

## **Análisis del peligro de sequía meteorológica y percepción social del fenómeno en las regiones Media y Huasteca Potosina, México**

### *Analysis of the meteorological risk of drought and the social perception of the phenomenon in the Media and Huasteca Potosina regions of Mexico.*

Raul A. Vaca-Genuit\* y Humberto Reyes-Hernández\*\*

Recibido: 22/07/2024. Aceptado: 9/10/2024. Publicado: 23/01/2025.

**Resumen.** En México se registran sequías de magnitud considerable principalmente en los estados del norte y centro-norte. El territorio potosino presenta eventos de sequía cada vez más frecuentes, incluso en las zonas de mayor humedad como la Huasteca. Los objetivos de este estudio fueron analizar el peligro de sequía meteorológica a partir de un análisis multivariado basado en tres cópulas bivariadas de Arquímedes a escala regional, reconocer la percepción de los habitantes ante este fenómeno e identificar las medidas de adaptación implementadas en tres comunidades, en las regiones Media y Huasteca de San Luis Potosí.

A partir de datos meteorológicos, se generaron coberturas climáticas y se evaluaron sus particularidades. La caracterización de las sequías se basó en la teoría de rachas, utilizando el paquete “drought” del programa estadístico R. Para determinar los eventos de sequía se empleó el Índice de Precipitación Estandarizado. La evaluación incluyó un análisis univariado y multivariado basados en tres cópulas bivariadas de Arquímedes. Finalmente se estimó la probabilidad conjunta de que tanto la duración como la severidad de la sequía superen simultáneamente el umbral especificado y sus resultados se representaron espacialmente.

Por medio de metodologías participativas se valoró la percepción de los habitantes acerca de la sequía, así como la identificación de las acciones implementadas para contrarrestar los efectos de este fenómeno en tres comunidades

del municipio de San Antonio, SLP. El proceso incluyó la aplicación de entrevistas semiestructuradas con preguntas abiertas y cerradas a productores rurales de las tres comunidades, así como la realización de talleres participativos con actores locales.

En el estado Potosino la sequía es un fenómeno recurrente que afecta cada vez mayor superficie y aumenta el número de municipios afectados, aún en las áreas consideradas como las más húmedas del estado potosino. La duración promedio de las sequías, en las tres escalas de tiempo, fue comparativamente más larga en el suroeste de la Huasteca y en el norte de la región Media. Las sequías más largas y severas se presentan en el suroeste y noreste de la Huasteca y en el centro-norte de la región Media. Para diferentes escalas de tiempo y períodos de retorno, el norte de la región Media y el suroeste de la Huasteca presentan un alto peligro de sequía. En la escala de tiempo de 12 meses, Xilitla, Huehuetlán, Aquismón y Ciudad del Maíz son los municipios con mayor peligro. Las áreas con mayor peligro de sequía concentran entre 218 (escala de tiempo de tres meses y periodo de retorno de cinco años) y 31 localidades (escala de tiempo de 12 meses y periodo de retorno de 100 años), en las cuales se estima que 146 211 habitantes han sido y podrían ser afectados por este fenómeno en el futuro.

A escala local, los habitantes de las comunidades reconocen un incremento en los eventos de sequía, así como el

\* Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONAHCYT). Programa de Antropología Social, El Colegio de San Luis, A.C. Parque de Macul 155, fracc. Colinas del Parque, 78294, San Luis Potosí, México. <https://orcid.org/0000-0003-0500-1291>. Email: [raul.vaca@colsan.edu.mx](mailto:raul.vaca@colsan.edu.mx)

\*\* Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Industrias #101-A, fracc. Talleres, 78399, San Luis Potosí, México. <https://orcid.org/0000-0001-6232-1035>. Email: [hreyes@uaslp.mx](mailto:hreyes@uaslp.mx). Autor de correspondencia.

aumento en sus afectaciones. El 90% de los productores, confirma que existe un cambio en los patrones de lluvia particularmente desde 2016 y el problema va en aumento. Reconocen que en los últimos años se han producido anomalías climáticas que antes no eran comunes. Estas distorsiones han impactado negativamente sus medios de vida. Los productores admiten que la falta de lluvias y las altas temperaturas afectan gravemente los cultivos, debido a que las tierras de labor se secan más rápido de lo habitual. Como respuesta han implementado diferentes medidas de para salvaguardar sus medios de vida como la producción de caña de azúcar para piloncillo. Algunas acciones implementadas incluyen cubrir el suelo con hojarasca o residuos de la caña para aumentar la retención de humedad en el suelo, atar o envolver manojos de malezas o tallos y colocarlos entre cada surco de forma espaciadas (localmente conocido como engavillado), modificaciones de la topografía de los terrenos de cultivo y manejo de las escorrentías. Sin embargo, las medidas implementadas hasta ahora mostraron ser insuficientes para enfrentar la sequía de 2023-2024.

Los impactos asociados a la sequía son graves, debido a que sus medios de vida son altamente sensibles y dependientes de las precipitaciones. La combinación de acercamientos metodológicos permite una complementariedad en la generación de nuevos conocimientos en torno a los patrones regionales de la sequía, con la forma en que las comunidades padecen, perciben, interpretan y conviven con estos eventos meteorológicos y climáticos.

**Palabras clave:** Índice de Precipitación Estandarizado, cambio climático, cópulas, adaptación, metodologías participativas.

**Abstract.** Droughts of considerable magnitude are recorded in Mexico, mainly in the northern and central-northern states. The territory of the state of Potosi presents increasingly frequent drought events, even in the most humid areas such as the Huasteca. The objectives of this study were to analyze the meteorological drought hazard from a multivariate analysis based on three bivariate Archimedean copulas at a regional scale, to recognize the perception of the inhabitants to this phenomenon and to identify the adaptation measures implemented in three communities, in the Middle and Huasteca regions of San Luis Potosi.

Based on meteorological data, climate coverages were generated and their particularities were evaluated. The characterization of the droughts was based on the gust theory, using the "drought" package of the statistical program R. The Standardized Precipitation Index was used to determine the drought events. The evaluation included a univariate and multivariate analysis based on three bivariate Archimedean copulas. Finally, the joint probability of both drought duration and severity simultaneously exceeding the specified threshold was estimated and its results were spatially represented.

By means of participatory methodologies, the perception of the inhabitants about drought was assessed, as well as the identification of the actions implemented to counteract the effects of this phenomenon in three communities of the municipality of San Antonio, SLP. The process included the application of semi-structured interviews with open and closed questions to rural producers in the three communities, as well as participatory workshops with local stakeholders.

In the state of Potosi, drought is a recurrent phenomenon that affects an increasing surface area and increases the number of municipalities affected, even in the areas considered the wettest in the state of Potosi. The average duration of droughts, in the three time scales, was comparatively longer in the southwest of the Huasteca and in the north of the Middle region. The longest and most severe droughts occurred in the southwestern and northeastern Huasteca and in the central-northern Middle region. For different time scales and return periods, the north of the Middle region and the southwest of the Huasteca present a high danger of drought. On the 12-month time scale, Xilitla, Huehuetlán, Aquismón and Ciudad del Maíz are the municipalities with the highest hazard. The areas with the highest drought hazard concentrate between 218 (3-month time scale and 5-year return period) and 31 localities (12-month time scale and 100-year return period), in which an estimated 146,211 inhabitants have been and could be affected by this phenomenon in the future.

At the local scale, the inhabitants of the communities recognize an increase in drought events, as well as an increase in the number of drought events. 90% of the producers, confirm that there is a change in rainfall patterns particularly since 2016 and the problem is increasing. They recognize that in recent years there have been climatic anomalies that were not common before. These distortions have negatively impacted their livelihoods. Producers admit that the lack of rainfall and high temperatures severely affect crops, due to the fact that farmland dries out faster than usual. In response, they have implemented different measures to safeguard their livelihoods, such as the production of sugar cane for piloncillo. Some actions implemented include covering the soil with leaf litter or cane residues to increase moisture retention in the soil, tying or wrapping bundles of weeds or stalks and placing them between each furrow in a spaced manner (locally known as engavillado), modifications to the topography of the farmland, and runoff management. However, the measures implemented so far proved to be insufficient to cope with the 2023-2024 drought.

The impacts associated with drought are severe, because their livelihoods are highly sensitive and dependent on rainfall. The combination of methodological approaches allows a complementarity in the generation of new knowledge on regional drought patterns, with the way in which communities suffer, perceive, interpret and coexist with these meteorological and climatic events.

**Keywords:** Standardized Precipitation Index, climate change, copulas, adaptation, participatory methodologies.

## INTRODUCCIÓN

La sequía es uno de los fenómenos naturales adversos predominante en las regiones áridas y semiáridas del planeta, sin embargo, en las últimas décadas se ha presentado con mayor frecuencia en las regiones cercanas a los trópicos y en las zonas más húmedas del mundo. Dado que este fenómeno natural se extiende durante periodos de tiempo prolongados, puede provocar graves impactos en los ecosistemas naturales y en diversos sectores sociales, incluyendo la agricultura y el suministro de agua para uso doméstico e industrial (Mishra y Singh, 2010; UNCCD, 1996).

Durante el siglo XX México experimentó importantes periodos de sequía que afectaron principalmente a los estados del norte y centro-norte del país (Bitrán-Bitrán *et al.*, 2001; Ortega-Gaucin y Velasco, 2013). Entre 2000 y 2003, 18 de los 32 estados presentaron sequía, sus pérdidas económicas fueron estimadas en más de 1800 millones de pesos, un millón de hectáreas de cultivo y más de 13 mil cabezas de ganado, siendo los estados del norte y centro-norte los más afectados (Bitrán-Bitrán *et al.* 2002; 2003; 2004). En 2009 el país sufrió la segunda peor sequía en 60 años, y entre 2011 y 2012 más del 60% del territorio mexicano fue azotado por la peor sequía de los últimos 70 años (Ortiz-Gómez *et al.*, 2018; SEMARNAT, 2012). Entre 2023 y 2024, México experimentó una sequía de enorme magnitud, tanto en duración como intensidad, que afectó más del 80% del territorio nacional (SMN, 2024).

Generalmente el monitoreo y análisis de la sequía se realiza por medio de índices obtenidos a partir de datos climáticos (Zargar *et al.*, 2011). Debido a su facilidad de cálculo y comparabilidad, el índice de precipitación estandarizado (SPI) es uno de los más utilizados (Hayes *et al.*, 2011; Svoboda *et al.*, 2012; McKee *et al.*, 1993). El SPI, permite evaluar diversos atributos de la sequía como duración y severidad. Para estimar el peligro de sequía, –probabilidad de ocurrencia de sequías en un espacio y tiempo determinados (Castellano-Bahena y Ortega-Gaucin, 2022; DOF, 2023; Ortega-Gaucin *et al.*, 2018)–, el análisis de

estos atributos se basa en métodos probabilísticos apoyados en análisis univariados (Mishra y Singh, 2011) y más recientemente, en el análisis multivariado (por ej., Ayantobo *et al.*, 2019; Cavus *et al.*, 2023; Lins da Rocha *et al.*, 2020; Halwatura *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2023; Ma *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2015).

El empleo de cópulas (Sklar, 1959) para construir distribuciones multivariadas, permite superar dificultades comunes en otros métodos (Mirabbasi *et al.*, 2012) y su uso ha sido ampliamente discutido (por ej., Demarta y McNeil 2005; Genest y Mackay 1986; Hofert *et al.*, 2018; Sklar 1959; 1973). Las cópulas son funciones de distribución multivariada construidas a partir de funciones de distribución univariadas que permiten modelar la estructura de dependencia entre variables y describir eventos aleatorios multivariados utilizando diferentes tipos de distribuciones marginales. Estas permiten relacionar variables dependientes incluso si no tienen la misma distribución marginal, pudiendo representar los efectos de la sequía para una región específica con más precisión que otros métodos estadísticos convencionales (Shiau, 2006). La familia de funciones de cópula de Arquímedes, incluyen las cópulas de Clayton, Gumbel y Frank ampliamente utilizadas en los análisis de sequía (Li *et al.*, 2023).

Considerando que el 82% de la superficie agrícola en México depende de las lluvias, el estudio de la sequía es particularmente relevante en virtud que la mayoría de las áreas rurales carecen de sistemas de riego y de otra infraestructura hídrica necesaria para asegurar el suministro de agua. Además de estimar la gravedad de este fenómeno, el análisis del peligro de sequía –de gran importancia para planificar estrategias de mitigación– permite identificar localidades altamente susceptibles a la ocurrencia de estos eventos donde se precise implementar estrategias de mitigación y adaptación. El objetivo de este estudio fue determinar el peligro de sequía meteorológica a partir de un análisis multivariado basado en tres cópulas bivariadas de Arquímedes y reconocer la percepción de los habitantes ante este fenómeno en las regiones Media y Huasteca del estado de San Luis Potosí, México.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

Las regiones Media y Huasteca de San Luis Potosí cubren una superficie de 24 185 km<sup>2</sup> (12 776 y 11 409 km<sup>2</sup>, respectivamente) y comprenden 32 municipios. La condición climática del área de estudio se caracteriza por un gradiente climático que va –de oriente a poniente– de tropical y subtropical a semiárido (INEGI, 2002). El patrón espacial de la precipitación anual indica una disminución desde la Huasteca hacia la región Media, y oscila entre 358 y 2682 mm. La elevación varía desde 12 m en la Llanura Costera del Golfo, hasta 2100 m en la Sierra Madre Oriental en la franja central y suroeste del área de estudio. De acuerdo con el censo de población y vivienda de INEGI (2020a), existen 3873 localidades y una población estimada de 998 515 habitantes (Figura 1).

### Análisis de datos climáticos

Los datos climáticos se obtuvieron de la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas del Sistema de Información Hidrológica (SIH) (<https://sih.conagua.gob.mx/>) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Los datos georreferenciados corresponden a estaciones meteorológicas situadas en el estado potosino y estados vecinos, dentro de un área de 100 km alrededor del estado de San Luis Potosí (Figura 1), que proveen información diaria de temperatura (máxima, mínima y promedio) y precipitación (CONAGUA, 2019). La información comprendió un período de 60 años (1961-2021).

Como primer paso se realizó un proceso de control de calidad de los datos, que consistió en: 1) eliminar estaciones con periodos de registro de corta duración, quedando 481 estaciones de un total de 1037; 2) análisis visual gráfico de registros de precipitación y temperatura de cada estación para

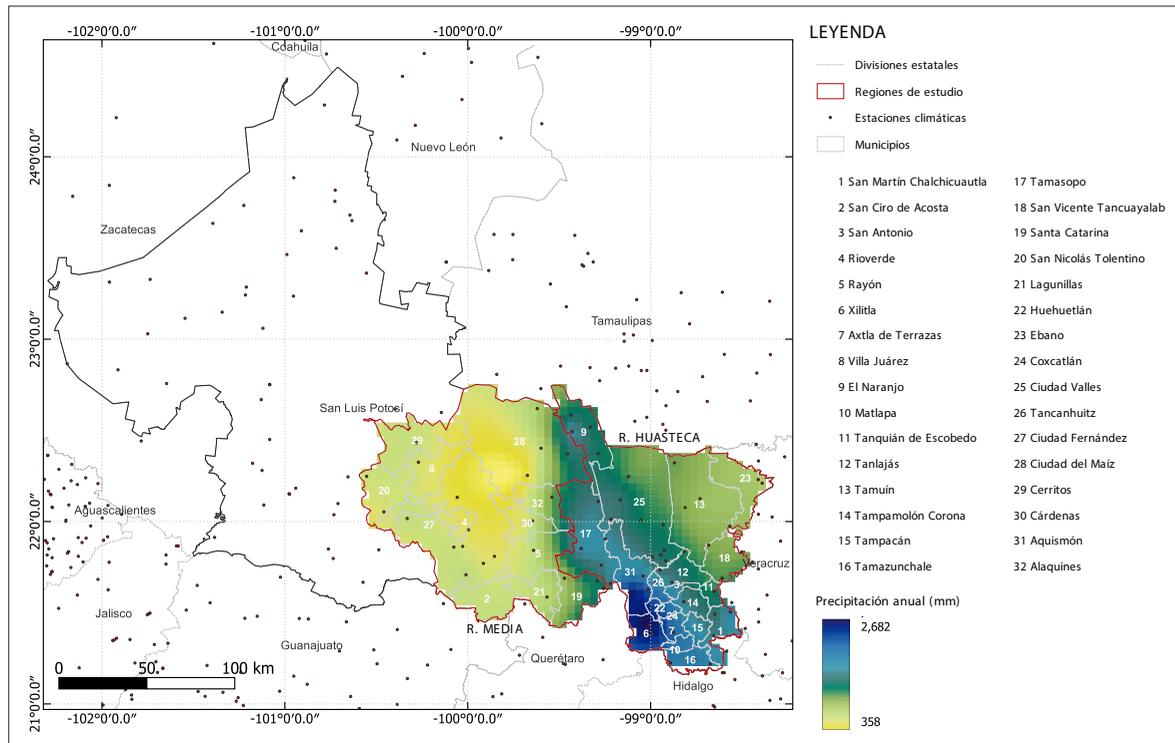


Figura 1. Área de estudio: regiones Media y Huasteca de San Luis Potosí. El patrón espacial de precipitación representa el promedio anual para el periodo 1961-2021, calculado a partir de datos extraídos de la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas de la CONAGUA. Fuente: elaboración propia a partir de datos de INEGI (2020b) y CONAGUA (2019).

identificar los datos faltantes e inconsistencias en las series de tiempo, por medio del paquete “naniar” (Tierney y Cook, 2023) del programa estadístico R (R Core Team, 2022); 3) limpiar datos inconsistentes (por ej., datos de temperatura que contaban con valores mínimos mayores a los valores máximos), y 4) reemplazar datos faltantes utilizando técnicas de interpolación con el paquete “imputeR” (Feng *et al.*, 2020) del programa estadístico R (R Core Team, 2022), para el caso de incidencias aisladas (no consecutivas) de falta de datos.

Los datos fueron agregados por mes y estación, para crear series de tiempo mensuales que fueron tratadas con técnicas de interpolación espacial para generar coberturas ráster continuas a una resolución espacial de 2.5 min. Los datos de precipitación mensual se interpolaron con el método de Kriging Ordinario y los datos de temperatura mensual con Kriging Universal (Bostan, 2017; Stein y Corsten, 1991; Zimmerman *et al.*, 1999). El método de Kriging Ordinario considera únicamente la autocorrelación espacial de la variable a interpolar para generar los semivariogramas, mientras que el Kriging Universal permite integrar covariables. En este caso, la elevación fue empleada como covariable para generar los semivariogramas. Para ajustar los modelos se utilizó la capa de elevación digital de WorldClim con resolución espacial de 2.5 min. Finalmente, los modelos ajustados se proyectaron en el espacio para generar coberturas ráster con información climática continua.

### Cálculo de índices y caracterización de la sequía

Para determinar el déficit o exceso de precipitación respecto a las condiciones normales se calculó la sequía con base en el SPI (Mckee *et al.*, 1993), para tres escalas de tiempo  $k$  (tres, seis y doce meses) (Cancelliere *et al.*, 2007; Cheval, 2015; Masud *et al.*, 2015; Patel *et al.*, 2007). Los valores del índice se ajustaron a una distribución normal estandarizada (media = 0 y varianza = 1), de manera que el valor es negativo para eventos de sequía y positivo para eventos húmedos (Mckee *et al.*, 1993). De acuerdo con el rango de valores de índice SPI, los eventos de sequía se clasifican de ligeros a extremos (Mckee *et al.*, 1993) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de los eventos de sequía de acuerdo con el rango de valores del índice SPI.

Valor SPI	Clasificación
0 a -0.99	Sequía ligera (cercano a lo normal)
-1.00 a -1.49	Sequía moderada
-1.50 a -1.99	Sequía severa
$\leq -2.00$	Sequía extrema

Para identificar y caracterizar las sequías se aplicó la teoría de rachas (“*Run Theory*”) propuesta por Yevjevich (1967), utilizando el paquete “drought” (Hao *et al.*, 2017) del programa estadístico R (R Core Team, 2022). Esto permitió identificar el número de eventos y sus atributos (duración y severidad). De acuerdo con la teoría de rachas, se produce una sequía cuando un periodo o racha en la serie temporal de valores SPI cae por debajo de un cierto umbral. En este estudio, se seleccionó el valor de -1.0 como nivel de umbral, con base en la Tabla 1.

Para cada episodio de sequía, la duración ( $d$ ) se define como la extensión temporal de la racha, es decir, como el período de tiempo (número de meses) desde el inicio hasta la terminación de un evento de sequía. La suma absoluta de todos los valores del índice de sequía durante un evento de sequía se define como la severidad de la sequía ( $s$ ) (Spinoni *et al.*, 2014), y su cálculo se representa con la siguiente ecuación:

$$s = - \sum_{i=1}^d SPI_i \quad (1)$$

Donde  $s$  es la severidad de la sequía,  $d$  es la duración de la sequía,  $i$  es un mes,  $SPI_i$  es el valor SPI en un mes  $i$ .

En este trabajo se consideraron los valores promedio y máximo de  $d$  y  $s$  como características definitorias de los episodios de sequía.

Posteriormente, se realizó un análisis de frecuencia univariado de la duración y severidad de la sequía. Dos distribuciones, exponencial y gamma, fueron utilizadas para ajustar las distribuciones de probabilidad de la duración ( $F_D(d)$ ) y la severidad ( $F_S(s)$ ) de la sequía, como se define en las siguientes ecuaciones:

$$F_X(x) = \frac{1}{\lambda} e^{-x/\lambda}, \quad x > 0 \quad (2)$$

$$F_X(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-x/\beta}, \quad x > 0 \quad (3)$$

Donde  $\lambda$  es el parámetro que describe la distribución exponencial,  $\alpha$  y  $\beta$  determinan la forma y escala de la distribución gamma, respectivamente,  $\Gamma$  es la función gamma, y  $x$  representa la duración o la severidad de la sequía.

Los parámetros de estas funciones de distribución se estimaron píxel por píxel con el método de máxima verosimilitud (MLE). Como ambas distribuciones pueden ajustar bien a los datos de duración y severidad (Zhang *et al.*, 2015), se determinó la función de distribución con el mejor ajuste en cada caso, por medio del Criterio de información de Akaike (AIC). Los análisis se realizaron con los paquetes “univariateML” (Moss, 2019), “fitdistrplus” (Delignette-Muller y Dutang, 2015) y “stats” del programa estadístico R (R Core Team, 2022).

### Distribuciones de probabilidad conjunta basadas en cópulas

El análisis de frecuencia multivariado permite determinar un nivel de retorno más realista ya que refleja simultáneamente varias características de la sequía. Por esta razón, se utilizaron funciones de cópula para vincular las distribuciones de probabilidad univariadas de la duración y la severidad de la sequía y construir una distribución conjunta bivariada (Shiau, 2006; Shiau y Modarres, 2009; Sklar, 1959). En este trabajo se ajustaron tres cópulas a los datos a nivel de píxel, y se determinó la función de cópula con el mejor ajuste en cada caso, por medio del AIC. Las cópulas de Clayton, Gumbel y Frank se definen en las siguientes ecuaciones, respectivamente:

$$F_{DS}(d, s) = (F_D^{-\theta}(d) + F_S^{-\theta}(s) - 1)^{-1/\theta}, \quad \theta \geq 0 \quad (4)$$

$$F_{DS}(d, s) = \exp\left\{-\left[-\ln F_D(d)\right]^\theta + \left[-\ln F_S(s)\right]^\theta\right\}^{1/\theta}, \quad \theta \geq 1 \quad (5)$$

$$F_{DS}(d, s) = -\frac{1}{\theta} \ln \left[ 1 + \frac{(e^{-\theta F_D(d)} - 1)(e^{-\theta F_S(s)} - 1)}{e^{-\theta} - 1} \right], \quad \theta \neq 0 \quad (6)$$

Debido a que el análisis multivariado solo puede llevarse cabo si existe correlación entre las variables consideradas, la correlación entre la duración y la severidad de la sequía se determinó mediante el coeficiente de correlación de Kendall (Kendall, 1938).

### Período de retorno y probabilidad conjunta

Las probabilidades (univariadas) de la duración y severidad de las sequías, se utilizaron para estimar periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años. El período de retorno se refiere al tiempo promedio estimado entre dos eventos de sequía con un valor específico o superior (Bonaccorso *et al.*, 2003), ampliamente utilizado para analizar el peligro de este fenómeno. Shiau y Shen (2001) desarrollaron la siguiente fórmula para calcular el período de retorno de la duración de la sequía ( $T_D$ ) y la severidad de la sequía ( $T_S$ ):

$$T_D = \frac{E(L)}{1 - F_D(d)} \quad (7)$$

$$T_S = \frac{E(L)}{1 - F_S(s)} \quad (8)$$

Donde L es el intervalo de tiempo entre eventos de sequía y  $E(L)$  denota el valor esperado del intervalo de tiempo entre eventos de sequía.

La probabilidad conjunta de que la duración y la severidad de la sequía superen simultáneamente un determinado umbral se estimó de acuerdo con la siguiente ecuación (Shiau y Modarres, 2009):

$$P(D \geq d, S \geq s) = 1 - F_D(d) - F_S(s) + F_{DS}(d, s) \quad (9)$$

Finalmente, la información fue representada espacialmente y sobrepuesta sobre capas de municipios y localidades extraídas del INEGI (2020a, 2020b). Se identificaron las localidades ubicadas en las áreas que presentaron el mayor peligro de sequía (es decir, las áreas que presentan valores de probabilidad conjunta por encima del cuartil superior) para cada escala de tiempo y periodo de retorno.

### Percepción de los habitantes del fenómeno de la sequía

Para reconocer la percepción de los habitantes acerca de las implicaciones e impactos de la sequía el

análisis a escala local se realizó en tres localidades de la zona de estudio. Con base en la información del análisis a escala regional, se seleccionaron diferentes localidades afectadas en mayor o menor medida por eventos de sequía de los municipios de Rioverde y Ciudad Fernández (Región Media), Xilitla, San Antonio, Tanlajás y Ciudad Valles (Región Huasteca). En dichos municipios se realizaron visitas de campo a las localidades para valorar la pertinencia de trabajar en su territorio, en función de la seguridad, accesibilidad y disposición de las autoridades locales para colaborar en el estudio. Finalmente, se decidió trabajar en las comunidades de Lejem ( $P = 30.2$  a  $3.1\%$  de menor a mayor escala de tiempo y periodo de retorno), Tanchahuil ( $P = 30.7$  a  $1.8\%$ ) y Xolol ( $P = 27.2$  a  $1.5\%$ ), del municipio de San Antonio, donde sus habitantes mostraron mayor disposición para participar en la investigación.

Mediante el empleo de metodologías participativas, se recabó información acerca de la percepción de los habitantes sobre el cambio climático, los impactos de la sequía y sus implicaciones en los medios de vida de los pobladores, así como las medidas de adaptación implementadas para hacer frente a este fenómeno. Este enfoque metodológico ha sido ampliamente utilizado para el diagnóstico, planificación y evaluación de recursos naturales y problemas ambientales en comunidades rurales (Brauer *et al.*, 2024; Reyes-Hernández *et al.*, 2022; Vázquez-Villa *et al.*, 2020; Vaca-Pardo y Reyes-Hernández, 2021).

El proceso incluyó la aplicación de 22 entrevistas semiestructuradas con preguntas abiertas y cerradas a productores rurales de las tres comunidades, elegidos mediante un muestreo por conveniencia. La intención fue obtener información acerca de sus sistemas productivos, componentes ambientales, económicos y medios de vida afectados por la sequía, así como las técnicas implementadas en las unidades de producción para atenuar los efectos de las sequías. Adicionalmente, se realizaron tres talleres participativos con habitantes de las comunidades. Durante los talleres participativos con los actores locales se buscó reconocer las medidas de adaptación implementadas de forma colectiva e individual, además de identificar las acciones prioritarias requeridas para mantener los recursos natu-

rales y los medios de vida afectados por las sequías recurrentes. Algunas herramientas de facilitación utilizadas durante los talleres participativos fueron “calendario de actividades”, “árbol de problemas”, “matriz de evaluación de recursos”, “mapeo de actores”, “identificación de soluciones” y “mapeo participativo” (Reyes-Hernández *et al.*, 2022; Reyes-Hernández *et al.*, 2013; Geilfus, 2009).

De manera complementaria, se aplicaron entrevistas a profundidad a tres técnicos agroecológicos de la región, del Programa Producción para el Bienestar de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Las entrevistas a profundidad arrojaron luz sobre las estrategias, acciones y medidas implementadas por parte de las instituciones, así como la respuesta de los productores para incorporar innovaciones en sus sistemas de producción.

La información proveniente de las entrevistas semiestructuradas fue capturada en una tabla de Excel, en donde se analizaron las similitudes y diferencias. La información de los talleres participativos fue sistematizada, presentada y discutida con los asistentes a los talleres con quienes se definieron las acciones prioritarias de forma participativa (Brauer *et al.*, 2024; Vázquez-Villa *et al.*, 2020). Finalmente, la observación participante y los recorridos de campo en el área de estudio permitieron complementar y contrastar la información proporcionada por los entrevistados.

## RESULTADOS

### Atributos de la sequía

La duración promedio de las sequías, en las tres escalas de tiempo, fue comparativamente más larga en el suroeste de la Huasteca y en el norte de la región Media (Figura 2). En la escala de tiempo de 3 meses, se detectaron sequías comparativamente más largas en el noreste de la Huasteca (Ébano, Tamuín y San Vicente), que comprende parte de la Llanura Costera del Golfo. En la temporalidad de tres y seis meses, municipios como Ciudad del Maíz (norte de la región Media) y Xilitla (sur de la Huasteca), presentaron en promedio, las sequías más largas. La distribución de la severidad prome-

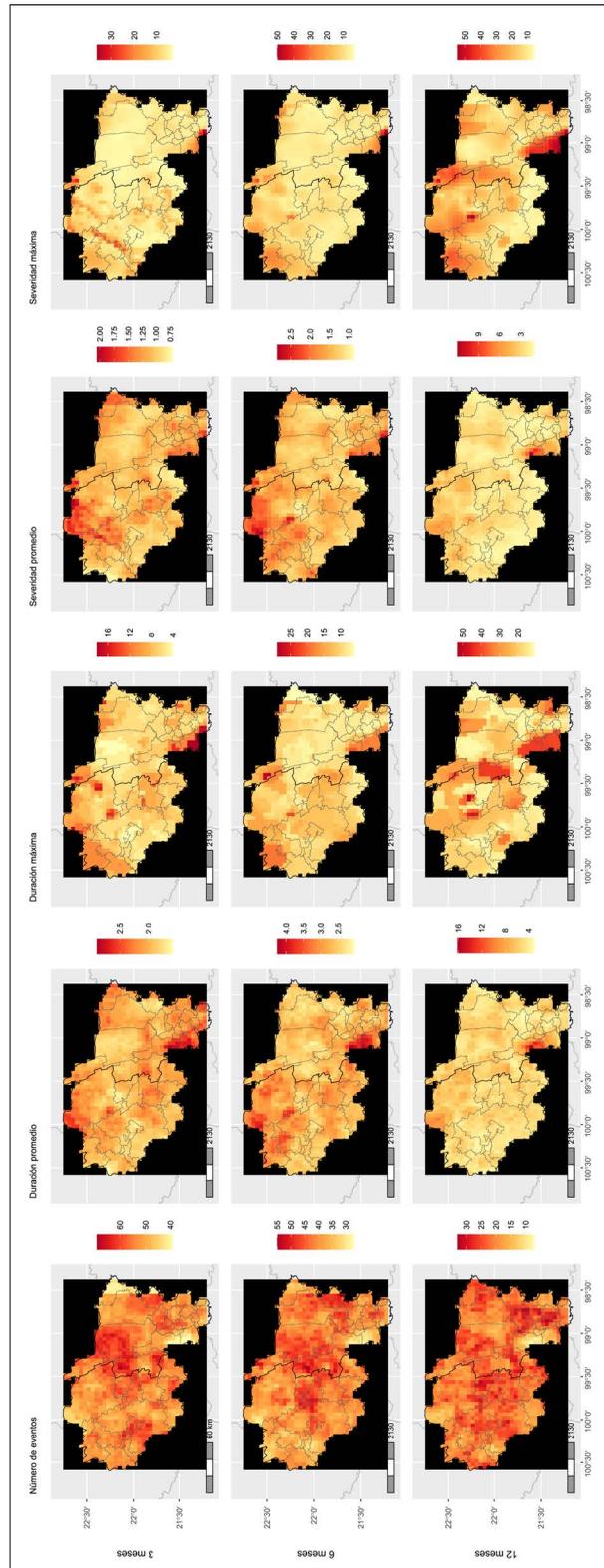


Figura 2. Número de eventos de sequía, valores promedio y máximos de duración y severidad en escalas de tiempo de tres, seis y doce meses (i. e., basado en los valores de SPI-3, SPI-6 y SPI-12). Fuente: elaboración propia.

dio de la sequía siguió patrones espaciales similares a los de la duración promedio (Figura 2), lo que significa que las sequías más prolongadas tendieron a resultar en sequías más severas.

Las sequías más largas y severas se presentan en el suroeste y noreste de la Huasteca y en el centro-norte de la región Media. Los valores máximos de duración y severidad para la escala de tiempo de doce meses se observan en una franja de la región Huasteca, que va de sur a norte siguiendo la misma orientación de la Sierra Madre Oriental, con mayor ocurrencia de eventos secos, en comparación con la región Media. En general, las áreas con menores eventos de sequía coinciden con aquellas con eventos de mayor duración y severidad (Figura 2).

Los municipios afectados por periodos de sequía más largos y severos fueron: Ciudad del Maíz, Rioverde, Villa Juárez y Cerritos (región Media); Xilitla, Huehuetlán, Aquismón, Tamasopo, El Naranjo, Tamuín y Ébano (región Huasteca). Los mayores eventos se presentaron en: Alaquines, Cárdenas, Rayón, Lagunillas y Santa Catarina (región Media); Ciudad Valles, Tamasopo, San Vicente Tancuayalab, Tanlajás, San Antonio, Tampamolón Corona, Axtla de Terrazas y Tampacán (región Huasteca).

### **Duración y severidad de la sequía para diferentes períodos de retorno**

La duración de la sequía aumentó con períodos de retorno más largos en las diferentes escalas de tiempo. En la escala de tres meses, se observaron sequías más prolongadas en la mayor parte de las regiones, sin embargo, el norte de la región Media, suroeste y noreste de la Huasteca muestran mayor peligro a sequías prolongadas. Los patrones espaciales en la duración de la sequía resultaron similares en las escalas de tiempo de tres y seis meses. En la escala temporal de doce meses, la porción suroeste de la región Huasteca es más susceptible a experimentar sequías prolongadas (Figura 3).

En todas las escalas de tiempo y periodos de retorno, las sequías más prolongadas se asociaron con sequías más severas principalmente en el norte de la región Media y suroeste de la Huasteca (Figura 4). Esto significa que las sequías de mayor duración estarían asociadas a sequías más severas y viceversa.

### **Probabilidad conjunta de la duración y severidad de la sequía**

Los coeficientes de correlación de Kendall confirmaron una relación positiva entre la duración y la severidad de la sequía en las diferentes escalas de tiempo, con un nivel de significancia de  $p < 0.05$ . Los valores de correlación píxel por píxel variaron entre 0.45 y 0.95, siendo mayor la correlación al incrementar la escala de tiempo considerada ( $3 < 6 < 12$  meses).

La Figura 5 muestra la variación espacial en la distribución de la probabilidad conjunta ( $P$ ) de la duración y severidad de la sequía en las diferentes escalas de tiempo y períodos de retorno. En todos los casos se presentan valores de  $P$  comparativamente mayores en el norte de la región Media y en el suroeste de la Huasteca, lo que significa que dichas áreas tienen mayor probabilidad de experimentar sequías más prolongadas y severas.

En la escala de tiempo de tres meses, la porción central de la región Media, sur y noreste de la Huasteca, presentan valores de  $P$  relativamente altos. En la escala de tiempo de doce meses, el peligro de sequía más alto se presenta en los municipios de Xilitla, Huehuetlán y Aquismón (Huasteca) y Ciudad del Maíz (Media). Lo anterior es consistente con los resultados obtenidos a partir del análisis univariado.

Las áreas con mayor peligro de sequía concentran entre 218 (escala de tiempo de tres meses y periodo de retorno de 5 años) y 31 localidades (escala de tiempo de doce meses y periodo de retorno de 100 años) de los municipios anteriormente señalados (Figura 5). En dichas localidades se estima que 146 211 habitantes han sido y podrían ser afectados por este fenómeno en el futuro.

### **Percepción del fenómeno de la sequía en las comunidades**

Las comunidades de Lejem, Tanchahuil y Xolol se localizan en una microrregión denominada Sierras cítricas piloncilleras de la Huasteca, caracterizada por un paisaje dominado por lomeríos y terrenos ondulados situados a una elevación promedio de 400 m, interrumpidos por algunos valles intermontanos. No cuentan con cuerpos de agua permanente y la mayoría de los ríos y arroyos son intermitentes,

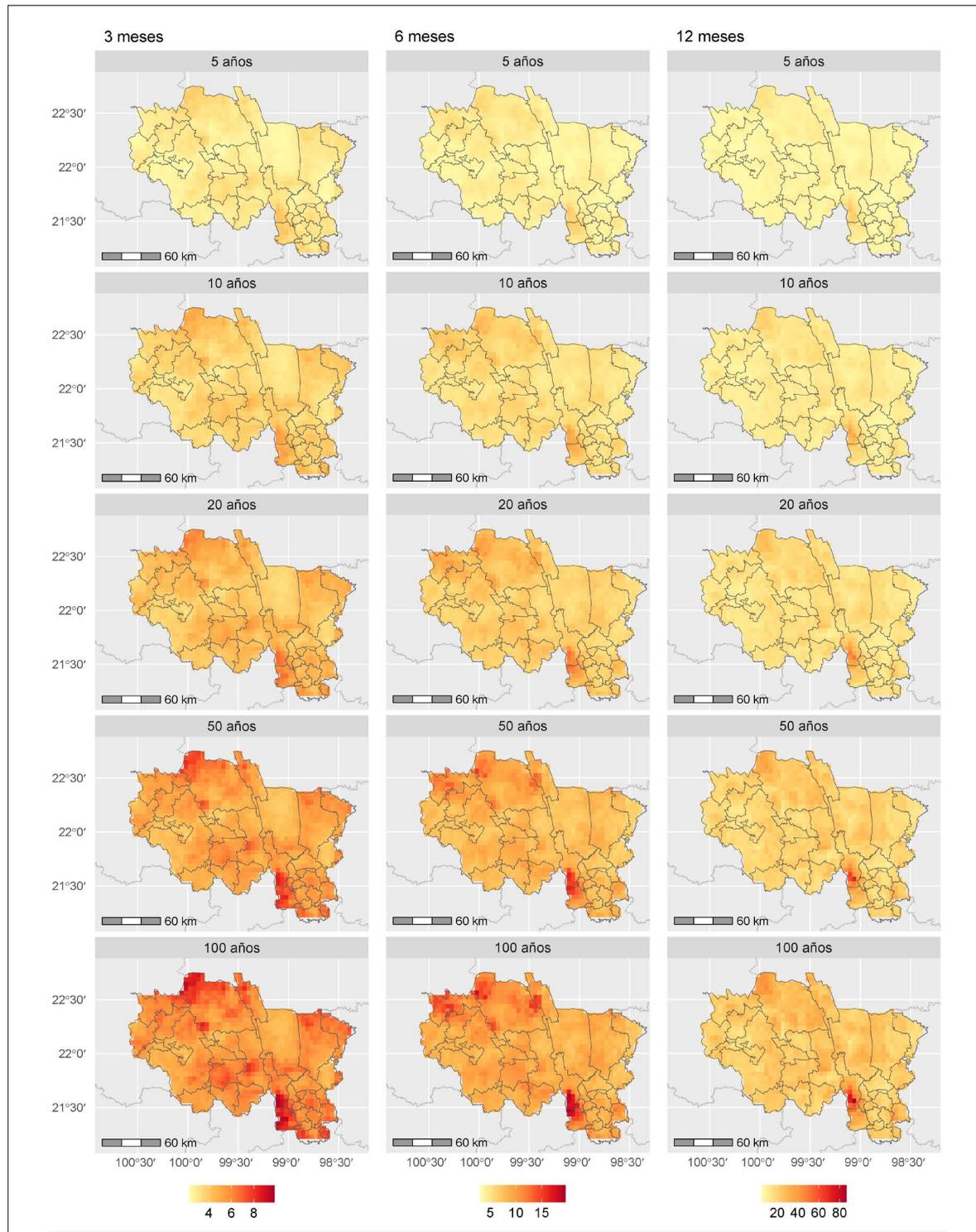


Figura 3. Distribución espacial de la duración de la sequía en escalas de tiempo de tres, seis y doce meses (i.e. basado en los valores de SPI-3, SPI-6 y SPI-12) con períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años. Fuente: elaboración propia.

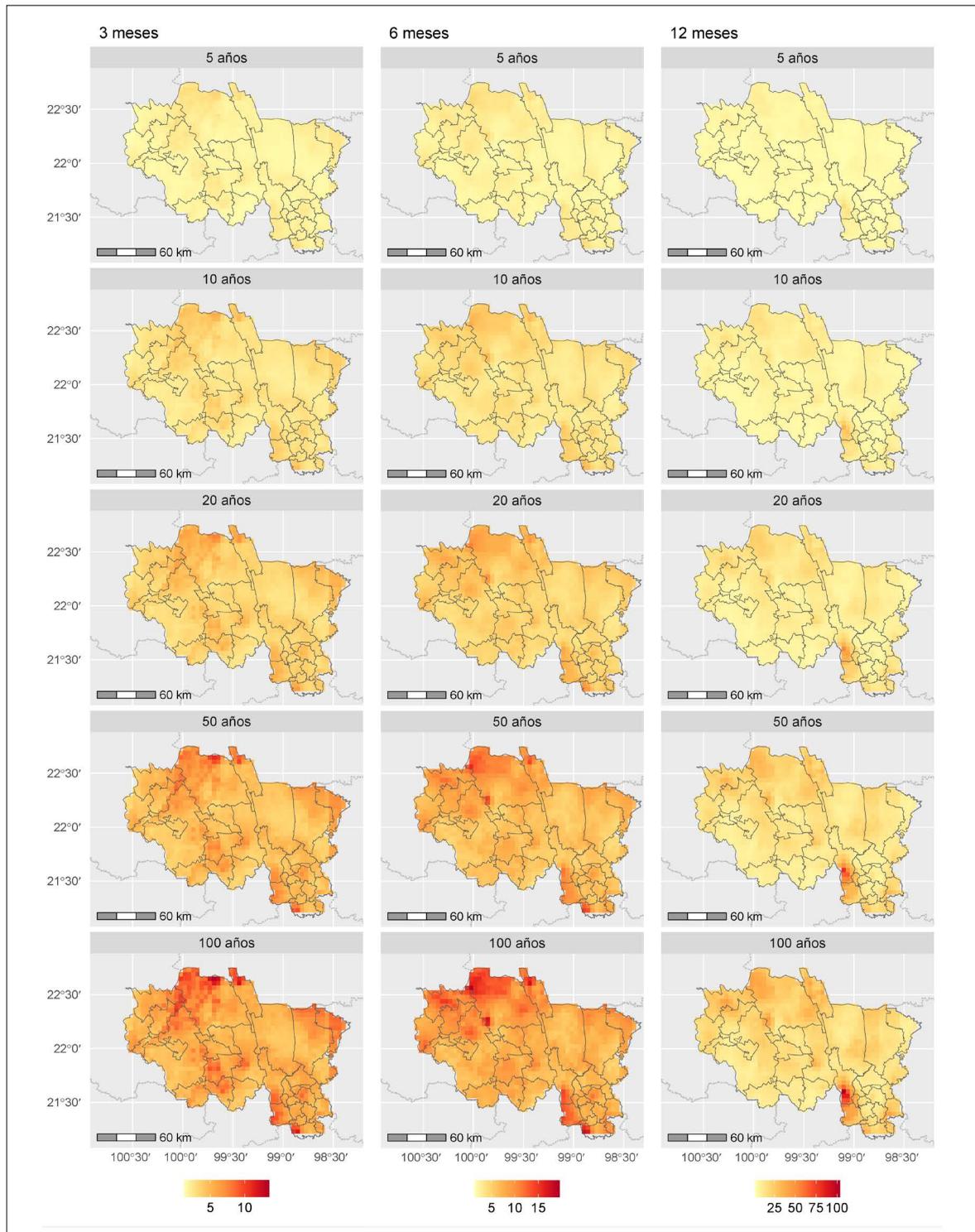


Figura 4. Distribución espacial de la severidad de la sequía en escalas de tiempo de tres, seis y doce meses (i.e. basado en los valores de SPI-3, SPI-6 y SPI-12) con períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años. Fuente: elaboración propia.

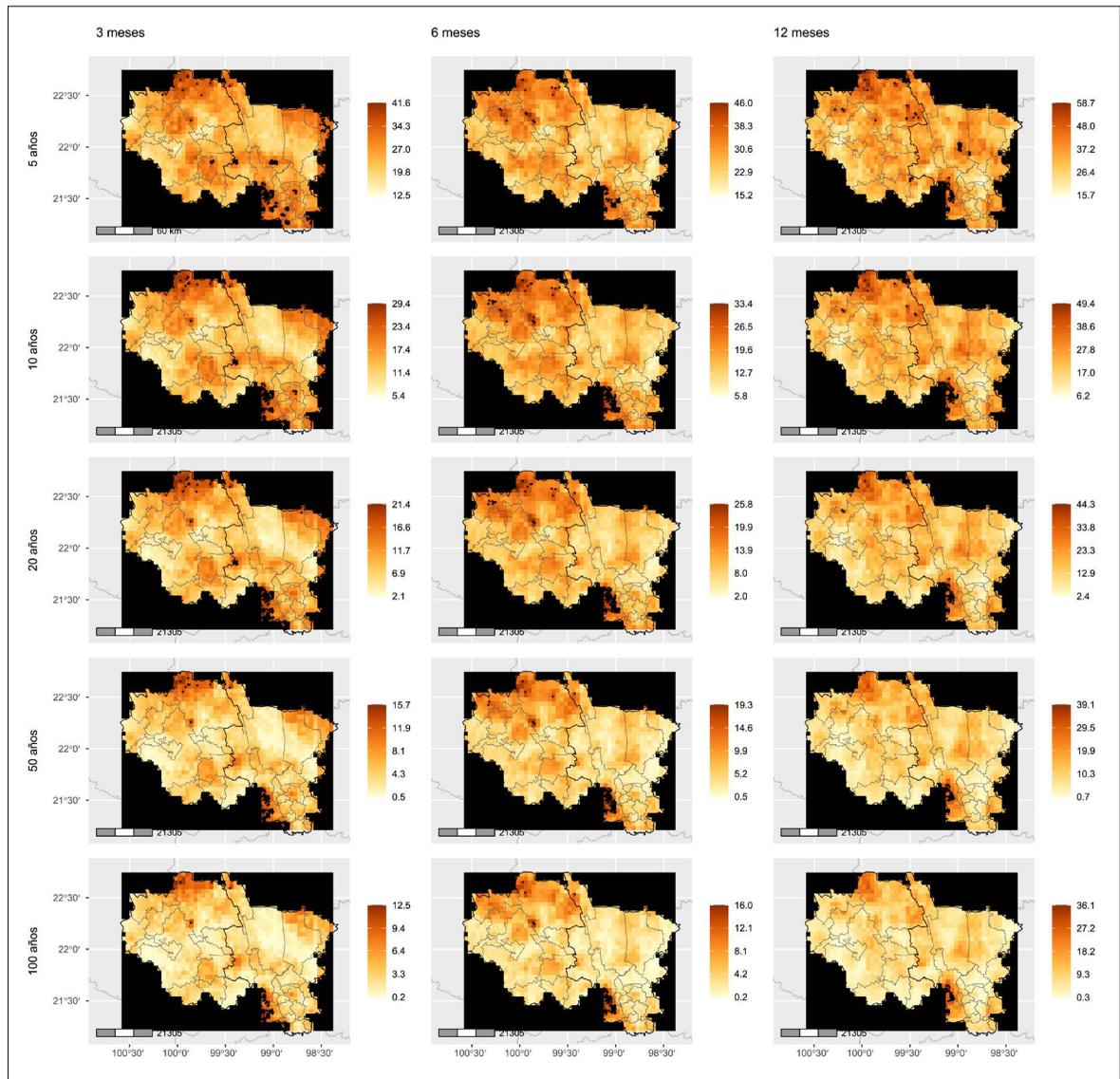


Figura 5. Probabilidad conjunta (%) de la duración y severidad de la sequía en escalas de tiempo de tres, seis y doce meses con períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años. Los umbrales  $d$  y  $s$  se derivan de la duración y severidad de la sequía estimada para los períodos de retorno correspondientes. Los puntos negros corresponden a las localidades situadas en las áreas con mayor peligro de sequía (áreas con valores de probabilidad ubicados en el último cuarto del rango de valores). Fuente: elaboración propia.

razón por la cual los sistemas de producción –milpa y cultivo de caña de azúcar para piloncillo– son de secano. Aunque otras actividades económicas se hacen presente, mantienen una producción menor. La mayoría de los habitantes son indígenas de la etnia tének.

Los productores perciben diferentes alteraciones climáticas que impactan significativamente los sistemas de producción local, en lo cual coinciden los técnicos y las autoridades locales. Aunque los habitantes desconocen las implicaciones del cambio climático, admiten que en los últimos años

—particularmente desde 2016— se han producido anomalías climáticas que antes no eran comunes, destacando: el aumento de la temperatura y la modificación en los regímenes de precipitación. En sus palabras, “*la temporada de lluvias está llegando más tarde y la cantidad e intensidad de las precipitaciones están disminuyendo*”. Los entrevistados afirman que ahora se presentan meses con mayores temperaturas y meses con menores precipitaciones. Usualmente la temporada de lluvia incluía los meses de abril, mayo y octubre, misma que ha cambiado gradualmente. En el Anexo 1 se presenta una síntesis de la información derivada de las entrevistas con respecto a la sequía.

Estas distorsiones han impactado negativamente sus medios de vida. Los productores admiten que la falta de lluvias y las altas temperaturas afectan gravemente los cultivos, debido a que las tierras de labor *se secan más rápido de lo habitual*. Las afectaciones en el cultivo de la caña de azúcar asociadas a la sequía incluyen: disminución de la altura del tallo, aparición —y un aumento gradual— de nuevas plagas, menor rendimiento del cultivo y, menor calidad del jugo de caña. En particular la disminución de calidad y cantidad del jugo de caña es un factor crítico ya que es la materia prima esencial para elaborar el piloncillo granulado y de mancuerna. Los productores temen que estos problemas empeoren en el futuro y la producción de piloncillo continúe disminuyendo debido a la dependencia total de las lluvias. Esta situación representa una potencial amenaza a su seguridad y los medios de vida de los cuales dependen.

Al cuestionárseles sobre las acciones que han implementado para hacer frente a esta situación, la mayoría de los entrevistados reconocen no haber tomado las medidas suficientes para prevenir y responder efectivamente a los eventos de sequía. Durante los talleres y los recorridos de campo se constató la implementación de diferentes técnicas para mitigar la sequía, algunas de ellas sugeridas por los técnicos agroecológicos.

Es común, por ejemplo, cubrir el suelo con hojarasca o residuos de la caña para aumentar la retención de humedad en el suelo. Atar o envolver manojos de malezas o tallos y colocarlos entre cada surco de forma espaciadas —localmente conocido

como engavillado— es otra de las acciones implementadas. Esta técnica se emplea para disminuir la pérdida de suelo, evitar la erosión y conservar mejor la humedad. Otros agricultores han optado por realizar excavaciones poco profundas “similar a una microcuenca” en las partes bajas de los terrenos para cultivar en esos espacios, esta hondonada permite captar mayores escorrentías y mantener por más tiempo la humedad del suelo.

Intercalar cultivos (árboles frutales y cultivos anuales) les permite aprovechar las bondades que cada especie aporta, reduce la dependencia de una sola especie y disminuye la pérdida de los cultivos más sensibles a la sequía. La incorporación de la piña, por ejemplo, actúa como barrera y atenúa las altas temperaturas cuando se intercala con otros cultivos. El cultivo en franjas en lugar de la siembra en surcos tradicionales en combinación con el engavillado les permite aprovechar de mejor forma las escorrentías, conservar la humedad en el cultivo y reducir los efectos de la erosión.

En los hogares una de las medidas más comunes es la captación de agua de lluvia, para ello en los techos de lámina de dos aguas, se conectan tuberías a los costados para conducir el agua pluvial hacia tanques de ferrocemento construidos *expro-feso*. El agua colectada se emplea principalmente para el uso doméstico: lavar ropa, regar plantas y limpieza del hogar. Algunos habitantes también aprovechan el agua de lluvia para sumergir las plantas cuando se encuentran en el proceso de germinación, por cinco minutos cada tres días, para lograr la saturación de humedad y favorecer su crecimiento. Los habitantes no descartan realizar otras actividades en caso de que las actividades agrícolas se volvieran incosteables a causa de la sequía e incluso migrar a las principales ciudades como San Luis Potosí, Ciudad Valles, Monterrey o Estados Unidos.

Estas y otras medidas implementadas responden a la necesidad de adaptarse a este nuevo entorno y mantener a flote sus medios de vida. No obstante, la mayoría de las acciones fueron insuficientes para reducir los impactos de la grave sequía que azotó la región entre 2023 y el primer semestre de 2024. De acuerdo con la información proporcionada por los entrevistados, más del 90% de los productores de

la región perdieron sus cultivos de caña de azúcar y de granos básicos a causa de la sequía.

## DISCUSIÓN

Las sequías son fenómenos que forman parte de la variabilidad natural del clima. Su ocurrencia en las zonas Media y Huasteca se relaciona con diversos eventos meteorológicos que operan a diferentes escalas espaciales y temporales. Por ejemplo, las condiciones geográficas y topográficas relacionadas con una zona de planicie situada a menos de 100 m sobre el nivel del mar (Tamuín, Ébano y San Vicente), contrastan, con la accidentada fisonomía de la Sierra Madre Oriental que alcanza hasta los 2800 m altitud (Xilitla), y explican las variaciones climáticas con cambios en distancias relativamente cortas en el área de estudio (Figura 1) (Vidal-Zepeda, 2005).

Regionalmente, existen dos gradientes de precipitación (INEGI, 2002). El primero está asociado con la posición geográfica que va de sur a norte (mayor a menor precipitación). El segundo disminuye de este a oeste y se asocia a la presencia de las masas de aire húmedo provenientes del Golfo de México que ascienden por los diferentes pisos altitudinales que conforman la región Huasteca. A medida que se alejan de la costa, estas masas de aire pierden temperatura y humedad debido al ascenso adiabático y al efecto de sombra orográfica generado por la Sierra Madre Oriental (Ruiz-Barradas *et al.*, 2010). Lo anterior explica las marcadas diferencias en términos de precipitación entre algunos municipios situados en la región Media (Ciudad del Maíz) y la Huasteca (El Naranja) (Figura 1).

La región Media, a sotavento de la Sierra Madre Oriental, es naturalmente una región más seca, con menores precipitaciones, donde el peligro de sequía meteorológica se incrementa en comparación con la región Huasteca. Sin embargo, en la región Huasteca la sequía también es un fenómeno que ocurre con cierta periodicidad, si bien la precipitación es abundante, ésta se concentra en los meses de junio a septiembre, presentándose períodos de sequía entre enero y abril y en los meses de julio a agosto debido a la sequía intraestival o canícula (Algara-Siller *et al.*, 2009; Pineda *et al.*, 2007; Vidal-Zepeda, 2005).

Estos periodos secos pueden prolongarse por influencia de otros fenómenos que operan a escalas globales, como las anomalías de El Niño y La Niña, tal como ocurre en otras regiones de México y el mundo (Mendez y Magaña, 2009). La oscilación de Madden-Julian es otro fenómeno modulador de la sequía en México (Maloney y Hartmann, 2000; Perdigón-Morales *et al.*, 2021). En particular, las sequías extremas y excepcionales registradas en los últimos años en el área de estudio han estado influidas por la presencia de El Niño, aunado a fases no activas de la Oscilación Madden-Julian y una menor actividad ciclónica (CONADESUCA, 2022; 2023).

De manera consistente, los resultados del análisis bivariado, para diferentes escalas de tiempo (tres, seis y doce meses) y periodos de retorno (cinco, diez, 20, 50 y 100 años), muestran que tanto las áreas con menores precipitaciones en la porción norte de la región Media, como las áreas más lluviosas al suroeste de la Huasteca, tienen mayor probabilidad de experimentar sequías prolongadas y severas. A menor escala de tiempo (tres meses), la sequía afecta en mayor grado a los municipios de la porción noreste de la planicie Huasteca (Tamuín, Ébano y San Vicente). En las escalas de seis y doce meses el peligro de sequía es también comparativamente alto en la porción centro y norte de dicha región. Ambos resultados coinciden parcialmente con otros trabajos, basados en el análisis univariado de la severidad de la sequía (Algara-Siller y Contreras, 2009; Algara-Siller *et al.*, 2009). Si bien el análisis univariado coincide en la importancia de la severidad de la sequía en la planicie Huasteca, —una de las áreas que registró el mayor número de eventos de sequía— el análisis combinado de la severidad y duración permitió identificar áreas al suroeste de la Huasteca con mayor riesgo de experimentar eventos de sequía más prolongados y severos.

Los cambios observados hasta ahora y los escenarios climáticos proyectados impactarán sin duda, a los ecosistemas, a sus poblaciones y a los grupos humanos. Sin embargo, su distribución geográfica y los escenarios regionales son aún bastante inciertos (Tompkins y Adger, 2004; Nelson *et al.*, 2010). Dichas alteraciones climáticas traerán oportunidades para algunas habitantes y, al mismo

tiempo, incrementarán la vulnerabilidad de otros lo que contribuiría al deterioro del tejido social, especialmente para los sectores más marginados de la población (Fierros y Ávila-Foucat, 2017; Morales-Casco y Zúñiga-González, 2016).

En la Huasteca, por ejemplo, dos de los municipios con el mayor peligro de sequía (Xilitla, Aquismón), registran los niveles de marginación y pobreza más altos del estado (CONAPO, 2023), lo que aumenta la vulnerabilidad de sus habitantes ante este fenómeno. En la región Media las áreas con mayor densidad de población –donde se concentra el 60% de la población– corresponden a municipios que presentaron las sequías más prolongadas y severas (Rioverde, Cerritos), con todo lo que esto implica para sus habitantes y sus principales medios de vida (Farías, 2022).

El comportamiento histórico del índice SPI durante las últimas décadas confirma que las tres localidades estudiadas han experimentado sequías más recurrentes y periodos húmedos más cortos y de menor intensidad. Lo anterior coincide con la percepción de los entrevistados quienes afirman que el régimen de precipitación se ha modificado y se están presentando meses con menores precipitaciones. Los habitantes de las comunidades estudiadas reconocen que los impactos de las sequías son cada vez más visibles y sus afectaciones van en aumento, debido a que los sistemas agrícolas son altamente sensibles y dependientes de las precipitaciones. En la Huasteca, además de las afectaciones en la producción de la caña de azúcar, Martínez-Torres y Santacruz de León (2023), reportan efectos adversos ocasionados por la sequía en el cultivo del café. Mientras que, en la región Media, el abandono de las tierras cultivables a causa de la sequía es un denominador común en varias comunidades (Farías, 2022).

Entre 2022 y 2024, México enfrentó una de las sequías de mayor duración y severidad en su historia (SMN, 2024). Estudios e informes oficiales (Bitrán-Bitrán *et al.*, 2002; 2003; 2004; Mendez y Magaña, 2009; SEMARNAT, 2012; Ortiz-Gómez *et al.*, 2018; Banco de México, 2022; SMN, 2024) advierten que las áreas afectadas por la sequía en varios estados del país –incluido San Luis Potosí– tienden a incrementarse y crece el número de mu-

nicipios con afectaciones, aún en las regiones más húmedas, tal y como ocurre en algunos municipios de la Huasteca potosina.

En México, ante la incertidumbre y las implicaciones que tendría la sequía en los medios de vida de las poblaciones, se requiere trabajar en medidas de adaptación y mitigación basadas en los escenarios previstos (INECC, 2019), además de priorizar la ejecución de acciones de adaptación entre territorios diferenciadamente vulnerables. La incidencia y progresión de la sequía presentan una amenaza para los sistemas ecológicos y la seguridad alimentaria en la región. Predecir la sequía en el futuro es una tarea crucial y una base para planificar estrategias de gestión del riesgo de sequía (Tabari y Willems, 2022; Won *et al.*, 2020). En este contexto –y lo que se vislumbra hacia el futuro–, la reducción del riesgo, la adaptación y la preparación para enfrentar sequías recurrentes y cada vez más severas, son tareas que demandan una aproximación transdisciplinaria y participación activa de los actores locales (Brauer *et al.*, 2024; Reyes-Hernández *et al.*, 2022).

## CONCLUSIONES

En el estado de San Luis Potosí la sequía es un fenómeno recurrente que afecta cada vez mayor superficie y aumenta el número de municipios afectados, aún en las áreas consideradas como las más húmedas del estado potosino. La severidad de la sequía está fuertemente correlacionada con la duración de la sequía, como quedó demostrado en el análisis de probabilidad de ocurrencia conjunta. En las regiones Media y Huasteca un total de once municipios presentaron las sequías más prolongadas y severas. En la escala de tiempo de doce meses, el peligro de sequía más alto corresponde a los municipios de Xilitla, Huehuetlán, Aquismón y Ciudad del Maíz. Los análisis desarrollados sugieren que el norte de la región Media y suroeste de la Huasteca son las zonas con mayor probabilidad de experimentar sequías prolongadas y severas. A escala local, los habitantes de las comunidades reconocen un incremento en los eventos de sequía, así como el aumento en sus afectaciones. El 90%

de los productores confirma que existe un cambio en los patrones de lluvia particularmente desde 2016. Reconocen que en los últimos años se han producido anomalías climáticas que antes no eran comunes. Como respuesta han implementado diferentes medidas de adaptación para salvaguardar sus medios de vida principalmente en la agricultura, sin embargo, las medidas implementadas hasta ahora parecen ser insuficientes. Los impactos asociados a la sequía son graves debido a que sus medios de vida son altamente sensibles y dependientes de las precipitaciones. La combinación de acercamientos metodológicos permite una complementariedad en la generación de nuevos conocimientos en torno a los patrones regionales de la sequía, con la forma en que las comunidades padecen, perciben, interpretan y conviven con estos eventos meteorológicos y climáticos.

## AGRADECIMIENTOS

A los habitantes de las comunidades de Lejem, Tanchahuil y Xolol, así como al Ing. Florencio, técnico agroecológico de la región, por proveer la valiosa información para esta investigación. Al CONAHCYT por el financiamiento otorgado a través del proyecto: Adaptación al cambio climático en comunidades rurales. Una aproximación desde la gobernanza ambiental (FOP16-2021-01-320575).

## REFERENCIAS

Algara-Siller, M. y Contreras-Servín, C. (2009). Drought and Climate Change on the Huasteca Region in the State of San Luis Potosi, Mexico. En M. Theophanides y T. Thephanides (Eds.), *Environmental Engineering and Management* (pp. 285-299). Athens Institute for Education and Research.

Algara-Siller, M., Contreras-Servín, C., Galindo-Mendoza, G. y Mejía-Saavedra, J. J. (2009). Implicaciones territoriales del fenómeno de la sequía en la Huasteca Potosina. *Espaciotiempo*, (4), 56-67.

Ayantobo, O. O., Li, Y. y Song, S. (2019). Multivariate drought frequency analysis using four-variate symmetric and asymmetric Archimedean Copula functions. *Water Resources and Management*, (33), 103-127. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2090-6>

Banco de México. (2022). Sequía en México y su potencial impacto en la actividad económica. *Informe trimestral abril-junio 2022*. Banxico.

Bitrán-Bitrán, D., Jiménez-Espinosa, M., Eslava-Morales, H., Salas-Salinas, M. A., Vázquez-Conde, M. T., Matías-Ramírez, L. G., Camacho-Quintana, K. S. y Acosta-Colsa, L. (2001). *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2000*. Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred).

Bitrán-Bitrán, D., Acosta-Colsa, L., Eslava-Morales, H., Gutiérrez-Martínez, C., Salas-Salinas, M. A. y Vázquez-Conde, M. T. (2002). *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2001*. Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred).

Bitrán-Bitrán, D., Domínguez-Morales, L., Fuentes-Mariles, O., García-Arróliga, N., Jiménez-Espinosa, M., López-Bátiz, O., Matías-Ramírez, L. G., Reyes-Salinas, C., Salas-Salinas, M. A. y Zpeda-Ramos, O. (2003). *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2002*. Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred).

Bitrán-Bitrán, D., Arróliga, N. y Cambranis, R. (2004). *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la república mexicana en el año 2003*. Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred).

Bonaccorso, B., Cancelliere, A. y Rossi, G. (2003). An analytical formulation of return period of drought severity. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, (17), 157-174. <https://doi.org/10.1007/s00477-003-0127-7>

Bostan, P. (2017). Basic Kriging Methods in Geostatistics. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 27(1), 10-20. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.305093>

Brauer, C., Trinidad-García, K. L., Parra-Rodriguez, O., y Reyes-Hernández, H. (2024). Sustainable vanilla pod dryer for small scale producers based on a participatory learning process. *Energy for sustainable development*, (78), 101366. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.101366>

Cancelliere, A., DiMauro, G., Bonaccorso, B. y Rossi, G. (2007). Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. *Water Resource Management*, (21), 801-819. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9062-y>

Castellano-Bahena, H. V. y Ortega-Gaucin, D. (2022). Marco conceptual y metodológico del riesgo por sequía y sus componentes: amenaza, exposición y

- vulnerabilidad. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 13(2), 1-84. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2022-02-01>
- Cavus, Y., Stahl, K. y Aksoy, H. (2023). Drought intensity–duration–frequency curves based on deficit in precipitation and streamflow for water resources management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(18), 3427-3445. <https://doi.org/10.5194/hess-27-3427-2023>
- Cheval, S. (2015). The Standardized Precipitation Index – an overview. *Romanian Journal of Meteorology*, 12(1-2), 17-64.
- CONADESUCA. (2022). Perspectiva climatológica: Informes mensuales 2022. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. Disponible en: <https://www.gob.mx/conadesuca/documentos/pronosticos-climatologicos?state=published>
- CONADESUCA. (2023). Perspectiva climatológica: Informes mensuales 2023. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. Disponible en: <https://www.gob.mx/conadesuca/documentos/pronosticos-climatologicos?state=published>
- CONAGUA. (2019). Sistema de Información Hidrológica. Disponible en: <https://sih.conagua.gob.mx/> (Consultado en julio de 2023).
- CONAPO. (2023). Índices de marginación 2020. Consejo Nacional de Población. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/848423/Indices\\_Coleccion\\_280623\\_entymun-p\\_ginas-1-153.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/848423/Indices_Coleccion_280623_entymun-p_ginas-1-153.pdf)
- Delignette-Muller, M. L. y Dutang, C. (2015). fitdistrplus: An R Package for Fitting Distributions. *Journal of Statistical Software*, 64(4), 1-34. <https://doi.org/10.18637/jss.v064.i04>
- Demarta, S., y McNeil, A. J. (2005). The t copula and related copulas. *International Statistical Review*, 73(1), 111–129. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2005.tb00254.x>
- DOF. (2023). Ley General de Protección Civil (LGPC). Última reforma publicada 21-12-2023. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC.pdf>
- Feng, L., Moritz, S., Nowak, G., Welsh, A. H. y O'Neill, T. J. (2020). *imputeR: A General Multivariate Imputation Framework*. R package version 2.2, <https://CRAN.R-project.org/package=imputeR>
- Fierros, I. y Ávila-Foucat, V. S. (2017). Medios de vida sustentables y contexto de vulnerabilidad de los hogares rurales de México. *Problemas del desarrollo*, 48(191), 107-131. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2017.191.58747>
- Geilfus, F. (2009). 80 herramientas para el desarrollo participativo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/4129>
- Genest, C., y Mackay, J. (1986). The joy of copulas: bivariate distributions with uniform marginals. *The American Statistician*, 40(4), 280-283. <https://doi.org/10.1080/00031305.1986.10475414>
- Halwatura, D., Lechner, A. M. y Arnold, S. (2015). Drought severity–duration–frequency curves: a foundation for risk assessment and planning tool for ecosystem establishment in post-mining landscapes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 1069–1091. <https://doi.org/10.5194/hess-19-1069-2015>
- Hao, Z., Hao, F., Singh, V. P., Ouyang, W. y Cheng, H. (2017). An integrated package for drought monitoring, prediction and analysis to aid drought modeling and assessment. *Environmental Modelling & Software*, (91), 199-209. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.02.008>
- Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N. y Widhalm, M. (2011). The Lincoln declaration on drought indices: Universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, (92), 485-488. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3103.1>
- Hofert, M., Kojadinovic, I., Mächler, M. y Yan, J. (2018). *Elements of Copula Modeling with R*. Springer Nature Switzerland AG.
- INECC. (2019). Criteria for monitoring and evaluation of climate change adaptation measures. Technical Note. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- INEGI. (2002). *Síntesis de información geográfica del estado de San Luis Potosí*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2020a). *Censo de población y vivienda 2020*. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INEGI. (2020b). Marco geoestadístico. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/>
- Kendall, M. G. (1938). A new measure of rank correlation. *Biometrika*, (30), 81-93. <https://doi.org/10.1007/s00362-011-0423-0>
- Li, M., Wang, G., Zong, S. y Chai, X. (2023). Copula-Based Assessment and Regionalization of Drought Risk in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4074. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054074>
- Lins da Rocha, R., dos Santos-Silva, F. D., Lisboa-Costa, R., Barros-Gomes, H., Cavalcante-Pinto, D. D. y Herdies, D. L. (2020). Bivariate assessment of drought return periods and frequency in Brazilian northeast using joint distribution by copula method. *Geosciences*, 10(4), 135. <https://doi.org/10.3390/geosciences10040135>
- Ma, M., Zang, H., Wang, W., Cui, H., Sun, Y. y Cheng, Y. (2023). Copula-based severity–duration–frequency (SDF) analysis of streamflow drought in the source area of the Yellow river, China. *Water*, 15(15), 2741. <https://doi.org/10.3390/w15152741>

- Maloney, E. D. y Hartmann, D. L. (2000). Modulation of Hurricane Activity in the Gulf of Mexico by the Madden-Julian Oscillation. *Science*, 287(5460), 2002-2004. <https://doi.org/10.1126/science.287.5460.2002>
- Martínez-Torres, N. A. y Santacruz de León, G. (2023). Sequía y producción de café: percepción campesina en la Huasteca Potosina. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 11(25). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2023.25.84264>
- Masud, M., Khaliq, M. y Wheeler, H. (2015). Analysis of meteorological droughts for the Saskatchewan River Basin using univariate and bivariate approaches. *Journal of Hydrology*, (522), 452-466. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.058>
- McKee, T. B., Doesken, N. J. y Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (pp. 179-184). Anaheim.
- Méndez, M. y Magaña, V. (2010). Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 23(5), 1175-1188.
- Mirabbasi, R., Fakheri-Fard, A. y Dinpashoh, Y. (2012). Bivariate drought frequency analysis using the copula method. *Theoretical and Applied Climatology*, (108), 191-206. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0524-7>
- Mishra, A. K. y Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Mishra, A. K. y Singh, V. P. (2011) Drought modeling: a review. *Journal of Hydrology*, 403(1-2), 157-175. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.049>
- Morales-Casco, L. A. y Zúniga-González, C. A. (2016). Impactos del cambio climático en la agricultura y seguridad alimentaria. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 2(1), 269-291. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v2i1.5700>
- Moss, J. (2019). univariateML: An R package for maximum likelihood estimation of univariate densities. *Journal of Open Source Software*, 4(44), 1863. <https://doi.org/10.21105/joss.01863>
- Nelson, E., Sander, H., Hawthorne, P., Conte, M. y Ennaanay, D. (2010). Projecting Global Land-Use Change and Its Effect on Ecosystem Service Provision and Biodiversity with Simple Models. *PLoS ONE*, 5(12): e14327. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014327>
- Ortega-Gaucin, D. y Velasco, I. (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. *Aqua-LAC*, 5(2), 78-90. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2013-v5-2-08>
- Ortega-Gaucin, D., de la Cruz Bartolón, J. y Castellano-Bahena, H. V. (2018). Peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en el contexto del cambio climático en México. En Lobato-Sánchez, R. y Pérez-Canales, A. A. (Eds.), *Agua y cambio climático* (pp. 78-103). IMTA.
- Ortiz-Gómez, R., Cardona-Díaz, J., Ortiz-Robles, F. y Alvarado-Medellin, P. (2018). Characterization of droughts by comparing three multiscale indices in Zacatecas, Mexico. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(3), 47-91. <https://doi.org/10.24850/jtyca-2018-03-03>
- Patel, N. R., Chopra, P. y Dadhwal, V. K. (2007). Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorological Applications*, 14(4), 329-336. <https://doi.org/10.1002/met.33>
- Perdigón-Morales, J., Romero-Centeno, R., Ordoñez, P., Nieto, R., Gimeno, L. y Barrett, B. S. (2021). Modulation of Hurricane Activity in the Gulf of Mexico by the Madden-Julian Oscillation. *Atmospheric Research*, (248), 105243. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105243>
- Pineda, L. F., Carbajal, N. y Medina, E. (2007). Regionalization and classification of bioclimatic zones in the central-northeastern region of México using principal components analysis (PCA). *Atmósfera*, 20(2), 133-145.
- R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reyes-Hernández, H., Montoya, J. N., Martínez, J., Aguilar-Robledo, M. y Pérez, J. (2013). Metodologías participativas aplicadas al análisis de la deforestación del bosque de niebla en San Luis Potosí, México. *Bios et forêts des tropiques*, 318(4), 27-39. <https://doi.org/10.19182/bft2013.318.a20515>
- Reyes-Hernández, H., Silva-Flores, M. A., Muñoz-Robles, C. A. y Ortiz-Rodríguez, A. J. (2022). Strengthening environmental management and local planning in indigenous communities through hydrological connectivity analysis. Experiences from a tropical region of Mexico. *Human Ecology*, 50(4): 617-632. <https://doi.org/10.1007/s10745-022-00329-1>
- Ruiz-Barradas, A., Tejeda-Martínez, A., Miranda-Alonso, S. y Flores-Zamudio, R. H. (2010). Climatología. En E. Florescano y J. Ortiz-Escamilla (Coords.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz* (pp. 65-84). Gobierno del Estado de Veracruz, Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana, Universidad Veracruzana.
- SEMARNAT. (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas am-*

- bienciales, indicadores clave y de desempeño ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Shiau, J. T. (2006). Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas. *Water Resources Management*, (20), 795-815. <https://doi.org/10.1007/s11269-005-9008-9>
- Shiau, J. T., y Shen, H. W. (2001). Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(1), 30-40. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2001\)127:1\(30\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2001)127:1(30))
- Shiau, J. T. y Modarres, R. (2009). Copula-based drought severity-duration-frequency analysis in Iran. *Meteorological Applications*, 16(4), 481-489. <https://doi.org/10.1002/met.145>
- Sklar, A. (1959). *Fonctions de répartition à N dimensions et leurs marges*. Publications de l'Institut Statistique de l'Université de Paris, 8, 229-231. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4198458>
- Sklar, A. (1973). Random variables, joint distribution functions, and copulas. *Kybernetika*, (9), 449-460. <http://eudml.org/doc/28992>
- SMN. (2024) Monitor se sequía de Mexico. Servicio Meteorológico Nacional. Reporte del 31 de mayo de 2024. Acceso: julio de 2024. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- Spinoni, J., Naumann, G., Carrao, H., Barbosa, P. y Vogt, J. (2014). World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010. *International Journal of Climatology*, 34(8), 2792–2804. <https://doi.org/10.1002/joc.3875>
- Stein, A. y Corsten, L. C. A. (1991). Universal kriging and cokriging as a regression procedure. *Biometrics*, 47(2), 575-587. <https://doi.org/10.2307/2532147>
- Svoboda, M., Hayes, M. y Wood, D. A. (2012). *Standardized Precipitation Index user guide*. World Meteorological Organization.
- Tabari, H. y Willems, P. (2022). Trivariate analysis of changes in drought characteristics in the CMIP6 multi-model ensemble at global warming levels of 1.5, 2 and 3 °C. *Journal of Climate*, 35(18), 5823-5837. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0993.1>
- Tierney, N. y Cook, D. (2023). Expanding Tidy Data Principles to Facilitate Missing Data Exploration, Visualization and Assessment of Imputations. *Journal of Statistical Software*, 105(7), 1-31. <https://doi.org/10.18637/jss.v105.i07>
- Tompkins, E. y Adger, N. (2004). Does adaptive management of natural resources enhance resilience to climate change? *Ecology and Society*, 9(2), 10. <https://doi.org/10.5751/ES-00667-090210>
- UNCCD. (1996). Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación. Entrada en vigor 1996. Disponible en: <https://www.unccd.int/>
- Vaca-Pardo, L. N. y Reyes-Hernández, H. (2021). Conocimiento tradicional y preservación de la agrobiodiversidad. Los casos de la Trinidad, en México y Kokonuco, en Colombia. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 24(2), 1-14. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3416>
- Vázquez-Villa, B. M., Reyes-Hernández, H., Leija-Loredo, E. G., Rivera-González, J. G., y Morera-Beita, C. (2020). Environmental governance and conservation. Experiences in two natural protected areas of Mexico and Costa Rica. *Journal of Land Use Science*, 15(6): 707-720. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1817167>
- Vidal-Zepeda, R. (2005), *Las regiones climáticas de México*. Instituto de Geografía, UNAM.
- Wang, L., Zhang, X., Wang, S., Salahou, M. K. y Fang, Y. (2020). Analysis and application of drought characteristics based on theory of runs and copulas in Yunnan, Southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4654. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134654>
- Won, J., Choi, J., Lee, O., Park, M. J., y Kim, S. (2020). Two ways to quantify korean drought frequency: Partial duration series and bivariate exponential distribution, and application to climate change. *Atmosphere*, 11(5), 476. <https://doi.org/10.3390/atmos11050476>
- Yevjevich, V. (1967). An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. En *Hydrology Papers 23*. Colorado State University.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B. y Khan, F. I. (2011). A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19(1), 333-349. DOI: 10.1139/a11-013
- Zhang, D.-D., Yan, D.-H., Lu, F., Wang, Y.-C. y Feng, J. (2015). Copula-based risk assessment of drought in Yunnan province, China. *Natural Hazards*, (75), 2199-2220. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1419-6>
- Zimmerman, D., Pavlik, C., Ruggles, A. y Armstrong, M. P. (1999). An experimental comparison of ordinary and universal kriging and inverse distance weighting. *Mathematical Geology*, 31(4), 375-390. <https://doi.org/10.1023/A:1007586507433>

## ANEXO 1

Tabla resumen de las entrevistas aplicadas a productores de las localidades de Lejem, Tanchahuil y Xolol, San Antonio, San Luis Potosí, SLP (septiembre-octubre de 2023).

Percepción acerca del cambio climático/sequía y sus principales manifestaciones y efectos	Medidas o acciones implementadas para mitigar los efectos de la sequía	Medidas que podrían implementarse en un futuro para hacer frente a la sequía
<p>No conozco el concepto concreto de cambio climático, pero sí sé que en los últimos años existen anomalías climáticas que antes no eran habituales. Las más notorias e intensas han sido el aumento de la temperatura dentro de la región, y el decremento de lluvias por año. Las temporadas de lluvias han llegado a retrasarse y además ha disminuido la proporción y la intensidad de estas mismas. A todo el que le pregunte le dirá que “la temporada de lluvias está llegando más tarde y la cantidad de agua está disminuyendo”.</p> <p>Otros cambios que notamos son en las estaciones del año, las épocas de frío llegan más tarde y duran menos. El sol es más fuerte que no deja trabajar, ya no llueve como antes por lo menos desde hace 3 años y el calendario de siembra cambió mucho por falta de lluvia</p> <p>Estas anomalías nos traen consecuencias negativas para la producción de piloncillo. La escasez de lluvia y las altas temperaturas han afectado notoriamente al cultivo de la caña de azúcar, ya que el suelo en donde se cultiva la caña de azúcar llega a secarse más rápido de lo habitual, ocasionando una alteración negativa. Como ejemplo está la disminución de altura de la caña. Antes llegaba a medir de entre 4 a 5 metros de alto y en los últimos años se ha reducido a 3 metros en promedio. Además de esto, otra de las afectaciones mencionadas ha sido la disminución de la cantidad de cañas previo al proceso de extracción del jugo en el que un porcentaje considerable de estas mismas se “quema” por completo ocasionando que ya no sean útiles para la elaboración de piloncillo</p>	<p>A pesar de las afectaciones del cambio climático en cuanto a la producción de piloncillo y las posibles amenazas, los productores no hemos tomado en cuenta muchos trabajos para prevenir y combatir el impacto que se está presentando. Esto nos genera mucha incertidumbre, ya que, al depender completamente de las temporadas de lluvia y no tener un sistema de riego artificial, en un futuro puede que se incremente dicho problema y se siga reduciendo la producción de piloncillo, afectando nuestra economía. Nosotros mantenemos la producción de piloncillo (granulado y de mancuerna) como parte de nuestra identidad, ¿Por qué no buscar otra alternativa económica? Es parte de nuestra cultura. Nosotros como agricultores de caña, maíz, calabaza o ya sea otro cultivo, heredamos las tierras y el conocimiento de nuestros antepasados. Ahorita con el programa de Sembrando Vida, y antes con el Procampo nos han ayudado a tener un “dinerito” extra para trabajar la tierra con nuevas técnicas. Algunos de nosotros, no todos, tenemos hijos que nos mandan dinero de otros estados o de Estados Unidos. Varios de nosotros también contamos con apoyo de Gobierno federal con programas para adultos mayores y la ayuda a los estudiantes, entonces aún tenemos apoyos que nos ayudan a comprar cosas para la casa. Dedicarnos a la agricultura es parte de nosotros.</p>	<p>Adoptar cultivos con menores requerimientos de agua (jamaica, piña y ajonjolí).</p> <p>Emplear fertilizantes naturales para disminuir la dependencia de insumos externos</p> <p>Mejorar la producción mediante la introducción de especies perennes en los terrenos de cultivo</p> <p>Implementar áreas de protección forestales para atenuar las temperaturas extremas.</p> <p>Comprar pacas para alimentar a los animales y comprar agua.</p> <p>Construir pozos o norias en las parcelas o cerca de ellas para sacar agua y brindar riegos de auxilio.</p> <p>Buscar tener otras actividades para no depender por completo de la parcela, algún comercio, poner un molino o dedicarse al transporte en las localidades.</p> <p>Migrar a otras ciudades como San Luis Potosí, Ciudad Valles, Monterrey, incluso a Estados Unidos y Canadá, donde algunos ya hemos ido por ciertos periodos de tiempo.</p>

Percepción acerca del cambio climático/sequía y sus principales manifestaciones y efectos	Medidas o acciones implementadas para mitigar los efectos de la sequía	Medidas que podrían implementarse en un futuro para hacer frente a la sequía
<p>Al ser agricultura de temporal, el problema es más notorio en las áreas productivas. La menor cantidad de lluvias se han presentado con mayor presencia en los últimos 10 años, donde el aumento del calor y la escasez de precipitación ha sido los que más percibimos los productores, siendo los largos periodos sin lluvia por año la evidencia principal. Durante este año (octubre 2023), no nos ha llovido como antes pasaba. Ya para estas fechas estábamos preparándonos para el Xantolo (fiesta tradicional de la Huasteca), pero ahora no tenemos suficiente producción para moler caña. Además de que ya no llueve como antes, también se ha visto que los tiempos en los que llovía ya no son los mismos. Antes las primeas lluvias las esperábamos para mayo, estos últimos años han estado llegando hasta finales de junio y julio. Los problemas que ocasionan la falta de lluvias están causando que la producción de caña y por lo tanto la elaboración de piloncillo se vea afectada a tal grado de verse reducida notoriamente. Antes se llegaban a producir más de 600 kilos de piloncillo granulado por temporada (mayo-noviembre), pero debido a la seca, hay ocasiones que la producción se ha reducido hasta casi la mitad. Los tiempos de lluvias en los últimos años han sido "malos" dentro de la región, puedo asegurar que la escasez de lluvia y la sequía que esta misma conlleva, ha sido el mayor de los problemas que se presentan en las tierras del Lejem. Esto ha traído consigo una considerable disminución en la producción y calidad de los cultivos, siendo la caña de azúcar uno de los más afectados. Todo esto se refleja en la disminución de la calidad y cantidad del jugo de caña, lo que afecta la producción de piloncillo. Yo digo que este problema viene desde hace como 10 años, pero desde 2016 es cuando la sequía se "plantó".</p>	<p>Aquí (Tanchahuil) además de utilizar fertilizantes naturales (cascara de huevo, desechos orgánicos o las hojas de las mismas plantas), yo veo que la mayoría está trabajando con el "engavillado", que se trata de atar o envolver diversas hierbas secas, tallos y hojas, y colocarlas cerca de cada hilera de plantas y espaciadas entre sí (en línea recta para formar una fila). Otros compañeros crean pequeñas cuencas para el aprovechamiento del agua, pero es mucho más trabajo porque requiere cavar un pozo poco profundo y plantar allí cultivos. Este agujero mantiene concentrada la humedad y el agua. También es muy común sumergir las plantas en germinación por 5 minutos en un bote cada 3 días, para que así la tierra pueda quedar completamente llena de humedad. El cultivo intercalado, es donde cada línea de cultivo es diferente y se cultiva en conjunto, para evitar sembrar dos líneas consecutivas de lo mismo. Esto se hace para aprovechar los beneficios que cada especie aporta a los demás de la propiedad. Aquí en mi parcela yo sembré piña, por ejemplo. Este cultivo se utiliza para ayudar a proteger el suelo y el agua, así como para reducir los efectos de la erosión. Las plantas de piña actúan como barrera o "copas" que brindan los beneficios antes mencionados, por lo que es mejor plantar una hilera de un tipo específico de planta, árbol de piña inmediatamente después del cultivo. Es mejor sembrar una mayor variedad de cultivos para reducir el impacto de las plagas y hacer un mejor uso del poco espacio agrícola que tenemos y, así obtener mejores productos. La distancia entre diferentes cultivos es de 1 a 10 metros. Cultivar en curva en lugar de una línea recta, esto para aprovechar mejor la pendiente de la ubicación de la milpa combinado con el engavillado para conservar la humedad en el cultivo y así prevenir la pérdida de suelo, aprovechar el agua que fluye por las laderas. Algunos de estos trabajos ya los conocíamos y otros los trajeron los técnicos de Sembrando vida y de la producción para el Bienestar</p>	

Percepción acerca del cambio climático/sequía y sus principales manifestaciones y efectos	Medidas o acciones implementadas para mitigar los efectos de la sequía	Medidas que podrían implementarse en un futuro para hacer frente a la sequía
<p>En las parcelas, la presencia de plagas ha coincidido con los períodos de menos lluvia. En Xolol, en los últimos años hemos tenido más problemas de hongos, gusanos y hormigas. Yo digo que la presencia de estas se debe a la misma contingencia climática. Todas las plagas tienen ciertas afectaciones en el crecimiento de la caña, ya que estas influyen principalmente en el desarrollo de la raíz. Otra de las plagas que en la comunidad es el "secapalo" el cual se va desarrollándose alrededor del árbol, en este caso, únicamente del tronco de los naranjos evitando que crezcan como es debido. También vemos un incremento de fauna silvestre dentro de las parcelas, tanto jabalíes, venados y muchos pájaros, los cuales tienen un efecto negativo, porque entran, destruyen y aplastan los cultivos causando un daño irreparable en las parcelas y en la producción. Las plagas han aparecido con mayor frecuencia y han afectado considerablemente la producción del cultivo. Las más comunes han sido hongos que afectan el desarrollo de la raíz, gusanos y termitas que afectan el crecimiento y la integridad de la caña de azúcar. Existen especies que controlan algunas de estas plagas, tal es el caso del pájaro carpintero. Aquí (Tanchahuil) lo consideramos como beneficioso para el cultivo de caña, ya que esta ave se alimenta de los gusanos considerados como plaga.</p>	<p>En mi parcela ha funcionado bastante bien la construcción de canales para darle dirección al agua de lluvia, ahora estamos en pláticas con el técnico para diseñar microcuencas y zanjas profundas para retener agua. También hemos cambiado a sembrar en forma de franjas en lugar de surco. Yo creo que, si es muy bueno cubrir el terreno con los residuos de la caña, porque con esto se guarda más tiempo la humedad y la caña se mantiene verde por más tiempo. En mi caso sembré limones y plantas de plátano intercalados entre el cultivo de caña.</p> <p>También quisiera implementar la creación de los sistemas de captación de agua, que consiste en ubicar tuberías a los costados de las viviendas para almacenar el agua de lluvia en dirección a tanques de agua.</p> <p>En otros grupos, han fomentado la organización comunitaria para adaptarse al cambio climático. Con base en los acuerdos generados por las autoridades, los compañeros de San Pedro, por ejemplo, solicitaron la reactivación y el arreglo del tractor, donde haciendo uso de este vehículo permite aprovechar el suelo sin tanta dedicación de tiempo al momento de las limpiezas y siembras "usar el tractor ayuda a que la caña, la calabaza puedan relacionarse entre sí de mejor manera, también al no exponer el suelo al sol".</p>	