situ.

Trabajar de manera conjunta entre los distintos *stakeholders* para diseñar un plan de desarrollo comunitario, orientado hacia el manejo integral de cuenca, que permita aprovechamiento sostenible de los recursos locales y la diversificación de las actividades productivas con la finalidad de mejorar la resiliencia de las comunidades.

Referencias

- Bravo-Cabrera, J. L., Azpra-Romero, E., Zarraluqui-Such, V., & Gay-García, C. (2017). Effects of El Niño in Mexico during rainy and dry seasons: an extended treatment. *Atmósfera*, 30(3), 221-232.
- Byrne, P. (2023). Plant breeding for climate change: Opportunities for adaptation and mitigation. Climate ready plant collections: Conserving, using, and building capacity. Colorado State University. <https://colostate.pressbooks.pub/climatereadyplantcollections/chapter/plant-breeding-for-climate-change>.
- Camacho-Villa, T. C., Aparicio-Sánchez, S., Costich, D. E., & Vidal-Martínez, V. A. (2024). Dinámicas de mantenimiento y de pérdida in situ del maíz raza Jala. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 15(1).
- Chuez, N. M. G., Ponce, M. A. D., Herrera-Feijoo, R. J., & Cañarte, C. A. N. (2024). Caracterización hidrológica de la microcuenca del río Quevedo, Ecuador. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(E3), 624-645.
- CONEVAL. (2024). Evaluación de impacto cualitativa del programa Sembrando Vida. Dirección de información y comunicación social.
- Cruz Hernández, S., Torres Carral, G. A., Cruz León, A., Salcedo Baca, I., & Victorino Ramírez, L. (2020). Local traditional knowledge and global climate change. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1917-1928.
- Giménez de Azcárate, J., & González Costilla, O. (2011). Pisos de vegetación de la Sierra de Catorce y territorios circundantes (San Luis Potosí, México). *Acta botánica mexicana*, (94), 91-123.
- Guodaar, Lawrence, and Douglas K. Bardsley. "Social networks can mitigate climate change-related food insecurity risks in dryland farming systems in Ghana." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 29.7 (2024): 73.
- INEGI. (Recuperado: mayo de 2024). SIALT (Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas. https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#close2
- Hernández, G. T., & Manzo, L. A. V. (2022). Caracterización morfométrica de la cuenca del río Huitzilac, Puebla, México. *Boletín Geográfico*, 44(1), 41-58.

- Kanchebe Derbile, E. (2013). Reducing vulnerability of rain-fed agriculture to drought through indigenous knowledge systems in north-eastern Ghana. *International Journal of climate change strategies and management*, 5(1), 71-94.
- López Martínez, C. (2014). Distribución geográfica y ecológica de dos especies de orégano (*Poliomintha Longiflora* Gray. y *Lippia Graveolens* HBK) en el estado de San Luis Potosí, México.
- Luna Flores, Maximino, García Hernández, Serafín, Martínez Gómez, Javier, Luna Estrada, Maximino Gerardo, Lara Herrera, Alfredo, Villagrana Soto, Fidel, Cedeño Barceló, Félix del Jesús, Llamas Llamas, J. Jesús, & Avelar Mejía, J. Jesús. (2015). Variedades mejoradas de maíz de secano derivadas de variedades nativas tolerantes a sequía. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(7), 1455-1466. Recuperado en 31 de enero de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000700003&lng=es&tlng=es.
- Mastretta-Yanes, A., Tobin, D., Bellon, M. R., von Wettberg, E., Cibrián-Jaramillo, A., Wegier, A., ... & Chen, Y. H. (2024). Human management of ongoing evolutionary processes in agroecosystems. *Plants, People, Planet*.
- Mercer, K. L., & Perales, H. R. (2010). Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary applications*, 3(5-6), 480-493.
- Mora-Zúñiga, A. E., Treviño-Garza, M. Z., Amaya Guerra, C. A., Galindo Rodríguez, S. A., Castillo, S., Martínez-Rojas, E., Rodríguez-Rodríguez, J., & Báez-González, J. G. (2022). Comparison of Chemical Composition, Physicochemical Parameters, and Antioxidant and Antibacterial Activity of the Essential Oil of Cultivated and Wild Mexican Oregano *Poliomintha longiflora* Gray. *Plants*, 11(14), 1785. <https://doi.org/10.3390/plants11141785>
- Murray-Tortarolo, Guillermo N. (2021). Seven decades of climate change across Mexico. *Atmósfera*, 34(2), 217-226. Epub 28 de mayo de 2021. <https://doi.org/10.20937/atm.52803>
- PINCC (Programa de Investigación en Cambio Climático). (2023). State and Perspectives of Climate Change in Mexico a Starting Point. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

- Pérez Sánchez, J. M., Velasco Orozco, J. J., & Reyes Montes, L. (2014). Estudios sobre agricultura y conocimiento tradicional en México. *Perspectivas latinoamericanas*, 11, 144-156.
- Rocha Estrada, A., Alvarado Vázquez, M. A., García Sánchez, J. E., Guzmán Lucio, M. A., Hernández Piñero, J. L., & Foroughbakhch Pournavab, R. (2014). Caracterización palinológica de las especies de orégano de los géneros *Lippia* (Verbenaceae) y *Poliomntha* (Lamiaceae) de Nuevo León. *Ciencia UANL*, 17(68), 49-56.
- Rodríguez-González, B., Pineda-Martínez, L. F., & Guerra-Cobián, V. H. (2018). Análisis de la variabilidad de las precipitaciones en el Estado de Zacatecas, México, por medio de información satelital y pluviométrica. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 19(4).
- Ruiz Tavares, D. R. (2011). Uso potencial de la vaina de mezquite para la alimentación de animales domésticos del Altiplano potosino. REPOSITORIO NACIONAL CONACYT.
- Ruiz-Ochoa, M. A., Torres-Corredor, J. S., Vargas-Corredor, Y. A., & Orduz-Amaya, L. P. (2023). Variabilidad climática (precipitación, temperatura y humedad relativa) para la gestión hídrica del departamento del Casanare, Colombia. *Información tecnológica*, 34(5), 47-60.
- Sauceda, E. N. R., Martínez, G. E. R., Valverde, B. R., Ruiz, R. M., Hermida, M. D. L. C. C., Torres, S. M. M., & Ruiz, H. H. P. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-193.
- SeedChange. (2020) Sistemas locales de semillas. Una contribución fundamental para la soberanía alimentaria y los derechos de los agricultores y las agricultoras.
- Tugwell-Wootton, T., Skrzypek, G., Dogramaci, S., McCallum, J., & Grierson, P. F. (2020). Soil moisture evaporative losses in response to wet-dry cycles in a semiarid climate. *Journal of Hydrology*, 590, 125533.
- Xiong, W., Reynolds, M., & Xu, Y. (2022). Climate change challenges plant breeding. *Current Opinion in Plant Biology*, 70, 102308.
- Zagre I, Akinseye FM, Worou ON, Kone M and Faye A (2024) Climate change adaptation

strategies among smallholder farmers in Senegal's semi-arid zone: role of socioeconomic factors and institutional supports. *Front. Clim.* 6:1332196. doi: 10.3389/fclim.2024.1332196