

Terracing for soil restoration and drought adaptation in the Mapimí Biosphere Reserve, Mexico

Jacqueline Yared Cortina Aguilera^{1*}
Gerardo Bocco Verdinelli¹
Esperanza Arnés Prieto²
Quetzalcóatl Orozco Ramírez³
John Kelly⁴

Abstract

Adaptation to drought is a subject of debate and interest from various approaches and geographic areas. In this context, it is important to promote actions in protected natural areas that, without neglecting conservation, seek to improve the adaptation of their inhabitants to changes in rainfall patterns and soil degradation, processes linked to drought. This study aimed to analyze, through semi-structured interviews and participant observation, the adoption of terracing (semicircular bunds) as a management practice for soil restoration and drought adaptation in the Mapimí Biosphere Reserve, a semiarid region in north-central Mexico where extensive cattle ranching is the main economic activity. Residents agree that the rainy season now begins later and, therefore, the period of natural absence of precipitation extends into the summer season. They also concur that the pattern of storms has changed, as their intensity has increased markedly, while the events are shorter in duration and occur over relatively small areas. The use of semicircular bunds is an efficient tool in the face of the worsening lack of vegetation cover and overgrazing. This is similar to results in analogous conditions in Mexico, where climate variability has been addressed through terracing.

Keywords: extensive cattle ranching, climate variability, protected natural areas.

Terraceo para la restauración de suelos y adaptación a la sequía en la Reserva de la Biosfera Mapimí, México

Resumen

La adaptación a la sequía es objeto de debate e interés desde diversos enfoques y ámbitos geográficos. En este contexto es importante que, en las áreas naturales protegidas, se promuevan acciones que, sin descuidar la conservación, busquen mejorar la adaptación de sus habitantes frente a los cambios en el patrón de las lluvias y degradación de los suelos, procesos vinculados a la sequía. El propósito del estudio fue analizar, a través de entrevistas semiestructuradas y observación participante, la adopción del terraceo (bordos semicirculares) como práctica de manejo para la restauración de suelos y la adaptación a la sequía en la Reserva de la Biosfera Mapimí, una región semi-árida del centro norte de México, donde la ganadería extensiva es la principal actividad económica. Los habitantes coinciden en señalar que las lluvias se demoran y, por lo tanto, el periodo de ausencia natural de precipitación se extiende en la temporada estival; el patrón de las tormentas cambió: la intensidad se incrementa notoriamente, mientras que los eventos han reducido su duración y ocurren sobre áreas relativamente pequeñas. El papel de los bordos semicirculares frente a la agudización de la falta de cubierta vegetal y el sobre-pastoreo es eficiente. Esto tiene similitud con resultados en condiciones análogas de México, donde la variabilidad climática ha sido enfrentada a través del terraceo.

Palabras clave: ganadería extensiva, variabilidad climática, áreas naturales protegidas.

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Morelia, Mich. México.

²Universidad Nacional Autónoma de México, Consejo Nacional de Humanidades, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Morelia, Mich, México.

³Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Académica de Estudios Territoriales, Instituto de Geografía, Oaxaca, Oax. México.

⁴University of Wisconsin-La Crosse, Geography and Environmental Science Department. Wisconsin, United States.

*Corresponding author: jcortina@pmip.unam.mx ORCID ID: 0009-0000-5349-9341

Introduction

This study specifically focuses on the implementation of semicircular bunds, a terracing technique that has been promoted in semiarid areas of Mexico by the National Commission of Protected Natural Areas (CONANP) as a strategy for drought adaptation and soil restoration.

Terracing is an ancient agricultural practice that uses local environmental knowledge to cushion the impacts of climate variability on rainfed agriculture (Bocco & Napoletano, 2017). There are vestiges of terraces in various parts of the world; for example, in the Mixteca Alta Oaxaqueña (Bocco, G., et al., 2019) it has been practiced for at least the last 3400 to 3500 years (Leigh et al., 2013), and in Arizona and northwestern New Mexico for the last 1000 years (Altieri & Koohafkan, 2008). It consists of establishing embankments perpendicular to the slope or transversally to a watercourse to accumulate runoff, reduce soil erosion by runoff and promote moist conditions for crop establishment (Wilken 1987; Whitmore & Turner, 2001). Soil management in landscapes that are fragile and susceptible to wind and water erosion is highly important, especially in intertropical and semiarid regions. In Mexico, these regions are mainly in the north, such as the Chihuahuan Desert and the Baja California peninsula. In these areas, precipitation is extremely low, averaging less than 300 mm per year, and overgrazing has caused severe soil degradation, with moisture surpluses being insignificant (Denevan, 1989; Altieri & Koohafkan, 2008). Ninety-five percent of the terraces in the Americas are located in desert, steppe, and subhumid climate regions, where approximately 85 % experience a dry season of five months or more and total annual precipitation ≤ 900 mm. In North America, the zone of ancient terraces extends from southwestern Colorado (36 °N) to the Sierra Madre Occidental of Mexico (between Sonora and Chihuahua). In Mesoamerica, there are records for the Valley of Mexico, Oaxaca and Chiapas in Mexico, and a few in southwestern Guatemala. Further south, there are records in Panama and Sierra Nevada de Santa Marta (northern Colombia), and up to the Andes where the distribution is extensive but not continuous, from Venezuela to northern Chile and northwestern Argentina (32 °S) (Donkin, 1979).

Introducción

El presente estudio se centra específicamente en la implementación de bordos semicirculares, una técnica de terraceo que ha sido promovida en las zonas semiáridas de México por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) como una solución para la adaptación a la sequía y la restauración de suelos.

El terraceo es una práctica agrícola milenaria que emplea el conocimiento ambiental local para amortiguar los impactos de la variabilidad climática sobre la agricultura de temporal (Bocco & Napoletano, 2017). Existen vestigios de terrazas en diversas partes del mundo, por ejemplo, en la Mixteca Alta Oaxaqueña (Bocco, G., et al., 2019) se ha practicado al menos desde 3400 a 3500 años antes del presente (Leigh et al., 2013); en Arizona y el noroeste de Nuevo México durante los últimos 1000 años (Altieri & Koohafkan, 2008). Consiste en establecer terraplenes perpendiculares a la pendiente o de forma transversal a una corriente de agua para acumular los escurrimientos, disminuir la erosión de los suelos por escorrentía y propiciar las condiciones de humedad para el establecimiento de cultivos (Wilken 1987; Whitmore & Turner, 2001). El manejo de los suelos en paisajes que son frágiles y susceptibles a la erosión eólica e hídrica es sumamente relevante, en especial en regiones intertropicales y semiáridas. Estas regiones incluyen principalmente áreas del norte de México, como el desierto de Chihuahua y la península de Baja California. En estas zonas, la precipitación es extremadamente baja, con menos de 300 mm anuales en promedio, y el sobrepastoreo ha causado una degradación severa del suelo. Donde los excedentes de humedad son poco significativos (Denevan, 1989; Altieri & Koohafkan, 2008). El 95 % de las terrazas del continente americano se encuentran en regiones de clima desérticos, esteparios y subhúmedos; donde aproximadamente el 85 % experimenta una estación seca de cinco meses o más y una precipitación total anual ≤ 900 mm. En América del Norte, la zona de antiguas terrazas se extiende desde el suroeste de Colorado (36 °N) hasta la Sierra Madre Occidental de México (entre Sonora y Chihuahua). En Mesoamérica existen registros para el Valle de México, Oaxaca y Chiapas y pocos al suroccidente de Guatemala. En Centroamérica, hay registros en Panamá y Sierra

There is increasing academic interest in social perceptions of climate variability and slope management. It has been suggested that scientific approaches be integrated with traditional practices to improve the effectiveness of soil and water conservation works (Bocco & Napoletano, 2017; Bocco et al., 2021). Terracing reflects the experience and knowledge of peasants in relation to their environment, their creative and experimental capacity, and the management of resources within their reach. For Altieri & Koohafkan (2008), there is a need to revalue local knowledge as a key source of information for adaptation focused on farmers' selective, experimental and resilient capacities to cope with climate change.

This practice has been driven by international and national environmental and agricultural organizations, such as the U.S. Soil Conservation Service (SCS), which promoted, among other practices, contour plowing to protect crops from heavy rains that, in turn, eroded the soil, with pioneering studies in Coon Valley, Wisconsin in the 1930s (Anderson, 2002). These advocacy experiences demonstrate that the success and persistence of conservation and climate change adaptation schemes can be attributed to a bottom-up process, in which decisions are made jointly and peasant perception is put first, in terms of their demands, experiences and expectations; this enhances the possibility of developing local capacity-building strategies aimed at creating more resilient food systems (Altieri & Nicholls, 2009; Austria-Martínez et al., 2012; Arnés et al., 2018).

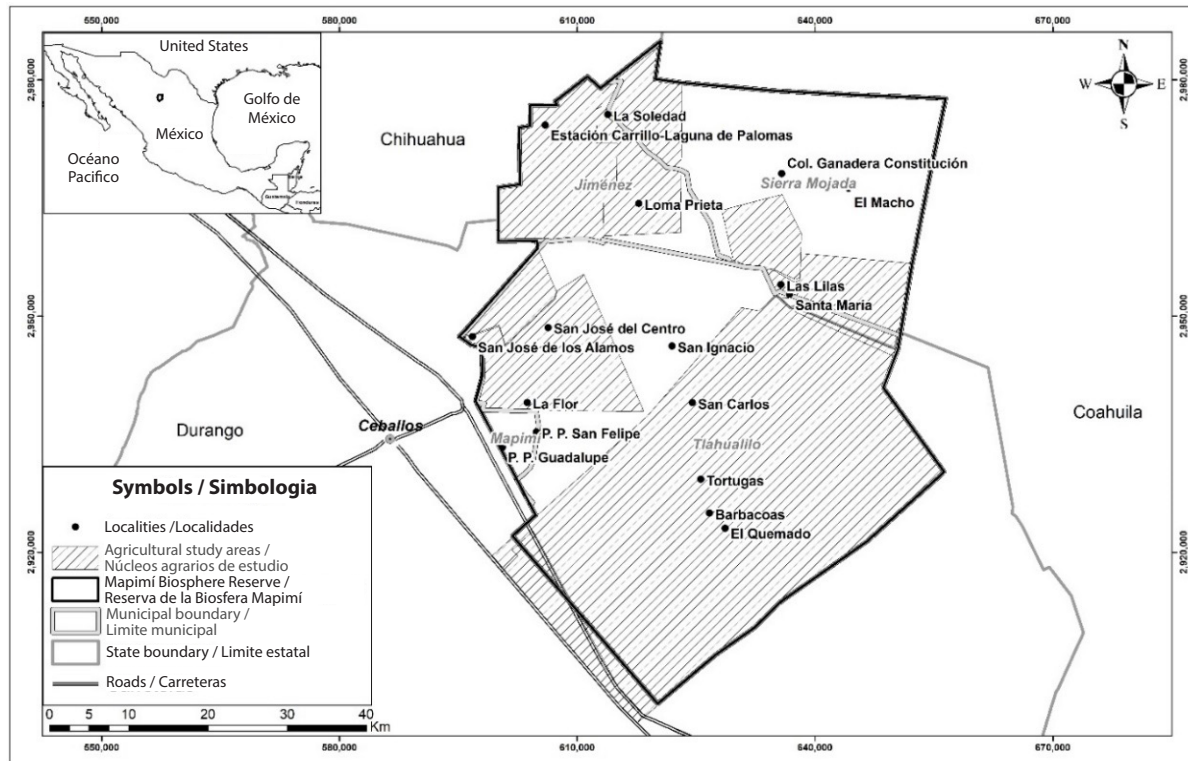
One of the main challenges of extensive cattle ranching in the central-northern regions of Mexico is overgrazing, as it leads to soil compaction and, as a result, causes increased runoff and erosion, which in turn intensifies ecosystem degradation processes, a situation that compromises the supply of pastures for cattle (Dudley et al., 2010; Perramond, 2010). Taking this context into account, initiatives have emerged that propose terracing in the form of semicircular bunds as a technology suitable for areas with low slopes (0-5%), and as a strategy that favors the regeneration of pastures for grazing and contributes to coping with climate variability. As this is the most important activity in terms of income (estimated annual production value of \$6 395 400 MXN from the sale of calves for export), the conservation actions

Nevada de Santa Marta (Norte de Colombia). Hasta llegar a los Andes, donde la distribución es extensa pero no continua, desde Venezuela hasta el norte de Chile y hacia el noroeste de Argentina (32 °S) (Donkin, 1979).

Cada vez es mayor el interés académico acerca de la percepción social en materia de variabilidad climática, así como del manejo de laderas, se ha sugerido integrar enfoques científicos con prácticas tradicionales para mejorar la eficacia de las obras de conservación de suelos y agua (Bocco & Napoletano, 2017; Bocco et al., 2021). El terraceo refleja la experiencia y el conocimiento de los campesinos en relación con su entorno, su capacidad creativa y experimental, así como del manejo de los recursos al alcance de sus posibilidades. Para Altieri & Koohafkan (2008) existe una necesidad de revalorar el conocimiento local como una fuente clave de información para la adaptación centrada en las capacidades selectivas, experimentales y resilientes de los agricultores para hacer frente al cambio climático.

Esta práctica ha sido impulsada desde organismos internacionales y nacionales del sector ambiental y agrícola, tal es el caso de la Agencia Federal de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS) que promovió, entre otras prácticas, el arado de contorno para proteger a los cultivos de lluvias intensas que, a su vez, erosionaban el suelo, con estudios pioneros en Coon Valley, Wisconsin en la década de 1930 (Anderson, 2002). Estas experiencias de promoción coinciden en que el éxito y persistencia de los esquemas de conservación y de adaptación al cambio climático puede atribuirse a un proceso bottom-up, en el que se toman las decisiones de manera conjunta y se antepone la percepción campesina, en términos de sus demandas, experiencias y expectativas; esto mejora la posibilidad de desarrollar estrategias de fortalecimiento de capacidades locales hacia sistemas alimentarios más resilientes (Altieri & Nicholls, 2009; Austria-Martínez et al., 2012; Arnés et al., 2018). Uno de los principales retos de la ganadería extensiva en las regiones del centro norte de México es el sobrepastoreo, ya que favorece la compactación del suelo, y como resultado provoca el aumento de la escorrentía y la erosión, lo que a su vez intensifica procesos de degradación de los ecosistemas, situación que compromete el suministro de pasturas para

Figure 1. Location of the study area.
Figura 1. Localización del área de estudio.



Source: Prepared by the authors.
 Fuente: Elaboración propia.

promoted by the National Commission of Protected Natural Areas (CONANP) are multipurpose: controlling soil degradation, storing moisture for pasture establishment, and providing habitat for wildlife and pasture for livestock (CONANP, 2006). Therefore, this study aimed to: (1) identify the conceptual bases, techniques, and management instruments used to establish the semicircular bunds in the Mapimí Biosphere Reserve, and (2) document how those involved in terracing are organized and respond to the impacts of drought on cattle grazing.

Methodology

Study area

The Mapimí Biosphere Reserve was one of the first two biosphere reserves declared in Mexico in 1977. It has a total area of 342 388 ha (UNESCO, 1978; DOF, 2000) and is located in north-central Mexico encompassing the municipalities of Mapimí (43 km²) and Tlahualilo (2 160 km²) in Durango; Jiménez (376 km²) in Chihuahua; and Sierra Mojada (844 km²) in Coahuila.

el ganado (Dudley et al., 2010; Perramond, 2010). Tomando en consideración este contexto han surgido iniciativas que proponen al terraceo en su modalidad de bordos semicirculares como una tecnología apta para zonas con escasa pendiente (0-5 %), como una estrategia que favorece la regeneración de pastizales para pastoreo y contribuye a hacer frente a la variabilidad climática. Al ser esta la actividad más importante en cuanto a ingresos (se estima un valor de producción de \$6 395 400 anual por concepto de venta de becerros para exportación), las acciones de conservación promovidas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) son multipropósito: controlar la degradación de los suelos, almacenar humedad para el establecimiento del pastizal, y proveer de hábitat a la fauna silvestre y de pastura al ganado (CONANP, 2006). De tal manera que, en este trabajo se plantearon como objetivos: (1) identificar sobre qué bases conceptuales, técnicas e instrumentos de gestión se estableció el terraceo del tipo bordos semicirculares en la Reserva de la Biosfera Mapimí, y (2) documentar cómo los involu-

la (Figure 1). Land tenure is 91 % communal and 9 % smallholdings. There are approximately 416 people living in 11 communities of no more than 10 families, isolated but connected by paths (Kaus, 1992).

The predominant climate is very arid and semi-warm, with summer rains and extreme thermal amplitude (BWhw(e)) (García, 1973). The average annual temperature is 20.8 °C, with a range from 3.9 °C in January (coldest month) to a maximum of 37.41 °C in June (hottest month); total annual precipitation is 264 mm and average annual evaporation is 2 504 mm (CONANP, 2006). The elevation differences are not very marked, as its highest hills are San Ignacio (1 480 masl) and Sierra de la Campana (1 800 masl). These conditions determine the presence of intermittent hydrological currents and two temporary waterbodies: Laguna de Palomas and Laguna del Rey (DOF, 2006; López et al., 2016). The soils, according to the FAO-UNESCO classification, are: Calcareous regosols on steep slopes; Calcareous regosols and xerosols associated with colluvial deposits in foothill areas; Calcareous and haplic yermosols on quartz sand dunes, and Gypsiferous yermosols that lie on gypsum sand dunes (DOF, 2006). The designation of the Biosphere Reserve in 1977 considered among its conservation objectives the existence of xerophytic scrub, grassland and halophytic vegetation (INEGI, 2017).

The natural conditions in the Reserve and its zone of influence (area adjacent to the polygonal zone of a protected natural area that maintains a close social, economic and ecological interaction with it), such as low rainfall and consequent water scarcity, combined with the presence of saline soils and extensive areas of scrub and grassland, mean that the only profitable activity is extensive cattle ranching, which is characterized by the presence of ranchers, horses and cattle, and infrastructure such as cattle grids and fences (DOF, 2000; Kaus, 1992). Occasionally, to supplement their income, families raise backyard animals, extract salt and engage in tourism activities (Barral, 1988; Ramírez-Carballo et al., 2011).

Planning and fieldwork

A qualitative, ethnographic and participatory approach was used to guide this research (Whyte, 1977; Kanazawa, 2018). The starting point was a documen-

crados en el terraceo se organizan y responden ante los impactos de la sequía en la actividad ganadera.

Metodología

Área de estudio

La Reserva de la Biosfera Mapimí fue una de las dos primeras reservas de la biosfera declaradas en México en 1977, tiene una superficie total de 342 388 ha (UNESCO, 1978; DOF, 2000); se localiza en el centro norte de México entre los municipios de Mapimí (43 km²) y Tlahualilo (2 160 km²) en Durango; Jiménez (376 km²) en Chihuahua; y Sierra Mojada (844 km²) en Coahuila (Figura 1). La tenencia de la tierra es 91 % comunal y 9 % pequeña propiedad. Habitan alrededor de 416 personas en 11 comunidades, de no más de 10 familias, aisladas pero conectadas entre sí por brechas (Kaus, 1992).

El clima predominante es muy árido, semicálido, con lluvias de verano y de amplitud térmica extrema (BWhw(e)) (García, 1973). La temperatura media anual es de 20.8 °C, con rangos que varían de 3.9 °C en el mes de enero (mes más frío), a una máxima de 37.41 °C en junio (mes más caluroso); la precipitación total anual es de 264 mm y la evaporación anual promedio es de 2 504 mm (CONANP, 2006). Las diferencias de altitud son poco marcadas; sus cerros más elevados son el de San Ignacio (1 480 msnm) y Sierra de la Campana (1 800 msnm). Estas condiciones determinan la presencia de corrientes hidrológicas intermitentes y de dos cuerpos de agua temporales: Laguna de Palomas y Laguna del Rey (DOF, 2006; López et al., 2016). Los suelos, conforme a la clasificación de la FAO-UNESCO son: Regosoles calcáreos en laderas con pendientes fuertes; Regosoles calcáreos y xerosoles asociados a depósitos coluviales, en zonas de pie de monte. Yermosoles cálcicos y háplicos sobre dunas de arena de cuarzo. Y, Yermosoles gípsicos que yacen en las dunas de arena yesífera (DOF, 2006). La designación de Reserva de la Biosfera en 1977 consideró entre sus objetivos de conservación la existencia de matorral xerófilo, pastizal y vegetación halófila (INEGI, 2017).

Las condiciones naturales en la Reserva y su zona de influencia (superficie aledaña a la poligonal de un área natural protegida que mantiene una estrecha interacción social, económica y ecológica con esta),

tary review of the conceptual and technical bases for the use of agricultural terraces in the control of slope degradation in climate change-prone rural communities in Mexico, and of the management instruments on which the establishment of terraces in the Mapimí Biosphere Reserve is based. In this way, open access documents and those for the exclusive use of CONANP were reviewed. Afterwards, a field stay was carried out during July and August 2019, in which two tours were conducted to: a) see the areas where the first works were built to conserve soil and water on the Rancho Guadalupe property and b) learn about cattle and water management in the settlements of the La Flor ejido. Also, as part of the participant observation, together with the park rangers and ranchers, we monitored the vegetation and drew contour lines on two properties where the bunds would be established. From this fieldwork, we derived the main topics for the semi-structured interviews (rainy season, drought and the effect on cattle ranching, management and participation in terracing). It was a non-probabilistic sampling, starting with key informants and then in a chain (Martínez-Salgado, 2012). The sample consisted of 19 people: 14 ranchers, of which three are women; a consultant, three park rangers and the Reserve director. The ranchers, aged between 27 and 67, belong to seven of the 11 ejidos within the Reserve's boundaries: La Flor (2), La Soledad (1), Laguna de Palomas (3), Mohovano de Lilas (1), San José de los Álamos (2), Nuevo Centro de Población Agrícola Ganadero Tlahualilo (3) and Vicente Guerrero (2). The women, between 45 and 63 years old, belong to the La Flor and Laguna de Palomas ejidos. The CONANP staff are between 36 and 56 years old and have been working at the Reserve for more than 10 years. The consultant served as a public servant assigned to the Reserve at the beginning of the soil restoration strategy. All were informed about the objectives of the research and their consent was requested for the interview to be recorded. The process of analyzing the interviews consisted of transcribing and organizing the information to define key categories that would concentrate similar ideas. This was reiterative and flexible, that is, categories were redefined and eliminated as many times as necessary (Fernández-Núñez, 2006). Categories were established from an open coding

tales como la baja precipitación pluvial y consecuente escasez de agua, en combinación con la presencia de suelos salinos y extensas áreas de matorral y pastizal, propician que la única actividad redituable sea la ganadería extensiva, la cual se caracteriza por la presencia de rancheros, equinos y bovinos, e infraestructura de guardaganado y cercos (DOF, 2000; Kaus, 1992). Ocasionalmente, para complementar sus ingresos, las familias crían animales de traspatio, extraen sal y desempeñan actividades turísticas (Barral, 1988; Ramírez-Carballo et al., 2011).

Planeación y trabajo de campo

El enfoque que orientó el trabajo fue cualitativo, etnográfico y participativo (Whyte, 1977; Kanazawa, 2018). Se partió de una revisión documental acerca de las bases conceptuales y técnicas del uso de terrazas agrícolas en el control de la degradación de laderas en comunidades rurales de México, proclives al cambio climático. Y, de los instrumentos de gestión de los que deriva la instauración de terrazas en la Reserva de la Biosfera Mapimí. De esta manera, se revisaron documentos de libre acceso y también de uso exclusivo de la CONANP. Después, se realizó una estancia en campo durante los meses de julio y agosto de 2019, en la que se realizaron dos recorridos para, a) apreciar las áreas donde se construyeron las primeras obras para conservar suelos y agua en el predio Rancho Guadalupe y b) para conocer el manejo ganadero y del agua en los asentamientos del ejido La Flor. También, como parte de la observación participante, junto con los guardaparques y rancheros, acudimos al monitoreo de vegetación y trazo de curvas a nivel en dos predios donde se establecerían los bordos. De este acompañamiento, se derivaron los temas eje de las entrevistas semiestructuradas (temporada de lluvias, sequía y el efecto sobre la actividad ganadera, gestión y participación en el terraceo). Fue un muestreo no probabilístico, iniciando con informantes clave, y luego en cadena (Martínez-Salgado, 2012). De este modo se conformó la muestra de 19 personas: 14 rancheros, de los cuales tres son mujeres; un consultor, tres guardaparques y el director de la reserva. Los rancheros, de entre 27 y 67 años, pertenecen a siete de los 11 ejidos dentro de los límites de la reserva: La Flor (2), La Soledad (1), Laguna de Palomas (3), Mohovano de Lilas (1), San José

process, where recurring themes were identified in the interview transcripts. Categories included: "Increase in temperature and delay in precipitation" and "Effects of drought," among others. These were derived from an iterative analysis where responses were grouped according to similarities in perceptions and experiences shared by the interviewees.

Results and discussion

Conceptual bases, techniques and management tools for terracing

Semicircular bunds and other complementary works in the Reserve

The terracing strategy began in 2002 when the owners of Rancho Guadalupe, Mapimí, agreed to have their land be a pilot site for managing cattle and implementing soil and water conservation works (Ramírez-Carballo et al., 2011). The bunds have the shape of a stepped semicircle and are built according to the technical specifications of the *Manual de Captación de Agua de Lluvia* (Rainwater Harvesting Manual) (FAO, 1997). Each bund has a radius of 20 meters; at its extreme side, it is only 0.1 m high, but in the middle part of the base it increases to 0.5 m with a slope on the sides of 3:1 and a width of 0.1 m at the top. The width of the bases is 0.7 m and 3.1 m, respectively (Figure 2). This terracing has been adopted for the rehabilitation of degraded pastures in conditions similar to those of the Reserve (FAO, 1997).

The resources to establish them are obtained mainly from federal programs operated by CONANP through three stages: planning, execution and finalization. Planning consists of determining the area to be restored, which is chosen based on the participatory evaluation proposed by Ramírez-Carballo in 2008. A series of soil degradation indicators associated with overgrazing are evaluated, such as the area of peladeros (a local term referring to areas with bare soil), the increase in the density of indicator species such as the creosote bush (*Larrea tridentata*) in areas where tobosa grass (*Hilaria mutica*) was abundant and, finally, the presence of gullies due to erosion. Likewise, vegetation monitoring is carried out for comparative purposes.

During execution, contour lines are drawn and bunds are built using a tractor with a disc plow or bobcat-

de los Álamos (2), Nuevo Centro de Población Agrícola Ganadero Tlahualilo (3) y Vicente Guerrero (2). Las mujeres, de entre 45 y 63 años, pertenecen a los ejidos de La Flor y Laguna de Palomas. El personal de la CONANP tiene entre 36 y 56 años y más de 10 años laborando en la reserva, su formación profesional es en agronomía y biología. El consultor fungió como servidor público adscrito a la Reserva en los inicios de la estrategia de restauración de suelos. Todos fueron informados sobre los objetivos de la investigación y se pidió su consentimiento para que la entrevista fuera grabada. El proceso de análisis de las entrevistas consistió en transcribir y ordenar la información para definir categorías clave que concentrarán ideas similares. Esto fue reiterativo y flexible, es decir, se redefinieron y eliminaron categorías cuantas veces fue necesario (Fernández-Núñez, 2006). Las categorías fueron establecidas a partir de un proceso de codificación abierta, donde se identificaron temas recurrentes en las transcripciones de las entrevistas. Las categorías incluyeron: "Incremento de temperatura y demora de precipitación", "Efectos de la sequía", entre otras. Estas se derivaron de un análisis iterativo donde las respuestas fueron agrupadas según las similitudes en las percepciones y experiencias compartidas por los entrevistados.

Resultados y discusión

Bases conceptuales, técnicas e instrumentos de gestión del terraceo

Los bordos semicirculares y otras obras complementarias en la Reserva.

La estrategia del terraceo inició en el 2002, cuando los propietarios del Rancho Guadalupe, Mapimí, accedieron a que sus terrenos fueran el sitio piloto para ordenar la ganadería e implementar obras de conservación de suelos y agua (Ramírez-Carballo et al., 2011). Los bordos tienen la forma de un semicírculo escalonado y se construyen con las especificaciones técnicas del Manual de Captación de Agua de Lluvia (FAO, 1997). Su radio es de 20 metros; en su lado extremo, tiene solamente 0.1 m de alto, pero en la parte media de la base se incrementa hasta 0.5 m con una pendiente en los lados de 3:1 y un ancho de 0.1 m en la parte alta. El ancho de las bases es de 0.7 m y 3.1 m, respectivamente (Figura 2). Este terraceo ha

Figure 2. Semicircular bund in the Mapimí Biosphere Reserve.
Figura 2. Bordo semicircular en la Reserva de la Biosfera Mapimí.



Source: (Cortina, 2022).
Fuente: (Cortina, 2022).

type machinery. During this time, park rangers supervise and document the activities. In addition, other works such as dams, stone bunds or embankments and micro-watersheds have been adopted (Figure 3). The micro-watersheds are established in areas where Bolson tortoise (*Gopherus flavomarginatus*) colonies are distributed in order to provide them with water and forage; machinery and cattle are prohibited in these areas. In areas where other works are carried out, native grasses such as tobosa grass and dropseed grass (*Hilaria mutica* and *Sporobolus* sp.) are planted and good cattle ranching practices are followed.

As of 2019, a total of 11 364 semicircular bunds were reported in approximately 2 840.9 ha, of which 299.5 ha were planted with native grasses (*Hilaria mutica* and *Sporobolus* sp.). In addition, there are also 237.1 ha of micro-watersheds and 1 602 m³ of dams and stone bunds (CONANP, 2013).

Intergovernmental achievements and programs

This strategy contributes to the fulfillment of the objectives and goals of at least 10 intervention instruments at different levels: international, national and local. In the international context, the Reserve is part of UNESCO's Man and the Biosphere Programme,

being adopted for the rehabilitation of degraded agostaderos in conditions similar to those of the Reserve (FAO, 1997).

Los recursos para establecerlos se obtienen principalmente de programas federales operados por CONANP a través de tres etapas: planeación, ejecución y finiquito. La planeación consiste en determinar el área a restaurarse, la cual se elige en función de la evaluación participativa que propuso Ramírez-Carballo en el 2008; se evalúan una serie de indicadores de degradación del suelo asociados al sobrepastoreo, como la superficie de *peladeros* (término local que se refiere a la superficie con suelo desnudo), el incremento en la densidad de especies indicadoras como la gobernadora (*Larrea tridentata*) en áreas donde abundaba el pasto de Sabaneta (*Hilaria mutica*) y, por último, la presencia de cárcavas por erosión. Asimismo, se realiza un monitoreo de vegetación con fines comparativos.

En la ejecución, se trazan las curvas a nivel y se construyen los bordos utilizando tractor con arado de discos o maquinaria tipo *bobcat*. Durante este tiempo, los guardaparques supervisan y documentan las actividades. De manera complementaria, se han adoptado otras obras como represas, bordos de piedra acomodada y microcuencas (Figura 3). Las

Figure 3. Other soil and water conservation works in the Reserve. A) Stone bunds and B) Micro-watersheds in the area where Bolson tortoises are distributed.

Figura 3. Otras obras de conservación de suelos y agua en la Reserva. A) Bordos de piedra acomodada y B) Micro-cuencas en área de distribución de la tortuga del bolsón.



Source: Cortina, 2022.
Fuente: Cortina, 2022.

which is guided by a series of guidelines that establish that reserves must promote conservation and sustainable development, particularly for the implementation of international agreements on conservation, climate change and desertification (UNESCO, 1996, 6). Furthermore, local knowledge must be used for its management, recognizing the importance of empowering communities as custodians of knowledge of exceptional value and maintaining cultural identity (UNESCO, 2017, 21). In relation to national instruments, it was one of the protected areas selected to develop the project “Strengthening Management Effectiveness and Resilience of Protected Areas to Safeguard Biodiversity Threatened by Climate Change” (PNUD, 2014), which includes the North American Desert ecoregion. Its efforts focus on restoring degraded lands with native vegetation to minimize soil loss, based on the fact that climate change-induced erosion is detrimental to society. Specifically, shorter rainy seasons and changes in vegetation increase drought conditions, resulting in changes in the distribution and abundance of endemic species (PNUD, 2014, p. 24). Thus, the Complex Climate Change Adaptation Program, Mapimí Basin, emerged, which complements the actions described in the Management Program (CONANP, 2006) and is considered the basis for making decisions on adaptation to climate change, based on the vulnerability

microcuencas se instalan en áreas de distribución de colonias de la tortuga del bolsón (*Gopherus flavo-marginatus*) para proveer agua y forraje, tienen la restricción de no poderse mecanizar y son excluidas del ganado. También, la siembra de pastos nativos como la sabaneta y el pajón (*Hilaria mutica* y *Sporobolus* sp.) y la adopción de buenas prácticas ganaderas.

Hasta el 2019, se reportaron un total de 11 364 bordos semicirculares en aproximadamente 2 840.9 ha, 299.5 ha fueron sembradas con pastos nativos (*Hilaria mutica* y *Sporobolus* sp.) Además de 237.1 ha de microcuencas y 1 602 m³ de presas y bordos de piedra acomodada (CONANP, 2013).

Logros y programas intergubernamentales

Esta estrategia coadyuva al cumplimiento de objetivos y metas de al menos 10 instrumentos de intervención a distintos niveles: internacional, nacional y local. En el contexto internacional, la Reserva forma parte del Programa *Man and the Biosphere* de la UNESCO, el cual se conduce por una serie de directrices que establecen que las reservas deben fomentar la conservación y el desarrollo sostenible, en particular para la aplicación de acuerdos internacionales referentes a la conservación, el cambio climático y la desertificación (UNESCO, 1996, 6). Además, que el conocimiento local debe ser utilizado para su ordenación, reconociendo la importancia del empo-

of conservation targets (Bolson turtle, dune lizard and grasses of the tobosa and bengala species), as well as cattle, to climatic and non-climatic threats. Its particularity is that it contains a financial projection equivalent to \$10 393 650.00 MXN estimated for the year 2014. In 2015, CONANP published the Climate Change Strategy from Protected Natural Areas: A Call for Mexico's Resilience 2015-2020; terracing constitutes an opportunity to meet the objectives framed in the components of land management, social participation and communication (CONANP, 2015).

Some ejidos already have restoration programs for each property, designed based on the conditions and needs of each piece of land. They plan to monitor vegetation cover, floristic richness and site condition. This information is compiled and integrated into a geographic information system, including the distribution of the Bolson tortoise, the grassland areas and the topographic information of the main streams. Based on this, areas of high and medium priority for restoration have been defined, as well as the types of terraces required (CONANP 2013; 2014).

Perception of terracing

The analysis of the interviews allowed grouping the information into five categories and 11 subcategories (Table 1).

a) Increase in temperature and delay in precipitation

The responses that make up this category indicate that, in recent years, heat is perceived with greater intensity and the seasonality and intensity of rainfall have changed. In relation to precipitation, they point out that, in the past, the rainy season was seasonal, that it began to rain in mid-May, and that it now does not rain until July and even September. According to the ranchers, torrential rain is more common and lasts for hours. The park rangers agree that these high-intensity events occur in areas that are far apart and distributed across the landscape. Precipitation and temperature values for the period 1986-2006 from two weather stations run by the National Water Commission, located on the Reserve's borders: Laboratorio del Desierto, Tlahualilo and La Soledad, Jiménez (codes 10164 and 8350, respectively), support what was stated by those interviewed. The average annual temperature ranges between 19.8

deramiento de las comunidades como custodios de conocimientos de valor excepcional y del mantenimiento de la identidad cultural (UNESCO, 2017, 21). En relación con los instrumentos nacionales; fue una de las áreas protegidas seleccionadas para desarrollar el proyecto "Fortalecimiento de la Efectividad del Manejo y la Resiliencia de las Áreas Protegidas para Proteger la Biodiversidad Amenazada por el Cambio Climático" (PNUD, 2014), en el que se contempla a la ecorregión del Desierto Norteamericano. Sus esfuerzos se centran en restaurar tierras degradadas con vegetación nativa para minimizar la pérdida del suelo, partiendo del hecho de que la erosión inducida por el cambio climático vulnera a la sociedad. En específico, que los ciclos de lluvia son más cortos y los cambios en la vegetación aumentan las condiciones de sequía. Propiciando el cambio en la distribución y abundancia de las especies endémicas (PNUD, 2014, p. 24). Así, surgió el Programa de Adaptación al Cambio Climático Complejo, Cuenca Mapimí, que complementa las acciones descritas en el Programa de Manejo (CONANP, 2006) y se considera la base para tomar decisiones sobre adaptación al cambio climático, en función de la vulnerabilidad de los objetos de conservación (tortuga del bolsón, lagartija de las dunas y pastos de las especies sabaneta y bengala), así como de la ganadería, ante amenazas climáticas y no climáticas. Su particularidad es que contiene una proyección financiera equivalente a \$10 393 650.00 pesos M.N. estimada para el año 2014. En 2015, la CONANP publicó la Estrategia Cambio Climático desde Áreas Naturales Protegidas: Una convocatoria para la Resiliencia de México 2015-2020; el terraceo constituye la oportunidad de cumplir con los objetivos enmarcados en los componentes de gestión del territorio, participación social y comunicación (CONANP, 2015).

Algunos ejidos ya cuentan con programas de restauración por predio, diseñados con base en las condiciones y necesidades de cada terreno. Plantean monitorear la cobertura vegetal, riqueza florística y estado del sitio. Dicha información, es compilada e integrada en un sistema de información geográfica. Incluyendo la distribución de la tortuga del bolsón, las áreas de pastizal y la información topográfica de los arroyos principales. A partir de ello, se han definido áreas de alta y mediana prioridad de restauración, así como los tipos de terrazas requeridos (CONANP 2013; 2014).

Table 1. Categories and subcategories defined in the research as a result of the analysis of the interviews.
Cuadro 1. Categorías y subcategorías definidas en la investigación como resultado del análisis de las entrevistas.

| Category / Categoría | Subcategories / Subcategorías |
|---|--|
| a. Increase in temperature and delay in precipitation / a. Incremento de temperatura y demora de precipitación | -Climate changes (rainfall and heat patterns) / -Cambios en el clima (patrón de lluvias y de calor) -Rainfall intensity / -Intensidad de la lluvia -Prediction of rainfall occurrence / -Predicción de ocurrencia de lluvia |
| b. Effects of drought / b. Efectos de la sequía | -Changes in the environment / -Cambios en el entorno -Effects on soil / -Efectos en el suelo -Effects on cattle / -Efectos en el ganado |
| c. Previous adaptations to the terracing strategy / c. Adaptaciones previas a la estrategia del terraceo | -Adaptation definition groups / -Grupos de definición de adaptación -Description of previous adaptations / -Descripción de las adaptaciones previas |
| d. Adaptations with the CONANP strategy / d. Adaptaciones con la estrategia CONANP | -Description of adaptations from the implementation of the strategy / -Descripción de las adaptaciones a partir de la implementación de la estrategia |
| e. Participation, adoption, and recommendations to the strategy / e. Participación, adopción y recomendaciones a la estrategia | -Participation and adoption / -Participación y adopción -Recommendations / -Recomendaciones |

and 22 °C (68 and 72 °F). Rainfall is concentrated in the months of June to September. During the years 1993-1999, rainfall values below the average (264 mm) were recorded, while, in the years 1991 and 2004, values above 300 mm were reported.

Similar studies document that rural residents perceive the delay in the rainy season and the change in the rainfall pattern, as well as the increase in temperature and heat intensity in recent decades (Olmos et al., 2013; Solís & Salvatierra, 2013; López-García & Manzano, 2016; Barrasa, 2017; López-Pardo, 2019). That is, drought phenomena prevail; they are considered recurrent phenomena, which, unlike others, begin slowly, have no epicenter or defined trajectory, and their effects can predominate for years (Wilhite & Glantz, 1985; Ortega-Gaucin & Velasco, 2013; IPCC, 2014).

b) Effects of drought

Drought is perceived in socioeconomic and meteorological terms. The park rangers focused their opi-

Percepción sobre el terraceo

El análisis de las entrevistas permitió agrupar la información en cinco categorías y 11 subcategorías (Cuadro 1).

a) Incremento de temperatura y demora de precipitación

Las respuestas que integran esta categoría indican que, en los últimos años, el calor es percibido con mayor intensidad y la temporalidad e intensidad de las precipitaciones se han modificado. En relación con la precipitación, señalan que, en el pasado, la época de lluvias era estacional, comenzaba a llover a mediados de mayo y que en la actualidad llueve hasta el mes de julio e incluso septiembre. De acuerdo con los rancheros, la lluvia torrencial es más común y duradera en términos de horas. Los guardaparques coinciden en que estos eventos de alta intensidad se presentan en áreas distanciadas entre sí y distribuidas en el paisaje.

nions on cow and wildlife mortality. They mention that feed for cattle and wildlife is scarce, which increases the costs of carrying water and supplementing the herd with feed. In addition, in the *presones* (depressions on the ground to store surface runoff), water evaporates faster.

“One presón that held water for a whole year dried up and it took five years to fill up again, the San Ignacio presón”–Park ranger (R. G., July 18, 2019, personal communication).

The ranchers agree that the changes in the environment caused by the drought are interrelated. Due to the irregular rainfall, there is not enough grass on the ground, so the cattle begin to lose weight, some cows die and the remaining ones must be provided with pasture and water. Notably, there has also been a decrease in fruit production by the honey mesquite (*Prosopis glandulosa*), which is a shrub that provides forage for cattle.

Everyone clearly identifies the main changes and effects on the soil due to drought. There are annual and perennial grasses in the Reserve. When the year is dry, both the cover and the diversity of species decrease. This situation is affected even more because the ranchers keep their entire herd of cattle in that area, so only perennial grasses are available for them to graze on. This further reduces the vegetative cover, causing soil erosion by forming streams and gullies due to trampling. Part of the soil is lost due to wind erosion in the form of “*tolvaneras*” (dust devils) as some call it, and another part due to rain.

“The vegetation cover decreases; this effect is very visible. Well, what you can see with the naked eye is, let’s say, the creation of small streams as a result of the paths made by the cows. They mark their paths very well, and over time these become small streams and then larger gullies; this is one of the most visible effects. Another effect is that where they graze or where they are crowded together or where people gather them, the impact is very noticeable because they remove all the vegetation. In a large radius where they go to drink water or where the corrals are, they leave it very bare, they remove the vegetation and that is where you start to see erosion; with

Los valores de precipitación y temperatura para el periodo 1986-2006 de dos estaciones climatológicas a cargo de la Comisión Nacional del Agua, localizadas en los límites de la reserva: Laboratorio del Desierto, Tlahualilo y La Soledad, Jiménez (claves 10164 y 8350 respectivamente) respaldan lo mencionado por los entrevistados. La temperatura promedio anual oscila entre 19.8 y 22 °C. Las lluvias se concentran en los meses de junio a septiembre. Durante los años 1993-1999, se registraron valores por debajo del promedio (264 mm). Mientras que, en los años 1991 y 2004 se reportaron valores por encima de los 300 mm.

Estudios similares documentan que los habitantes de zonas rurales perciben el retraso en la temporada de lluvias y el cambio en el patrón de estas, así como el incremento de la temperatura y la intensidad del calor en las últimas décadas (Olmos et al., 2013; Solís & Salvatierra, 2013; López-García & Manzano, 2016; Barrasa, 2017; López-Pardo, 2019). Es decir, los fenómenos de sequía prevalecen; considerándose como fenómenos recurrentes, que, a diferencia de otros, inicia de forma lenta, no tiene epicentro ni trayectoria definida y sus efectos pueden predominar durante años (Wilhite & Glantz, 1985; Ortega-Gaucin & Velasco, 2013; IPCC, 2014).

b) Efectos de la sequía

La sequía es percibida en términos socioeconómicos y meteorológicos. Los guardaparques centraron sus opiniones en la mortandad de las vacas y de la fauna silvestre. Mencionan que el alimento para el ganado y animales silvestres escasea, lo que propicia que los costos por acarrear agua y suplementar al hato de alimento se incrementen. Además, en los *presones* (depressiones sobre el terreno para almacenar los escurrimientos superficiales), el agua se evapora más rápido.

“Un presón que le duraba el agua todo un año, se secó y duró cinco años para volverse a llenar, el presón de San Ignacio”–Guardaparque (R. G., 18 de julio de 2019, comunicación personal).

Los rancheros coinciden en que los cambios en el entorno producidos por la sequía se relacionan entre sí. Debido a la irregularidad de las lluvias, en el suelo no hay suficiente pasto, entonces, el ganado comienza a

the soil already bare, the air begins to carry away the soil, then the water comes and takes away part of it, which is another of the effects it has on the soil”–Park ranger (J.H., July 29, 2019, personal communication).

Regarding the impacts of the drought on cattle ranching, they emphasized that the weather conditions do not allow the acquisition of purebred cattle.

“It is because here, since the land is, let’s say, not suitable for having registered cattle, they have to be crossbred, more adapted here or native because there are times when we cannot reach purity because we are not sure that it will rain in such a year”–Rancher (E. H., July 4, 2019, personal communication).

Due to the above, the cattle are mostly the result of crosses between purebred and native cattle. The feed provided by the ranchers to the cows when the pasture is not sufficient is mostly bales of alfalfa, oats and ground corn. Previously, they fed the cows with pollinaza (broiler chicken excrement), but since the initiative to produce and market organic meat arose, the ranchers involved, in adherence to the requirements to obtain certification, have stopped using it (El Sol de la Laguna, December 2, 2018).

“We belong to a group of organic meat producers, so we try to have very few so we don’t have to supplement with anything, because if we had to supplement, we would have to buy organic feed and there is none available on the market...” –Rancher (F.H., July 4, 2019, personal communication).

c. Previous adaptations to the terracing strategy

Through the information in this category, it was possible to form four large groups based on the definition that the interviewees give to the word adaptation. In the first, the interviewees define adaptation based on what happens around them, and from there, they consider that actions or measures should be taken to cope with this situation.

“It is a series of measures that can be taken to be able to cope with some extreme or atypical situation that occurs, so let’s say that you implement some techniques or some measures that help you reduce the

adelgazar, algunas vacas mueren y a las restantes deben proveerles de pastura y agua. También resalta la disminución en la producción de frutos de mezquite (*Prosopis glandulosa*), que es un arbusto que provee forraje al ganado.

Todos identifican de forma clara los principales cambios y efectos en el suelo a causa de la sequía. En la reserva hay pastos anuales y perennes. Cuando el año es seco, tanto la cobertura como la diversidad de especies disminuyen. Esta situación se ve más afectada porque los rancheros conservan todo su hato de ganado, entonces, el ganado encuentra disponible únicamente los pastos perennes para alimentarse. Lo que reduce aún más la cobertura vegetal propiciando la erosión del suelo al formarse regueros y cárcavas por el pisoteo de este. Una parte del suelo se pierde por erosión eólica en forma de “tolvaneras” como algunos la denominan, y otra por la lluvia

“Disminuye la cobertura vegetal, este efecto es muy visible. Pues lo que se percibe a simple vista es, digamos la creación de unos pequeños arroyuelos producto de los caminos que hacen las vacas. Marcan muy bien su caminito, con el tiempo eso se convierte en arroyitos y después en cárcavas más grandes; es uno de los efectos más visibles. Otro de los efectos es que donde pastorean o donde están hacinadas o donde la gente las junta, se nota mucho el impacto porque quitan toda la vegetación. En un radio grande a donde van a tomar agua o están los corrales, dejan bien pelón, quitan la vegetación y es donde empieza a ver erosión; ya con el suelo desnudo, el aire empieza a llevarse el suelo, luego viene el agua y se lleva una parte, que es otro de los efectos que tiene sobre el suelo”–Guardaparque (J.H., 29 de julio de 2019, comunicación personal).

Referente a los impactos de la sequía sobre la actividad ganadera, enfatizaron que las condiciones climáticas no permiten la adquisición de bovinos de raza.

“Es que aquí como son terrenos, digamos pues no aptos para tener ganado de registro, tienen que ser cruzado, más adaptado aquí o criollo porque hay veces que llegar a la pureza pues no podemos porque no son años así digamos seguros de que va a llover”–Ranchero (E. H., 4 de julio de 2019, comunicación personal).

damage”-Park ranger (J.H., July 29, 2019, personal communication).

The second group related the word to the weather condition.

“Acclimatize to the changes, here in this place that is half desert, adapt to survive to whatever the weather is like, because they are very hard, you don’t know if it will be cold, if it will be very hot, if it will rain or not”
-Park ranger (J.L., July 22, 2019, personal communication).

In the third, the interviewees prioritized the needs of cattle when defining this concept.

“Well, that the animals adapt to the land, that they eat what is on the land (C.L., July 22, 2019, personal communication).

Finally, in group four, there was a concentration of responses that imply a lack of knowledge of this concept. Among the adaptations prior to terracing, the presones were built to store runoff and the cattle were led to properties with available pasture, which encouraged the beginning of renting grazing lands. In general, the adaptations were derived from local knowledge, rather than being formally included in plans or programs.

“There was one year, I don’t remember, a very strong drought, you would see, I don’t know, 15 cows lying on the road, the cattle were dying because they didn’t prevent anything, there was no management of grazing lands considering the drought. There wasn’t much technical knowledge”-Consultant (I.G., September 13, 2019, personal communication).

d. Adaptations with the CONANP strategy

Some ranchers agree that the support provided by CONANP’s park rangers has been key to getting residents to agree to implement terracing. They state that some of the cattle management practices are combined with the adoption of soil and water conservation works to achieve soil restoration. Such is the case of controlled breeding, which refers to cows conceiving their calves only when the ranchers require it; the “fren,” as they call it, which consists of

Debido a lo anterior, el ganado es en su mayoría resultado de cruces entre bovinos de raza y criollo. El alimento que proveen los rancheros a las vacas cuando el pastizal no es suficiente es en su mayoría pacas de alfalfa, de avena y maíz molido. Anteriormente, alimentaban a las vacas con pollinaza (excretas de pollos de engorda), pero, a partir de que surgió la iniciativa para producir y comercializar carne orgánica, los rancheros involucrados, en apego a los requerimientos para obtener la certificación han dejado de utilizarla (El Sol de la Laguna, 2 de diciembre de 2018).

“Nosotros pertenecemos a un grupo de productores de carne orgánica entonces tratamos de tener poquitas para no suplementar con nada, porque si tuviéramos que suplementar tendríamos que comprar alimento orgánico y no hay en el mercado disponible...” -Ranchero (F.H., 4 de julio de 2019, comunicación personal).

c. Adaptaciones previas a la estrategia del terraceo

A través de la información de esta categoría, fue posible conformar cuatro grandes grupos sobre la definición que los entrevistados otorgan a la palabra adaptación. En el primero, los entrevistados definen la adaptación con base en lo que sucede a su alrededor, y a partir de ello, consideran se deben tomar acciones o medidas que permitan sobrellevar dicha situación.

“Es una serie de medidas que se pueden llevar para poder sobrellevar alguna situación extrema o atípica que sucede, entonces digamos que implementas algunas técnicas o algunas medidas que te ayuden a que el daño sea menor”-Guardaparque (J.H., 29 de julio de 2019, comunicación personal).

El segundo grupo relacionó la palabra con la condición del clima.

“Aclimatarse a los cambios, aquí en este lugar que es medio desierto, adaptarse para sobrevivir a como esté el clima, porque son muy duros no se sabe se haga frío, si haga mucho calor, si llueve o no llueve” -Ranchero (J.L., 22 de julio de 2019, comunicación personal).

En el tercero, los entrevistados priorizaron las necesidades del ganado cuando definen dicho concepto.

getting rid of cattle that do not comply with certain measures, in order to save forage, and, also, the delimitation and rotation of paddocks.

In the particular case of the La Flor ejido, the ranchers provide water to the cattle in the paddocks through a system of hoses connected to a well. Previously, there was only one watering hole, so the cattle had to travel long distances to drink water, which caused them to lose weight (E. H., July 4, 2019, personal communication). Thus, the areas where the semicircular bunds are built are known as "*peladeros*" or "*barriales*," where soil degradation is even more evident, and they lack vegetation cover or the water currents are constant.

Although the practice of terracing is, in principle, sustainable, the biophysical and social conditions of the area have undermined its efficiency. The effectiveness of the work depends on rainfall, while the perception of the ranchers can be negative due to the environmental conditions and the fact that they expect results in a short period. Consequently, the combination of the bunds with the adoption of good cattle raising practices has led ranchers to recognize that adjustments must be made to traditional cattle ranching. In this sense, reaffirming what Reyes et al. (2019) documented, some of the ejidatarios believe that many of the cattle ranching management programs in the reserve are well adapted, but that water scarcity continues to affect forage availability. Ranchers stress that they need guidance on how to manage water for their cattle to improve their living conditions.

The incentives for ranchers to maintain the semicircular bunds in the Reserve are diverse and correspond to socioeconomic, biophysical and institutional issues, such as preventing soil erosion, improving soil infiltration capacity, encouraging the growth of native plants for forage, and creating local jobs. However, incentive-based strategies have been controversial, creating undesirable externalities. Several of the reasons relate to a codependency on public resources and a homogenization of the various capacities of farmers or ranchers and specific geographic characteristics (Tompkins & Eakin, 2012). In this sense, and thinking of a desirable horizon where inhabitants could sustainably manage the resources of their territory, it would be interesting to see which adaptation strategies implemented would persist if

"Pues que los animales se adapten al terreno, que coman lo que hay en el terreno"-Ranchero (C.L., 22 de julio de 2019, comunicación personal).

Por último, en el grupo cuatro, se concentraron las respuestas que suponen el desconocimiento de dicho concepto.

Entre las adaptaciones previas al terraceo, se construyeron los *presones* para almacenar los escurrimientos y se dirige al ganado hacia predios con pasto disponible, lo que fomenta el inicio de la renta de agostaderos. En general, las adaptaciones se derivaban del conocimiento local, no se incluían formalmente en planes o programas.

"Hubo un año, no me acuerdo, una sequía muy fuerte, veías no sé, 15 vacas así en el camino tiradas, se les moría el ganado porque no prevenían nada, no había manejo de agostaderos considerando la sequía. No había mucho conocimiento técnico"-Consultor (I.G., 13 de septiembre de 2019, comunicación personal).

d. Adaptaciones con la estrategia de la CONANP

Algunos rancheros coinciden en que el acompañamiento por parte de los guardaparques de la CONANP ha resultado ser clave para que los habitantes accedan a implementar el terraceo. Describen que algunas de las prácticas del manejo ganadero son combinadas con la adopción de las obras de conservación de suelo y agua para lograr la restauración de suelos. Tal es el caso del empadre controlado, que se refiere a que las vacas conciban a sus crías solamente cuando los rancheros lo requieran; el "*fren*" como ellos lo nombran, que consiste en deshacerse del ganado que no cumpla con ciertas medidas, a fin de ahorrar forraje. Y, también, la delimitación y rotación de potreros.

En el caso particular del ejido La Flor, los rancheros proporcionan agua al ganado que se encuentra en los potreros por medio de un sistema de mangueras que están conectadas a un pozo. Anteriormente, existía un solo abrevadero; entonces el ganado tenía que trasladarse largas distancias para beber agua lo que ocasionaba que perdieran peso (E. H., 4 de julio de 2019, comunicación personal). Es así que, las áreas donde se construyen los bordos semicirculares se conocen como "*peladeros*" o "*barriales*", donde la

the financial resources necessary for their implementation disappeared.

Soil degradation is a phenomenon that increases due to erosion and overgrazing. This affects the inhabitants who depend on the pasture for cattle raising, but, at the same time, the inhabitants encourage overgrazing, indirectly impacting the species that depend on the grassland ecosystem to meet their habitat needs. However, the area of semicircular bunds (2 840.9 ha as of 2019) is minimal compared to the Reserve's total area. To have a visible and favorable effect on the soil, terraces must be abundant in the landscape, something that has been pointed out for decades (Howard & Griffiths, 1966).

Similarly, given that drought is mostly recognized for its effects, it would be interesting to see how the perceived benefits of the practice of terracing could be integrated into indicators for evaluating the strategy. According to Knutson et al. (2011), a simple way is through the ranchers' financial records, since they can be taken as the main evidence that adopting these practices helps to cope with drought.

e. Participation, adoption and recommendations to the strategy.

Most of the interviewees agree that ranchers adhere to CONANP's technical requirements for building the bunds, but, when necessary, both the park rangers and the ranchers have agreed to make modifications based on soil depth and runoff to improve the functioning of the works. Some agree that it is necessary to analyze and reinforce the evaluation stage of the works. They comment that this may be possible when CONANP has more personnel and sufficient equipment.

They also suggest defining a rest period in the sites where terracing has been established, in order to promote the necessary conditions for revegetation and to establish a rehabilitation program for the bunds, since, after some time, both the force of the water currents and the trampling of cattle deteriorate them, and with this, the work loses its functionality. One of the park rangers emphasized that it is necessary to incorporate the landscape management component since he considers that the construction of bunds is a minor action in comparison to the Reserve's total area. Two other park rangers mentioned that cattle

degradación del suelo es aún más evidente, carecen de cobertura vegetal o las corrientes de agua son constantes.

Aunque la práctica del terraceo en principio es sostenible, las condiciones biofísicas y sociales del área han dificultado su eficiencia. La eficacia de la obra depende de la precipitación, mientras que la percepción de los rancheros puede ser negativa debido a las condiciones ambientales y a que esperan resultados en el corto tiempo. En consecuencia, la combinación de los bordos con la adopción de buenas prácticas ganaderas ha propiciado que los rancheros reconozcan que se deben hacer ajustes en la ganadería tradicional. En este sentido, se reafirma lo que Reyes et al. (2019) documentaron, algunos de los ejidatarios opinan que muchos de los programas de manejo ganadero en la reserva están bien adaptados, pero que la escasez de agua sigue afectando la disponibilidad de forraje. Los rancheros recalcan que requieren orientación sobre cómo manejar el agua para su ganado, y así mejorar sus condiciones de vida.

Los incentivos para que los rancheros mantengan los bordos semicirculares en la reserva son diversos y corresponden a cuestiones socioeconómicas, biofísicas e institucionales. Tales como prevenir la erosión del suelo, mejorar su capacidad de infiltración, incentivar el crecimiento de plantas nativas para forraje y creación de empleos locales. Sin embargo, las estrategias basadas en incentivos han sido controversiales, creando externalidades no deseadas. Varias de las razones aluden a una codependencia de los recursos públicos y a una homogeneización de las diversas capacidades de los agricultores o ganaderos y a las características geográficas específicas (Tompkins & Eakin, 2012). En este sentido, y pensando en un horizonte deseable donde los habitantes pudieran gestionar de forma sostenible los recursos de su territorio, sería interesante ver qué estrategias de adaptación implementadas persistirían en caso de que los recursos financieros necesarios para su implementación desaparecieran.

La degradación del suelo es un fenómeno que aumenta por la erosión y el sobrepastoreo. Afectando así a los habitantes que dependen del pastizal para la cría del ganado, pero, al mismo tiempo, los habitantes propician el sobrepastoreo, impactando de forma indirecta a las especies que dependen del

ranching management practices need to be strengthened, considering economic resources in the medium and long term. They pointed out the “*keyline*” technique that encourages infiltration through the drawing of contour lines or, more economically, through regenerative cattle ranching practices.

On the other hand, some ranchers identify different circumstances for which they would stop implementing semicircular bunds, such as the requirements (e.g. number of people to form the organized group that will carry out the activities) stipulated in the operating rules of the subsidiary programs, which can hinder access to resources by the communities in the center of the Reserve who have to travel to the nearest cities to obtain the documentation of their close relatives in order to comply with the requirements.

Conclusions

These findings highlight that the implementation of semicircular bunds has been an effective tool to combat soil erosion and improve water infiltration, although its success depends on the environmental context and local management. Terracing strategies must be complemented with sustainable cattle ranching practices to maximize results and mitigate the effects of climate variability.

Persistent heat, the delay in the rainy season, intense rainfall of short duration and heterogeneously distributed across the Reserve’s landscape, cattle mortality and the erosion of exposed soil are processes that have been noted in the context of drought in the study area. The strengths, challenges and limitations of terracing as a strategy for adapting to climate change are issues that need to be explored, particularly in rural areas that depend on rainfed agriculture and extensive cattle raising for their livelihoods. Establishing the scope of terracing and its relationship with environmental policy instruments strengthens the findings of other case studies in other protected areas in Mexico and rural areas. It will also contribute to the design of other environmental public policies aimed at the same objective.

Funding

Funding was provided by the *Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías* (CONAHCyT; Na-

ecosistema pastizal para satisfacer sus necesidades de hábitat. No obstante, la superficie de bordos semicirculares (2 840.9 ha hasta el año 2019) es mínima en comparación con la superficie total de la reserva. Para tener un efecto visible y favorable sobre el suelo, las terrazas deben abundar en el paisaje, algo señalado desde hace décadas (Howard & Griffiths, 1966). De igual manera, en el entendido de que la sequía es mayormente reconocida por sus efectos, sería interesante ver de qué forma los beneficios percibidos por la práctica del terraceo pudieran integrarse en indicadores de evaluación de la estrategia. De acuerdo con Knutson et al., (2011), una forma sencilla es a través de los registros financieros de los rancheros, ya que pueden ser tomados como principal evidencia de que adoptar estas prácticas ayuda a sobrellevar la sequía.

e. Participación, adopción y recomendaciones a la estrategia.

La mayoría de los entrevistados concuerdan en que los rancheros se apegan a los requerimientos técnicos de la CONANP para construir los bordos, pero cuando ha sido necesario, tanto los guardaparques como los rancheros han acordado realizar modificaciones en función de la profundidad del suelo y los escurrimientos, para mejorar el funcionamiento de la obra. Algunos coinciden, en que se requiere, contemplar y reforzar la etapa de evaluación de las obras. Comentan, podrá ser posible cuando la CONANP cuente con más personal y equipo suficiente.

Además, sugieren definir un tiempo de descanso en los sitios en donde se ha establecido el terraceo, a fin de que se propicien las condiciones necesarias para la revegetación y establecer un programa de rehabilitación de los bordos, ya que, después de algún tiempo, tanto la fuerza de las corrientes de agua como el pisoteo del ganado los deterioran, y con ello, la obra pierde funcionalidad. Uno de los guardaparques enfatizó que es necesario incorporar el componente de manejo del paisaje pues considera, la construcción de bordos es una acción menor en comparación de la superficie total de la reserva. Otros dos guardaparques mencionaron que, las prácticas del manejo ganadero necesitan fortalecerse, contemplando los recursos económicos en el mediano y largo plazo. Señalaron la técnica “*keyline*” que incentiva la infil-

tional Council of Humanities, Sciences and Technologies), through the National Scholarship Program and UNAM-DGPA PAPITT IN300819 "Vulnerability and adaptation of small indigenous communities to hydro-meteorological hazards. Cases in the Sierra-Cosca of Michoacán and in the Mixteca Alta of Oaxaca."

Acknowledgement

We would like to thank the park rangers, consultants and residents of the Mapimí Biosphere Reserve for sharing their knowledge, perceptions and experiences.

End of English version

References / Referencias

- Altieri, M. A., & Koohafkan, P. (2008). *Enduring farms: Climate change, smallholders and traditional farming communities*. Third World Network.
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2009). Cambio climático y agricultura campesina: Impactos y respuestas adaptativas. *Leisa*, 24(4).
- Anderson, R. (2002). A short history of the Coon Creek Watershed Demonstration Project and the creation of a new agency to conserve American land, the Soil Erosion Service. Renamed the Soil Conservation Service in 1935, this USDA agency was the forerunner to today's Natural Resources Conservation Service. *Wisconsin Academy Review*, 48(2).
- Arnés, E., Díaz-Ambrona, C., Marín-González, O., & Astier, M. (2018). Farmers Fields Schools (FFSs): A tool empowering sustainability and food security in peasant farming systems in the Nicaraguan highlands. *Sustainability*, 10, 3-24.
- Austria-Martínez, P., & Patiño-Gómez, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3, 5-20.
- Barral, H. (1988). El hombre y su impacto en los ecosistemas a través del ganado. En C. Montaña (Ed.), *Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biósfera Mapimí*. I. Ambiente natural y humano (pp. 241-268). Instituto de Ecología A.C.
- Barrasa-García, S. (2017). Percepción del cambio climático en comunidades campesinas de la Reserva de la Biósfera La Encrucijada, Chiapas,

tracción a través del trazo de curvas de nivel, o de una forma más económica, a través de la ganadería regenerativa.

Por otra parte, algunos rancheros identifican diferentes circunstancias por las cuales dejarían de implementar los bordos semicirculares, como los requerimientos (p. ej. cantidad de personas para conformar el grupo organizado que ejecutará las actividades) estipulados en las reglas de operación de los programas subsidiarios, los cuales pueden obstaculizar el acceso a los recursos por parte de las comunidades del centro de la reserva quienes tienen que trasladarse a las ciudades más cercanas para conseguir la documentación de sus familiares cercanos y así cumplir con los requisitos.

Conclusiones

Estos hallazgos resaltan que la implementación de bordos semicirculares ha sido una herramienta eficaz para combatir la erosión del suelo y mejorar la infiltración de agua, aunque su éxito depende del contexto ambiental y la gestión local. Las estrategias de terraceo deben complementarse con prácticas ganaderas sostenibles para maximizar los resultados y mitigar los efectos de la variabilidad climática.

La persistencia del calor, el retraso en la temporada de lluvias, precipitaciones intensas de corta duración y distribuidas heterogéneamente en el paisaje de la reserva; la mortandad del ganado y la erosión del suelo expuesto; son procesos señalados en el contexto de la sequía en el área de estudio.

Las fortalezas, desafíos y limitaciones sobre el terraceo como estrategia de adaptación al cambio climático, son cuestiones que deben ser exploradas. Particularmente, desde el ámbito de localidades campesinas que dependen de la agricultura de temporal y la ganadería extensiva para subsistir. Establecer los alcances del terraceo y su relación con instrumentos de política ambiental, fortalece los hallazgos de otros casos de estudio en otras áreas protegidas en México y zonas rurales. Asimismo, contribuirá al diseño de otras políticas públicas ambientales encaminadas al mismo objetivo.

Financiamiento

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT), a través del Programa de Be-

- México. *Cuadernos Geográficos*, 56(3), 44-65.
- Bocco, G., & Napoletano, B. (2017). The prospects of terrace agriculture as an adaptation to climate change in Latin America. *Geography Compass*, 11(10). DOI: <https://doi.org/10.1111/gec3.12330>
- Bocco, G., Solís, B., Orozco-Ramírez, Q., & Ortega-Isturriaga, A. (2019). La agricultura en terrazas en la adaptación a la variabilidad climática en la Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Journal of Latin American Geography*, 1, 141-168.
- Bocco, G., Orozco, Q., Álvarez, A., Solís, B., & Dobler-Morales, C. (2021). El estudio del impacto de la sequía en pequeñas comunidades rurales de México: Una revisión de la bibliografía. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 1314. <https://doi.org/1138-9796>
- CONANP. (2006). *Programa de conservación y manejo Reserva de la Biósfera Mapimí*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONANP. (2013). *Programa de restauración del Nuevo Centro de Población Agrícola Ganadero Tlahualilo*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- CONANP. (2014). *Programa de adaptación al cambio climático Complejo Cuenca Mapimí*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.
- CONANP. (2015). *Estrategia de cambio climático desde las áreas naturales protegidas: Una convocatoria para la resiliencia de México (2015-2020)*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cortina-Aguilera, J. Y. (2022). *Terraceo para restauración de suelos y adaptación a la sequía en la Reserva de la Biosfera Mapimí* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Denevan, W. M. (1989). The geography of fragile lands in Latin America. En J. Browder (Ed.), *Fragile lands of Latin America: Strategies for sustainable development* (pp. XX-XX). The University of Arizona Press.
- Donkin, R. A. (1979). *Agricultural terracing in the aboriginal New World*. The University of Arizona Press.
- DOF. (2000). Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región denominada Mapimí. *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF. (2006). Aviso mediante el cual se informa al público en general, que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ha concluido la elaboración del Programa de Manejo del Área Natural PMapimí, ubicada en los municipios de Mapimí y Tlahualilo en el Estado de Durango, Jiménez en el Estado de Chihuahua, y Francisco I. Madero y Sierra Mojada en el Estado de Coahuila. *Diario Oficial de la Federación*.
- Dudley, N., Stolton, A., Belokurov, L., Krueger, N., Lopoukhine, K., Mackinnon, T., & Sekhran, N. (2010). *Natural solutions: Protected areas helping people cope with climate change*. IUCN-WCPA, TNC, UNDP, WCS, WWF.
- El Sol de la Laguna. (2018, diciembre 2). Logran certificación de carne orgánica para área protegida.
- FAO. (1997). *Manual de captación de agua de lluvia*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Fernández-Núñez, L. 2006. Fichas para investigadores. ¿Cómo analizar datos cualitativos? *Butletí La Recerca*, 1-13.
- García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. UNAM.
- Howard, W., & Griffiths, T. (1966). *Trinchera distribution in the Sierra Madre Occidental, Mexico*. Department of Geography, University of Denver.
- INEGI, (2017). Cartografía uso de suelo y vegetación escala 1:250,000 serie VI.
- IPCC. (2014). *Climate change 2014 impacts, adaptation and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects*. Cambridge University Press.
- Kaus, A. (1992). El campo y las comunidades rurales. En J. P. Del Houme & M. E. Maury (Eds.), *Actas del seminario de Mapimí* (pp. 81-84). Instituto de Ecología, A.C.

Fin de la versión en español

- Kanazawa, M. (2018). *Research methods for environmental studies: A social science approach*. Routledge.
- Knutson, C. L., Haigh, T., Hayes, M. J., Widhalm, M., Nothwehr, J., Kleinschmidt, M., & Graf, L. (2011). Farmer perceptions of sustainable agricultural practices and drought risk reduction in Nebraska, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 26(3), 255-266.
- Leigh, D. S., Kowalewski, S. A., & Holdridge, G. (2013). 3400 years of agricultural engineering in Mesoamerica: Lama-bordos of the Mixteca Alta, Oaxaca, Mexico. *Journal of Archaeological Science*, 40(11), 4107-4111.
- López-García, T., & Manzano, M. (2016). Vulnerabilidad climática y situación socioambiental: Percepciones en una región semiárida del noreste de México. *Madera y Bosques*, 22(2), 105-117.
- López-Pardo, J. (2019). *Análisis participativo de las obras de restauración: Caso de estudio Ejido La Soledad* [Tesis de maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.].
- Martínez-Salgado, C. 2012. El muestreo en investigación cualitativa. Principios básicos y algunas controversias. *Revista Ciência & Saúde Coletiva*, 17(3), 613-619.
- Olmos, E., González, E., & Contreras, M. (2013). Percepción de la población frente al cambio climático en áreas naturales protegidas de Baja California Sur, México. *Polis*, 35, 1-21.
- Ortega-Gaucin, D., & Velasco, I. (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. *Aqua-LAC*, 5(2), 78-90.
- Perramond, E. (2010). *Political ecologies of cattle ranching in Northern Mexico*. The University of Arizona Press.
- PNUD. (2014). Fortalecimiento de la efectividad del manejo y la resiliencia de las Áreas Protegidas para proteger la biodiversidad amenazada por el cambio climático (documento de proyecto), Ciudad de México: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Ramírez-Carballo, H., Peddroza Sandoval, A., Martínez-Rodríguez, J., & Valdez-Cepeda, R. 2011. Evaluación participativa de la degradación del suelo en la Reserva de la Biósfera Mapimí. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* (12) 1-9.
- Reyes, V., Gérard, A., & Wurtz, M. (2019). Video pedagógico sobre la reserva de la biosfera de Mapimí, México: Una innovación tecnológica educativa sociocultural. *Innovación Educativa*, 19, 99-120.
- Solís, R., & Salvatierra, B. (2013). Percepción social del cambio climático en áreas destinadas voluntariamente a la conservación en comunidades indígenas de Oaxaca y Chiapas. *Temas Antropológicos: Revista Científica de Investigaciones Regionales*, 35, 29-53.
- Tompkins, E., & Eakin, H. (2012). Managing private and public adaptation to climate change. *Global Environmental Change*, 22, 3-11.
- UNESCO. 2017. Una nueva hoja de ruta para el Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB) y su Red Mundial de Reservas de la Biosfera Estrategia del MAB (2015-2025) Plan de Acción de Lima (2016-2025) Declaración de Lima. 57p. París.
- UNESCO. (1978). *Final report of 5th session of International Co-ordinating Council on Man and the Biosphere (MaB)*. Vienna, Italy.
- UNESCO. (1996). *Reservas de la biosfera: La estrategia de Sevilla y el marco estuario de la red mundial*. UNESCO.
- Wilhite, D. & Glantz, M. (1985). Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, (3) 111-120.
- Wilken, G. (1987). *Traditional Agricultural Resource Management in Mexico and Central America*. University of California, Berkeley, California.
- Whitmore, T. & Turner, B. (2001). *Cultivated Landscapes of Middle America on the Eve of Conquest*. Oxford University. New York, United States of America.
- Whyte, A. (1977). *Guidelines for Field Studies in Environmental Perception*. MAB Technical Notes 5. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris, France. 118p.