

CAPÍTULO II

Artículo 1. Medios de vida y variabilidad climática en comunidades rurales de alta montaña del Centro de México

Jorge Luis Escobar^a, Ángel Rolando Endara^b, Alejandro Imbach^a, Isabel Gutiérrez^a, Ángela Díaz^a

^aCentro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

^bInstituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario 100-A Poniente, Centro, C.P. 50000 Toluca de Lerdo, Estado de México, México

Resumen

Se analiza la vulnerabilidad de los medios de vida y los capitales de dos comunidades de alta montaña (San Francisco Putla y Raíces), ubicadas en el centro de México, específicamente en los municipios de Zinacantepec y Tenango del Valle, respectivamente. Para comprender la exposición ante la variabilidad climática ocurrida, se utilizaron datos históricos de temperatura y precipitación (1980 - 2010), mientras que para conocer el cambio climático futuro se hizo una proyección de temperatura y precipitación al 2050 y 2070, usando dos Trayectorias de Concentración Representativas; (RCP 4.5) y (RCP 8.5), bajo el modelo HadGem2-Es. La percepción de la sensibilidad y capacidad adaptativa se determinó a través de métodos cualitativos (entrevistas semiestructuradas, grupos focales y talleres participativos). Los resultados muestran que, los medios de vida de estas comunidades presentan media y alta vulnerabilidad. Aumentos significativos en la temperatura máxima, mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos como: heladas, granizadas, sequías, nevadas, lluvias y vientos son los principales precursores de la vulnerabilidad climática. Se manifiesta a través de pérdidas en la productividad anual de sus cultivos, poca diversificación de los ingresos, afectaciones en salud, alimentación, migración, acceso y disponibilidad de agua, pérdida de biodiversidad, erosión/degradación de suelos, daños en viviendas y carreteras de acceso.

Palabras clave: variabilidad climática, medios de vida, capitales de la comunidad, exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa, vulnerabilidad.

1. Introducción

El cambio climático es uno de los grandes desafíos de la humanidad. El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) argumenta que *“El calentamiento del sistema climático es inequívoco”* y sus impactos son evidentes a través de incrementos significativos de la temperatura global, precipitaciones, incremento en el nivel promedio del mar y mayor frecuencia de eventos climáticos extremos (IPCC, 2007). Hansen et al. (2006) afirman que, el cambio climático es real, ocasionado por un calentamiento global de aproximadamente 0.2°C por década, provocando temperaturas inusuales en todo el planeta, con valores extremos en las últimas tres décadas (Hansen, Sato, & Ruedy, 2012; IPCC, 2014a).

Parte de este calentamiento global se les atribuye a las altas concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), que en las últimas décadas han alcanzado niveles que nunca se habían observado, siendo la causa principal el uso excesivo de combustibles fósiles (Hansen et al., 2012; Stocker *et al.*, 2013), resultado del continuo crecimiento demográfico y económico de los países (IPCC, 2014a). La variabilidad climática natural provocada por variaciones solares (Scafetta, Mirandola, & Bianchini, 2017) grandes erupciones volcánicas y cambios en la circulación oceánica también incide en el calentamiento global observado (Swanson, Sugihara, & Tsonis, 2009).

Lo anterior ha tenido impactos directos e indirectos en los sistemas naturales, sociales y humanos; particularmente en los medios de vida de las zonas rurales (IPCC 2007; IPCC, 2014b) por depender, en gran medida, de la agricultura (Seaman, Sawdon, Acidri, & Petty, 2014). Estos impactos se deben a la baja capacidad adaptativa de las comunidades ante eventos adversos (Smit & Pilifosova, 2001; Mirza, 2003; IPCC, 2007; Smit & Westerhoff, 2009).

La vulnerabilidad climática se refiere al grado de susceptibilidad al que un sistema o sociedad está expuesto, incluyendo la capacidad para adaptarse a adversidades climáticas (Smith, Burton, Klein & Street, 1999; Adger & Kelly, 1999; Adger, 2006; IPCC, 2007; GIZ, 2014). La exposición hace referencia al grado en que un sistema está expuesto a cambios en los patrones climáticos normales (IPCC, 2001; GIZ, 2014) u otros factores externos (Smit & Westerhoff, 2009). La sensibilidad se refiere a los efectos que enfrenta un sistema o sociedad (IPCC, 2007; Marshall et al., 2010). La capacidad de adaptación implica las estrategias que las sociedades desarrollan para enfrentar o ajustarse al cambio climático (IPCC, 2007).

Se proyecta que los países en desarrollo son los más susceptibles (IPCC, 2014), la ubicación geográfica y su baja capacidad adaptativa incrementan los daños (UNFCCC, 2006; Baca, Läderach, Hagggar, Schroth, & ovalle, 2014; CEPAL, 2015). La Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (2012) exterioriza que; en México, los sectores más pobres presentan condiciones de alta vulnerabilidad ante la variación climática; repercutiendo directa o indirectamente sobre los niveles de pobreza, inequidad social y acceso a los recursos.

Esto implica la necesidad de adoptar nuevas estrategias de vida y procesos de adaptación, como la diversificación de sus medios de subsistencia, migración e intensificación de la producción (Ellis, 2001; Zerihun, 2016). No obstante, es necesario conocer los impactos potenciales y la vulnerabilidad que la variabilidad climática provoca en el capital natural, humano, físico, financiero, social, cultural y político (Barrucand, Giraldo, & Canziani, 2017; Phuong, Biesbroek, & Wals, 2018). Se entiende a los capitales como aquellos recursos humanos o materiales que las comunidades

pueden utilizar para crear o fortalecer otros a través del tiempo (Gutiérrez, Emery, & Fernández, 2009). En las comunidades rurales estos capitales sirven de base para que los hogares generen sus medios de vida (Fierros & Ávila-Faucat, 2017).

Ansoms & McKay (2010) han utilizado el enfoque de los Medios de Vida Sostenibles (MVS) para describir las estrategias de los hogares y el contexto de vulnerabilidad, también se ha utilizado para analizar la susceptibilidad climática de medios de vida de comunidades rurales, como en Asia (Smit & Westerhoff, 2009), en África (Sallu, Twyman, & Stringer, 2010; Aloba, 2015) y en América Latina (Ziervogel & Calder, 2003; Baca et al., 2014; Fierros & Ávila-Faucat, 2017). El enfoque apoyado en el Marco de Capitales Comunitarios (MCC) permite identificar el papel que desempeñan los capitales comunitarios en el diseño de programas de desarrollo (Petersen y Pedersen, 2010; Emery y Flora, 2006; Gutiérrez et al., 2009). Resalta que, el fortalecimiento de estos capitales es clave para que las comunidades puedan diseñar o potenciar las estrategias de adaptación (IUCN, 2003; Smit & Wandel 2006).

El objetivo de esta investigación es analizar la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa ante la variabilidad climática de los capitales y medios de vida de las comunidades de San Francisco Putla y Raíces, ubicadas en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, del centro de México, para identificar ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad de los medios de vida y capitales de las dos comunidades? El análisis permitirá identificar de manera participativa las estrategias que los pobladores deben adoptar en cada capital o medio de vida.

2. Cambio climático, variabilidad climática incluido los eventos extremos

El IPCC (2014) define al cambio climático como aquellos cambios abruptos en los patrones normales del clima, que se reflejan en decenios de años o en lapsos mayores. Es un fenómeno multidimensional y se manifiesta a escalas temporales y espaciales (Ghil, 2002; Monterroso & Conde, 2015), se expresa a través de la variabilidad climática incluyendo los eventos climáticos extremos que provocan impactos reales en diferentes partes del planeta (Bowyer, Bender, Rechid, & Schaller, 2014; IPCC 2014).

Lo anterior impacta en los sistemas humanos, sociales, económicos y ecológicos (Haines, Kovats, Campbell-Lendrum, & Corvalan, 2006; Thornton et al; 2007; Filho *et al.*, 2017; Zacarías, 2018). Desde 1950 se han observado cambios en los patrones del clima influenciados por las actividades antropogénicas globales (Hansen et al., 2012; IPCC, 2013). Si bien, atribuir los eventos climáticos extremos a éstas sigue siendo un desafío (IPCC, 2012) no significa que no estén asociados (Thornton *et al.*, 2007).

Tanto los fenómenos meteorológicos extremos como los fenómenos climáticos extremos se denominan “*eventos climáticos extremos*”. En algunas ocasiones los eventos climáticos extremos como las sequías, heladas, granizadas o inundaciones puede ser el resultado de una acumulación de eventos climáticos o meteorológicos que son, individualmente, no extremos ellos mismos, aunque su acumulación es extrema (IPCC 2012; WMO 2016).

Estas alteraciones climáticas han afectado los modelos de desarrollo de los países y los medios de vida de las comunidades (IPCC, 2014b; Maru, Stanfford, Sparrow, Pinho, & Dube, 2014) Sin embargo, determinar el impacto en las estrategias de vida de las comunidades rurales es complejo e incierto. Por tal razón, antes de aplicar cualquier instrumento para analizar la vulnerabilidad climática se debe comprender los aspectos socioeconómicos (Adger & Kelly, 1999) e identificar de manera participativa sus medios de vida y los capitales que sirven de sustento para éstos (Gutiérrez *et al.*, 2009).

2.1 Vulnerabilidad climática

El IPCC (2007) y Chinwendu, Sadiku, Okhimamhe, & Eiche (2017) definen la vulnerabilidad como el grado de riesgo o incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad climática y los eventos extremos. Varía en escalas temporales y espaciales, dependiendo de factores económicos, sociales, geográficos, demográficos, culturales, institucionales y ambientales (Thornton *et al.*, 2007; Jamshidi, Asadi, Kalantari, Azadi, & Scheffran, 2018), comprende la exposición al cambio ocurrido, sensibilidad al daño y la falta de capacidad de adaptación (Adger, 2006). Estos conceptos ayudan a evaluar la naturaleza y la magnitud del evento e identificar estrategias de adaptación para mitigar sus efectos (Marshall *et al.*, 2010; Mohan & Sinha, 2015).

La exposición se refiere al grado o duración que un sistema está expuesto a variaciones climáticas u otras perturbaciones (Adger, 2006; Fussel & Klein, 2006; IPCC, 2007) e incluye todos los patrones climáticos (temperatura, precipitación, evapotranspiración, balance hídrico y eventos extremos) y es fundamental para comprender la vulnerabilidad de un sistema (Marshall *et al.*, 2010; Monterroso & Conde, 2015). La sensibilidad determina el grado en que un sistema resulta afectado por la exposición a un cambio dado (IPCC 2007; GIZ, 2014). La afectación de los sistemas sociales depende de factores económicos, políticos, culturales e institucionales (Fenton, Kelly, Vella, & Innes, 2007; Marshall *et al.*, 2010).

La capacidad de adaptación se refiere al conjunto de factores que permiten a los sistemas desarrollar habilidades para ajustarse al cambio climático (variabilidad del clima y los fenómenos extremos) y moderar los daños potenciales, aprovechar las oportunidades, o hacer frente a las consecuencias (IPCC, 2007). Estos factores se relacionan con los recursos disponibles de los sistemas humanos, sus características y capacidades socioeconómicas, estructurales, institucionales y tecnológicas (GIZ, 2014). Este proceso de adaptación es posible a través de la integración de diferentes enfoques, métodos y herramientas que permitan la gestión del riesgo, desarrollo de nuevo conocimiento y la participación de los interesados (Marshall et al., 2010).

En la escala local, la capacidad adaptativa de una comunidad debe considerar la dinámica de sus hogares, capitales, estrategias y medios de vida (Smith & Westerhoff, 2009), de manera que las medidas de adaptación se incorporen y contribuyan al desarrollo de los medios de subsistencia de las personas y, así mejorar su capacidad adaptativa (Smith & Westerhoff, 2009; Maldonado & Moreno-Sánchez, 2014).

2.2 Medios de vida y vulnerabilidad

Los medios de vida se definen como un sistema que comprende las capacidades, activos (recursos materiales y sociales) y todas las actividades individuales o colectivas, que permiten satisfacer las necesidades básicas (Chambers & Conway, 1991; DFID, 1999; Imbach, 2016). La elección y combinación de los capitales en la comunidad u hogar es denominada estrategia de vida (Ellis, 2001). Esta secuencia que conecta recursos con medios y estrategias permite reconocer con mayor claridad las formas en que una familia o comunidad resuelven sus problemas (Imbach, 2016).

Los capitales de las comunidades y el acceso a ellos constituyen la base para que los hogares rurales generen sus medios de vida, para satisfacer las necesidades básicas (Fierros & Ávila-Faucat, 2017). Se entiende por capital, a los recursos humanos y materiales que pueden ser invertidos para crear otros nuevos a través del tiempo (Flora et al., 2013; Gutiérrez et al., 2009). Todas las comunidades tienen capitales que se pueden usar para negociar su propio desarrollo y bienestar (Gutiérrez et al., 2009). La fragilidad de los medios de vida hace a las comunidades rurales vulnerables al cambio climático (DFID, 1999). En este contexto, comprender los impactos del cambio climático en los medios de vida del medio rural requiere examinar las complejidades de sus comunidades, las personas y la interacción con los capitales disponibles (IPCC, 2014b; Phuong et al., 2018).

Todos los efectos actuales y proyectados del cambio climático repercuten en los medios de vida de las comunidades rurales, generando impactos negativos en los recursos de la comunidad en

términos financieros, sociales, físicos, naturales, humanos y culturales (Adger, 2010; Quinn, Ziervogel, Taylor, Takama, & Thomalla, 2011; IPCC, 2014b; Kais & Islam, 2016). Por tal razón, es importante que las comunidades conozcan su situación frente a la variabilidad climática, para que de manera individual, colectiva y con el apoyo institucional asuman estrategias de adaptación que reduzcan la vulnerabilidad de sus comunidades.

3. Metodología

3.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en las comunidades de San Francisco Putla y Raíces; ubicadas en los municipios de Tenango del Valle y Zinacantepec, ambos pertenecen al Estado de México. La comunidad de Raíces está localizada en la parte norte del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, a una altura de 3531 msnm., mientras que San Francisco Putla se ubica en la parte suroeste del Nevado de Toluca a 2749 msnm (Figura 1).

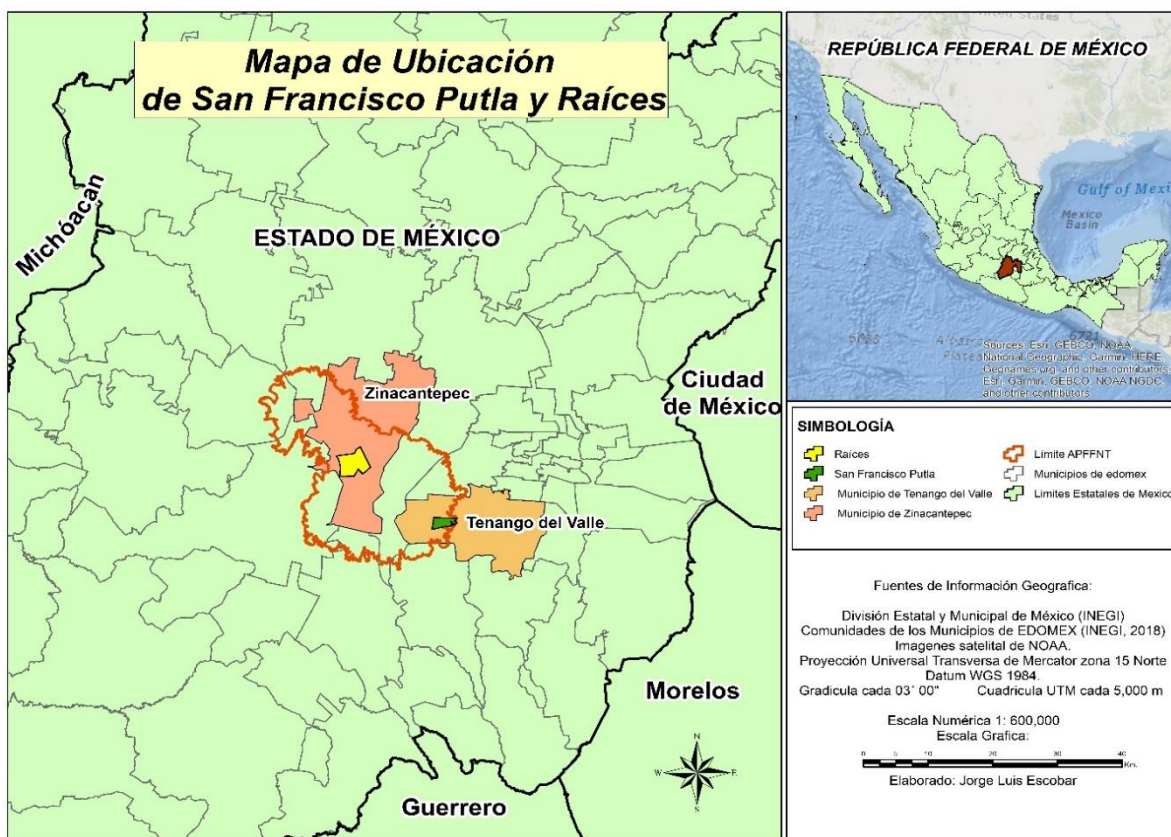


Figura 1 Ubicación de la zona de estudio.

3.2 Enfoque metodológico y conceptual

La investigación se basa en el paradigma interpretativo (cualitativo), donde la participación de los informantes claves y los pobladores de las dos comunidades es de gran importancia para obtener la información de interés. Se utilizó un muestreo no probabilístico. Se aplicaron 70 entrevistas semiestructuradas (22 en la comunidad de Raíces y 48 en San Francisco Putla), cuatro grupos focales (dos por comunidad) y un taller participativo por comunidad.

El análisis se realizó utilizando el enfoque de Medios de Vida Sostenibles (EMVS) (DFID, 1999; Can, Tu, & Hoanh, 2013; Serrat, 2017) y el Marco de Capitales de la Comunidad (MCC) (Flora & Flora 2004; Gutiérrez-Montes et al., 2009) Se basa en la evaluación de los medios de vida a nivel de los hogares, donde la vulnerabilidad es importante para entender la sostenibilidad de los activos y los medios de vida que disponen las familias.

El enfoque involucra a las personas en la identificación de variables o indicadores que determinan el grado de vulnerabilidad de las comunidades ante el cambio climático, enfatizando los principios básicos de participación, recepción y difusión de nuevos conocimientos. Si bien, no se intenta proporcionar una representación exacta de la realidad que enfrentan las comunidades (DFID, 1999), hace un esfuerzo para esquematizar de manera explícita y sencilla la manera en que operan las personas bajo un contexto de vulnerabilidad.

3.3 Identificación de los medios de vida y percepción sobre la variabilidad climática

Para conocer las estrategias y medios de vida, se realizaron diez entrevistas semiestructuradas a informantes claves (con 65 preguntas sobre el conocimiento de las comunidades, capitales y medios de vida, exposición climática, sensibilidad y capacidad adaptativa de los medios de vida y capitales comunitarios ante la variabilidad climática) validada con cuatro grupos focales y aplicación de protocolos de observación mediante recorridos de campo; permitiendo así, tener una descripción detallada de la situación de los medios de vida de los pobladores. La percepción de las familias respecto a la variabilidad climática y eventos extremos se plasmó a través de una línea de tiempo de 20 años en el pasado, identificando las principales amenazas climáticas para sus medios de vida.

3.4 Exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa ante la variabilidad ocurrida

Para caracterizar la variabilidad climática ocurrida se utilizaron datos climáticos (temperatura y precipitación) desde 1980 hasta el año 2010. Mediante estos datos históricos fue posible conocer el comportamiento o cambios ocurridos en los patrones climáticos de las comunidades. Para conocer el cambio climático esperado se hizo una proyección climática (temperatura y precipitación) usando dos Trayectorias de Concentración Representativas (RCP); el escenario bajo en emisiones (RCP 2.6) y un escenario de altas emisiones (RCP 8.5), bajo el modelo HadGEM2-ES, tomando

como referencia el escenario histórico 1970-2000. Las simulaciones futuras en los dos escenarios se hicieron para el año 2050 y 2070.

La sensibilidad se identificó mediante 21 indicadores (cuadro 1) agrupadas en el capital humano, social, cultural, natural, político, financiero y físico/construido. Los indicadores se integraron en función de los siete capitales, posteriormente se codificaron de acuerdo a los niveles de sensibilidad (alta, media y baja); asignando valores del 1 al 3. Al final estos valores se normalizan en una escala de 0 a 100%, dividiéndose de la siguiente manera: de 0 a 20% sensibilidad baja (1), de 21 a 60% media (2) y de 61 a 100% alta (3). De igual manera, se utilizó el marco de los capitales de la comunidad para agrupar y evaluar 20 indicadores (Cuadro 1) que permitieron identificar el potencial de adaptación de las comunidades. La codificación de los niveles de capacidad de adaptación fue igual al de sensibilidad.

Cuadro 1. Indicadores de Sensibilidad y Capacidad adaptativa

Capital	Indicadores de sensibilidad	Indicadores de capacidad de adaptación
Humano	Salud	Información climática
	Educación	Educación informal (capacitaciones)
	Alimentación	Nivel de escolaridad
	Mujeres	
	Migración	
Social	Organizaciones locales	Participación en organizaciones locales
	Medios de comunicación	Relación con instituciones del estado
	Trabajo comunitario	Redes de apoyo
		Participación en planes de adaptación
Cultural	Actividades recreativas y celebraciones	Conocimiento local y tradicional
	Conocimiento tradicional	
Natural	Impacto en principales recursos naturales	Prácticas de conservación de suelo y agua
	Erosión y cambios de uso de suelo	cantidad de terrenos ejidales
	Cantidad y calidad de agua	
Político	Tomadores de decisiones locales	Capacidad del gobierno municipal
	Gestión de recursos para la comunidad	Apoyo del gobierno estatal
Financiero	Productividad anual	Acceso a otros recursos económicos
	Ingresos promedios	Acceso a tecnologías
	Acceso a créditos	Acceso a créditos
	diversificación de los ingresos	Remesas
Físico	Vías de acceso	Acceso a maquinaria
	Transporte	Centros de acopio o albergues
	Calidad de la vivienda	Centros de educación
		Centros de salud

3.5 Vulnerabilidad de los medios de vida de las familias

Para la identificación de la vulnerabilidad se utilizó la definición del IPCC (2007); consistió en evaluar los indicadores de la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. La combinación de los factores (exposición + sensibilidad) produce el impacto potencial, a ello se debe agregar la capacidad adaptativa de las comunidades para reducir esos impactos (Figura 1). En conjunto, todos estos elementos determinan el nivel de vulnerabilidad de los principales medios de vida y capitales de la comunidad.

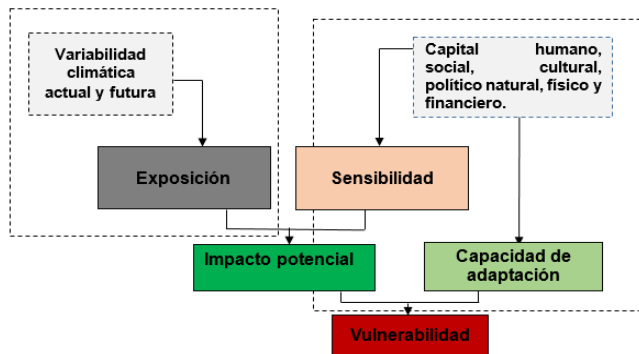


Figura 2. Componentes de la vulnerabilidad en los medios de vida. Adaptado de (Fritzsche, 2016; IPCC, 2007).

Para construir el índice de vulnerabilidad se utilizó la información obtenida en la evaluación de los tres componentes (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa) (Figura 3). La fórmula final quedó como sigue:

$$VN = \begin{array}{|c|c|} \hline \text{Exposición} & \text{Valor} \\ \hline \text{Alto} & 3 \\ \hline \text{Medio} & 2 \\ \hline \text{Bajo} & 1 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|} \hline \text{Sensibilidad} & \text{Valor} \\ \hline \text{Alto} & 3 \\ \hline \text{Medio} & 2 \\ \hline \text{Bajo} & 1 \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|c|} \hline \text{C. Adapt.} & \text{Valor} \\ \hline \text{Alto} & 3 \\ \hline \text{Medio} & 2 \\ \hline \text{Bajo} & 1 \\ \hline \end{array}$$

Figura 3. Categorización de factores para cuantificar la vulnerabilidad

Como resultado de aplicar la fórmula (definición) se obtuvieron 27 posibles combinaciones:

$V = E (3, 2, 1) + S (3, 2, 1) - CA (3, 2, 1)$, obteniendo siete índices de vulnerabilidad, con valores de -1 a 5. Finalmente, este rango de valores se dividió en tres niveles: baja (-1 y 0), media (1, 2 y 3) y alto (4 y 5).

4. Resultados y discusión

4.1 Principales medios de vida

Los medios de vida identificados en las dos comunidades se derivan de la producción agrícola, el trabajo realizado por obreros¹ o jornaleros² y pequeños comercios (Figura 4). Los medios de vida agrícolas representan la mayor fuente de ingreso y se distribuyen de la siguiente manera; San Francisco Putla: hortalizas (lechuga, chícharos, brócoli, coliflor, repollo, haba, cilantros y acelgas), maíz y floricultura (cempaxúchitl, alelí, flor de nube) y obreros. Mientras que en Raíces la actividad agrícola está limitada a la producción de papa y avena forrajera.

De acuerdo a Fierros y Ávila-Faucat (2017), este comportamiento es normal en el México rural, donde las fuentes de ingreso están en función de pequeños sistemas productivos, del trabajo realizado dentro y fuera de los sistemas de producción y de negocios familiares. La altitud (3531 msnm) y las bajas temperaturas (12°C promedio anual) (CENAPRED, 2008), provoca que las actividades agrícolas de la comunidad de Raíces giren en torno al cultivo de papa y avena forrajera, convirtiéndose en los medios de vida de mayor importancia económica (73% de las familias).

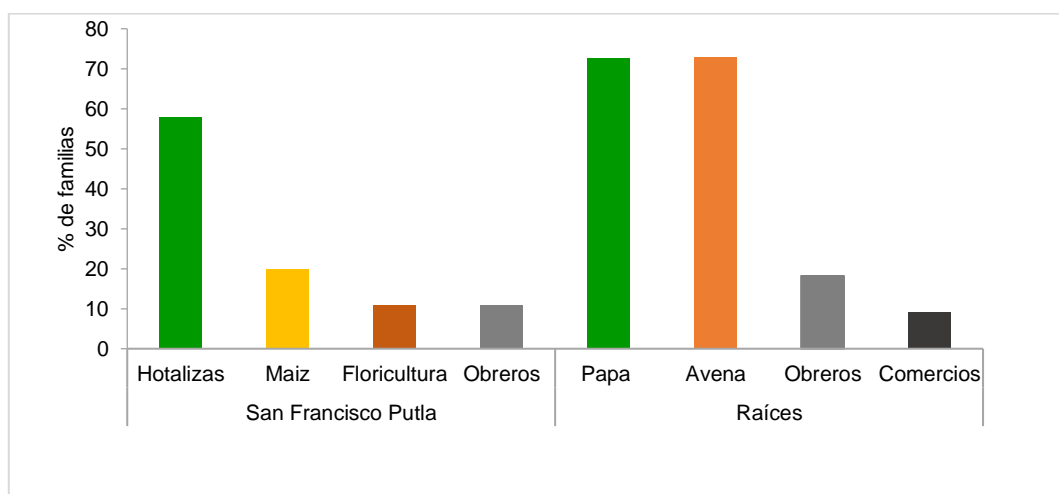


Figura 4. Principales medios de vida de las familias.

En Raíces, la población considera que no es posible la diversificación de cultivos por los cambios en el clima, baja fertilidad de suelos y escaso asesoramiento de las instituciones del estado.

“En nuestra comunidad, (Raíces) venimos produciendo lo mismo desde hace más de 60 años; el clima frío no permite que se desarrollen otros cultivos”

¹ Personas que trabajan en industrias o pequeños centros comerciales

² Personas que trabajan a cambio de un pago por día de trabajo

No obstante, en San Francisco Putla la actividad agrícola ha pasado por tres momentos de cambio, desde 1960 hasta la actualidad. El periodo del 2000 al 2018 presentó el mayor cambio en la actividad agrícola, determinado por la diversificación de cultivos, de acuerdo con la percepción de la población es estimulada por aumentos significativos en la temperatura (Figura 5). Estos cambios de temperatura ha favorecido la adaptación transformativa en esta comunidad.

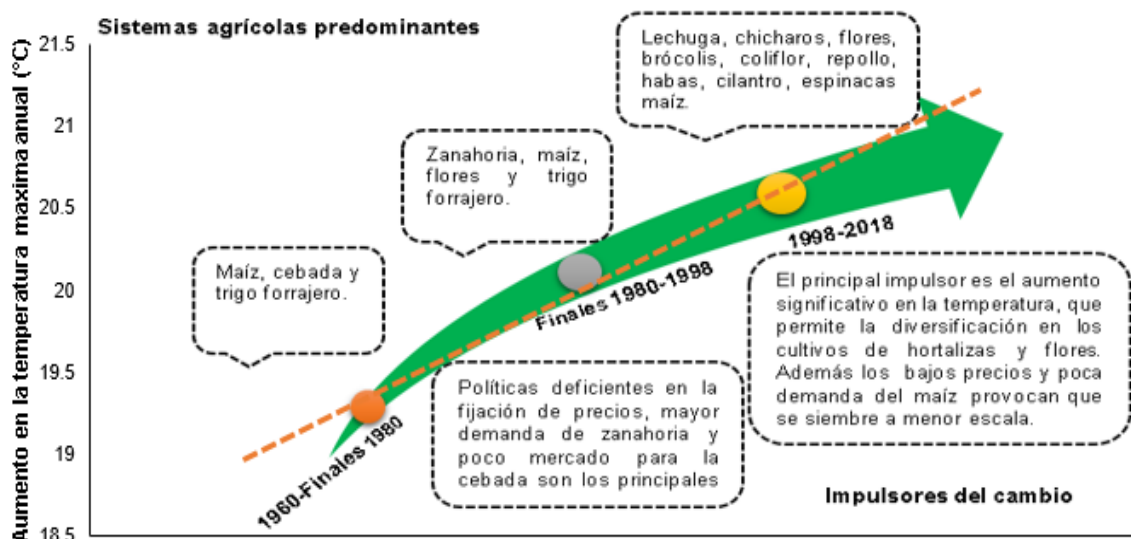


Figura 5. Impulsores de cambio en los sistemas agrícolas de San Francisco Putla.

4.2 Medios de vida agrícola y variabilidad climática

La producción agrícola en comunidades rurales está limitada por las condiciones climáticas (Ziervogel & Calder, 2003; Ziervogel, 2010). En las comunidades rurales de alta montaña del Estado de México la actividad agrícola está restringida por las condiciones ambientales diferentes a la de zonas bajas (Anastacio, Nava, & Franco-Maass, 2014). La variabilidad climática y eventos climáticos extremos como: heladas, granizadas (tardías o tempranas) y sequías han agudizado la vulnerabilidad de los sistemas productivos de estas zonas, provocando pérdidas importantes en la productividad anual. Todos los sistemas agrícolas del territorio mexicano están experimentando pérdidas considerables por los fenómenos antes mencionados (Conde, 2006; Peralta-Hernández & Barba Martínez, 2009; CICC, 2012; Ortega-Gaucin, López, & Arreguín, 2016).

En Raíces, la variabilidad climática limita la diversificación de cultivos (Abasolo, 2006). Siendo las granizadas y heladas las mayores amenazas climáticas, ocasionando pérdidas hasta del 70% en cultivos de papa y avena. En San Francisco Putla, han provocado que los rendimientos en los cultivos de lechuga, brócoli y maíz hayan reducido en un 30%, y en el cultivo de flores hasta un 40%

de la producción anual. Las granizadas normalmente se presentan a finales de la temporada seca e inicio de las lluvias (junio y julio); sin embargo, en los últimos años han ocurrido en diferentes meses (por ejemplo, mayo o noviembre). Las heladas, ocurren de noviembre a enero. No obstante, en los últimos años se han presentado en el mes de abril, junio y septiembre. De acuerdo a Peralta-Hernández & Barba Martínez (2009), las heladas que ocurren en junio o julio son las más peligrosas para las comunidades de alta montaña.

La población de San Francisco Putla percibe que, el aumento significativo en la temperatura desde finales de los 90 ha favorecido la diversificación de cultivos. Sin embargo, en los últimos años han experimentado daños considerables a causa de los periodos largos de sequía (con temperaturas mayores a los promedios normales). Es la principal amenaza para los medios de vida agrícolas, se manifiesta desde enero hasta inicios de julio, ocasionando pérdidas aproximadas en un 40% en los cultivos de chícharo, brócoli, cilantro, espinacas y maíz.

Las lluvias y vientos intensos se han sumado a las amenazas anteriores, generalmente ocurren de julio a inicios de septiembre. Los productores mencionan que:

“Los cambios del clima nos han ayudado en cierta parte, porque nos han permitido sembrar otros cultivos que antes no se producían en la comunidad como: brócoli y coliflor, pero creo que ahora los daños son más que los beneficios. Por ejemplo, ahora hay más plagas y enfermedades y no se sabe cuándo va a llover o van a iniciar las heladas”.

Lo anterior evidencia que las comunidades de alta montaña se encuentran altamente expuestas a la variabilidad climática, aumentando de esta manera la vulnerabilidad de sus medios de vida.

4.3 Exposición de las comunidades ante la variabilidad climática.

De acuerdo a Monterroso & Conde (2015), en México aproximadamente diez millones de personas están altamente expuestas a la variabilidad climática. Esta exposición se debe a su ubicación geográfica, relieve y posición latitudinal (DOF, 2014; Conde & López 2016). El Estado de México, presenta en mayor medida exposición media, solo 19 municipios tienen una exposición alta, dentro de éstos se encuentra Tenango del Valle y Zinacantepec (Monterroso et al., 2014). En el caso particular de San Francisco Putla (Tenango del valle), el 69% de la población considera que tienen una exposición alta. De igual manera, en Raíces (Zinacantepec) el 62% de las familias afirman que están altamente expuestos a cambios en el clima.

Los pobladores tienen diferentes maneras de identificar los cambios ocurridos y lo manifiestan de la siguiente manera:

“Ahora las lluvias se han desplazado, no se sabe la fecha que iniciará a llover, las heladas ya no inician en noviembre como antes, en ocasiones ocurren en abril o septiembre”.

“Ahora llueve menos y hace más calor que hace 15 años”.

“Las lluvias son muy intensas y caen espacios de tiempo cortos”.

Los resultados del análisis del comportamiento de la temperatura máxima en el periodo de 1980 al 2010 muestran que, en San Francisco Putla el año que presentó el mayor promedio en la temperatura máxima fue 1998 (25.36°C). Este análisis coincide con la percepción de la población que afirman: *“Desde finales de la década de los 90 ha habido un aumento en la temperatura y ahora hace mucho más calor”.*

4.3.1 Temperatura

En San Francisco Putla, el perfil temporal de la serie de tiempo presenta una tendencia interanual creciente, con un aumento en la temperatura máxima de 18.8 a 21.02°C, es decir, un incremento anual de 0.074°C en un periodo de 30 años. Siendo el año de 1998 el que experimentó el mayor promedio de temperatura máxima (20.72°C), el mayor registro se presentó el mes de mayo (25.36°C) (Figura 6). La CICC (2012) menciona que la temperatura media de México tuvo un incremento promedio de aproximadamente 2°C en el periodo 1901-2009; además, DOF (2014) indica que desde la década de los 50 hasta el 2010 el incremento promedio fue de 0.85°C.

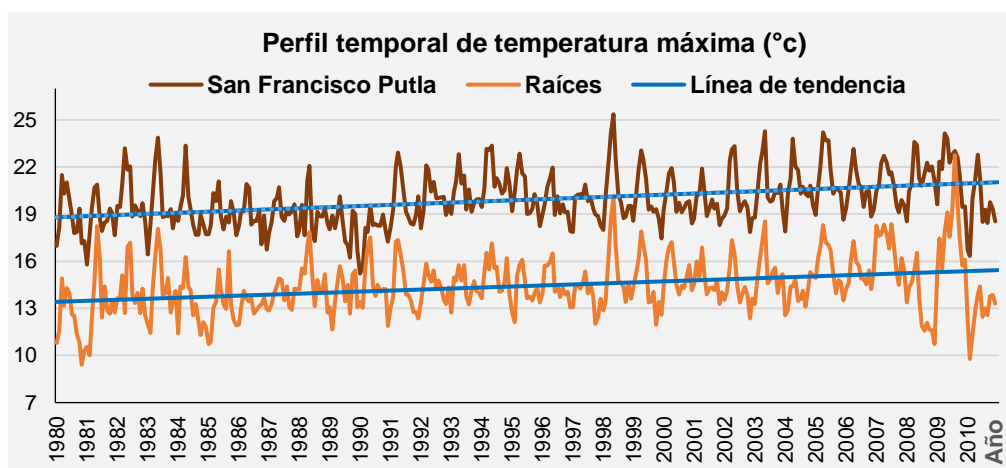


Figura 6. Perfil temporal de la temperatura máxima en San Francisco Putla y Raíces.

Fuente: Elaboración propia con datos de IITCA³

En Raíces, el mayor promedio en la temperatura máxima (17.79°C) se presentó en el año 2008, el mayor registro presentado fue 22.76 °C en el mes de agosto. Sin embargo, el análisis muestra que

³ Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua

desde 1998 hay un patrón de aumento significativo. La serie de tiempo presenta una tendencia interanual creciente, con un aumento de 13.42 a 15.43°C, es decir, la temperatura máxima ha tenido un incremento anual de 0.07°C desde 1980 al 2010 (Figura 6).

En cuanto a la temperatura futura de México, los RCP proyectan un incremento superior a 4°C en el norte del País, específicamente la frontera con Estado Unidos, mientras que para el resto de la nación se espera un aumento que oscila entre 2.5 y 3.5°C (DOF, 2014). En San Francisco Putla, con un escenario bajo en emisiones (RCP 4.5) se espera un aumento en la temperatura promedio de 0.72°C al 2050 y de 1.43°C al 2070. De igual manera, el análisis realizado con escenario de altas emisiones (RCP 8.5) demuestra que la temperatura promedio para el 2050 aumentará de 13.38 a 15.52°C y 16.23°C para el 2070, con un aumento aproximadamente de 2.85°C (Figura 7).

Para el caso Raíces, el perfil temporal de la serie de tiempo muestra que, en los dos escenarios habrá una tendencia creciente, con el RCP 4.5 se espera un aumento de 0.60°C al 2050 y de 1.39°C para el 2070 y el escenario RCP 8.5 demuestra que la temperatura promedio para el 2050 aumentará de 9.92 a 12°C y de 9.29 a 12.7°C para el 2070, esta tendencia muestra que bajo un escenario alto en emisiones la temperatura promedio aumentará alrededor de 3.41°C en un periodo de 50 años aproximadamente (Figura 7).

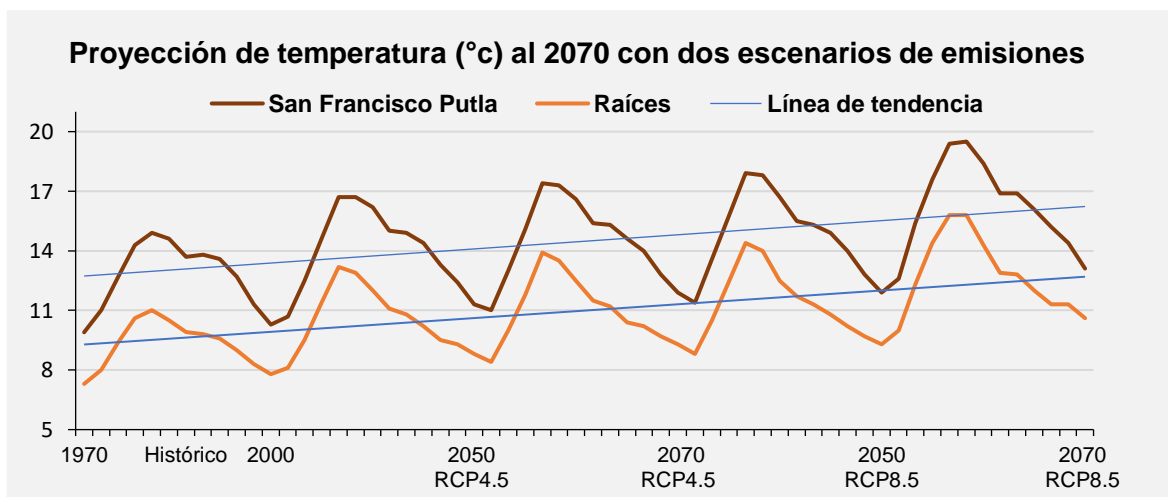


Figura 7. Cambios proyectados en la temperatura promedio en San Francisco Putla y Raíces.

Fuente: elaboración propia con datos de Worldclim Versión 1 y 2.
Software: TerrSet

Estas proyecciones coinciden con los de Manzanilla, Calderón, & Jiménez (2018), afirman que, el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, con un escenario bajo en emisiones (RCP 4.5) experimentará un aumento entre 1.30 a 1.45°C en la temperatura promedio anual para el periodo 2045-2069. De igual manera asegura que un escenario alto en emisiones (RCP 8.5) significará un aumento en la temperatura media anual entre 1.87 a 2.03°C para los años 2045-2069.

4.3.2 Precipitación

El perfil temporal de la serie de tiempo muestra que, en Raíces los años con más lluvia fueron 1996 y 1998 con 1528.24 y 1539.12 mm respectivamente. Mientras que en San Francisco Putla los años con mayor precipitación fueron 1995 (1203.55 mm), 2001(1771.78 mm) y 2006 (1212.55 mm) (Figura 8). En la década de los 90, Raíces experimentó un aumento considerable de 63.44 mm por año, mientras que del 2000 a 2010 se redujo en 89.87 mm al año en comparación con los datos de 1990 al 2000. En San Francisco Putla el comportamiento de las precipitaciones ha sido diferente, en la década de los 80 caían en promedio 720.43 mm al año, mientras que en los 90 hubo un aumento considerable de 183.07 mm al año. Del 2000 al 2010 hubo un aumento de 104.5 mm al año en comparación con la década de los 90 (Figura 8).

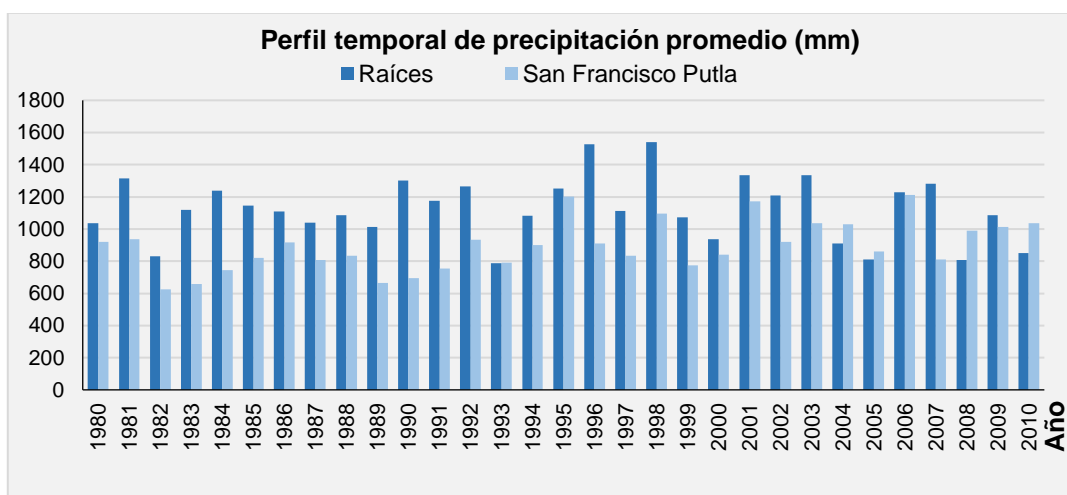


Figura 8. Perfil temporal de precipitación promedio (mm) para Raíces y San Francisco Putla

En cuanto a la precipitación futura, la línea de tendencia muestra que, en los dos escenarios habrá una reducción considerable en la precipitación promedio anual (figura 8). Para el 2050 con un escenario de bajas emisiones (RCP 4.5), San Francisco Putla experimentará una reducción de 150 mm al año y de 162 mm al año para el 2070. De igual manera, el análisis realizado con un escenario alto en emisiones (RCP 8.5) muestra una reducción anual de 261 mm al 2050 y 277 mm para el 2070 (Figura 9). En Raíces, con el escenario bajo en emisiones (RCP 4.5) se proyecta una disminución de 1207 a 1042 mm (165 mm) al 2050 y para el 2070 una reducción aproximada de 205 mm al año. Para el 2050 con un escenario alto en emisiones (RCP 8.5) se proyecta una reducción de 319 mm al año y de 327 mm al año para el 2070.

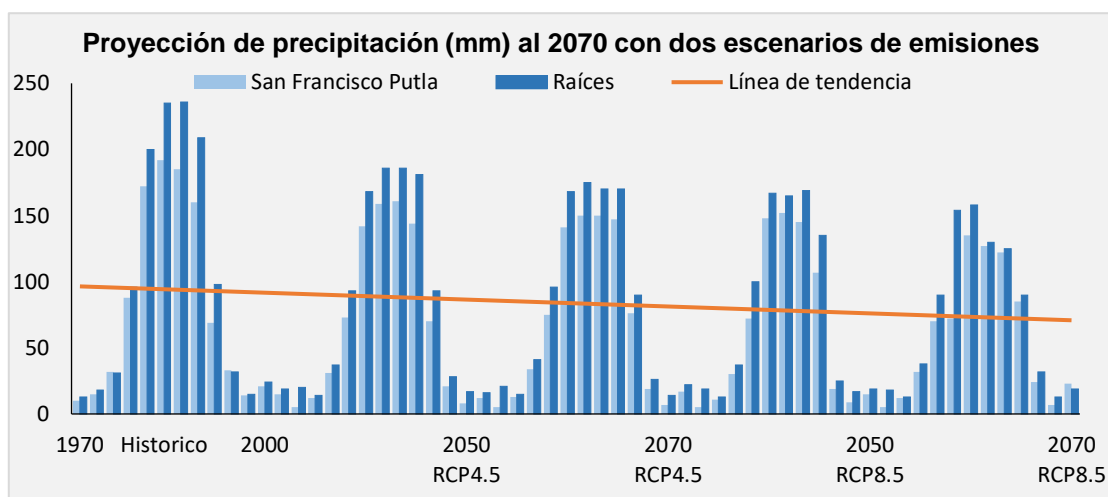


Figura 9. Cambios proyectados en la precipitación promedio en San Francisco Putla y Raíces.

4.4 Análisis de sensibilidad

De acuerdo a Monterroso et al. (2014). Los municipios de Tenango del Valle y Zinacantepec muestran índices bajos de sensibilidad. No obstante, este estudio demuestra que, en San Francisco Putla y Raíces el capital humano, financiero y físico presentan los índices más altos de sensibilidad, mientras el resto de capitales muestran principalmente sensibilidad media y baja (Figura 10). La sensibilidad se manifiesta a través de pérdidas en la productividad anual de sus cultivos, poca diversificación de los medios de vida (capital financiero), afectaciones en salud, alimentación, migración (capital humano), susceptibilidad de las viviendas y carreteras de acceso (capital físico). De igual manera, afecta el acceso y disponibilidad de agua, pérdida de biodiversidad y erosión/degradación de suelos (capital natural).

El poco capital social que existe en estas localidades tiene sensibilidad media y baja; aproximadamente el 50% de las familias en las dos comunidades consideran que las variaciones del clima afectan a las organizaciones comunitarias y a las actividades que estas realizan (Figura 10). Fortalecer este capital debe ser prioridad para diseñar estrategias locales de desarrollo y medidas de adaptación e invertir en el capital humano y potenciar la incidencia de los representantes locales en espacios de toma de decisiones.

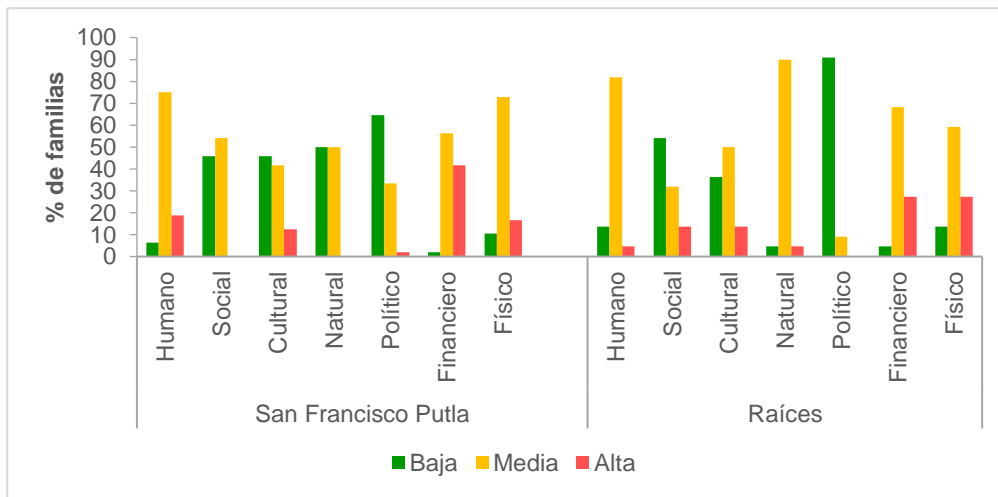


Figura 10. Sensibilidad de los capitales comunitarios en San Francisco Putla y Raíces

4.5 Capacidad de adaptación

Monterroso et al. (2014) afirman que la mayoría de los municipios del Estado de México tienen alta capacidad de adaptación, únicamente 25 municipios presentan capacidad adaptativa media, entre ellos, Tenango del Valle y Zinacantepec. Sin embargo, los datos demuestran que, en general San Francisco Putla y Raíces tienen baja capacidad adaptativa y sus capitales comunitarios están poco preparados ante la variabilidad climática. En San Francisco Putla el capital natural y humano son los que presentan mayor capacidad de adaptación. Mientras que en Raíces corresponde al capital natural, financiero y político. El resto de los capitales en las dos comunidades tienen baja y media capacidad de adaptación (Figura 11).

El poco potencial de las comunidades rurales para enfrentar estas adversidades se debe a las deficiencias del sector salud, educación, tecnología, cultura, infraestructura y escaso acceso a recursos económicos (Brooks, Adger, & Kelly, 2015; Monterroso & Conde, 2017). La poca relación entre las comunidades rurales y el gobierno local, estatal o federal, ha provocado que haya escaso apoyo para diseñar estrategias locales de adaptación. Monterroso & Conde, (2017) afirman que, las políticas de adaptación se deben planificar e iniciar a escala local. Esto implica fortalecer la acción colectiva de las comunidades, así como facilitar y transmitir información sobre los riesgos climáticos, e invertir más recursos para fortalecer el capital humano, político y social, puesto que juegan un rol importante en el diseño de estrategias de desarrollo o adaptación local (Adger, 2003; Zheng & Dallimer, 2016).

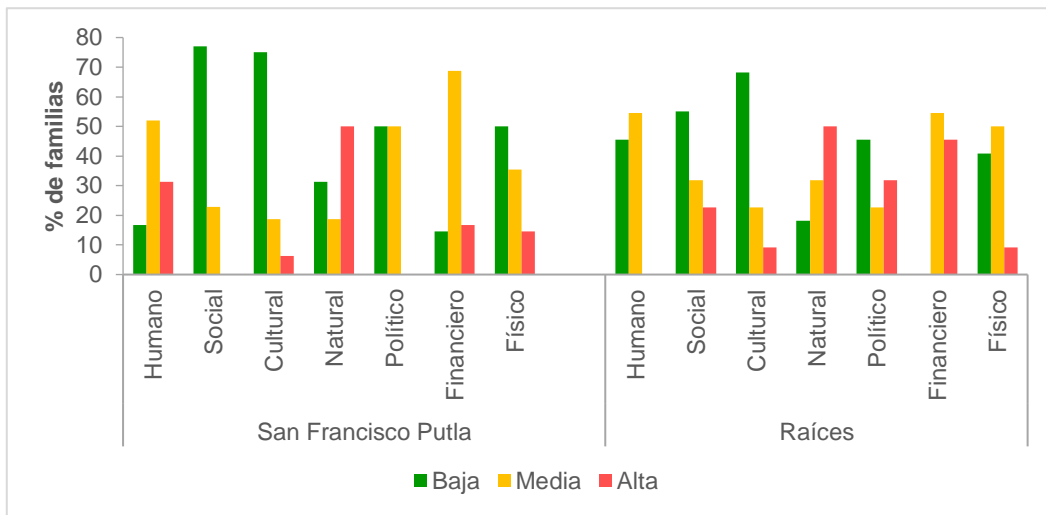


Figura 11. Capacidad de adaptación de los capitales comunitarios en San Francisco Putla y Raíces

4.6 Vulnerabilidad climática de los capitales de las comunidades

En las comunidades estudiadas existen dos escenarios de vulnerabilidad y se manifiestan en función al grado de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Se observa que, a mayor exposición climática los capitales comunitarios se vuelven más vulnerables. Siendo el capital humano, natural, financiero y físico los que presentan mayor vulnerabilidad (índice 4) (Figura 12). Estos datos, en cierta medida coinciden con lo expuesto por Monterroso et al. (2014) afirmando que, el Estado de México no presenta valores extraordinarios de vulnerabilidad climática.

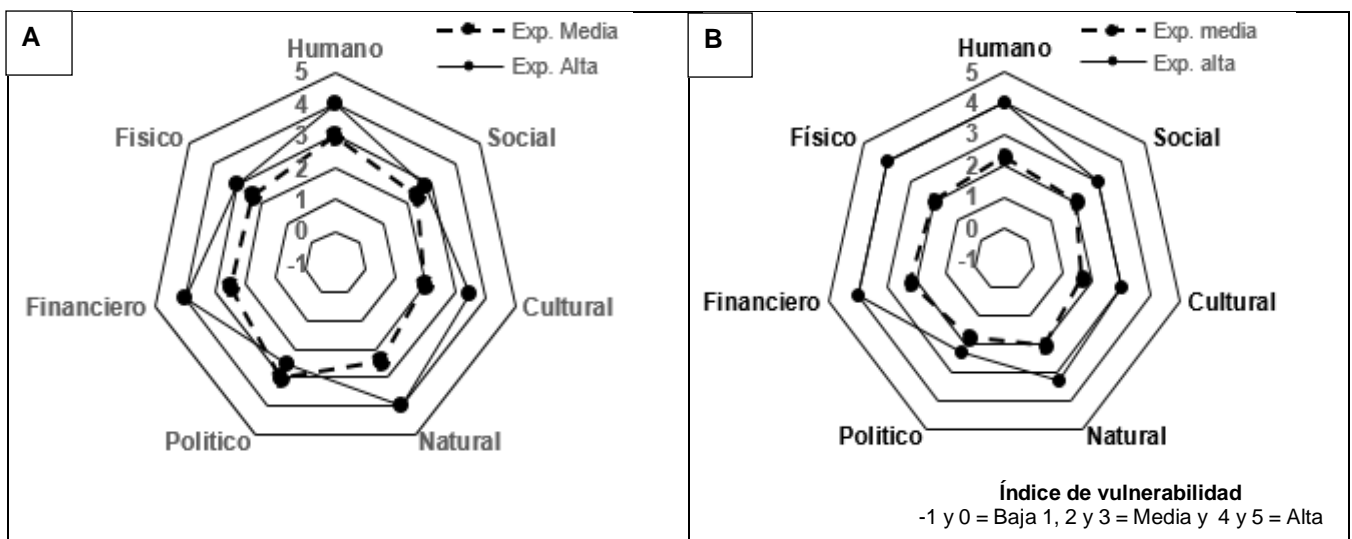


Figura 11. Diagrama de vulnerabilidad bajo dos escenarios de exposición en San Francisco Putla (A) y Raíces (B)

Capital humano

La vulnerabilidad del capital humano en estas comunidades se expresa a través de consecuencias en la salud, alimentación, educación y migración. Las heladas extremas, cambios bruscos en variables climáticas como: temperatura y precipitación son las principales amenazas, ocasionando enfermedades respiratorias, gastrointestinales, cutáneas y alérgicas. Las mujeres, niños y adultos mayores son los más vulnerables. Diversos estudios han demostrado que, los cambios de clima están provocando daños en la salud e incrementado enfermedades en la piel, fiebre y malaria (Dye & Reiter, 2000; Roger & Randolph, 2000; Augustín, Franzke, Augustin, & Kappas, 2008). La poca infraestructura hospitalaria en estas comunidades aumenta la vulnerabilidad de las personas. Este comportamiento es similar en Países con ingreso bajos (O'neil, Hajat, Zanobetti, Ramírez-Aguilar, & Schwartz, 2005).

Respecto a la educación, la población en edad escolar nivel básico son los más vulnerables, puesto que, cuando se experimentan temperaturas muy bajas o lluvias intensas, los pocos centros educativos que existen en las comunidades interrumpen sus actividades académicas para evitar mayor exposición o daños en la salud de los estudiantes. Asimismo, la seguridad alimentaria se ve afectada por pérdidas significativas en los sistemas productivos y la reducción de ingresos en los demás medios de vida. La variabilidad climática representa una gran amenaza para la soberanía y seguridad alimentaria actual y futura, pero existe mucha incertidumbre sobre los impactos que provocará (Pant, 2012; IPCC, 2014). Por tal razón, garantizar la alimentación en comunidades vulnerables es uno de los mayores retos para el planeta (FAO, 2016).

La migración es otro de los problemas que enfrenta el capital humano en estas comunidades, 23% de la población de San Francisco Putla y aproximadamente 50% en Raíces emigra temporalmente hacia zonas urbanas como: Toluca, Guadalajara, Ciudad de México y alrededor de un 5% hacia Estados Unidos. La principal causa de estos desplazamientos se debe a la incertidumbre que provocan la variabilidad climática y eventos extremos para desarrollar los medios de vida comunitarios. En diversas comunidades de alta montaña de Latinoamérica la migración ha sido parte de las estrategias que la población ha adoptado para enfrentar la variabilidad climática (Ruiz, 2010; Milan & Ho, 2013; Ruiz, 2014).

Capital social

El capital social tiene una vulnerabilidad media en las dos comunidades, inducida por la poca capacidad de adaptación, relacionada con los valores demográficos y sociales. La limitada existencia de organizaciones locales, el poco trabajo comunitario cuando ocurre un evento climático extremo y la restringida participación de las organizaciones en el diseño de planes locales de

adaptación aumentan la vulnerabilidad social. Las organizaciones con mayor injerencia comunitaria son; el comisariado ejidal y los grupos religiosos, pero sus actividades están poco relacionadas a la variabilidad climática.

La presencia de estancias gubernamentales como: La Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Comisión Nacional Forestal, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Protectora de Bosques, entre otras, deben de unir esfuerzos para fortalecer el capital social en estas comunidades; a través de programas de capacitación, información, potenciar enlaces con otras organizaciones externas y fomentar la participación en el diseño de programas de adaptación a nivel local o regional. La difusión de información y la acción colectiva es vital para las comunidades rurales. Puesto que desempeñan un rol importante en la adopción de estrategias locales de adaptación (Zhen y Dallimer, 2016; Yaméogo, Fonta, & Wünscher, 2018; Soares & Murillo-Licea, 2013; Ramírez, Gómez & Monterroso, 2016; Hagedoorn et al., 2019) y las inversiones en capital social, ayudan a potenciar al resto de capitales (Fey, Bregendal, & Flora, 2006).

Capital cultural

En las dos comunidades el capital cultural presenta vulnerabilidad media, afectando las costumbres, creencias y tradiciones de los pobladores. El conocimiento o saber tradicional es el indicador más afectado. Los pobladores afirman que, en la actualidad es difícil predecir el clima con certeza, esto afecta el calendario anual de siembras que se ha utilizado en estas comunidades. Aunado a lo anterior, la variabilidad climática también conlleva pérdida de valores culturales de gran importancia para las comunidades rurales (Adger, Barnett, Brown, Marshall, & Brien, 2012). Por ejemplo; en estas comunidades la ocurrencia de eventos climáticos extremos como las heladas o lluvias intensas provoca que las actividades recreativas, fiestas patronales u otro tipo de celebraciones se pierdan.

Capital natural

Más del 67% de las familias consideran que las variaciones en el clima influyen significativamente en la vulnerabilidad de sus recursos naturales, siendo las fuentes productoras de agua las más afectada, seguido de la reducción de los bosques y hongos comestibles, erosión, pérdida de fertilidad de los suelos y extinción local de animales silvestres. Este comportamiento es similar en todos los Países en desarrollo, muchos estudios han demostrado que con aumentos significativos en la temperatura los servicios ecosistémicos, en especial el recurso hídrico se verá bastante afectado (IPCC, 2007; IPCC, 2014; Kangalawe, 2016).

En todo el Estado de México el recurso hídrico es el sector más vulnerable a la variabilidad climática (Monterroso et al., 2014). En el caso particular de San Francisco Putla el 100% de la población afirma que los dos ríos que abastecía de agua para consumo y riego a la comunidad se han secado, afectando directamente los sistemas agrícolas, dado que ahora no se puede sembrar en temporadas secas. La relación directa entre el agua y los medios de vida agrícolas, provoca mayor vulnerabilidad en comunidades rurales (Kangalawe, 2016).

Capital político

En las dos comunidades el capital político tiene vulnerabilidad media, y la mayoría de la población considera que la gestión de fondos para desarrollar estrategias que permitan una mejor adaptación de los medios de vida es deficiente. Gran parte de las familias argumentan que los gobiernos municipales y estatales no prestan atención a las peticiones cuando ocurre un evento climático que representa una amenaza para los pobladores. Asociado a lo anterior, se encuentra el limitado capital social/humano y la gran brecha entre las comunidades y gobierno.

En este sentido, las políticas de intervención deben incentivar la participación de la población en la toma de decisiones y el diseño de estrategias locales de desarrollo, que involucren planes de adaptación para sus medios de vida. Para ello, se requiere la implementación de una reforma social basada en una mayor justicia e igualdad social, lo que requerirá mayor voluntad política (Ruiz, 2014). Adger (1999) afirma que las instituciones de gobierno juegan un rol importante para comprender la vulnerabilidad de las comunidades. De igual manera, Adger, Arnell, & Tompkins (2005) argumentan que, el capital político, humano y social tienen la misma importancia en los procesos de adaptación que las sociedades adopten.

Capital financiero

Para el 68% de familias en San Francisco Putla y 62% en Raíces el capital financiero es muy vulnerable a la variabilidad climática debido a que las actividades productivas se basan en el sector primario. Lo anterior coincide con lo expuesto por Monterroso et al. (2015) afirmando que, en México el sector primario en general es altamente vulnerable a la variabilidad climática. Los impactos se manifiestan en la productividad anual de los cultivos, provocando bajos precios de venta de sus productos. Asimismo, la diversificación de los ingresos también es afectada.

El IPCC (2014b) prevé que los ingresos agrícolas se verán más afectados en las comunidades rurales. No obstante, en muchos países con potencial agrícola, el apoyo con capital financiero ha sido una política de importancia para adaptar los medios de vida rurales a las adversidades climáticas (Huai, 2016). El poco acceso a fuentes externas de ingreso (créditos bancarios o

incentivos directos del gobierno), restringido acceso a tecnologías y poca demanda en su producción amplían la vulnerabilidad del capital financiero en San Francisco Putla y Raíces.

Capital Físico/construido

Las malas condiciones de las carreteras, poca infraestructura para almacenar sus productos y planificar medidas de adaptación, viviendas con diseños no aptos para climas extremos y pequeñas superficies de tierra para cultivar provoca que este capital sea bastante vulnerable a las variaciones climáticas. Esto demuestra que comunidades con capital físico limitado presentan mayor riesgo climático, así lo afirman Dulal, Brodnig, Onoriose, & Thakur (2010). El análisis de los indicadores evidencia que la variabilidad climática tiene impactos en las principales vías de acceso de las dos comunidades, afectando de esta manera la movilidad de las personas y el transporte de los cultivos a los mercados o centros de acopio.

4.7 Vulnerabilidad climática de los medios de vida

La variabilidad climática afecta los medios de vida que desarrollan las comunidades de alta montaña en diferentes partes del mundo y las actividades agrícolas son las que más daño experimentan (Abasolo, 2006; Martínez et al., 2014; Macchi, Gurung, & Hoermann, 2017; Milan & Ho, 2013). Los estresores ambientales, sociales, políticos, humanos y financieros son las principales atenuantes de la vulnerabilidad climática en estas regiones (IPCC, 2007; Ziervogel, 2010; IPCC 2014b; Milan y Ho, 2013; Aryal, Cockfield, & Maraseni, 2015). Los altos índices de exposición, alta y media sensibilidad en el capital financiero y natural y baja capacidad de adaptación en todos los capitales, ha provocado que los principales medios de vida de las comunidades de San Francisco Putla y Raíces presenten vulnerabilidad alta y media ante la variabilidad climática (Figura 13).

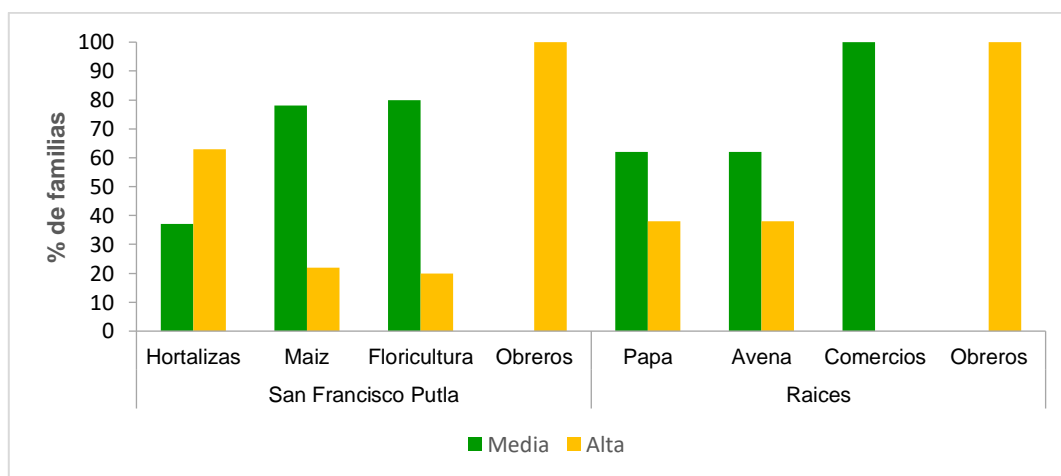


Figura 2. Vulnerabilidad de los medios de vida en la comunidad de San Francisco Putla y Raíces.

La disminución de ingresos en la productividad agrícola, comercios y en actividades realizadas por los obreros y jornaleros, representa el daño más significativo en estas comunidades, dado que el bienestar de los hogares depende en su mayoría de esos ingresos, y los impactos que los medios de vida enfrentan, repercuten indirectamente en la salud, educación, alimentación y viviendas de los pobladores. Por tal razón, las iniciativas de adaptación deben estar encaminadas a potenciar los capitales que sirven de sustento para los medios de vida. Se ha demostrado que mejorar la adaptación de los capitales comunitarios, refuerza la resiliencia de los medios de vida rurales (Kopytko, 2018; Belle, Collins, & Jordan, 2017; Yaméogo, 2018; Hagedoorn et al., 2019; Dang, Li, Nuberg, & Bruwer, 2019).

5. Conclusiones

El cambio climático está ocurriendo en las comunidades de alta montaña del centro de México y las poblaciones locales lo están percibiendo. Esta percepción es apoyada por los datos meteorológicos, que evidencian aumentos significativos en la temperatura máxima de estas comunidades. Además, los RCP 4.5 y 8.5 afirman que, esta tendencia continuará en los próximos 70 años. Para el caso de la precipitación, se esperan reducciones hasta de 300 mm para el 2070. Por tal razón, es urgente diseñar estrategias locales de adaptación que involucren la participación del capital político externo, capital social y capital humano de las dos comunidades.

La vulnerabilidad de los capitales y los medios de vida de estas comunidades ha aumentado, puesto que la productividad o ganancias que estos últimos generan dependen de las variaciones climáticas y eventos extremos que ocurren en estas zonas. Se percibe que aumentos significativos en la temperatura máxima, aumentos en la frecuencia e intensidad de heladas, granizadas, sequías, nevadas, lluvias y vientos son las principales atenuantes a los que se enfrentan los capitales y los medios de vida.

Los principales medios de vida (hortalizas, maíz, floricultura, producción de avena forrajera y papa, obreros/jornaleros y pequeños comercios) de las dos comunidades presentan vulnerabilidad media y alta ante estas adversidades climáticas. Los eventos extremos asociados a las sequías (con temperaturas mayores a los promedios normales) representa la mayor amenaza climática para los medios de vida de San Francisco Putla, mientras que en Raíces las heladas y nevadas son las que provocan mayor daño en sus medios de vida.

La sensibilidad alta y limitada capacidad de adaptación de los capitales comunitarios incrementa la vulnerabilidad de estos medios de vida e implica consecuencias directas e indirectas en la salud, migración, viviendas, infraestructura vial, fuentes de agua, suelos, bosques, costumbres y

tradiciones de los pobladores. Asimismo, los impactos en los sistemas agrícolas han provocado pérdida en la productividad anual de los cultivos, agravando la seguridad alimentaria y limitando la diversificación y reducción de los ingresos.

Se han adoptado pocas estrategias de adaptación, desde el capital cultural y humano que han permitido la subsistencia de los medios de vida hasta la actualidad, pero existe mucha incertidumbre de la efectividad a largo plazo. Por tal razón, las estrategias que estas comunidades adopten, deben considerar las necesidades que enfrentarán a mediano y largo plazo. En este contexto, los programas y políticas de adaptación deben ser consistentes con la alta incertidumbre que representa la variabilidad climática futura. Para ello se requiere mayor voluntad política y reducir la brecha entre comunidades rurales e instituciones de gobierno.

6. Bibliografía

Abasolo, V. E. (2006). Entre el cielo y la tierra: Raíces, un pueblo de la alta montaña en el Estado de México. Universidad Iberoamericana.

Adger, W. N. (2003). Social Capital , Collective Action , and Adaptation to Climate Change. *Economic Geografic*, 79(4), 387–404.

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>

Adger, W. N. (2010). Climate Change , Human Well-Being and Insecurity. *New Political Economy*, 15(2), 275–292. <https://doi.org/10.1080/13563460903290912>

Adger, W. N., Arnell, N. W., & Tompkins, E. L. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, 15, 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.005>

Adger, W. N., Barnett, J., Brown, K., Marshall, N., & Brien, K. O. (2012). Cultural dimensions of climate change impacts and adaptation. *Nature Climate Change*, 3(2), 112–117. <https://doi.org/10.1038/nclimate1666>

Adger, W. N., & Kelly, P. M. (1999). Social Vulnerability To Climate Change and the Architecture of Entitlements. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4, 253–266.

Augustin, J; Franzke, N; Augustin, M; & Kappas M. (2008). Does climate change affect the incidence of skin and allergic diseases in Germany?. *Journal of the German Society of Dermatology*. 6: 632-638.

Alobo, L. S. (2015). Rural Livelihood Diversification in Sub-Saharan Africa: A Literature Review. *Journal of Development Studies*, 51(9), 1125–1138. <https://doi.org/10.1080/00220388.2015.1046445>

Anastacio, N. D., Nava-Bernal, G., & Franco-Maass, S. (2014). El desarrollo agropecuario de los pueblos de alta montaña . La Peñuela , Estado de México The agricultural development of the State of Mexico. 45(2014), 397–418.

Ansoms, A., & McKay, A. (2010). A quantitative analysis of poverty and livelihood profiles: The case

of rural Rwanda. *Food Policy*, 35(6), 584–598. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.06.006>

Aryal, S., Cockfield, G., & Maraseni, T. N. (2015). Perceived changes in climatic variables and impacts on the transhumance system in the Himalayas. *Climate and Development*. <https://doi.org/10.1080/17565529.2015.1040718>

Baca, M., Läderach, P., Hagggar, J., Schroth, G., & Ovalle, O. (2014). An integrated framework for assessing vulnerability to climate change and developing adaptation strategies for coffee growing families in mesoamerica. *PLoS ONE*, 9(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088463>

Barrucand, M. G., Giraldo, C., & Canziani, P. O. (2017). Climate change and its impacts: perception and adaptation in rural areas of Manizales, Colombia. *Climate and Development*, 9(5), 415–427. <https://doi.org/10.1080/17565529.2016.1167661>

Belle, J. A., Collins, N., & Jordan, A. (2017). Building Resilience in Natural Capital to Reduce Disaster Risks and Adapt to Climate Change : A Case of Wetlands in the Eastern Free State ; South Africa Building Resilience in Natural Capital to Reduce Disaster Risks and Adapt to Climate Change : A Case. *American Journal of Enviromental Science*, 13(5), 358–377. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2017.358.377>

Bowyer, P., Bender, S., Rechid, D., & Schaller, M. (2014). Adapting to Climate Change : Methods and Tools for Climate Risk Management - CSC Report 17. In Climate Service Center, Germany (Vol. 17).

Brooks, N., Adger, W. N., & Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. 15, 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006>

Can, N. D., Tu, V. H., & Hoanh, C. T. (2013). Application of Livelihood Vulnerability Index to Assess Risks from Flood Vulnerability and Climate Variability—A Case Study in the Mekong Delta of Vietnam. *Journal of Environmental Science and Engineering A*, 2, 476–486.

CENAPRED. (2008). Aplicación de la metodología para obtener mapas de riesgo por bajas temperaturas y nevadas en la comunidad de Raices, Estado de México. D. F. México.

CEPAL. (2015). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible. Santiago de Chile, Chile: Naciones Unidas.

Chambers, R., & Conway, G. R. (1991). Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century. In Instituto of Develoment Studies.

Chinwendu, O. G., Sadiku, S. O. E., Okhimamhe, A. O., & Eichie, J. (2017). Households Vulnerability and Adaptation to Climate Variability Induced Water Stress on Downstream Kaduna River Basin. *American Journal of Climate Change*, 06(02), 247–267. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.62013>

CICC. (2012). México: Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1st ed.). DF, Mexico.

Conde, A. C. (2006). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático : descripción de un estudio de caso y los retos en las investigaciones actuales.

Conde, A., & López, J. (2016). Variabilidad y Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe (1st ed.). México.

Dang, H. Le, Li, E., Nuberg, I., & Bruwer, J. (2019). Factors influencing the adaptation of farmers in response to climate change: a review. *Climate and Development*, 0(0), 1–10. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1562866>

DFID. (1999). Sustainable Livelihoods Guidance Sheets. Departement for International Development, 26. <https://doi.org/10.1002/smj>

- DOF. (2014). Programa Especial de Cambio Climático. D. F. México.
- Dulal, H. B., Brodnig, G., Onoriose, C. G., & Thakur, H. K. (2010). Capitalizing on Assets : Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Nepal. *Social Development*, (121), 1–23.
- Dye, C., & Reiter, P. (2000). Enhanced: Temperatures Without Fevers ? *Science*, 289(5485), 1697–1708. <https://doi.org/10.1126/science.289.5485.1697>
- Ellis, F. (2001). Rural Livelihoods, Diversity and Poverty Reduction Policies: Uganda, Tanzania, Malawi and Kenya. LADDER Working Paper No. 1, 1(2), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- FAO. (2016). Climate change and food security: risks and responses.
- Fenton, M., Kelly, G., Vella, K., & Innes, J. (2007). Climate change and Great Barrier Reef: industries and communities. In *Management*.
- Fey, S., Bregendahl, C., & Flora, C. (2006). The Measurement of Community Capitals through Research. 1(1), 0–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.4148/ojrrp.v1i1.29>
- Fierros, I., & Ávila-Foucat, S. (2017). Sustainable livelihoods and vulnerability in rural Mexican households. *Problemas Del DESARROLLO. REVISTA LATINOAMERICANA DE ECONOMIA*, 48(191).
- Filho, W. L., Al-Amin, A. Q., Nagy, G. J., Azeiteiro, U. M., Wiesböck, L., Ayal, D. Y., Jabbour, C. J. C. (2018). A comparative analysis of climate-risk and extreme event-related impacts on well-being and health: Policy implications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph15020331>
- Flora, C.B., & Flora, J. (2013). *Rural Communities: Legacy and change*, Westview Press. Boulder. 414 pp.
- Füssel, H. M., & Klein, R. J. T. (2006). Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change*, 75(3), 301–329. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-0329-3>
- Ghil, M. (2002). Natural Climate Variability. *Encyclopedia of Global Environmental Change*, 1, 544–549.
- GIZ. (2014). *The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments*. Bonn, Alemania.
- Gutiérrez, I., Emery, M., & Fernandez, E. (2009). The Sustainable Livelihoods Approach and the Community Capitals ... *Community Development*, 40(2), 106–113. <https://doi.org/10.1080/15575330903011785>
- Gutiérrez, I.A., Soares, D., Thibault, M., Rivas, G.G., Pinto, G., Ramírez, F., Romero, R., López, R. (2014). Análisis de la susceptibilidad de los recursos comunitarios ante eventos climáticos extremos en Sitalá Chiapas: retos y propuestas conceptuales desde un enfoque de equidad social. en: Soares, D., Milan, G., Gutiérrez, I. *Reflexiones y expresiones de la vulnerabilidad social en el sureste de México*. México. pp 143-185.
- Hagedoorn, L. C., Brander, L. M., Beukering, P. J. H. Van, Dijkstra, H. M., Franco, C., Hughes, L., Franco, C. (2019). Community-based adaptation to climate change in small island developing states: an analysis of the role of social capital. *Climate and Development*, 0(0), 1–12. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1562869>
- Haines, A., Kovats, R., Campbell-Lendrum, D., & Corvalan, C. (2006). Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. *Public Health*, 367(9528), 2101–2109. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68933-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68933-2)

- Hansen, J., Sato, M., & Ruedy, R. (2012). Perception of climate change. *Weather*, 73(11), 9. <https://doi.org/10.1002/wea.3204>
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. W., & Medina-Elizade, M. (2006). GLOBAL SURFACE TEMPERATURE CHANGE. *PNAS*, 103(39). <https://doi.org/10.1073/pnas.0606291103>
- Huai, J. (2016). Role of Livelihood Capital in Reducing Climatic Vulnerability : Insights of Australian Wheat from 1990 – 2010. *PLOS ONE*, 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152277>
- Imbach, A. C. (2016). ESTRATEGIAS DE VIDA. Analizando las conexiones entre la satisfacción de las necesidades humanas fundamentales y los recursos de las comunidades rurales. *Geolatina*, 1–20.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.* <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8845-7>
- IPCC. (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- IPCC. (2014a). *Climate change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability: Contribution of working group II to the IPCC fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- IPCC. (2014b). *Livelihoods and poverty. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 13).* <https://doi.org/10.1007/s11657-018-0479-8>
- IUCN. (2003). *Livelihoods and Climate Change. Combining disaster risk reduction, natural resource management and climate change adaptation in a new approach to the reduction of vulnerability and poverty. In Change (Vol. 181).* Winnipeg, Canada.
- Jamshidi, O., Asadi, A., Kalantari, K., Azadi, H., & Scheffran, J. (2018). Vulnerability to climate change of smallholder farmers in the Hamadan province, Iran. *Climate Risk Management*, 23(August 2017), 146–159. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.06.002>
- Kais, S. M., & Islam, M. S. (2016). Community capitals as community resilience to climate change: Conceptual connections. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph13121211>
- Kangalawe, R. Y. (2016). Climate change impacts on water resource management and community livelihoods in the southern highlands of Tanzania. *Climate and Development.* <https://doi.org/10.1080/17565529.2016.1139487>
- Kopytko, N. (2018). What role can a livelihood strategy play in addressing climate change ? Lessons in improving social capital from an agricultural cooperative in Ukraine. *Climate and Development*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1442787>
- Macchi, M., Gurung, A. M., & Hoermann, B. (2017). Community perceptions and responses to climate variability and change in the Himalayas. *Climate and Development*, 7(5), 414–425. <https://doi.org/10.1080/17565529.2014.966046>
- Maldonado, J. H., & Moreno-Sánchez, R. del P. (2014). Estimating the adaptive capacity of local

- communities at marine protected areas in Latin America: A practical Approach. *Ecology and Society*, 19(1). <https://doi.org/10.5751/ES-05962-190116>
- Manzanilla, U., Calderón, A. O., & Jiménez, J. (2018). Climate change scenarios (CMIP-5) for three protected natural areas in the Transversal Neovolcanic belt Abstract : The concept of climate change describes the changes in climate attributed directly or. 9(50). <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.255>
- Marshall, N. A., Marshall, P. A., Tamelander, J., Obura, D., Malleret-King, D., & Cinner, J. E. (2010). A Framework for Social Adaptation to Climate Change; Sustaining Tropical Coastal Communities and Industries. Gland, Switzerland. 36 page.
- Maru, Y. T., Stafford, M., Sparrow, A., Pinho, P. F., & Dube, O. P. (2014). A linked vulnerability and resilience framework for adaptation pathways in remote disadvantaged communities. *Global Environmental Change*, 28, 337–350. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.12.007>
- Milan, A., & Ho, R. (2014). Livelihood and migration patterns at different altitudes in the Central Highlands of Peru. 6(1), 69–79. <https://doi.org/10.1080/17565529.2013.826127>
- Mirza, M. M. Q. (2003). Climate change and extreme weather events: Can developing countries adapt? *Climate Policy*, 3(3), 233–248. [https://doi.org/10.1016/S1469-3062\(03\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S1469-3062(03)00052-4)
- Mohan, D., & Sinha, S. (2015). Assessing vulnerability to climate change in the Ganges Basin using a combined macro- and micro-level approach. *Climate and Development*, 8(4), 312–323. <https://doi.org/10.1080/17565529.2015.1064810>
- Monterroso, A., & Conde, C. (2015). Exposure to climate and climate change in Mexico. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(4), 272–288. <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.847867>
- Monterroso, A., & Conde, C. (2017). Adaptive capacity: identifying the challenges faced by municipalities addressing climate change in Mexico. *Climate and Development*, 0(0), 1–13. <https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1372264>
- Monterroso, A., Fernández, A., Trejo, R., Conde, A., Escandón, J., Villers, L., & Gay, C. (2014). Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México (1st ed.). D. F. México: Centro de Ciencias de la Atmósfera. Programa de Investigación en Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México.
- O'neil, M. S., Hajat, S., Zanobetti, A., Ramirez-Aguilar, M., & Schwartz, J. (2005). Impact of control for air pollution and respiratory epidemics on the estimated associations of temperature and daily mortality. *Int J Biometerol*, 50, 121–129. <https://doi.org/10.1007/s00484-005-0269-z>
- Ortega-Gaucin, D., López, M., & Arreguín, F. I. (2016). Drought Risk Management in Mexico: Progress and Challenges DROUGHT RISK MANAGEMENT IN MEXICO: PROGRESS AND CHALLENGES. 6(2), 161–170. <https://doi.org/10.2495/SAFE-V6-N2-161-170>
- Pant, K. (2012). Climate Change And Food Security In Nepal. *The Journal of Agriculture and Enviroment*, 13. <https://doi.org/10.3126/aej.v13i0.7582>
- Peralta-Hernández, A. R., & Barba-Martínez, L. R. (2009). The risk of early and late frost behavior in central México under El Niño conditions. 22(1), 111–123.
- Phuong, L. T. H., Biesbroek, G. R., & Wals, A. E. J. (2018). Barriers and enablers to climate change adaptation in hierarchical governance systems: the case of Vietnam. *Journal of Environmental Policy and Planning*, 20(4), 518–532. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2018.1447366>
- Quinn, C. H., Ziervogel, G., Taylor, A., Takama, T., & Thomalla, F. (2011). Coping with Multiple Stresses in Rural South Africa. *Ecology and Society*, 16(3). <https://doi.org/10.5751/ES-04216-160302>

- Ramirez, A. G., Gómez, J. D., & Monterroso, A. I. (2016). Escenarios de cambio climático y desarrollo rural. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(6), 15–26.
- Rogers, D. J., & Randolph, S. E. (2000). The Global Spread of Malaria in a Future , Warmer World. *SCIENCE*, 289, 1763–1767. <https://doi.org/10.1126/science.289.5485.1763>
- Ruiz, L. E. (2010). Climate change and labour : The need for a “ just transition .” *International Journal of Labour Research*, 2(2), 187–121.
- Ruiz, L. E. (2014). Adaptive capacity of small-scale coffee farmers to climate change impacts in the Soconusco region of. *Climate and Develoment*, 7(2), 100–109. <https://doi.org/10.1080/17565529.2014.900472>
- Sallu, S. M., Twyman, C., & Stringer, L. C. (2010). Resilient or Vulnerable Livelihoods? Assessing Livelihood Dynamics and Trajectories in Rural Botswana. *Ecology and Society*, 15(4), 48–79.
- Scafetta, N., Mirandola, A., & Bianchini, A. (2017). Natural climate variability, part 1: Observations versus the modeled predictions. *International Journal of Heat and Technology*, 35, 9–17. <https://doi.org/10.18280/ijht.35sp0102>
- Seaman, J. A., Sawdon, G. E., Acidri, J., & Petty, C. (2014). The household economy approach. managing the impact of climate change on poverty and food security in developing countries. *Climate Risk Management*, 4, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2014.10.001>
- Serrat, O. (2017). The Sustainable Livelihoods Approach. Asian Development Bank, 21–26. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-0983-9>
- Smit, B., Burton, I., KleinR, J. T., & Street, R. (1999). The Science of Adaptation: A Framework for Assessment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4(3–4), 199–213. <https://doi.org/10.1023/A:1009652531101>
- Smit, B., & Pilifosova, O. (2001). Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity. In Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability (Vol. 8, pp. 880–912). Retrieved from <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/pdf/wg2TARchap18.pdf>
- Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>
- Smit, B., & Westerhoff, L. (2009). Adaptation and development: Livelihoods and climate change in Subarnabad, Bangladesh. *Climate and Development*, 1(1), 31–46. <https://doi.org/10.3763/cdev.2009.0001>
- Swanson, K. L., Sugihara, G., & Tsonis, A. A. (2009). Long-term natural variability and 20th century climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(38), 16120–16123. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908699106>
- Thornton, P., Herrero, M., Freeman, A., Mwai, O., Rege, E., Jones, P., & Mcdermott, J. (2007). Mapping climate vulnerability and poverty in Africa: impacts on livestock and livelihoods. *SAT EJournal*, 4(1), 1–23.
- UNFCCC. (2006). *Climate Change: Impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries*. Bonn, Alemania.
- Yaméogo, T. B., Fonta, W. M., & Wünscher, T. (2018). Can Social Capital influence Smallholder Farmers ' Climate-Change Adaptation Decisions ? Evidence from Three Semi-Arid Communities in Burkina Faso , West Africa. *Social Science*, 7(33), 1–20. <https://doi.org/10.3390/socsci7030033>
- Zerihun, B. W. (2016). Non - farm Diversification and Its Impacts on Income Inequality and Poverty : Evidence from Rural Ethiopia. *Ethiopian Journal of Development Research*, 37(2).

Zheng, Y., & Dallimer, M. (2016). What motivates rural households to adapt to climate change? *Climate and Development*, 8(2). <https://doi.org/10.1080/17565529.2015.1005037>

Ziervogel, G., & Calder, R. (2003). Climate variability and rural livelihoods: Assessing the impact of seasonal climate forecasts in Lesotho. *Area*, 35(4), 403–417. <https://doi.org/10.1111/j.0004-0894.2003.00190.x>

Ziervogel, G., Shale, M., & Du, M. (2010). Climate change adaptation in a developing country context : The case of urban water supply in Cape Town Climate change adaptation in a developing country context: The case of urban water supply in Cape Town. 2(2), 94–110. <https://doi.org/10.3763/cdev.2010.0036>