

Holistic approaches to ecosystem restoration from a biocultural perspective

Enrique Hipólito Romero
Silvia del Amo Rodríguez
José María Ramos Prado
Jorge Ricaño Rodríguez*

Abstract

This study offers a holistic proposal, both theoretical and practical, to transform degraded, overexploited or underused agricultural landscapes. By emulating the dynamics of natural ecosystems, as well as the interdisciplinary approach and the use of ecological restoration techniques, three key results were achieved. First, an applicable conceptual model was designed, which serves as a methodological basis for restoring deteriorated landscapes by identifying priority areas and allowing for a complete diagnosis. Second, a detailed strategic plan was developed, which guides the implementation of restorative measures through clear phases, ensuring an orderly intervention. Finally, a biocultural restoration project was carried out in two Mexican indigenous communities, models of tropical ecosystems in Latin America. Likewise, this project established agroforestry landscapes that not only restore ecological balance, but also integrate biocultural values, strengthening ecological and community resilience. In the long term, restoration is expected to provide economic benefits and promote sustainable development in local communities. Finally, the importance of biocultural resources managed with a vision that prioritizes the balance between social and ecological actors is highlighted, where territoriality ensures community ownership and landscape conservation over time.

Keywords: Landscape restoration, productive ecological restoration, biocultural species, agroecosystems, territorial spaces.

Enfoques integrales para la restauración de ecosistemas desde una perspectiva biocultural

Resumen

Este estudio ofrece una propuesta integral, desde lo teórico y práctico, para transformar paisajes agrícolas degradados, sobreexplotados o infrautilizados. Emulando las dinámicas de ecosistemas naturales, así como el enfoque interdisciplinario y el uso de técnicas de restauración ecológicas, se lograron tres resultados clave. Primero, se diseñó un modelo conceptual aplicable, que sirve como base metodológica para restaurar paisajes deteriorados al identificar áreas prioritarias y permitir un diagnóstico completo. En segundo lugar, se elaboró un plan estratégico detallado, que guía la implementación de medidas restaurativas a través de fases claras, garantizando una intervención ordenada. Finalmente, se realizó un proyecto de restauración biocultural en dos comunidades indígenas mexicanas, modelos de los ecosistemas tropicales de América Latina. Asimismo, este proyecto estableció paisajes agroforestales que no solo restablecen el equilibrio ecológico, sino que también integran valores bioculturales, fortaleciendo la resiliencia ecológica y comunitaria. A largo plazo, se espera que la restauración proporcione beneficios económicos y promueva un desarrollo sostenible en las comunidades locales. Por último, se destaca la importancia de los recursos bioculturales gestionados con una visión que priorice el equilibrio entre los actores sociales y ecológicos, donde la territorialidad asegura la apropiación comunitaria y la conservación del paisaje en el tiempo.

Palabras clave: Restauración del paisaje, restauración ecológica productiva, especies bioculturales, agroecosistemas, espacios territoriales

Universidad Veracruzana, campus USBI, Centro de Ecoalfabetización y Diálogo de Saberes, Avenida de las Culturas Veracruzanas, col. Emiliano Zapata, C. P. 91060, Jalapa, Veracruz, México.

*Corresponding author: jricano@uv.mx Tel. 2288421700 ext. 10858, ORCID ID: 0000-0001-6297-0748

Received: May 11, 2021

Accepted: November 11, 2024

Introduction

A balanced biocultural landscape is characterized by the harmonious interaction between biodiversity and human cultural practices, mutually benefiting each other (Maryunani, 2019). In these spaces, agricultural and forestry activities seek to conserve and promote biodiversity, following principles of sustainability that respect the carrying capacity of ecosystems and protect their integrity and biodiversity (Folgueiras-Bertomeu & Sabariego-Puig, 2018).

Likewise, the notion of harmony implies a deep respect for natural cycles. Communities adapt their activities to the rhythms of nature, minimizing adverse effects and promoting long-term ecosystem health. This interdependence between culture and nature means that every human action impacts the environment and, in turn, the environment influences the cultural practices and traditions of communities (Brydon-Miller et al., 2020).

Rehabilitating degraded biocultural landscapes is essential not only to preserve biodiversity, but also to protect traditional knowledge and languages that have evolved alongside biodiversity management (Arts et al., 2017; Hong, 2014). However, in recent decades, development programs have fragmented and deteriorated original landscapes, leading to phenomena such as eco-ethnocide and especially affecting rural communities and ethnic groups (Arts et al., 2017).

Globally, unsustainable agricultural expansions have created fragmented and overexploited landscapes, which have provided neither economic nor cultural benefits to local communities (Vandermeer & Perfecto, 2006). Therefore, there is an urgent need to transform these agroforestry landscapes based on natural ecosystem principles such as dynamic equilibrium and self-regulation (Burke et al., 2023; Cumming & Peterson, 2017).

The strategy emphasizes a "Society for Ecological Restoration" (Del Amo et al., 2010; SER, 2004), promoting natural regeneration or secondary succession as the main mechanism for restoring resilience in forest ecosystems. In the initial stages, introducing tree species with biocultural value is recommended to facilitate and accelerate restoration (Ramos & Del Amo, 1992).

Introducción

Un paisaje biocultural equilibrado se caracteriza por la interacción armoniosa entre la biodiversidad y las prácticas culturales humanas, beneficiándose mutuamente (Maryunani, 2019). En estos espacios, las actividades agrícolas y forestales buscan conservar y promover la diversidad biológica, siguiendo principios de sostenibilidad que respetan la capacidad de carga de los ecosistemas y protegen su integridad y biodiversidad (Folgueiras-Bertomeu & Sabariego-Puig, 2018).

Asimismo, la noción de armonía implica un profundo respeto por los ciclos naturales. Las comunidades adaptan sus actividades a los ritmos de la naturaleza, minimizando efectos adversos y promoviendo la salud del ecosistema a largo plazo. Esta interdependencia entre cultura y naturaleza significa que cada acción humana repercute en el ambiente y, a su vez, el entorno influye en las prácticas culturales y tradiciones de las comunidades (Brydon-Miller et al., 2020).

La rehabilitación de paisajes bioculturales degradados es esencial, no solo para preservar la biodiversidad, sino también para proteger el conocimiento tradicional y las lenguas que han evolucionado junto al manejo de la biodiversidad (Arts et al., 2017; Hong, 2014). Sin embargo, en las últimas décadas, los programas de desarrollo han fragmentado y deteriorado los paisajes originales, llevando a fenómenos como el eco-etnicidio y afectando especialmente a comunidades rurales y grupos étnicos (Arts et al., 2017).

A nivel mundial, las expansiones agrícolas no sostenibles han creado paisajes fragmentados y sobreexplotados, que no han proporcionado beneficios económicos ni culturales a las comunidades locales (Vandermeer & Perfecto, 2006). Por ello, es urgente transformar estos paisajes agroforestales basándose en principios de ecosistemas naturales como el equilibrio dinámico y la autorregulación (Burke et al., 2023; Cumming & Peterson, 2017).

La estrategia enfatiza una "Sociedad para la Restauración Ecológica" (Del Amo et al., 2010; SER, 2004), promoviendo la regeneración natural o sucesión secundaria como mecanismo principal para restaurar la resiliencia en ecosistemas forestales. En las etapas iniciales, se recomienda introducir especies arbóreas con valor biocultural para facilitar y acelerar la restauración (Ramos & Del Amo, 1992).

Understanding ecological resilience is key to restoring homeostasis in degraded landscapes through productive restoration. This not only integrates native species of high biocultural value, but also species with commercial value (Wei et al., 2023; De Sousa, 2009).

On the other hand, conserving species that are significant for local communities facilitates the introduction of economically valuable species, generating additional benefits (Córdova-Ávalos et al., 2020; Loh & Harmon, 2005). Thus, an agroforestry restoration approach is proposed that enhances the biocultural qualities of the landscape, reinforcing ecological resilience and offering economic advantages at local and global scales through the introduction of economically valuable species (Keahey, 2021).

In light of the above, the central purpose of this study was to guide the ecological restoration of biocultural heritage in two Mexican indigenous communities. A Participatory Action Research (PAR) methodology was used, which combines community intervention with scientific research, fostering social change (Folgueiras-Bertomeu & Sabariego-Puig, 2018). This process began with a participatory diagnosis in which the community has an active role, identifying problems through the exchange of knowledge and experiences. Furthermore, communities are protagonists in the analysis of both ecological and cultural challenges.

Data collection was carried out through surveys, interviews and direct observation, enabling us to identify the main needs and formulate appropriate solutions. In addition, the methodological design incorporated elements of the worldview of the ethnic groups, as highlighted by Bermúdez et al. (2005), to ensure that interventions respect the cultural perspectives of the communities involved.

Theoretical framework

The concept of “biocultural heritage” has recently gained relevance as a solid framework for studying landscapes and their sustainable management. This approach integrates biological and cultural preservation, promoting rural development through the active participation of communities. Biocultural heritage results from symbiotic interactions that have shaped the

Comprender la resiliencia ecológica es clave para restaurar la homeostasis en paisajes degradados mediante la restauración productiva. Esta no solo integra especies nativas de alto valor biocultural, sino también especies con valor comercial (Wei et al., 2023; De Sousa, 2009).

Por otro lado, conservar especies significativas para las comunidades locales facilita la introducción de especies económicamente valiosas, generando beneficios adicionales (Córdova-Ávalos et al., 2020; Loh & Harmon, 2005). Así, se propone un enfoque de restauración agroforestal que potencie las cualidades bioculturales del paisaje, reforzando la resiliencia ecológica y ofreciendo ventajas económicas a escala local y global mediante la introducción de especies de valor económico (Keahey, 2021).

En virtud de lo anterior, el propósito central de este estudio fue guiar la restauración ecológica del patrimonio biocultural en dos comunidades indígenas mexicanas. Se empleó una metodología de Investigación-Acción Participativa (IAP), que combina la intervención comunitaria con la investigación científica, fomentando el cambio social (Folgueiras-Bertomeu & Sabariego-Puig, 2018). Este proceso inició con un diagnóstico participativo en el que la comunidad tiene un rol activo, identificando los problemas a través del intercambio de conocimientos y experiencias. Además, las comunidades son protagonistas en el análisis de los desafíos tanto ecológicos como culturales.

La recopilación de datos se llevó a cabo mediante encuestas, entrevistas y observación directa, lo cual permitió identificar las principales necesidades y formular soluciones adecuadas. Además, el diseño metodológico incorporó elementos de la cosmovisión de los grupos étnicos, como lo destacan Bermúdez et al. (2005), para asegurar que las intervenciones respeten las perspectivas culturales de las comunidades involucradas.

Marco teórico

El concepto de “patrimonio biocultural” ha ganado relevancia recientemente como un marco sólido para estudiar paisajes y su manejo sostenible. Este enfoque integra la preservación biológica y cultural, promoviendo el desarrollo rural a través de la parti-

ecology and cultural dimensions of landscapes, including the memory and knowledge of local communities (Karger et al., 2021; Loh & Harmon, 2005).

Ecological restoration is an interdisciplinary process aimed at rehabilitating highly degraded ecosystems. It combines ecological and sociocultural elements, highlighting the connection between natural systems and dependent human communities. Beyond healing the natural environment, it seeks to revitalize the well-being of the associated populations, exploring philosophical concepts about the deep relationship between communities and habitats from the social and humanistic sciences (Wei et al., 2023).

According to Burke et al. (2023), Productive Ecological Restoration (PER) is based on social-ecological resilience, emphasizing the interdependence between human communities and ecosystems. Social and cultural sciences highlight the need to integrate local knowledge and values into restoration strategies to ensure cultural coherence and social acceptance (Dhiman, 2022).

This theoretical framework is supported by social-ecological systems theory, which examines the complex interactions between humans and the environment. Disciplines such as anthropology, sociology and agroecology are crucial to recovering traditional natural resource management practices and understanding how they contribute to biodiversity preservation (Karger et al., 2021).

A key aspect is the autonomy of local communities to recover and reaffirm their ancestral knowledge in ecosystem management. Collaboration between scientists, restorationists and rural communities is essential to develop balanced solutions that respond to ecological and human needs (Chin et al., 2021). PER also emphasizes “socioecological co-evolution,” highlighting how communities and natural environments have co-evolved, influencing cultures, traditions and landscapes (Del Amo et al., 2010; 2013).

Applying the PAR methodology to the restoration of biocultural heritage in Mexican indigenous communities requires deeply valuing local visions. The process began with a participatory diagnosis—interviews, workshops and community meetings—that allowed us to understand how communities perceive their biocultural heritage (Folgueiras-Ber-

cipación activa de las comunidades. El patrimonio biocultural resulta de interacciones simbióticas que han moldeado la ecología y las dimensiones culturales de los paisajes, incluyendo la memoria y el conocimiento de las comunidades locales (Karger et al., 2021; Loh & Harmon, 2005).

Por su parte, la restauración ecológica es un proceso interdisciplinario destinado para rehabilitar ecosistemas muy degradados. Ésta combina elementos ecológicos y socioculturales, destacando la conexión entre sistemas naturales y comunidades humanas dependientes. Más allá de sanar el entorno natural, busca revitalizar el bienestar de las poblaciones vinculadas, explorando conceptos filosóficos sobre la relación profunda entre comunidades y hábitats desde las ciencias sociales y humanísticas (Wei et al., 2023).

Según Burke et al. (2023), la Restauración Ecológica Productiva (REP) se basa en la resiliencia socioecológica, enfatizando la interdependencia entre comunidades humanas y ecosistemas. Las ciencias sociales y culturales resaltan la necesidad de integrar conocimientos y valores locales en las estrategias de restauración para asegurar coherencia cultural y aceptación social (Dhiman, 2022).

Este marco teórico se apoya en la teoría de sistemas socioecológicos, que examina las complejas interacciones entre humanos y ambiente. Disciplinas como la antropología, sociología y agroecología son cruciales para recuperar prácticas tradicionales de manejo de recursos naturales y entender cómo contribuyen a la preservación de la biodiversidad (Karger et al., 2021).

Un aspecto fundamental es la autonomía de las comunidades locales para recuperar y reafirmar su conocimiento ancestral en la gestión de ecosistemas. La colaboración entre científicos, restauradores y comunidades rurales es esencial para desarrollar soluciones equilibradas que respondan a necesidades ecológicas y humanas (Chin et al., 2021). La REP también enfatiza la “coevolución socioecológica”, destacando cómo comunidades y entornos naturales han evolucionado conjuntamente, influyendo en culturas, tradiciones y paisajes (Del Amo et al., 2010; 2013).

Aplicar la metodología de IAP en la restauración del patrimonio biocultural en comunidades indígenas mexicanas requiere valorar profundamente las

tomeu & Sabariego-Puig, 2018). In addition, common interests between communities, researchers and local authorities were identified (Brydon-Miller et al., 2020).

The project also integrated traditional knowledge with scientific approaches, generating restoration strategies that combined modern techniques and ancestral knowledge. Through an ongoing dialogue, a program was designed that included reforestation with native species and recovery of traditional agricultural techniques (Maryunani, 2019).

The action plan included practical activities such as planting native trees and teaching water conservation methods tailored to each community. These interventions were monitored and documented, enabling an assessment of the improvement in biodiversity and the strengthening of cultural practices. The active participation of all stakeholders was essential for a comprehensive evaluation of the results (Keahey, 2021; Brydon-Miller et al., 2020; Giunta, 2019).

In the final review phase, the effectiveness of the methods used was evaluated, making adjustments to improve the strategies in future restoration cycles. This analysis included ecological and cultural impact, ensuring that all stakeholders will benefit from the process (De Oliveira, 2023; Fine et al., 2021). These reflections show that the restoration of biocultural landscapes goes beyond a technical challenge; it is a complex process that requires interdisciplinary collaboration to reconnect people with nature.

This approach represents an environmental intervention and a cultural reaffirmation, highlighting the importance of managing resources sustainably to keep alive the relationship between history, culture and the natural environment (Cumming & Peterson, 2017). Figure 1 shows how the essential components of biocultural heritage restoration in Mexican indigenous areas are interrelated and contribute to social, economic and environmental sustainability.

Materials and methods

This initiative focuses on biocultural and productive restoration in two indigenous regions of Mexico, applying a multidisciplinary PAR methodology. Collaboration between researchers and indigenous

visiones locales. El proceso inició con un diagnóstico participativo —entrevistas, talleres y reuniones comunitarias— permitiendo entender cómo las comunidades perciben su patrimonio biocultural (Folgueiras-Bertomeu & Sabariego-Puig, 2018). Además, se identificaron intereses comunes entre comunidades, investigadores y autoridades locales (Brydon-Miller et al., 2020).

Asimismo, el proyecto integró conocimiento tradicional con enfoques científicos, generando estrategias de restauración que combinaron técnicas modernas y saberes ancestrales. Mediante un diálogo constante, se diseñó un programa que incluyó reforestación con especies nativas y recuperación de técnicas agrícolas tradicionales (Maryunani, 2019).

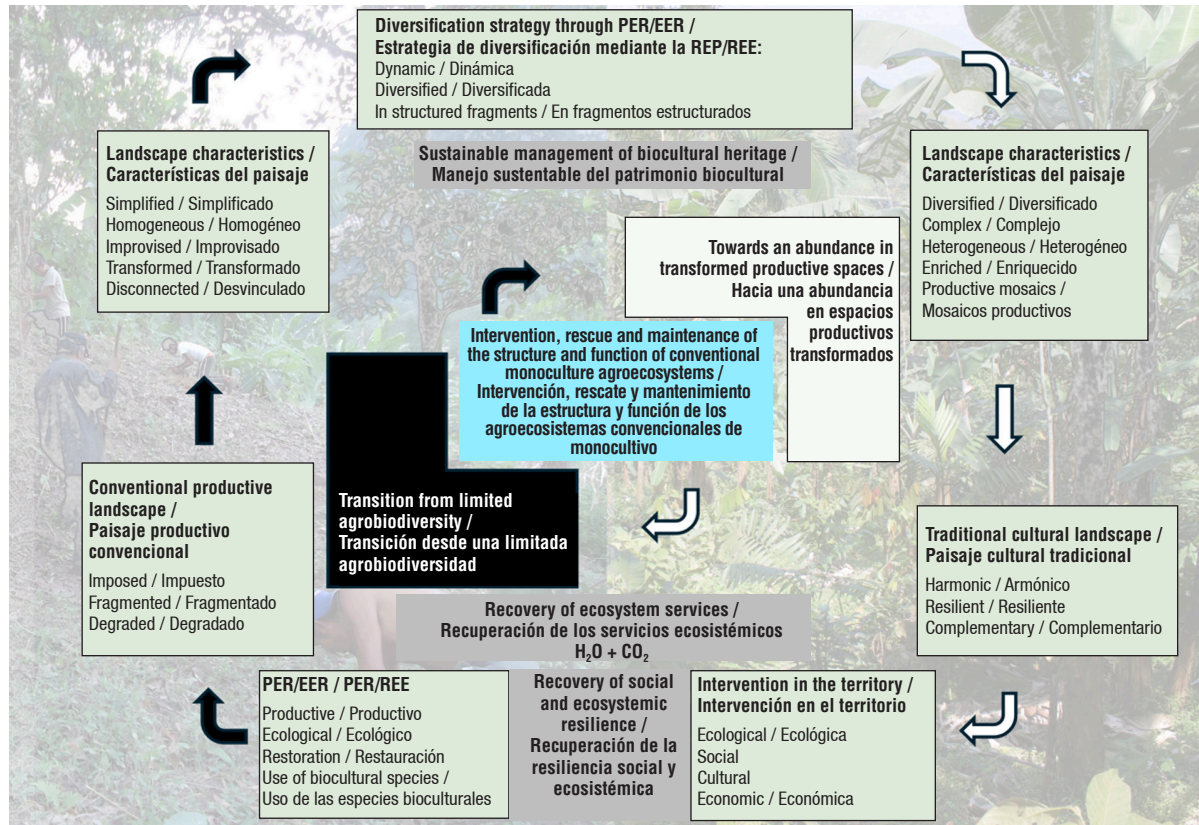
El plan de acción abarcó actividades prácticas como la plantación de árboles autóctonos y la enseñanza de métodos de conservación hídrica adaptados a cada comunidad. Estas intervenciones fueron monitoreadas y documentadas, permitiendo evaluar la mejora en biodiversidad y el fortalecimiento de prácticas culturales. La participación activa de todos los actores fue fundamental para una evaluación integral de los resultados (Keahey, 2021; Brydon-Miller et al., 2020; Giunta, 2019).

En la fase de revisión final, se evaluó la efectividad de los métodos empleados, realizando ajustes para mejorar las estrategias en futuros ciclos de restauración. Este análisis incluyó el impacto ecológico y cultural, asegurando que todos los actores se beneficiarán del proceso (De Oliveira, 2023; Fine et al., 2021). Estas reflexiones evidencian que la restauración de paisajes bioculturales va más allá de un desafío técnico; es un proceso complejo que requiere colaboración interdisciplinaria para reconectar a las personas con la naturaleza.

Este enfoque representa una intervención ambiental y una reaffirmación cultural, destacando la importancia de gestionar los recursos de manera sostenible para mantener viva la relación entre historia, cultura y entorno natural (Cumming & Peterson, 2017). La Figura 1 muestra cómo los componentes esenciales de la restauración del patrimonio biocultural en áreas indígenas mexicanas se interrelacionan y contribuyen a la sostenibilidad social, económica y ambiental.

Figure 1. New avenues of action in rural areas to conserve and enhance natural and cultural heritage through PER/ EER (Ethno-Ecological Restoration) approaches. The transition from homogeneity to heterogeneity is indicated, recovering agricultural and biodiversity.

Figura 1. Nuevas vías de actuación en las zonas rurales para conservar y valorizar el patrimonio natural y cultural mediante enfoques REP/REE (Restauración Etno-Ecológica). Se indica la transición de la homogeneidad a la heterogeneidad, recuperando el agro y la biodiversidad.



communities was fundamental to the success of the project. Members of these communities contributed their vast traditional knowledge, offering unique perspectives and raising specific needs. The objective was to collaboratively identify areas of ecological and cultural degradation and develop restoration strategies combining ancestral practices with innovative, sustainable approaches.

Ongoing community participation was essential throughout the process. This commitment seeks to strengthen the resilience of ecological and cultural systems, improving the quality of life of local inhabitants. Continuous interaction and feedback in the action-research process facilitated solutions integrating biodiversity conservation with the revitalization of indigenous traditions. This establishes a model of intercultural collaboration that promotes environ-

Materiales y métodos

Esta iniciativa se centra en la restauración biocultural y productiva en dos regiones indígenas de México, aplicando una metodología de IAP con enfoque multidisciplinario. La colaboración entre investigadores y comunidades indígenas fue fundamental para el éxito del proyecto. Los miembros de estas comunidades aportaron su vasto conocimiento tradicional, ofreciendo perspectivas únicas y planteando necesidades específicas. El objetivo fue identificar conjuntamente áreas afectadas ecológica y culturalmente, para desarrollar estrategias de restauración que combinen prácticas ancestrales con enfoques innovadores y sostenibles.

La participación constante de las comunidades fue esencial en todo el proceso. Este compromiso busca fortalecer la resiliencia de los sistemas ecoló-

mental restoration and the empowerment of participating communities.

Study areas

The project was carried out in two Mexican indigenous communities: Nuevo Ojital in Papantla, Veracruz, and Cerro Camarón in San Pedro Ixcatlán, Oaxaca. Papantla (20° 27' N, 97° 19' W, 180 masl; INEGI, 2007) is known as the heartland of Totonac culture and one of the main indigenous areas of the country (Hipólito-Romero, 2011; Boege, 2008). It has a warm sub-humid climate with summer rains and an average humidity of 40 %. The original vegetation is medium sub-deciduous forest, and it is located in the Tuxpan-Nautla hydrological basin RH27 (INEGI, 2007).

Papantla's economy revolves around the production of vanilla (*Vanilla planifolia* L.), giving it international renown as "The City that Perfumes the World." Corn, beans and citrus crops are also important. Cultural and ecological tourism has gained importance, driven by the region's pre-Hispanic legacy, including the archaeological site of El Tajín and the *Voladores de Papantla* ceremony (Hipólito-Romero, 2011).

San Pedro Ixcatlán, Oaxaca, is located in the Papaloapan region (18° 06' 18" N, 96° 28'–96° 38' W; INEGI, 2010), with elevations between 0 and 1 200 masl. It has a warm and humid climate, an average annual temperature of 26 °C and rainfall of 2 350 mm. The predominant vegetation is tall evergreen forest, belonging to the Papaloapan hydrological basin (INEGI, 2010).

San Pedro Ixcatlán's economy is based on agriculture and fishing. Corn, bean and coffee crops are essential for subsistence and economic development. Fishing in the Miguel Alemán Dam is a fundamental activity. In recent years, cultural tourism has increased, attracting visitors interested in indigenous heritage and traditional festivities (INEGI, 2007; 2010).

These study areas are ideal for implementing bio-cultural restoration, since both communities possess a rich cultural and biological diversity. Their history of traditional land management can be integrated with modern ecological restoration approaches to generate sustainable benefits.

gicos y culturales, mejorando la calidad de vida de los habitantes locales. Mediante interacción continua y retroalimentación, la investigación-acción diseñó soluciones que integran la conservación de la biodiversidad con la revitalización de tradiciones indígenas. Esto establece un modelo de colaboración intercultural que promueve la restauración ambiental y el empoderamiento de las comunidades participantes.

Zonas de estudio

El proyecto se llevó a cabo en dos comunidades indígenas mexicanas: Nuevo Ojital en Papantla, Veracruz, y Cerro Camarón en San Pedro Ixcatlán, Oaxaca. Papantla (20° 27' N, 97° 19' O, 180 msnm; INEGI, 2007) es conocido como el corazón de la cultura totonaca y una de las principales zonas indígenas del país (Hipólito-Romero, 2011; Boege, 2008). Tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias estivales y una humedad media del 40 %. La vegetación original es selva mediana subcaducifolia, y se ubica en la cuenca hidrológica Tuxpan-Nautla RH27 (INEGI, 2007).

La economía de Papantla gira en torno a la producción de vainilla (*Vanilla planifolia* L.), otorgándole renombre internacional como "La Ciudad que Perfuma al Mundo". También son importantes los cultivos de maíz, frijol y cítricos. Por su parte, el turismo cultural y ecológico ha cobrado relevancia, impulsado por el legado prehispánico de la región, incluyendo la zona arqueológica de El Tajín y la ceremonia de los Voladores de Papantla (Hipólito-Romero, 2011).

San Pedro Ixcatlán, Oaxaca, se localiza en la región del Papaloapan (18° 06' 18" N, 96° 28'–96° 38' O; INEGI, 2010), con altitudes entre 0 y 1 200 msnm. Presenta un clima cálido y húmedo, temperatura promedio anual de 26 °C y precipitaciones de 2 350 mm. La vegetación predominante es selva alta perennifolia, perteneciendo a la cuenca hidrológica del Papaloapan (INEGI, 2010).

En San Pedro Ixcatlán, la economía se sustenta en la agricultura y la pesca. Los cultivos de maíz, frijol y café son esenciales para la subsistencia y desarrollo económico. La pesca en la Presa Miguel Alemán es una actividad fundamental. En los últimos años, el turismo cultural ha aumentado atrayendo visitan-

Recognition of landscape components and identification of ethno-productive inputs for ecological restoration

Our proposal seeks to revitalize cultural landscapes to conserve and strengthen biocultural heritage in indigenous communities in Veracruz and Oaxaca, Mexico, based on the concepts of EER and PER (Del Amo et al., 2010; 2013; De Sousa, 2009). These tools strengthen the resilience of forest ecosystems by reducing disturbances and incorporating species with ecologically significant roles (Perring et al., 2023; Farías et al., 2013).

Researchers and communities collaborated to design specific actions to address environmental and cultural challenges, establishing defined objectives and roles. Actions were executed under continuous supervision, monitoring effects on the ecosystem and the community. A reflective evaluation was conducted, adjusting interventions based on feedback from participants (De Oliveira, 2023; Folgueiras-Bertomeu & Sabariego-Puig, 2018).

Under the EER framework, indigenous knowledge was applied to restore ecosystems through community-guided traditional practices adjusted with participatory assessments. The PER incorporated sustainable economic activities, such as agroforestry, balancing ecological recovery with economic sustainability (Keahey, 2021). Both strategies ensure that traditional knowledge and community needs are central to restoration efforts, promoting their long-term viability (Brydon-Miller et al., 2020).

It is important to mention that we worked with two peasant groups using a methodology adapted from FAO's "Farmer Field Schools," promoting collective and practical learning, effective in cocoa-growing regions of Tabasco and Chiapas (Waddington et al., 2014).

The EER and PER frameworks helped to identify ecological dynamics and diversify systems, establishing biological corridors in fragmented agroforestry landscapes. "Acahuals" —ecosystems that emerge by temporarily abandoning agricultural land— were managed, allowing the regeneration of native vegetation, increasing biodiversity, improving soil fertility, supporting traditional agriculture and providing habitat for numerous species (Moreno-Casasola et al., 2011; Del Amo, 2001; 2012; Del Amo et al., 2014).

tes interesados en la herencia indígena y festividades tradicionales (INEGI, 2007; 2010).

Estas zonas de estudio son ideales para implementar la restauración biocultural, ya que ambas comunidades poseen una rica diversidad cultural y biológica. Su historia de gestión tradicional del territorio puede integrarse con enfoques de restauración ecológica moderna para generar beneficios sostenibles.

Reconocimiento de componentes del paisaje e identificación de insumos etno-productivos para la restauración ecológica

Nuestra propuesta busca revitalizar los paisajes culturales para conservar y fortalecer el patrimonio biocultural en comunidades indígenas de Veracruz y Oaxaca, México, basándose en los conceptos de REE y REP (Del Amo et al., 2010; 2013; De Sousa, 2009). Estas herramientas fortalecen la resiliencia de los ecosistemas forestales al reducir perturbaciones e incorporar especies con roles ecológicamente significativos (Perring et al., 2023; Farías et al., 2013).

Investigadores y comunidades colaboraron para diseñar acciones específicas que abordaran desafíos ambientales y culturales, estableciendo objetivos y roles definidos. Las acciones se ejecutaron bajo supervisión continua, monitoreando efectos en el ecosistema y la comunidad. Se realizó una evaluación reflexiva, ajustando intervenciones según la retroalimentación de los participantes (De Oliveira, 2023; Folgueiras-Bertomeu & Sabariego-Puig, 2018).

En el marco de la REE, se aplicó el conocimiento indígena para restaurar ecosistemas mediante prácticas tradicionales guiadas por la comunidad y ajustadas con evaluaciones participativas. La REP incorporó actividades económicas sostenibles, como la agroforestería, equilibrando la recuperación ecológica con la sostenibilidad económica (Keahey, 2021). Ambas estrategias aseguran que los conocimientos tradicionales y las necesidades comunitarias sean centrales en los esfuerzos de restauración, promoviendo su viabilidad a largo plazo (Brydon-Miller et al., 2020).

Es importante mencionar que se trabajó con dos grupos campesinos utilizando una metodología adaptada de las "Escuelas de Campo" de la FAO, promoviendo el aprendizaje colectivo y práctico, efectiva en regiones cacaoteras de Tabasco y Chiapas (Waddington et al., 2014).

Additionally, the implementation of PAR strategies and the early establishment of policies were crucial to: 1) Maintain and restore the structure and functionality of landscapes for their long-term sustainability; 2) Preserve the relationships between natural ecosystems, cultural landscapes and socio-rural systems; 3) Develop a clear action plan that reflects a commitment to sustainable land use; 4) Establish efficient methods for gathering and synthesizing scientific and empirical knowledge for practical recommendations.

First, local inhabitants' skills, capacities and perceptions of their environment were assessed in order to build a sustainable future. Second, the roles of different actors in local productive chains were characterized, identifying opportunities to collectively improve living conditions (Del Amo & Vergara-Tenorio, 2007). Third, local knowledge about biocultural resources was assessed, collecting qualitative information to identify key landscape components.

This holistic approach provides a solid foundation for biocultural and productive restoration, promoting the creation of sustainable landscapes that integrate biodiversity, culture and local economy.

Development of strategic alliances between the actors of the proposal and their participatory roles

Strategic alliances were established with key actors to strengthen project implementation. Of particular note was the collaboration with the Soil Microbiology Group of the *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*, who developed the plant biofertilizer BiofertiBuap®. This biofertilizer was used in experimental cocoa plots, improving productivity and soil health (Hipólito-Romero et al., 2017).

Two experimental plots of 5 000 m² each were implemented, using four cocoa varieties. The management methodology was based on FAO's farmer field schools, effective in the previously mentioned projects.

Another crucial step was to partner with local producer organizations, facilitating access to work spaces and ensuring the maintenance of the plots. Two organizations were selected: "Mujeres Artesanas de la Vainilla, S.C. de R.L. de C.V." in Nuevo Ojital, Papantla, Veracruz, and "Grupo Cerro Totomoztle, S.C. de R.L. de C.V." in Cerro Camarón, San Pedro Ixcatlán, Oaxaca.

Los marcos de REE y REP ayudaron a identificar dinámicas ecológicas y diversificar sistemas, estableciendo corredores biológicos en paisajes agroforestales fragmentados. Se gestionaron "acahuales"—ecosistemas emergentes al abandonar temporalmente tierras agrícolas— permitiendo la regeneración de vegetación nativa, incrementando biodiversidad, mejorando la fertilidad del suelo, apoyando la agricultura tradicional y proporcionando hábitat a numerosas especies (Moreno-Casasola et al., 2011; Del Amo, 2001; 2012; Del Amo et al., 2014).

De manera adicional, la implementación de estrategias de IAP y el establecimiento temprano de políticas fueron cruciales para: 1) Mantener y restaurar la estructura y funcionalidad de los paisajes para su sostenibilidad a largo plazo. 2) Preservar las relaciones entre ecosistemas naturales, paisajes culturales y sistemas socio-rurales. 3) Desarrollar un plan de acción claro que refleje compromiso con el uso sostenible de la tierra. 4) Establecer métodos eficientes para recopilar y sintetizar conocimiento científico y empírico para recomendaciones prácticas.

Primero, se evaluaron habilidades, capacidades y percepciones de los habitantes locales sobre su entorno para construir un futuro sostenible. Segundo, se caracterizaron roles de distintos actores en cadenas productivas locales, identificando oportunidades para mejorar colectivamente las condiciones de vida (Del Amo & Vergara-Tenorio, 2007). Tercero, se evaluó el conocimiento local sobre recursos bioculturales, recopilando información cualitativa para identificar componentes clave del paisaje.

Este enfoque integral proporciona una base sólida para la restauración biocultural y productiva, promoviendo la creación de paisajes sostenibles que integren biodiversidad, cultura y economía local.

Desarrollo de alianzas estratégicas entre los actores de la propuesta y sus roles participativos

Se establecieron alianzas estratégicas con actores clave para fortalecer la implementación del proyecto. Destaca la colaboración con el Grupo de Microbiología del Suelo de la *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*, quienes desarrollaron el biofertilizante vegetal BiofertiBuap®. Este biofertilizante se utilizó en parcelas experimentales de cacao, mejorando la productividad y la salud del suelo (Hipólito-Romero et al., 2017).

The active participation of these organizations was key to maintaining the plots, training producers and implementing technical innovations, contributing to improving local agricultural practices and increasing sustainable production.

Establishment of experimental cocoa agroforestry systems to promote the recovery of fragmented landscapes

As detailed above, an experimental design was implemented in cocoa agroforestry plots (Figure 2) to partially restore fragmented ecosystems in the indigenous communities of Nuevo Ojital, Papantla, Veracruz, and Cerro Camarón, San Pedro Ixcatlán, Oaxaca, Mexico.

Twelve hundred cocoa plants between 12 and 15 months of age, previously kept in plastic bags, were planted in an evenly distributed manner in two experimental plots of 600 plants each. The planting pattern followed a staggered line with three meters between plants. Each plot had 20 horizontal rows organized in five repetitions of four lines with 15 plants, including four clonal varieties of cocoa. The plots were divided into two experimental blocks: with shade and without shade, to facilitate the comparison of treatments.

In both blocks, three fertilization treatments were applied in vertical columns: (1) biofertilization with a beneficial bacterial consortium composed of nitrogen-fixing (*Azospirillum brasilense* BUAP-151 and BUAP-154) and insoluble phosphorus-solubilizing strains (*Chromobacterium violaceum* BUAP-35 and *Acinetobacter calcoaceticus* BUAP-40) from the ICUAP Soil Microbiology Laboratory strain bank; (2) irrigation with water without fertilization as a control; and (3) conventional chemical fertilization. Each treatment was applied at 200 mL per plant, twice during 16 months, targeting the rhizosphere.

The objective was to compare the effects of mixed cocoa and vanilla cultivation under different management and fertilization, in order to optimize productive restoration practices that promote agricultural yield and contribute to the recovery of biodiversity and ecological functionality in tropical agroecosystems. By evaluating the compatibility of these species in agroforestry systems, the project explores

Se implementaron dos parcelas experimentales de 5 000 m² cada una, utilizando cuatro variedades de cacao. La metodología de manejo se basó en las escuelas de campo de la FAO, eficaces en proyectos mencionados previamente.

Otro paso crucial fue aliarse con organizaciones de productores locales, facilitando el acceso a espacios de trabajo y garantizando el mantenimiento de las parcelas. Se seleccionaron dos organizaciones: "Mujeres Artesanas de la Vainilla, S.C. de R.L. de C.V." en Nuevo Ojital, Papantla, Veracruz, y "Grupo Cerro Totomoztle, S.C. de R.L. de C.V." en Cerro Camarón, San Pedro Ixcatlán, Oaxaca. Estas asociaciones aseguraron la sostenibilidad del proyecto y fortalecieron los vínculos entre el equipo de investigación y las comunidades, creando un entorno colaborativo favorable.

La participación activa de estas organizaciones fue clave para el mantenimiento de las parcelas, la capacitación de los productores y la implementación de innovaciones técnicas, contribuyendo a mejorar las prácticas agrícolas locales y aumentar la producción sostenible.

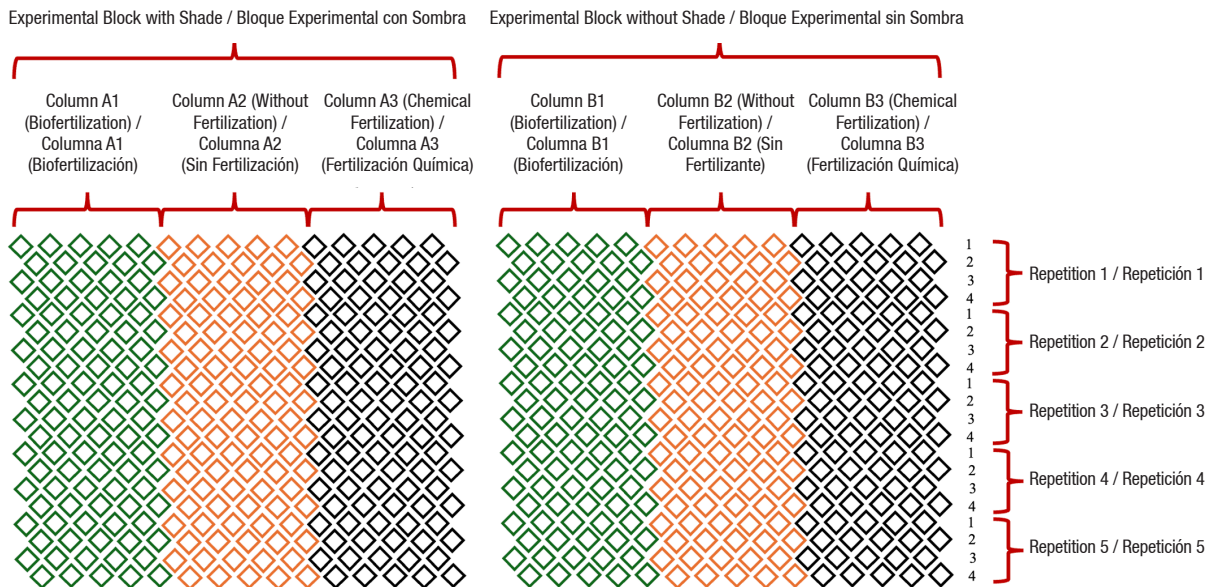
Establecimiento de sistemas agroforestales experimentales de cacao para promover la recuperación de paisajes fragmentados

Como se detalló anteriormente, se implementó un diseño experimental en parcelas agroforestales de cacao (Figura 2) para restaurar parcialmente ecosistemas fragmentados en las comunidades indígenas de Nuevo Ojital, Papantla, Veracruz, y Cerro Camarón, San Pedro Ixcatlán, Oaxaca, México.

Se plantaron 1 200 plantas de cacao de entre 12 y 15 meses de edad, previamente mantenidas en bolsas de plástico, distribuidas equitativamente en dos parcelas experimentales de 600 plantas cada una. El patrón de plantación siguió una línea escalonada con tres metros entre plantas. Cada parcela tenía 20 líneas horizontales organizadas en cinco repeticiones de cuatro líneas con 15 plantas, incluyendo cuatro variedades clonales de cacao. Las parcelas se dividieron en dos bloques experimentales: con sombra y sin sombra, para facilitar la comparación de tratamientos.

En ambos bloques, se aplicaron tres tratamientos de fertilización distribuidos en columnas vertica-

Figure 2. Experimental design of cocoa plots established in the research communities. *1,2,3: INIFAP cocoa varieties; *4: control (local cocoa variety); average number of plants per divided plot: 300.
Figura 2. Diseño experimental de las parcelas de cacao establecidas en las comunidades de investigación. *1,2,3: Variedades de cacao INIFAP; *4: testigo (variedad de cacao local); promedio de plantas por parcela dividida: 300.



new forms of productive integration that serve as a model for restoring degraded ecosystems and supporting long-term sustainability (Cocoletzi et al., 2022; López-Juárez et al., 2019).

Since cocoa varieties have been widely used in Tabasco and Chiapas for their high productivity and economic value, our experimental project integrating vanilla and cacao also included timber and non-timber species of high biocultural value.

These species were chosen for their economic, cultural and ecological benefits, including the parlour palm (*Chamaedorea elegans*), achiote (*Bixa orellana*) and various nut and fruit trees that contribute diversity to the agroecosystem. In addition, symbolic species were included in traditional ceremonies, such as the "palo volador" (*Zuelania guidonia*) and *Ceiba* sp. trees, strengthening the link between biodiversity and local cultural practices.

Considering the phenology of cocoa and the age of the plants at the time of planting between January 2019 and April 2020, the first cocoa harvest is projected to occur in approximately three years thereafter. In contrast, vanilla, with a shorter cycle, is ex-

les: (1) biofertilización con un consorcio bacteriano benéfico compuesto por cepas fijadoras de nitrógeno (*Azospirillum brasilense* BUAP-151 y BUAP-154) y solubilizadoras de fósforo insoluble (*Chromobacterium violaceum* BUAP-35 y *Acinetobacter calcoaceticus* BUAP-40) del cepario del Laboratorio de Microbiología del Suelo del ICUAP; (2) riego con agua sin fertilización como control; y (3) fertilización química convencional. Cada tratamiento se aplicó en 200 mL por planta, en dos ocasiones durante 16 meses, dirigido a la rizosfera.

El objetivo fue comparar los efectos del cultivo mixto de cacao y vainilla bajo distintos manejos y fertilizaciones, para optimizar prácticas de restauración productiva que promuevan el rendimiento agrícola y contribuyan a la recuperación de biodiversidad y funcionalidad ecológica en agroecosistemas tropicales. Al evaluar la compatibilidad de estas especies en sistemas agroforestales, el proyecto explora nuevas formas de integración productiva que sirvan como modelo para restaurar ecosistemas degradados y apoyar la sostenibilidad a largo plazo (Cocoletzi et al., 2022; López-Juárez et al., 2019).

pected to produce fruit in its first year. Therefore, it is anticipated that this initial phase will require constant monitoring until at least 2025 to ensure that farmers benefit from the first harvests.

This holistic approach seeks to generate long-term benefits that promote biodiversity and ecosystem resilience, enrich cultural traditions and provide sustainable economic opportunities for local communities.

Results and discussion

Recovery of inputs for ecological restoration in the Totonaca region: towards harmonious biocultural landscapes

Our proposal focuses on revitalizing and promoting cultural landscapes to conserve and strengthen biocultural heritage in indigenous communities in Veracruz and Oaxaca. Based on the concepts of EER and PER (Del Amo et al., 2010; 2013; De Sousa, 2009), it seeks to strengthen the resilience of forest ecosystems by reducing disturbances and facilitating their recovery through the incorporation of species with ecologically significant roles (Perring et al., 2023; Farías et al., 2013).

Both researchers and communities collaborated to design actions that would address environmental and cultural challenges, setting clear objectives and defined roles. During implementation, the effects on the ecosystem and the community were monitored and supervised. Upon completion, the results and effectiveness of the interventions were evaluated, adjusting based on feedback from participants (De Oliveira, 2023; Folgueiras-Bertomeu & Sabariego-Puig, 2018).

Under the EER framework, indigenous knowledge was used to restore ecosystems, integrating traditional practices and participatory assessments. The PER added sustainable economic activities such as agroforestry, balancing ecological recovery and economic sustainability (Keahey, 2021). Both strategies ensure that traditional knowledge and community needs are central to restoration, promoting long-term viability and benefits (Brydon-Miller et al., 2020).

Previous studies show that participatory approaches strengthen restoration. In this sense, we

Dado que las variedades de cacao han sido ampliamente utilizadas en Tabasco y Chiapas por su alta productividad y valor económico, nuestro proyecto experimental que integra vainilla y cacao también incluyó especies maderables y no maderables de alto valor biocultural.

Estas especies se eligieron por sus beneficios económicos, culturales y ecológicos, incluyendo la palma camedor (*Chamaedorea elegans*), el achiote (*Bixa orellana*) y diversos árboles de nueces y frutas que aportan diversidad al agroecosistema. Además, se incluyeron especies simbólicas en ceremonias tradicionales, como el "palo volador" (*Zuelania guidonia*) y árboles de *Ceiba* sp., fortaleciendo el vínculo entre biodiversidad y prácticas culturales locales.

Considerando la fenología del cacao y la edad de las plantas al momento de su siembra entre enero de 2019 y abril de 2020, se proyecta que la primera cosecha de cacao ocurrirá en aproximadamente en los tres años posteriores. En contraste, la vainilla, con un ciclo más corto, se espera que produzca frutos en su primer año. Por ello, se anticipa que esta fase inicial requerirá monitoreo constante hasta al menos 2025, para garantizar que los agricultores se beneficien de las primeras cosechas.

Este enfoque integral busca generar beneficios a largo plazo que promuevan la biodiversidad, la resiliencia del ecosistema, enriquezcan las tradiciones culturales y ofrezcan oportunidades económicas sostenibles para las comunidades locales.

Resultados y discusión

Recuperación de insumos para la restauración ecológica en la región totonaca: hacia paisajes bioculturales armoniosos

Nuestra propuesta se centra en revitalizar y promover paisajes culturales para conservar y fortalecer el patrimonio biocultural en comunidades indígenas de Veracruz y Oaxaca. Basada en los conceptos de REE y REP (Del Amo et al., 2010; 2013; De Sousa, 2009), se busca fortalecer la resiliencia de ecosistemas forestales reduciendo perturbaciones y facilitando su recuperación mediante la incorporación de especies con roles ecológicamente significativos (Perring et al., 2023; Farías et al., 2013).

worked with two peasant groups using a methodology adapted from FAO's "Farmer Field Schools" (Waddington et al., 2014), used since 2011 in cocoa-growing regions of Tabasco and Chiapas, which encourage collective and practical learning.

Activities within the EER and PER frameworks identified ecological dynamics and diversified systems, creating biological corridors in fragmented agroforestry landscapes. "Acahuals," ecosystems that emerge when agricultural land is abandoned, were managed, allowing the regeneration of native vegetation. This increases biodiversity, improves soil fertility, supports traditional agriculture and provides habitat for numerous species (Moreno-Casasola et al., 2011; Del Amo, 2001; 2012; Del Amo et al., 2014).

The aim was to integrate agroforestry systems with basic components of these approaches, emphasizing that stakeholder participation is essential from planning to evaluation to ensure successful outcomes.

Furthermore, the implementation of PAR strategies and collaborative engagements were key to: 1) Maintain and restore the structure and functionality of landscapes for their long-term sustainability; 2) Preserve the relationships between natural ecosystems, cultural landscapes and socio-rural systems; 3) Develop a clear action plan that reflects commitment to sustainable land use; and 4) Establish efficient methods for gathering and synthesizing scientific and empirical knowledge for practical recommendations.

First, the local inhabitants' skills, capacities, and perceptions of their environment were assessed. Second, the roles of actors and social groups in local production chains were characterized, identifying opportunities to improve living conditions (Del Amo & Vergara-Tenorio, 2007). Third, local knowledge about biocultural resources was assessed, collecting information to identify key landscape components.

This holistic approach provided a solid foundation for biocultural and productive restoration, promoting the creation of sustainable landscapes that integrate biodiversity, culture, and the local economy (Garza-Morales et al., 2021).

Tanto investigadores como comunidades colaboraron para diseñar acciones que abordarán desafíos ambientales y culturales, estableciendo objetivos claros y roles definidos. Durante la implementación, se supervisaron y monitorearon los efectos en el ecosistema y la comunidad. Al finalizar, se evaluaron los resultados y la efectividad de las intervenciones, ajustando según la retroalimentación de los participantes (De Oliveira, 2023; Folgueiras-Bertomeu & Sabariego-Puig, 2018).

En el marco de la REE, se utilizó el conocimiento indígena para restaurar ecosistemas, integrando prácticas tradicionales y evaluaciones participativas. La REP añadió actividades económicas sostenibles como la agroforestería, equilibrando recuperación ecológica y sostenibilidad económica (Keahey, 2021). Ambas estrategias garantizan que los conocimientos tradicionales y necesidades comunitarias sean centrales en la restauración, promoviendo viabilidad y beneficios a largo plazo (Brydon-Miller et al., 2020).

Estudios previos muestran que los enfoques participativos fortalecen la restauración. En dicho sentido se trabajó con dos grupos campesinos usando una metodología adaptada de las "Escuelas de Campo" de la FAO (Waddington et al., 2014), empleada desde 2011 en regiones cacaoteras de Tabasco y Chiapas, las cuales fomentan el aprendizaje colectivo y práctico.

Los actividades de REE y REP ayudaron a identificar dinámicas ecológicas y diversificar sistemas, estableciendo corredores biológicos en paisajes agroforestales fragmentados. Se gestionaron "acahuals", ecosistemas que surgen al abandonar tierras agrícolas, permitiendo la regeneración de vegetación nativa. Lo anterior incrementa la biodiversidad, mejora la fertilidad del suelo, apoya la agricultura tradicional y proporciona hábitat a numerosas especies (Moreno-Casasola et al., 2011; Del Amo, 2001; 2012; Del Amo et al., 2014).

Se buscó integrar sistemas agroforestales con componentes básicos de dichos enfoques, enfatizando que la participación de los actores es esencial desde la planificación hasta la evaluación para garantizar resultados satisfactorios.

Asimismo, la implementación de estrategias de IAP y compromisos colaborativos fueron clave para:

Biocultural ecological restoration model: recovery of fragmented landscapes with experimental cocoa agroforestry systems

Tropical ecosystems have been frequently degraded by human activities, turning them into impoverished landscapes (Myers, 1984; Estrada & Coates-Estrada, 1996; Karger et al., 2021). Overexploitation has caused the loss of their original characteristics. Del Amo (2008) and Moreno-Casasola et al. (2011) point out that cultural landscapes reflect the agricultural crisis and environmental degradation in Mexico. Therefore, biological restoration seeks to recover ecosystem functions and structures (Chin et al., 2021).

The PAR approach was essential in this project, combining research and action with community participation, where members are active co-researchers (Fine et al., 2021; Brydon-Miller et al., 2020).

This began with a participatory diagnosis to define the problem, gathering local perceptions through meetings and interviews (De Oliveira, 2023). In the planning, joint strategies were designed with clear roles. During implementation, actions were monitored and strategies adjusted according to their impact (Chin et al., 2021; Fine et al., 2021). Participatory evaluation allowed the plan to be adjusted based on feedback.

Moreover, the EER used traditional knowledge and practices to restore degraded ecosystems (Maryunani, 2019). Information was collected on native species and local traditions, aligning strategies with cultural practices (Giunta, 2019; Silverstein et al., 2023). Implementation was overseen by the community, integrating local and scientific knowledge.

In parallel, the PER sought to generate sustainable economic benefits by integrating agroforestry and silvicultural practices to balance restoration and agricultural productivity (De Oliveira, 2023). Sustainable practices were identified, tailored to achieve economic viability and ecological sustainability (Brydon-Miller et al., 2020).

The collaborative approach brought researchers and communities together on interdisciplinary problems (Gayá & Reason, 2009). This dialogue considered the needs of all residents. Farmers received training and contributed land and knowledge, improving their income and technical capabilities.

1) Mantener y restaurar la estructura y funcionalidad de los paisajes para su sostenibilidad a largo plazo. 2) Preservar las relaciones entre ecosistemas naturales, paisajes culturales y sistemas socio-rurales. 3) Desarrollar un plan de acción claro que refleje compromiso con el uso sostenible de la tierra. 4) Establecer métodos eficientes para recopilar y sintetizar conocimiento científico y empírico para recomendaciones prácticas.

Primero, se evaluaron habilidades, capacidades y percepciones de los habitantes locales sobre su entorno. Segundo, se caracterizaron roles de actores y grupos sociales en cadenas productivas locales, identificando oportunidades para mejorar condiciones de vida (Del Amo & Vergara-Tenorio, 2007). Tercero, se evaluó el conocimiento local sobre recursos bioculturales, recopilando información para identificar componentes clave del paisaje.

Este enfoque integral proporcionó una base sólida para la restauración biocultural y productiva, promoviendo la creación de paisajes sostenibles que integren biodiversidad, cultura y economía local (Garza-Morales et al., 2021).

Modelo de restauración ecológica biocultural: recuperación de paisajes fragmentados con sistemas agroforestales experimentales de cacao

Los ecosistemas tropicales han sido degradados de manera frecuente por actividades humanas, convirtiéndolos en paisajes empobrecidos (Myers, 1984; Estrada & Coates-Estrada, 1996; Karger et al., 2021). La sobreexplotación ha causado la pérdida de sus características originales. Del Amo (2008) y Moreno-Casasola et al. (2011) señalan que los paisajes culturales reflejan la crisis agrícola y la degradación ambiental en México. Por lo anterior, la restauración biológica busca recuperar funciones y estructuras de los ecosistemas (Chin et al., 2021).

El enfoque de IAP fue esencial en este proyecto, combinando investigación y acción con participación comunitaria, donde los miembros son coinvestigadores activos (Fine et al., 2021; Brydon-Miller et al., 2020).

Para ello, se inició con un diagnóstico participativo para definir el problema, recopilando percepciones locales mediante reuniones y entrevistas (De Oliveira, 2023). En la planificación, se diseñaron es-

The project addressed land degradation. The agroforestry system integrated species of high bio-cultural value, promoting biodiversity (Schroth & Ruf, 2014; Beer et al., 1998) and including culturally, ecologically and economically valued species (Del Amo, 2012; Loh & Harmon, 2005), as well as considering ecological, cultural, social and economic dimensions.

The PER is a space where conserved vegetation and productive mosaics increase landscape diversity (Gayá & Reason, 2009; Groom et al., 2005). In this sense, Hart (1985; 1990) points out that the transition to a balanced ecosystem requires recovering structural and functional characteristics to bring management closer to natural conditions.

For its part, the indigenous worldview maintains that harmony and well-being are restored through collective agreements and intercultural dialogue (Ma et al., 2020; Montemayor & Frischmann, 2007). Thus, restoration includes physical, chemical, biological aspects and interaction between nature and society, allowing coevolution between ecosystems and cultures.

Regarding the implementation of acahuales, it is important to point out that these are agroforestry systems with species of biological and cultural value, which is a fundamental key to restoring degraded landscapes in the Mexican tropics (Temmink et al., 2023; Moreno-Casasola et al., 2011; Del Amo, 2001). To be effective, they must resemble natural ecosystems, provide resources for human development, and control disturbances without chemical inputs, using ecological methods (Hipólito-Romero et al., 2017; Estrada & Coates-Estrada, 1996).

In the Totonaca region of Veracruz, Zozocolco de Hidalgo and El Espinal, with different ecological conditions, show similar approaches to land use (Del Amo et al., 2008a; 2008b). In Zozocolco, secondary vegetation regenerates land used for vanilla and cocoa (Hipólito-Romero et al., 2017). On the other hand, El Espinal has suffered ecosystem fragmentation, reducing its resilience. Namely, the "nature-culture" binomial allows restoring agroforestry landscapes, impacting ecological, social and economic dimensions (Niether et al., 2020).

By increasing species diversity, degraded landscapes can become more sustainable and balanced. Furthermore, ecosystem fragmentation, which di-

trategias conjuntas con roles claros. Durante la implementación, se monitorearon acciones y ajustaron estrategias según su impacto (Chin et al., 2021; Fine et al., 2021). La evaluación participativa permitió ajustar el plan basado en la retroalimentación.

Por otra parte, la REE utilizó conocimientos y prácticas tradicionales para restaurar los ecosistemas degradados (Maryunani, 2019). Se recopiló información sobre especies nativas y tradiciones locales, alineando estrategias con prácticas culturales (Giunta, 2019; Silverstein et al., 2023). La implementación fue supervisada por la comunidad, integrando conocimiento local y científico.

Paralelamente, mediante la REP se buscó generar beneficios económicos sostenibles, integrando prácticas agroforestales y silviculturales para equilibrar restauración y productividad agrícola (De Oliveira, 2023). Se identificaron prácticas sostenibles, ajustadas para lograr viabilidad económica y sostenibilidad ecológica (Brydon-Miller et al., 2020).

El enfoque colaborativo unió a investigadores y comunidades en problemas interdisciplinarios (Gayá & Reason, 2009). Este diálogo consideró las necesidades de todos los pobladores. Los agricultores recibieron capacitación y aportaron tierras y conocimientos, mejorando ingresos y capacidades técnicas.

El proyecto abordó la degradación de la tierra. El sistema agroforestal integró especies de alto valor bio-cultural, promoviendo biodiversidad (Schroth & Ruf, 2014; Beer et al., 1998) e incluyendo especies valoradas cultural, ecológica y económicamente (Del Amo, 2012; Loh & Harmon, 2005), así como considerando dimensiones ecológicas, culturales, sociales y económicas.

La REP es un espacio donde vegetación conservada y mosaicos productivos aumentan la diversidad del paisaje (Gayá & Reason, 2009; Groom et al., 2005). En este sentido Hart (1985; 1990) señala que la transición a un ecosistema equilibrado requiere recuperar características estructurales y funcionales para acercar la gestión a condiciones naturales.

Por su parte, la cosmovisión indígena sostiene que armonía y bienestar se restauran mediante acuerdos colectivos y diálogo intercultural (Ma et al., 2020; Montemayor & Frischmann, 2007). Así, la restauración incluye aspectos físicos, químicos, biológicos e interacción entre naturaleza y sociedad, permitiendo coevolución entre ecosistemas y culturas.

vides habitats and reduces connectivity and resilience, is a challenge (Groom et al., 2005). Consequently, changes in land use alter landscape properties and ecosystem balance (Richardson et al., 2023; Steenberg et al., 2017).

The concept of landscape integrates natural and anthropological components. In the Mexican tropics, cultural landscapes have been fragmented by economic growth and globalization (Waring, 2024; Paradowska et al., 2011). In the Totonaca region, cattle ranching and monocultures transformed the landscape. Recently, production displaced corn to obtain totomoxtle (Yang et al., 2020; Del Amo et al., 2008a; 2008b). These changes show the need to reorganize land use and promote agroforestry restoration through EER and PER (Weidlich et al., 2021).

The agricultural matrix is the set of agricultural landscapes that surround fragments of natural habitats, impacting biodiversity and ecological processes (Maryunani, 2019). It includes crops and grasslands that, if not well managed, can affect ecological connectivity and the interaction between natural ecosystems and human activities (Giunta, 2019).

To meet these challenges, creating agroforestry areas with enriched successional species and diversifying corn fields allows conserving and managing wildlife and germplasm units. Connected by biological corridors, these areas restore landscape functionality (Del Amo, 2012; Del Amo et al., 2014). This approach ensures that agroforestry systems increase biodiversity and promote species of high biocultural value, reinforcing ecological and social sustainability in rural communities (Ma et al., 2020).

Final thoughts and considerations

Our proposal seeks to improve well-being in poor and marginalized rural areas by restoring the heterogeneity, complexity and harmony of landscapes with a rich ecological and cultural heritage. This approach promotes environmental recovery, revitalizes the social fabric and reinforces restoration as a sustainable source of productivity. By recovering agrodiversity and cultural management practices, it highlights the value of the collective wisdom of local communities.

With this approach, the landscape is conceived as a unit that integrates ecological characteristics and

Respecto a la implementación de acahuales, es importante mencionar que estos son sistemas agroforestales con especies de valor biológico y cultural, lo cual es una clave fundamental para restaurar paisajes degradados en los trópicos mexicanos (Temminck et al., 2023; Moreno-Casasola et al., 2011; Del Amo, 2001). Para ser efectivos, deben asemejarse a ecosistemas naturales, proveer recursos para el desarrollo humano y controlar perturbaciones sin insumos químicos, usando métodos ecológicos (Hipólito-Romero et al., 2017; Estrada & Coates-Estrada, 1996).

En la región totonaca de Veracruz, Zozocolco de Hidalgo y El Espinal, con diferentes condiciones ecológicas, se muestran enfoques similares en uso del suelo (Del Amo et al., 2008a; 2008b). En Zozocolco, la vegetación secundaria regenera tierras usadas para vainilla y cacao (Hipólito-Romero et al., 2017). Por otra parte, el Espinal ha sufrido fragmentación de ecosistemas, reduciendo su resiliencia. A saber, el binomio "naturaleza-cultura" permite restaurar paisajes agroforestales, impactando dimensiones ecológicas, sociales y económicas (Niether et al., 2020).

Al aumentar la diversidad de especies, los paisajes degradados pueden volverse más sostenibles y equilibrados. Asimismo, la fragmentación del ecosistema, que divide hábitats y reduce conectividad y resiliencia, es un reto (Groom et al., 2005). Por consiguiente, los cambios en uso del suelo alteran propiedades del paisaje y el equilibrio de los ecosistemas (Richardson et al., 2023; Steenberg et al., 2017).

El concepto de paisaje integra componentes naturales y antropológicos. En los trópicos mexicanos, los paisajes culturales han sido fragmentados por crecimiento económico y globalización (Waring, 2024; Paradowska et al., 2011). En la región totonaca, la ganadería y monocultivos transformaron el paisaje. Recientemente, la producción desplazó al maíz para obtener totomoxtle (Yang et al., 2020; Del Amo et al., 2008a; 2008b). Estos cambios evidencian la necesidad de reorganizar el uso del suelo y promover la restauración agroforestal mediante REE y REP (Weidlich et al., 2021).

Ahora bien, la matriz agrícola es el conjunto de paisajes agrícolas que rodean fragmentos de hábitats naturales, impactando biodiversidad y procesos ecológicos (Maryunani, 2019). Ésta incluye cultivos y pastizales

the historical intervention of communities. Therefore, our study does not propose a single model, but rather highlights key principles applicable to landscape restoration under a biocultural approach adapted to specific contexts.

This study addressed environmental fragmentation and agricultural overexploitation using PER tools to restore biocultural landscapes in two indigenous communities in Mexico. Using a multidisciplinary approach, agroforestry landscapes were established that integrated biocultural values, promoting ecological resilience and economic benefits. Community members played a central role in identifying challenges and implementing solutions, and work plans included planting native trees and water conservation techniques, adapted through community feedback.

Integrating traditional knowledge with modern scientific techniques was also essential, focusing on recovering key biocultural species and promoting resilience. Experimental agroforestry systems were established with cocoa and vanilla crops, applying biofertilizers to improve sustainability and productivity.

Collaboration with the Soil Microbiology Group of the *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla* enabled the development and application of biofertilizers that improved yields. Partnerships with local organizations ensured the success and continuity of these systems, highlighting the importance of alliances for long-term sustainability.

In addition to productive benefits, the project addressed the restoration of environmental services such as climate regulation and carbon sequestration through reforestation and agroforestry, contributing to local biodiversity. The creation of biological corridors increased ecological connectivity and supported the conservation of native species essential to the ecosystem.

In terms of social and cultural impacts, integrating local knowledge with sustainable practices strengthened the ecological infrastructure and cultural fabric. However, we also recognize the limitations of our proposal, such as: the great cultural and biological diversity makes it difficult to generalize results and apply universal theories. Moreover, socioeconomic and political inequalities also affect research and implementation efforts.

que, si no se manejan bien, pueden afectar la conectividad ecológica y la interacción entre ecosistemas naturales y actividades humanas (Giunta, 2019).

Para enfrentar estos desafíos, crear áreas agroforestales con especies sucesionales enriquecidas y diversificar campos de maíz, permite conservar y manejar unidades de vida silvestre y germoplasma. Conectadas por corredores biológicos, estas áreas restauran la funcionalidad del paisaje (Del Amo, 2012; Del Amo et al., 2014). Este enfoque asegura que los sistemas agroforestales aumenten la biodiversidad y promuevan especies de alto valor biocultural, reforzando la sostenibilidad ecológica y social en comunidades rurales (Ma et al., 2020).

Reflexiones finales y consideraciones

Nuestra propuesta busca mejorar el bienestar en áreas rurales pobres y marginadas mediante la restauración de la heterogeneidad, complejidad y armonía de paisajes con un rico patrimonio ecológico y cultural. Este enfoque promueve la recuperación ambiental, revitaliza el tejido social y refuerza la restauración como fuente sostenible de productividad. Al recuperar la agrobiodiversidad y prácticas de manejo cultural, se destaca el valor de la sabiduría colectiva de las comunidades locales.

Con este enfoque, el paisaje se concibe como una unidad que integra características ecológicas y la intervención histórica de las comunidades. Por lo anterior, nuestro estudio no propone un modelo único, sino que resalta principios clave aplicables en la restauración de paisajes bajo un enfoque biocultural adaptado a contextos específicos.

Este trabajo se enfocó en combatir la fragmentación ambiental y la sobreexplotación agrícola mediante herramientas de REP para restaurar paisajes bioculturales en dos comunidades indígenas de México. Mediante un enfoque multidisciplinario, se establecieron paisajes agroforestales que integraron valores bioculturales, promoviendo resiliencia ecológica y beneficios económicos. Los miembros de las comunidades tuvieron un papel central en la identificación de desafíos e implementación de soluciones y, los planes de trabajo incluyeron la plantación de árboles nativos y técnicas de conservación del agua, adaptadas mediante retroalimentación comunitaria.

Another challenge is the lack of access to technologies and resources, limiting research. This is compounded by urbanization and the erosion of cultural traditions in indigenous communities, threatening the balance necessary for biocultural preservation. The interaction between modernity and tradition poses a threat to the harmonious coexistence between humanity and nature. Furthermore, the complexities in cultural and biological interactions make it difficult to establish clear causal relationships.

These limitations underscore the need for interdisciplinary and culturally sensitive approaches in Latin American biocultural research to achieve ecologically and socially sustainable results.

Conclusions

PER is a key tool for biodiversity conservation and sustainable development in rural and indigenous communities in Latin America. By restoring degraded ecosystems and implementing agricultural and forestry practices based on biocultural principles, ecosystem services and local quality of life are improved. This holistic approach creates more resilient, productive and ecologically balanced landscapes.

Dialogue of knowledge is also essential, integrating biocultural memory with modern concepts of systems theory and resilience. This synergy between traditional and scientific knowledge enriches restoration strategies and validates ancestral practices as pillars of sustainability.

Traditional indigenous practices, such as crop rotation and sustainable resource management, were analyzed under the concepts of homeostasis and dynamic equilibrium. This demonstrated how they favor ecosystem self-regulation and contribute to biocultural balance. Likewise, local strategies to face disturbances are aligned with resilience, highlighting that the diversity of practices and species increases the capacity to adapt to threats.

In turn, biological and cultural diversity is crucial for resilience. Concepts such as functional diversity and redundancy help to understand how a variety of practices and species manages uncertainties and strengthens adaptation. With multiple species and approaches, communities are better able to cope with environmental, economic or social disturbances.

También fue fundamental integrar el conocimiento tradicional con técnicas científicas modernas, enfocándose en recuperar especies bioculturales clave y promover la resiliencia. Se establecieron sistemas agroforestales experimentales con cultivos de cacao y vainilla, aplicando biofertilizantes para mejorar sostenibilidad y productividad.

Por su parte, la colaboración con el Grupo de Microbiología del Suelo de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla permitió desarrollar y aplicar biofertilizantes que mejoraron los rendimientos. Las asociaciones con organizaciones locales aseguraron el éxito y continuidad de estos sistemas, resaltando la importancia de alianzas para la sostenibilidad a largo plazo.

Además de los beneficios productivos, el proyecto abordó la restauración de servicios ambientales como la regulación climática y el secuestro de carbono mediante reforestación y agroforestería, contribuyendo a la biodiversidad local. La creación de corredores biológicos aumentó la conectividad ecológica y apoyó la conservación de especies nativas esenciales para el ecosistema.

En cuanto a impactos sociales y culturales, integrar conocimiento local con prácticas sostenibles fortaleció la infraestructura ecológica y el tejido cultural. Sin embargo, también reconocemos limitaciones de nuestra propuesta, como por ejemplo: la gran diversidad cultural y biológica dificulta generalizar resultados y aplicar teorías universales. Por otra parte, las desigualdades socioeconómicas y políticas también afectan los esfuerzos de investigación e implementación.

Otro desafío es la falta de acceso a tecnologías y recursos, limitando la investigación. Esto se agrava por la urbanización y erosión de tradiciones culturales en comunidades indígenas, amenazando el equilibrio necesario para la preservación biocultural. La interacción entre modernidad y tradición plantea una amenaza para la coexistencia armoniosa entre humanidad y naturaleza. Además, las complejidades en las interacciones culturales y biológicas dificultan establecer relaciones causales claras.

Estas limitaciones subrayan la necesidad de enfoques interdisciplinarios y culturalmente sensibles en la investigación biocultural latinoamericana para lograr resultados ecológica y socialmente sostenibles.

The dialogue between biocultural memory and science reveals that traditional practices preserve cultural heritage and reflect ecological principles. This integrative, PAR-driven approach ensures inclusive interventions grounded in the complexity of biocultural systems, providing an adaptive framework for environmental and cultural challenges in a changing world.

Notwithstanding the above, this project faces limitations. The time needed to observe full results makes quantification difficult in the short term, underscoring the importance of ongoing monitoring. Long-term sustainability depends on continued external funding; without it, progress could be compromised.

Another challenge is resistance to change when introducing sustainable practices in tradition-bound communities, highlighting the need for ongoing training and education to facilitate the gradual adoption of new techniques.

Finally, integrating ecological, social and economic objectives is complex and requires robust interdisciplinary collaboration. This coordination is essential to manage diverse interests and ensure that the project moves forward in a balanced and sustainable manner. Despite these challenges, PER offers a promising framework for restoring biocultural landscapes and improving the resilience of rural communities, provided that constraints are addressed with flexible and adaptive strategies.

End of English version

References / Referencias

- Amo del, R. S. (2001). Lecciones del programa de acción forestal tropical. Plaza y Valdés, Consejo Nacional para la Enseñanza de la Biología. D.F. México. 270 p.
- Amo del, R. S. (2008). Paisaje y memoria totonaca: la relación entre ecología y el manejo de los recursos. In *Nuevas rutas para el desarrollo en América Latina: Experiencias locales y globales*. A. J. Mestre, A. M. G. Ángel, & Gonzáles, A. J. (eds.). Universidad Iberoamericana y Agencia Española de Cooperación Internacional. D.F. México. pp:263-302.
- Amo del, R. S. (2012). El repoblamiento del área rural, recuperando la sabiduría colectiva y la inteligencia social. Estrategias par-

Conclusiones

La REP es una herramienta clave para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible en comunidades rurales e indígenas de América Latina. Al restaurar ecosistemas degradados e implementar prácticas agrícolas y forestales basadas en principios bioculturales, se mejoran los servicios ecosistémicos y la calidad de vida local. Este enfoque holístico crea paisajes más resilientes, productivos y equilibrados ecológicamente.

El diálogo de saberes también es esencial, integrando la memoria biocultural con conceptos modernos de teoría de sistemas y resiliencia. Esta sinergia entre conocimiento tradicional y científico enriquece las estrategias de restauración y valida prácticas ancestrales como pilares de sostenibilidad.

Las prácticas indígenas tradicionales, como la rotación de cultivos y el manejo sostenible de recursos, se analizaron bajo conceptos de homeostasis y equilibrio dinámico. Esto demostró cómo favorecen la autorregulación de ecosistemas y contribuyen al equilibrio biocultural. Asimismo, las estrategias locales para enfrentar perturbaciones se alinean con la resiliencia, destacando que la diversidad de prácticas y especies aumenta la capacidad de adaptación ante amenazas.

Por su parte, la diversidad biológica y cultural es crucial para la resiliencia. Conceptos como diversidad funcional y redundancia ayudan a entender cómo la variedad de prácticas y especies gestiona incertidumbres y fortalece la adaptación. Con múltiples especies y enfoques, las comunidades enfrentan mejor perturbaciones ambientales, económicas o sociales.

El diálogo entre memoria biocultural y ciencia revela que las prácticas tradicionales preservan el patrimonio cultural y reflejan principios ecológicos. Este enfoque integrador, impulsado por la IAP, garantiza intervenciones inclusivas y fundamentadas en la complejidad de los sistemas bioculturales, proporcionando un marco adaptativo para desafíos ambientales y culturales en un mundo cambiante.

No obstante lo anterior, este proyecto enfrenta limitaciones. El tiempo necesario para observar resultados completos dificulta la cuantificación a corto plazo, subrayando la importancia de un seguimiento constante. La sostenibilidad a largo plazo depende

- participativas de investigación-acción para la intervención local. Plaza y Valdés. D.F. México. 54 p.
- Amo del, R. S., & Vergara-Tenorio, M. C. (2007). Reflection on the social learning process for community work in rural areas of Mexico. *International Journal of Biodiversity Science and Management*, 3: 31-45. <https://doi.org/10.1080/17451590709618160>
- Amo del, R. S., Ramos, J. M., & Vergara, M. C. T. (2010). Ethnoecological restoration of deforested and agricultural tropical lands for Mesoamerica. In *Environmental and human health: Risk management in development countries*. E. N. Laboy-Nieves, M. F. A. Goosen & E. Evens (eds.). CRC Press Taylor and Francis Group, New York, NY. pp:141-156.
- Amo del, R. S., Ramos, J. M., Hipólito, E., & Ricaño, J. (2014). La conservación comunitaria, la restauración, los recursos bioculturales y el diálogo de saberes. Un nuevo-viejo camino hacia la recuperación con dignidad del agro mexicano. Proceedings from the COMBIOSERVE Conference Community Conservation in Latin America: innovations in research and practice. Veracruz, México. 14 p.
- Amo del, R. S., Ramos, J. M., Hipólito, E., & Hernández, A. M. (2013). Manejo de los recursos bioculturales: Una propuesta para mantener y enriquecer el patrimonio natural de los pueblos indígenas. In *Naturaleza-sociedad. Reflexiones desde la complejidad*. F. A. Conde, B. P. Ortiz, R. A. Delgado & F. R. Gómez (eds.). Universidad Autónoma de Tlaxcala. México, D.F. pp:509-524.
- Amo del, R. S., Vergara, T. C., Ramos, J. M., Jiménez, V. L., & Ellis, E. (2008a). Plan de ordenamiento Ecológico de Participación Comunitaria-Espinal. Editorial de la Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 117 p.
- Amo del, R. S., Vergara, T. C., Ramos, J. M., Jiménez, V. L., & Ellis, E. (2008b). Plan de ordenamiento Ecológico de Participación Comunitaria-Zozocolco. Editorial de la Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 96 p.
- Arts, B., Buizer, M., Horlings, L., Ingram, V., van Oosten, C., & Opdam, P. (2017). Landscape Approaches: A State-of-the-Art Review. *Annual Review of Environment and Resources*, 42: 10.1-10.25. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060932>
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cocoa plantations. *Agroforestry Systems*, 38: 139-164. <https://doi.org/10.1023/A:100595652>
- Bermúdez, G. M., Mayorga, R. L., Jacanamijoy, T. B., Seygundibaand, Q. A., & Fajardo, E. T. (2005). El diálogo de saberes y la educación ambiental. Ideas 7. Instituto de Estudios Ambientales Universidad de Colombia. Bogotá, Colombia. 124 p.
- Boege, S. E. (2008). El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas. Instituto del financiamiento externo continuo; sin él, los avances podrían comprometerse.
- Otro reto es la resistencia al cambio al introducir prácticas sostenibles en comunidades apegadas a sus tradiciones, lo que resalta la necesidad de capacitación y educación continuas para facilitar la adopción gradual de nuevas técnicas.
- Finalmente, integrar objetivos ecológicos, sociales y económicos es complejo y exige una colaboración interdisciplinaria robusta. Esta coordinación es esencial para gestionar intereses diversos y asegurar que el proyecto avance de manera equilibrada y sostenible. A pesar de estos desafíos, la REP ofrece un marco prometedor para restaurar paisajes bioculturales y mejorar la resiliencia de las comunidades rurales, siempre que se aborden las limitaciones con estrategias flexibles y adaptativas.

Fin de la versión en español

Nacional de Antropología e Historia (INAH)-Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI).

Brydon-Miller, M., Kral, M., & Ortiz, A. (2020). Participatory action research: International perspectives and practices. *International Review of Qualitative Research*, 13(2), 103-111. <https://doi.org/10.1177/1940844720933225>

Burke, L., Díaz-Reviriego, I., Lam, D. P. M., & Hanspach, J. (2023). Indigenous and local knowledge in biocultural approaches to sustainability: A review of the literature in Spanish. *Ecosystems and People*, 19(1), 2157490. <https://doi.org/10.1080/26395916.2022.2157490>

Chin, A., O' Dowd, P.A., Mendez, P., Velasco, K., Florsheim, L. J., Laurencio, R. L., & Leventhal, D. R., (2021). Toward natural approaches in restoration: Experiments of co-evolving physical and biological structures in a self-organizing step-pool channel. *River Research and Applications*, 1: 1-14. <https://doi.org/10.1002/rra.3851>

Cocoletzi, E., Hipólito-Romero, E., Ricaño-Rodríguez, J., & Ramos-Prado, J. M. (2022). Ecophysiological plasticity of *Theobroma cacao* L. clones in response to the structure and microclimate of agroforestry systems in Mexico. *Botanical Sciences*, 100(4), 960-976. <https://doi.org/10.17129/botsci.2925>

Córdova-Ávalos, V., Chávez-García, E., Hernández-Maldonado, E., Córdova-Lázaro, C. E., Córdova-Ávalos, A., Hinojosa-Cuéllar, J. A., & Pérez-Flores, J. (2020). Prehispanic and novohispanic

- drinks of cocoa and corn in la Chontalpa, Tabasco. *Agroproductividad*, 13(7), 3-8. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1605>
- Cumming, G. S., & Peterson, G. D. (2017). Unifying research on social-ecological resilience and collapse. *Trends in Ecology and Evolution*, 32: 695-713. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.06.014>
- De Oliveira, B. (2023). Participatory action research as a research approach: Advantages, limitations and criticisms. *Qualitative Research Journal*, 23(3), 287-297. <https://doi.org/10.1108/QRJ-08-2022-0101>
- De Sousa, B. (2009). A non-occidental west? Learned ignorance and ecology of knowledge. *Theory, Culture & Society*, 26(7-8), 103-125. <https://doi.org/10.1177/0263276409348079>
- Dhiman, B. (2022). Ecosystem degradation and the need for restoration: Through the lens of environment and human health. *Environmental Pollution and Climate Change*, 6(10), 1000304. <https://ssrn.com/abstract=4280158>
- Estrada, A., & Coates-Estrada, R. (1996). Tropical rain forest fragmentation and wild populations of primates at Los Tuxtlas, Mexico. *International Journal of Primatology*, 17: 759-783. <https://doi.org/10.1644-0291/96/1000-0759509.50/0>
- Farías, P. de L. R., Lucena, C. M., Araújo, E. L., Chaves Alves, A. G., & de Albuquerque, U. P. (2013). Conservation priorities of useful plants from different techniques of collection and analysis of ethnobotanical data. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(1), 169-186. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652013005000013>
- Fine, M., Torre, M. E., Oswald, A. G., & Avory, S. (2021). Critical participatory action research: Methods and praxis for intersectional knowledge production. *Journal of Counseling Psychology*, 68(3), 344-356. <https://doi.org/10.1037/cou0000445>
- Folgueiras-Bertomeu, P., & Sabariego-Puig, M. (2018). Investigación-acción participativa. El diseño de un diagnóstico participativo. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 11(1), 16-25. <http://doi.org/10.1344/reire2018.11.119047>
- Garza-Morales, R., Banda-Ortiz, H., & Vázquez-Trujillo, K. (2021). Supply Chain and Economic Viability of Vanilla planifolia Andrew Production: A Case Study. *Agroproductividad*, 14(1), 31-36. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i1.1795>
- Gayá, P. W., & Reason, P. (2009). Initiating action research: Challenges and paradoxes of opening communicative space. *Action Research*, 7: 243-262. <https://doi.org/10.1177/1476750309336715>
- Giunta, A. (2019). Looking back to move forward: The status of environmental rights under the UN Declaration on the Rights of Indigenous Peoples. *International Journal of Human Rights*, 23(1-2), 149-173. <https://doi.org/10.1080/13642987.2019.1572874>
- Groom, M. J., Meffe, G., & Carroll, C. R. (2005). Principles of Conservation Biology. Sinauer Associates Inc. Sunderland. UK. 238 p.
- Hart, R. (1985). Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 154 p.
- Hart, R. (1990). Componentes, subsistemas y propiedades del sistema finca como base para un método de clasificación. In *Tipificación de sistemas de producción agrícola*. G. Escobar and J. Berdegué (eds.). Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural: RIMISP. Santiago de Chile, Chile. pp:45-62.
- Hipólito-Romero, E. (2011). Modelo de intervención con enfoque ecosistémico para el desarrollo empresarial rural de pequeños productores: Estudio de caso en la región totonaca del Estado de Veracruz, México [Tesis de Doctorado]. Universidad Veracruzana, CITRO.
- Hipólito-Romero, E., Carcaño-Montiel, M. G., Ramos-Prado, J. M., Vázquez-Cabañas, E. A., López-Reyes, L., & Ricaño-Rodríguez, J. (2017). Efecto de inoculantes bacterianos edáficos mixtos en el desarrollo temprano de cultivares mejorados de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal tradicional del norte de Oaxaca, México. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 356-365. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.003>
- Hong, S. K. (2014). Philosophy and background of biocultural landscapes. In *Biocultural landscapes: diversity, functions and values*. S. K. Hong, J. Bogaert and Q. Min (eds.). Dordrecht, Springer Netherlands. pp:1-7.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2007). Anuario estadístico de Veracruz de Ignacio de la Llave. Tomos I, II y III. INEGI-Gobierno del Estado de Veracruz.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal: San Pedro Ixcatlán, Oaxaca. INEGI.
- Karger, D. N., Kessler, M., Lehnert, M., & Jetz, W. (2021). Limited protection and ongoing loss of tropical cloud forest biodiversity and ecosystems worldwide. *Nature Ecology & Evolution*, 5: 854-862. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01450-y>
- Keahey, J. (2021). Sustainable development and participatory action research: A systematic review. *Systemic Practice and Action Research*, 34, 291-306. <https://doi.org/10.1007/s11213-020-09535-8>
- Loh, J., & Harmon, D. (2005). A global index of biocultural diversity. *Ecological Indicators*, 5(3), 231-241. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.02.005>
- López-Juárez, S. A., Hipólito-Romero, E., Cerdán-Cabrera, C. R., Ortiz-Ceballos, G. C., & Reyes-López, D. (2019). Asociación entre cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.) y Vainilla (*Vanilla pla-*

- nifolia* Jacks. ex Andrews) en un sistema agroforestal en Comcalco, Tabasco. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22: 613-629. <http://dx.doi.org/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v22i3.2622>
- Ma, Y., Nguyen, L. J., Xing, Z. F., & Cambria, E. (2020). A survey on empathetic dialogue systems. *Information Fusion*, 64: 50-70. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.06.011>
- Maryunani, S. R. (2019). Community empowerment as a means in promoting local products: A case study in Bandung, Indonesia. *Journal of Promotion Management*, 25(3), 439-451. <https://doi.org/10.1080/10496491.2019.1557821>
- Montemayor, C., & Frischmann, D. (2007). Contemporary Mexican Indigenous-Language Writers. University of Texas Press. Texas, U.S.A. pp:241
- Moreno-Casasola, P., Infante, M. D., & Madero-Vega, C. (2011). Germinación y supervivencia de dos especies de acahual de selva baja para restaurar dunas costeras. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(6), 19-36. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i6.572>
- Myers, S. C. (1984). The capital structure puzzle. *Journal of Finance*, 39: 581-582. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-6261.1984.tb03646.x>
- Niether, W., Jacobi, J., Blaser-Hart, J. W., Andres, C., & Armengot, L. (2020). Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters*, 15: 104085. <https://doi.org/10.1088/17489326/abb053>
- Paradowska, K., del Amo, S. R., González, A. J., & Ramos, J. M. (2011). ¿En qué pensamos cuando hablamos del paisaje? *Iberoforum*, 6: 174-183. <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=211022082006>
- Perring, M. P., Standish, R. J., & Price, J. N. (2023). *Advances in restoration ecology: rising to the challenges of the coming decades*. *Ecosphere* 6, 1–25. <https://doi.org/10.1890/es15-00121.1>
- Ramos, J. M., & del Amo, R. S. (1992). Enrichment planting in a tropical secondary forest in Veracruz, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 54: 289-304. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(92\)90018-5](https://doi.org/10.1016/0378-1127(92)90018-5)
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., et al. (2023). *Earth beyond six of nine planetary boundaries*. *Sci. Adv.* 9(37), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Schroth, G., & Ruf, F. (2014). Farmer strategies for tree crop diversification in the humid tropics: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34: 139-154. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0175-4>
- SER, Society for Ecological Restoration, grupo de trabajo sobre ciencia y políticas (2004). Principios de SER Internacional sobre Restauración Ecológica. <http://www.ser.org> (febrero 2018).
- Silverstein, M. R., Segrè, D., & Bhatnagar, J. M. (2023). *Environmental microbiome engineering for the mitigation of climate change*. *Global Change Biology*, 29, 2050–2066. <https://doi.org/10.1111/gcb.16609>
- Steenberg, J. W., Millward, A. A., Nowak, D. J., Robinson, P.J., & Ellis, A. (2017). Forecasting urban forest ecosystem structure, function, and vulnerability. *Environmental Management*, 59: 373-392. <https://doi.org/10.1007/s0026701607823>
- Temmink, R. J. M., Christianen, M. J. A., Fivash, G. S., Boström, C., Angelini, C., Didderen, K., Engel S. M., Esteban, N., Gaeckle, J., Gagnon, K., Govers, L. L., Infantes, E., van Katwijk, M. M., Kipson, S., Lamers, L. P. M., Lengkeek, W., Silliman, B. R., van Tussenbroek, B. I., Unsworth, R. K. F. & Yaakub, S. M. (2023). *Mimicry of emergent traits amplifies coastal restoration success*. *Nature Communications*, 12, 4582. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17438-4>
- Vandermeer, J., & Perfecto, I. (2006). The agricultural matrix and a future paradigm for conservation. *Conservation Biology*, 21: 274-277. <https://doi.org/10.1111/j.15231739.2006.00582.x>
- Waddington, H., Snilstveit, B., Hombrados, J., Vojtkova, M., Phillips, D., Davies, P., & White, H. (2014). Farmer field schools for improving farming practices and farmer outcomes: A systematic review. *Systematic Review*, 10(1), 1335. <https://doi.org/10.4073/CSR.2014.6>
- Waring, B. G. (2024). *Grand challenges in ecosystem restoration*. *Frontiers Environmental Sciences*. 11:1353829. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1353829>
- Wei, X., Song, W., Shao, Y., & Cai, X. (2023). Progress of ecological restoration research based on bibliometric analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 520. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010520>
- Weidlich, E. W. A., Nelson, C. R., Maron, J. L., Callaway, R. M., Delory, B. M., Vicky M., & Temperton, V. M. (2021). Priority effects and ecological restoration. *Restoration Ecology*, 29(1): e13317. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.13317>
- Yang, W., Feng, G., Read, J. J., Ouyang, Y., Han, J., & Li, P. (2020). Impact of cover crop on corn–soybean productivity and soil water dynamics under different seasonal rainfall patterns. *Agronomy Journal*, 112(2), 1201-1215. <https://doi.org/10.1002/agj2.20110>