



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN**

**PROGRAMA DE POSGRADO**

**Análisis de la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico en paisajes  
ganaderos de la microcuenca del río El Tablón, en Chiapas, México**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de Posgrado  
como requisito para optar al Grado de**

***MAGISTER SCIENTIAE***

**en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas**

**Yudy Vanessa Burbano Rodríguez**

**Turrialba, Costa Rica**

**2019**

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero de la estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y GESTIÓN INTEGRAL  
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**FIRMANTES:**



---

William Watler, M.Sc.  
**Codirector de tesis**



---

Claudia Sepúlveda, M.Sc.  
**Codirectora de tesis**



---

Laura Benegas, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



---

Vladimir Valera, Dr.  
**Miembro Comité Consejero**



---

Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.  
**Decana Escuela de Posgrado**



---

Yudy Vanessa Burbano Rodríguez  
**Candidata**

## DEDICATORIA

A mi madre bella y hermanos de mi corazón, ustedes son el motor que impulsa mis sueños, gracias por tanto apoyo y por darme fortaleza en el momento cuando creí derrumbarme lejos de casa. “Esto es para ustedes”.

A mi pequeña sobrina Pía, la cual espero con ansias.

A “Pepito”, gracias por creen en mí, eres un gran padre y amigo.

A mi tía Natita, Samu y Jacob, ustedes están siempre presentes en cada paso que doy.

A mi abuela, tíos y primos, por alegrarse con mis triunfos y brindarme su apoyo.

*“Aférrate a vivir tus sueños sin temor y sin medida”*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y mis Santos, por ponerme en el momento y lugar indicados para crecer personal y profesionalmente.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria “AGROSAVIA”, por financiar mis estudios de Maestría en CATIE.

Al CATIE, por abrir las puertas del conocimiento cultural y académico, a la Escuela de Posgrado por contar con un personal lleno de carisma, amabilidad y paciencia. Sin duda recordaré a cada persona y lugares del campus donde viví experiencias únicas.

A William Watler, por su colaboración, compromiso y dedicación en mi proceso de aprendizaje, admiro sus capacidades y disciplina.

A Claudia Sepúlveda, por darme la oportunidad de hacer parte del proyecto BioPaSOS, del cual adquiriré inalcanzables conocimientos y experiencias.

A Vladimir Valera, por resolver mis dudas existenciales en un tema tan amplio como la economía y siempre estar dispuesto a colaborarme en la interpretación de los resultados obtenidos.

A Sergio Vílchez, por su colaboración y conocimientos en programación, fue de valiosa ayuda.

A Jose Antonio, por su gran apoyo en la fase de campo, por brindarme su confianza, hospitalidad y a una familia lejos de casa.

Al Biólogo Alexser, el Inge Luis, Juve, personal de la CONANP, de la REBISE y su equipo de monitores comunitarios: don Juanito, Grego, Fredy y Fernando, por el apoyo y acompañamiento que me brindaron en mi fase de campo y por compartir conmigo cada día esas experiencias que enriquecen el alma.

A todos los productores ganaderos de la REBISE quienes me colaboraron y abrieron las puertas de sus ranchos para compartir conmigo lo que es su arduo trabajo.

A Doña Evita y su linda familia, por sus cuidados, preocupaciones, enseñanzas, charlas y risas, sin duda ustedes son mi familia mexicana.

Ade, Belkis y Cathe, mis cómplices, compañeras de alegrías, tristezas y grandes charlas, Pipe y Pablito, por su compañerismo y momentos compartidos, y a Juan, por brindarme su amistad y apoyo.

A todos mis cuencólogos 2018-2019, por compartir momentos y espacios de aprendizaje, Alberto y Estefany, gracias por todas sus enseñanzas y por ayudarme para no desfallecer.

A todos mis compañeros de promoción 2018-2019, con los que compartí espacios de estudio y esparcimiento. ¡ Gracias por todo !

## **CONTENIDO**

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
LISTADO DE CUADROS .....	VI
LISTADO DE FIGURAS .....	VI
LISTADO DE ECUACIONES .....	VII
LISTADO DE ACRÓNIMOS .....	VII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Justificación e importancia .....	3
1.2 Objetivos del estudio .....	4
1.2.1 Objetivo general .....	4
1.2.2 Objetivos específicos .....	4
1.3 Preguntas de investigación e hipótesis .....	4
2. MARCO DE REFERENCIA .....	5
2.1 Cambio climático, vulnerabilidad y resiliencia .....	5
2.2 Uso de la tierra, cobertura, erosión y déficit hídrico o sequía .....	7
2.3 Modelo RIOS .....	8
2.4 Comisiones nacionales .....	9
3. PRINCIPALES RESULTADOS .....	10
4. CONCLUSIONES .....	11
5. LITERATURA CITADA .....	12
6. Artículo 1. Análisis de la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico en paisajes ganaderos de la microcuenca del río El Tablón en Chiapas, México .....	16
7. Artículo 2. Lineamientos de intervención en zonas priorizadas de la microcuenca del río El Tablón en Chiapas, México .....	40
8. Anexos .....	72

## LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Vulnerabilidad según valores de Standardized Precipitation Index (SPI).....	20
Cuadro 2. Área de uso de suelo encontrado en la microcuenca en el período de 1998-2018 .	27
Cuadro 3. Clasificación de vulnerabilidad por erosión en la microcuenca El Tablón .....	31
Cuadro 4. Valoración de subíndices .....	33
Cuadro 5. Valoración de vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca El Tablón.....	34
Cuadro 6. Reporte presupuestal total para cada actividad y área para ser convertida.....	54
Cuadro 7. Reporte primer año de presupuesto para gastar en actividades asignadas en áreas de potencial conversión.....	55
Cuadro 8. Reporte segundo año de presupuesto para gastar en actividades asignadas en áreas de potencial conversión.....	56
Cuadro 9. Reporte tercer año de presupuesto para gastar en actividades asignadas en áreas de potencial conversión.....	58
Cuadro 10. Reporte cuarto año de presupuesto para gastar en actividades asignadas en áreas de potencial conversión.....	59
Cuadro 11. Reporte quinto año de presupuesto para gastar en actividades asignadas en áreas de potencial conversión.....	60
Cuadro 12. Áreas de las actividades del mapa de transición, agricultura y protección en un horizonte de cinco años .....	61
Cuadro 13. Montos por concepto de proyectos SEMARNAT - CONANP .....	66

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento metodológico para implementar el modelo RIOS (Watler 2017).....	9
Figura 2. Pérdida y ganancia de cobertura en la microcuenca El Tablón, en el período 1998-2018.....	23
Figura 3. Porcentaje de área perdida y ganada en el período 1998-2003 .....	23
Figura 4. Porcentaje de área perdida y ganada en el período 2008 -2013 .....	24
Figura 5. Porcentaje de área perdida y ganada en el período 2013-2018.....	26
Figura 6. Índice estandarizado de precipitación mensual en la microcuenca El Tablón .....	29
Figura 7. Índice estandarizado de precipitación en la microcuenca El Tablón .....	30
Figura 8. Grado de erosión en la microcuenca El Tablón .....	32
Figura 9. Vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca El Tablón .....	33
Figura 10. Mapa de uso del suelo 2018, Modelo de Elevación Digital y Erosividad en la microcuenca El Tablón.....	51
Figura 11. Erodability, Profundidad y Precipitación mensual de la microcuenca El Tablón..	52
Figura 12. Textura, Precipitación anual, Evapotranspiración microcuenca El Tablón .....	53
Figura 13. Áreas priorizadas para realizar actividades de ejecución en un horizonte de cinco años.....	55

Figura 14. Áreas priorizadas para realizar actividades en el primer año de ejecución.....	56
Figura 15. Áreas priorizadas para realizar actividades en el segundo año de ejecución .....	57
Figura 16. Áreas priorizadas para realizar actividades en el tercer año de ejecución .....	58
Figura 17. Áreas priorizadas para realizar actividades en el cuarto año de ejecución .....	59
Figura 18. Áreas priorizadas para realizar actividades en el quinto año de ejecución .....	60
Figura 19. Mapa de transición, agricultura y protección en un horizonte de cinco años .....	63

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Vulnerabilidad biofísica global a la disponibilidad del recurso hídrico adaptada de Vera y Albarracín (2017) y SNET (2002).....	21
Ecuación 2. Índice Modificado de Fournier (Renard and Freimund 1994, Segura et al 2014) .....	44
Ecuación 3. Factor de erodabilidad del suelo (Wischmeier (1971).....	45
Ecuación 4. Modelo de PET mensual con el método Hargreaves .....	46

## LISTADO DE ACRÓNIMOS

ANP:	Área Natural Protegida
AR5:	Quinto Informe de Evaluación
BioPaSOS:	Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles
CONAFOR:	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA:	Comisión Nacional de Agua
CONANP:	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
IPCC:	Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación
RIOS:	Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos
SADER:	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SPI:	Índice Estandarizado de Precipitación
SYR:	Reporte de Síntesis

## RESUMEN

Este proyecto de investigación describe la vulnerabilidad biofísica global de la microcuenca El Tablón en el estado de Chiapas, México, donde se estimó la vulnerabilidad según el porcentaje de cobertura, vulnerabilidad por grado de erosión y la vulnerabilidad por índice estandarizado de precipitación (SPI). Se realizó la sumatoria lineal ponderada a la disponibilidad del recurso hídrico. Como resultado, se obtuvo una vulnerabilidad alta determinándose el mayor rango de valor 61-100 de una escala de calificación de números enteros de 0-100 en las comunidades Agrónomos mexicanos y 30 de Noviembre, ubicadas en la parte baja de la microcuenca, en la parte media siguiendo el cauce principal del río El Tablón. Se obtuvo una vulnerabilidad baja con rangos entre 0-40 donde se encuentran las comunidades Ricardo Flores Magón, Sombra de la selva y Josefa Ortiz, y finalmente en la parte alta, ubicando las comunidades Tierra y libertad, Los Ángeles, Tres Picos, y California presenta una vulnerabilidad media en un rango de 41-60. Este análisis parte de la estimación de áreas ganadas en coberturas como bosque mesófilo con incrementos al final del año 2018 con 14.126,13 ha, agricultura con 3.192,21 ha y pastizales con 8.234,19 ha ganadas y coberturas perdidas al finalizar el último año de estudio, tales como bosque de pino-encino con 7.704,36 ha y vegetación arbustiva con disminución de 152,64 ha. La erosión estimada de la microcuenca se encuentra en una categoría moderada (10 a 50 Ton ha<sup>-1</sup>) con un 75% de arrastre de partículas distribuidas principalmente en el cauce principal del río que además es zona de áreas urbanas. Respecto del SPI, se observan para los 20 años de estudio periodos de sequía prolongados, los cuales alcanzan valores de SPI <-2, que se traducen en disminución de precipitación en áreas de la microcuenca la cual es requerida para la recarga directa del caudal del río, acuíferos o por escorrentía superficial.

Con base en los resultados de la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico se describe la metodología utilizada para la priorización de áreas de intervención en la microcuenca El Tablón en Chiapas, México, a partir del software Resource Investment Optimization System (RIOS). Para ello se identificaron ocho prácticas bajo categoría de riesgo concernientes al cambio climático por medio de visitas in situ a ranchos ganaderos. Se obtuvo un total de 12 comunidades priorizadas para la intervención con capital económico, con un área convertida de 938,7 ha y un presupuesto total de 815.175 USD a un horizonte de cinco años. Así como también, la selección de componentes específicos que abarquen apoyos para las prácticas identificadas, dentro de las reglas de operación de las Comisiones y Secretarías Federales y Estatales según el artículo 28, párrafo 13 de la Constitución Política de Los Estados Unidos Mexicanos, para la gestión e inyección de capital dentro del marco legal, por parte de los pobladores de las comunidades e inversionistas.

**Palabras claves:** vulnerabilidad, cobertura, erosión, sequía, ganancia, pérdida, priorización, áreas de intervención, RIOS, gestión



## SUMMARY

This research project describes the global biophysical vulnerability of the El Plan micro-watershed in the state of Chiapas, Mexico, where vulnerability was estimated according to the percentage of coverage, vulnerability by degree of erosion and vulnerability by standardized precipitation index (SPI). Weighted linear summation was made to the availability of the water resource. As a result, a high vulnerability was obtained by obtaining the highest value range 61-100 of a rating scale of whole numbers of 0-100 in the Mexican Agronomist communities and November 30, located in the lower part of the micro-watershed, in the middle part following the main riverbed of the El Tablon River, a low vulnerability was obtained with ranges between 0-40 where the Ricardo Flores Magón, Sombra de la selva and Josefa Ortiz communities are located and finally in the upper part, locating the Tierra and Libertad, Los Angeles, Tres Picos and California presents a medium vulnerability in a range of 41-60. This analysis, part of the estimation of areas gained in coverage such as, mesophilic forest with increases at the end of the year 2018 with 14,126.13 ha, agriculture with 3,192.21 ha and pastures with 8,234.19 ha gained and hedges lost at the end of the last year of study such as pine-oak forest with 7,704.36 ha and shrub vegetation with a decrease of 152.64 ha. The estimated erosion of the micro-watershed is in a moderate category (10 to 50 Ton ha<sup>-1</sup>) with a 75% drag of particles distributed mainly in the main riverbed that is also an area of urban areas, with respect to the SPI, they observe prolonged drought periods for the 20 years of study, which reach SPI values <-2, which translates into a decrease in rainfall in areas of the microbasin which is required for the direct recharge of the river flow, aquifers or by surface runoff.

Based on the results of the vulnerability to the availability of the water resource, the methodology used for the prioritization of areas of intervention in the El Plan microbasin in Chiapas, Mexico, based on the Resource Investment Optimization System (RIOS) software, is described. For this, eight practices were identified under the category of risk concerning climate change through on-site visits to cattle ranches. A total of 12 communities prioritized for intervention with economic capital were obtained, with a converted area of 938.7 ha and a total budget of USD 815,175 over a five-year horizon. As well as the selection of specific components that include support for the identified practices, within the rules of operation of the Federal and State Commissions and Secretariats according to article 28 paragraph 13 of the Political Constitution of the United Mexican States, for the management and capital injection within the legal framework, by the residents of the communities and investors.

**Keywords:** vulnerability, coverage, erosion, drought, gain, loss, prioritization, areas of intervention, RIOS, management

## 1. INTRODUCCIÓN

En el nivel mundial hay una fuerte preocupación por el tema sobre el cambio climático, sus alcances y los efectos, tales como el aumento de la temperatura y la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos, los cuales se proyectan en todo el mundo y tiene afecciones en todas las actividades socioeconómicas, sectores y la población. De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), en el Quinto Informe de Evaluación (AR5), confirma que la influencia humana en el sistema climático es clara y está en aumento con impactos observados en todos los continentes y océanos. Tienen un 95% de certeza de que los humanos son la causa principal del calentamiento global actualmente. Además, el Reporte de Síntesis (SYR) considera que cuantas más actividades humanas interrumpen el clima, mayores son los riesgos de impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas (IPCC 2014).

La Secretaría de Educación Pública (SEP), en el (2006), expuso que las actividades humanas están contribuyendo al incremento del efecto invernadero. Santiago (2015), menciona que el aumento en la concentración de los gases que generan el efecto invernadero (GEI) en la atmósfera por procesos industriales, la ganadería extensiva e incendios forestales no es deseable; por el contrario, estos cambios en las concentraciones GEI, agregados a la variabilidad climática natural, son los causantes de cambios en las temperaturas y precipitaciones, que conlleva a la ocurrencia de eventos extremos como frentes fríos, olas de calor, inundaciones y sequías (Santiago *et al.* 2008). El cambio climático deja a la luz la vulnerabilidad social, puesto que los desastres se asocian en gran medida a los niveles de vulnerabilidad; más de 1300 millones de personas sobreviven y centran sus labores en la agricultura, los bosques y la pesca. A estas personas el cambio climático les agrega una amenaza que se añade a los riesgos que enfrentan diariamente, interactuando con ellos e incrementando sus efectos (Soares y Gutiérrez 2011; PNUD 2007).

Es importante reconocer que los efectos causados por el cambio climático disminuyen la posibilidad de realizar cualquier tipo de actividad en una zona. Esto debe considerarse con mayor relevancia, ya que actividades agrícolas y pecuarias dependen de eventos meteorológicos como la precipitación para la recarga de fuentes hídricas superficiales y acuíferos. El manejo de los recursos hídricos debe estar asociado con la sustentabilidad ambiental como función del desarrollo de cada componente en la cuenca hidrográfica (Sánchez y Folegatti 2010). Se debe tener en cuenta que el crecimiento poblacional trae consigo un incremento en la demanda de agua y comida, además de contaminación de este recurso. Sin duda, este crecimiento conlleva a la pérdida de la biodiversidad; es decir, la degradación de ecosistemas debido al acelerado consumo del capital natural en los que se incluyen el suelo, agua y flora (Santiago 2015).

Actualmente se debe tener en cuenta que las sequías más débiles, o aquellas que en época de lluvia aparecen en un lapso de días, pueden ocasionar graves repercusiones en el sector rural. Este

fenómeno tiende a crecer a la par con el incremento poblacional y su necesidad de producción alimentaria (Kallis 2008; Dasgupta 2004). Los riesgos que se pueden presentar en el sector agrícola y ambiental son los siguientes: disminución en la producción agropecuaria, reducción en el rendimiento de cultivos, reducción en la germinación, disminución en los tamaños de frutos y pérdidas de cosechas (Bernal 2010), así como altas tasas de deforestación, contaminación del agua, erosión de suelos, sobreexplotación y extinción de especies por pérdida de hábitats (Santiago 2015). Esta crisis ambiental tiene alcances elevados y se agudiza como producto de las actividades humanas (García *et al.* 2004; Valverde *et al.* 2005).

En México, en los últimos años, se ha incrementado la frecuencia de ciclones con impactos en las zonas costeras, provocando severos desastres por deslizamientos en áreas del centro, sur y zonas costeras del país, así como un aumento en las sequías extremas y el avance en la desertificación en el norte (SEMARNAT 2012); los desastres por eventos hidrometeorológicos se han duplicado en las últimas décadas (Landa *et al.* 2008). Los fenómenos hidrometeorológicos tuvieron repercusiones en la economía del país con un 96% en el 2009 (SERMARNAT 2012), elevando así los niveles de pobreza de la población donde la agricultura es una fuente importante de empleo. La insuficiencia de agua es decisiva para que sus habitantes abandonen poblados y regiones en etapas productivas, amenazando la seguridad alimentaria e incrementando la migración (Ruiz y Arellano 2014).

El cambio climático pone en vulnerabilidad a este sector y trae un alto riesgo ante la presencia de las sequías que han desolado grandes extensiones de tierra y propiciando desajustes en la economía, convirtiéndose en un asunto de seguridad regional y nacional, e incluso de justicia social (Velazco, *et al.* 2005; Fetsek 2009). Particularmente en Chiapas se han observado perturbaciones en el régimen hidrológico, sobre todo se ha visto reflejado en el aumento de periodos de sequía en las áreas donde llueve menos de 1.200 mm (promedio anual); mientras en aquellas con precipitaciones mayores a 2.400 mm muestran tendencia a la disminución; es decir, en mayores áreas la precipitación está disminuyendo y en menor superficie las lluvias son más intensas y se concentran en periodos cortos (Arellano 1999).

De acuerdo con Ibararán y Rodríguez (2007) Chiapas es el segundo estado con menor capacidad de sobreponerse a los impactos del cambio climático. La franja costera y la zona montañosa del sur de Chiapas (regiones Istmo-Costa, Soconusco y Sierra Madre), se han caracterizado por la vulnerabilidad a eventos hidrometeorológicos debido a la posición de las montañas y laderas de la Sierra Madre respecto de las trayectorias de los frentes de humedad de los alisios del norte y del monzón del sur; estas condiciones han determinado el clima local (Helbig, 1964). Estas son zonas afectadas por acelerados procesos de erosión hídrica debido a precipitaciones elevadas en la parte media y alta de las cuencas, a la presencia de suelos muy erosionables, topografía accidentada y a los cambios de uso del suelo (Arellano 2010).

## 1.1 Justificación e importancia

En México, la ganadería es uno de los usos de la tierra más importantes. Aproximadamente 110 millones de hectáreas los abarcan pastizales y agostaderos, los cuales están localizados en sitios deforestados, con degradación, erosión y con alta prioridad para la conservación de la biodiversidad. Estas áreas se encuentran en zonas de alerta temprana para el mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+). La ganadería tradicional y extensiva ha facilitado, a través de los procesos de deforestación, la pérdida de biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados, potenciando los efectos negativos del cambio climático y ocasionando una disminución en la producción que afecta a las familias ganaderas (BioPaSOS 2017-2020).

El proyecto Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles (BioPaSOS), promueve la conservación de la biodiversidad a través de prácticas agrosilvopastoriles climáticamente inteligentes, en paisajes dominados por la ganadería de tres regiones de México: (Jalisco, Campeche y Chiapas), fortaleciendo la capacidad de conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de los públicos meta para la creación de un marco institucional y de políticas para promover prácticas agrosilvopastoriles que mejoren la productividad, el ingreso familiar, y reduzcan la vulnerabilidad climática en paisajes ganaderos.

Las principales amenazas que trae el cambio climático en Chiapas comprenden fenómenos como elevadas temperaturas (proyectadas al aumento en el 2039 entre 0,8 y 1,6 °C), ocurrencia de inundaciones fluviales, derrumbes de tierras por inestabilidad en laderas asociados a incrementos de las lluvias hasta de 5.500 mm (Arellano 2010), sequía por reducción en la precipitación entre los -0,05 y -0,35 mm/día, pérdida de biodiversidad, entre otros. En las zonas costeras se consideran también la elevación del nivel medio del mar, la erosión costera y la salinización de acuíferos (Sánchez *et al* 2010, Montero *et al* 2013).

Algunos productores agroindustriales en la zona se han dedicado con éxito a monocultivos de plátano, papaya, mango, café, cereza, col y cacahuate; pero en general el 68% del campo chiapaneco se encuentra en crisis de baja productividad. El 31,8% de la población se considera pobre, lo que incrementa el flujo migratorio (Villafuerte y García 2010; Cortés *et al.* 2014; INEGI 2009).

Según (Bolongaro *et al* 2016) el cambio climático incrementa la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos que ocasionarán mayores desastres en las próximas décadas, donde los sistemas más vulnerables son los más sensibles y menos adaptados a los fenómenos naturales, y lo que determina un desastre no es la intensidad del fenómeno; sino la incapacidad del sistema y la comunidad afectada de absorberlo.

En este contexto de cambio climático, el proyecto BioPaSOS tiene como objetivos específicos, el fortalecimiento de plataformas nacionales y regionales como foros de discusión de

innovaciones y políticas que integren la ganadería climáticamente inteligente en diferentes agendas globales.

Documentar las estrategias de conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos y los co-beneficios como insumos a la formulación de políticas que promuevan la ganadería climáticamente inteligente.

Desarrollar enfoques metodológicos para el monitoreo de cambios en biodiversidad, servicios ecosistémicos y co-beneficios de las prácticas agrosilvopastoriles, por último, el diseño de esquemas innovadores de incentivos con el sector público y privado para la promoción de prácticas agrosilvopastoriles.

Esta investigación se enfocó en la realización de un diagnóstico de la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico en los paisajes ganaderos de la microcuenca del río El Tablón, generando respuestas a la vulnerabilidad en términos de prácticas bajo categoría de riesgo climático, inversión en áreas priorizadas o de interés, generando lineamientos para intervención con actores del sector público y privado.

## **1.2 Objetivos del estudio**

### **1.2.1 Objetivo general**

Analizar la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico para maximizar la inversión en áreas de producción ganadera de la microcuenca del río El Tablón en Chiapas, México.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico en los paisajes ganaderos de la microcuenca del río El Tablón.
- Identificar prácticas bajo categoría de riesgo climático en zonas priorizadas con el modelo Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos (RIOS), en los paisajes ganaderos de la microcuenca.
- Generar lineamientos de intervención para productores e instituciones gubernamentales en el marco de los apoyos y subsidios federales y estatales con base en la priorización de modelo RIOS.

## **1.3 Preguntas de investigación**

### **Objetivo 1**

**P1.** ¿Cuáles son los cambios de cobertura y uso de suelo que se han presentado en la zona en un periodo de 20 años?

**P2.** ¿Cómo se distribuye espacialmente en la microcuenca el grado de erosión?

**P3.** ¿Cómo afecta la pérdida de cobertura vegetal y la erosión a la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca?

**P4.** ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad biofísica a la disponibilidad del recurso hídrico en paisajes ganaderos de la microcuenca y cuál es su distribución espacial?

### **Objetivo 2**

**P1.** ¿Con base en cuáles objetivos debe realizarse la priorización de la cuenca?

**P2.** ¿Cuáles son las prácticas, bajo categoría de riesgo climático, las adecuadas para la microcuenca alta, media y baja?

### **Objetivo 3**

**P1.** ¿Los programas de apoyo y subsidios tienen en cuenta las necesidades específicas de cada zona?

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1 Cambio climático, vulnerabilidad y resiliencia**

El cambio climático, según el Panel Intergubernamental, es un cambio en el estado del clima, el cual se puede identificar por medio de análisis estadísticos debido al cambio del valor promedio o en la variación de sus propiedades y es persistente por un periodo prolongado. Generalmente se representa en decenios o periodos más largos, además, este cambio puede ser por variabilidad natural o por consecuencia de las actividades humanas (IPCC 2007, Retana 2012).

Las variaciones que influyen en los sistemas son conocidos como eventos hidrometeorológicos extremos de precipitación en valores mínimos o extremos (déficit o superávit). El 14% de estos eventos provocan situaciones de emergencia y los impactos sufridos alteran el funcionamiento normal de la comunidad, poniéndolos en condiciones sociales vulnerables (Retana 2012, Flores *et al* 2010, Lavell *et al* 2012).

En este contexto de vulnerabilidad, acrecientan los enfoques de desarrollo humano, donde se demuestra que las medidas para superar los niveles actuales y los diferentes tipos de adaptación para reducir la vulnerabilidad son esenciales para superar futuramente los efectos del cambio climático (Dessai *et al.* 2005).

La vulnerabilidad es descrita por el (IPCC 2007) como “grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático, y en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación”. Comprende los factores sociales como la población y sus actividades, como también las características ambientales las cuales son susceptibles a las

condiciones hostiles. Está determinada por la habilidad de anticiparse, resistir y recobrase (Velazco *et al.* 2005).

La vulnerabilidad global se presta para la examinación de numerosos procesos sociales, y en el contexto, la noción de vulnerabilidad se presenta ampliamente en múltiples disciplinas con diferente aplicación: socialmente, jurídicamente y económicamente, como también poblacionalmente en el estudio de la conducta de riesgo y las situaciones de riesgo orientada a los ambientes o decisiones en que se desarrollen (Wilches 1993). Wilches (1989) clasifica las vulnerabilidades de la siguiente manera:

**Vulnerabilidad natural:** Los ecosistemas presentan una vulnerabilidad natural la cual se ha ido incrementando, provocando la resistencia de la población a condiciones ambientales severas y en ocasiones haciéndola más vulnerable a estas.

**Vulnerabilidad física:** Referente a la ubicación de la población en zona de riesgo físico, condición provocada por la pobreza y falta de oportunidades para una ubicación de menos riesgo.

**Vulnerabilidad económica.** Indirectamente asociada a los ingresos en los niveles nacional, regional, local o poblacional y el impacto de fenómenos físicos extremos. Es decir, que se genera vulnerabilidad por desempleo, insuficiencia de ingresos y dificultad de acceso a educación y salud.

**Vulnerabilidad social:** Ligado al grado deficiente de organización interna de la sociedad bajo riesgo, que limita la capacidad de prevenir, mitigar o responder ante desastres.

**Vulnerabilidad política:** Centralismo en la organización gubernamental y debilidad en la autonomía regional, local y comunitaria que impide el afrontar problemas.

**Vulnerabilidad técnica:** Referente a las técnicas de construcción inadecuada de infraestructura utilizadas en áreas de riesgo.

**Vulnerabilidad ideológica:** Concepción del mundo y el medio ambiente donde se habita y con el cual se relaciona la presencia de mitos y aumenta la vulnerabilidad de la población.

**Vulnerabilidad educativa:** La falta de programas educativos que proporcionen información sobre el medio ambiente, entorno, sus desequilibrios y el comportamiento en caso de amenaza o de situación de desastre.

**Vulnerabilidad cultural:** Función que cumplen los medios de comunicación en la consolidación de estereotipos o en la transmisión de información relacionada con el medio ambiente y los potenciales o reales desastres.

**Vulnerabilidad ecológica:** Es relacionada con la convivencia con el medio ambiente sin la dominación por destrucción.

Vulnerabilidad institucional: Rigidez de las instituciones por las cuales la burocracia es la prevalencia de las decisiones políticas; los criterios personalistas impiden la agilidad para el tratamiento de los riesgos o sus efectos.

La suma de estos componentes deben ser centro del modelo de prevención, mitigación y atención de desastres, reconociendo que son producto de la unión de un momento y lugar determinados por dos factores de riesgo, físico y vulnerabilidad humana.

Así mismo, se puede hablar de la capacidad para afrontar los eventos extremos, sucesos, tendencias o perturbaciones de los sistemas sociales, económicos y ambientales, reconocida como la resiliencia, en la cual estos sistemas responden o se reorganizan de manera oportuna y eficiente de modo que se mantenga su identidad, sus funciones esenciales y su estructura, conservando la capacidad de adaptación de aprendizaje y transformación en el tiempo (IPCC 2014; IPCC 2012).

## **2.2 Uso de la tierra, cobertura, erosión y déficit hídrico o sequía**

Uso de la tierra se le llama a las actividades y decisiones relacionadas con un tipo de cobertura o actividades humanas con fines socioeconómicos que encaminan la gestión de la tierra. Se caracteriza por los arreglos, actividades e insumos con fines de producir, cambiar o mantener, como son las zonas de pastoreo, áreas de recreación o usos agrícolas.

Por lo tanto, el cambio de uso de la tierra es considerado como una transformación del uso o gestión de la tierra por los humanos, que instiga un cambio de la cubierta terrestre, y estos cambios de uso y cubierta pueden influir en la evapotranspiración, albedo, fuentes y sumideros y emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC 2007; Di Gregorio 2005).

La cobertura de la tierra es aquella que se observa sobre la superficie de la tierra e implica la utilidad que de una u otra forma se relaciona con las funciones económicas de los humanos, como los pastos y bosques (SIAC 2014 citado por, Calvo 2015).

Para Ganasri y Ramesh (2015), la erosión es un fenómeno geológico de origen natural que es el resultante de la eliminación de las partículas en el suelo por el agua o el viento, transportándolas a otro lugar. La erosión se desencadena por la combinación de factores tales como pendientes pronunciadas, clima, periodos prolongados de sequías seguidos de fuertes lluvias, uso inapropiado de la tierra y patrones de cobertura (Renschler *et al.* 1999).

La sequía es un fenómeno anomalía transitoria producida a raíz de niveles de precipitación inferiores a lo esperado o normal (característica permanente del clima), que cuando se prolonga por un periodo largo hace que la precipitación sea insuficiente para dar respuesta a las demandas, tanto sociales como ambientales (OMM, WGP 2014). El IPCC (2007) define la sequía como “ausencia prolongada o insuficiencia acentuada de precipitación, o bien una insuficiencia que origina escasez de agua para alguna actividad o grupo de personas”. Puede catalogarse como un periodo pronunciado en el cual no hay presencia de precipitación y provoca un desequilibrio hidrológico que posee diferentes connotaciones, tales como las siguientes:



Sequía agrícola: manifiesta un “déficit de humedad en el metro más superficial de espesor del suelo (zona radicular), que afecta los cultivos”.

Sequía meteorológica: identificada por la ausencia de precipitación.

Sequía hidrológica: caracterizada por un caudal fluvial o por un nivel lacustre y freático inferior a los valores normales”.

El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) por sus siglas en inglés, es una medida de sequía que se puede definir para cualquier escala de tiempo según el tiempo de interés. El SPI normalmente se distribuye con media cero y desviación estándar de la unidad. Estos valores de índice  $>2$  indican condiciones excepcionalmente húmedas para la ubicación, los valores  $<-2$  indican condiciones excepcionalmente secas para la ubicación y se requiere únicamente la precipitación histórica como entrada necesaria para calcular en SPI<sup>1</sup>

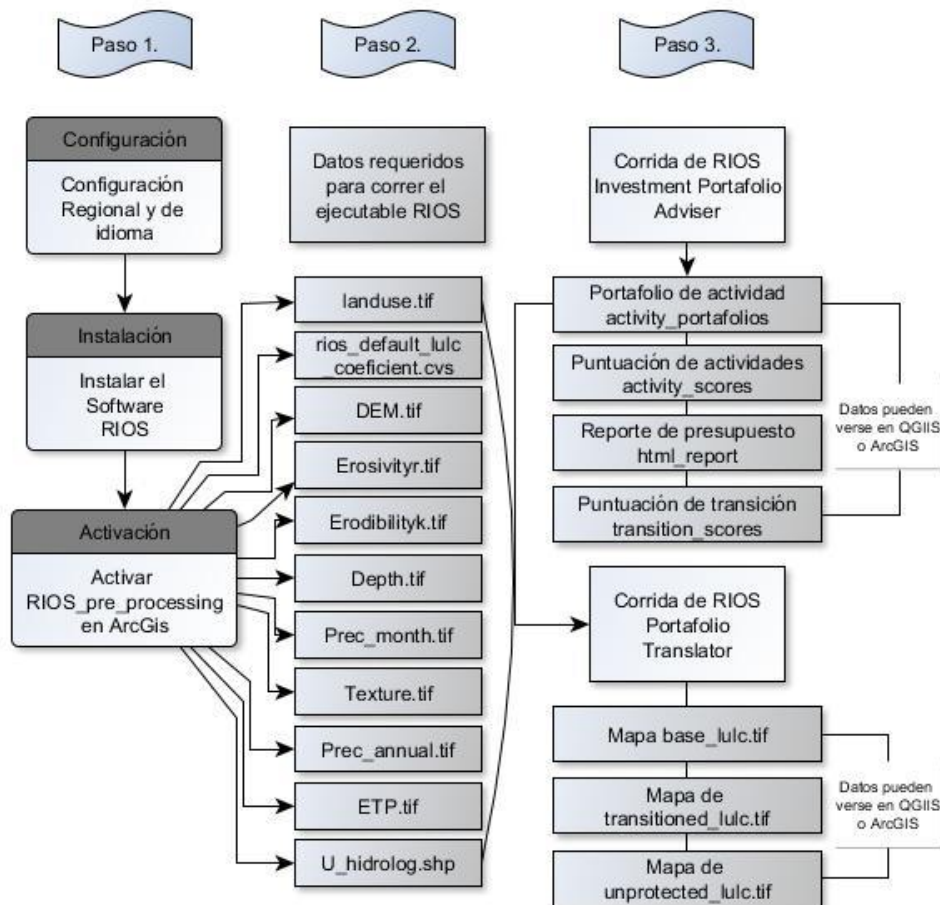
### **2.3 Modelo RIOS**

RIOS es una herramienta de software para la priorización de las inversiones en los servicios ecosistémicos que ayuda a responder preguntas críticas sobre los inversionistas en servicios ecosistémicos o recursos limitados. Este introduce un enfoque basado en la ciencia para dar prioridad a las inversiones en las cuencas hidrográficas por medio de la identificación de sitios donde las actividades de protección o restauración puedan producir, al menor costo, los mayores beneficios para las personas y la naturaleza (Vogl A, *et al.* 2016).

El módulo RIOS Investment Portfolio Advisor (Asesor de Portafolio de Inversiones) combina componentes como datos biofísicos e información sobre las actividades y los costos asociados a estas para desarrollar los portafolios de inversión (Figura 1).

---

<sup>1</sup> <https://joewheatley.net/visualizing-drought/>



**Figura 1. Procedimiento metodológico para implementar el modelo RIOS (Watler 2017)**

## 2.4 Comisiones nacionales

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) es un organismo público descentralizado, creado por decreto presidencial el 4 de abril del 2001, cuyo objetivo es desarrollar, favorecer e impulsar las actividades productivas de conservación y restauración en materia forestal, así como participar en la formulación de planes, programas y la aplicación de la política de desarrollo forestal sustentable<sup>2</sup>.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA): tiene como misión la administración y preservación de las aguas nacionales, con la participación de la sociedad con el fin de lograr el uso sustentable del recurso. Esta Comisión se divide operativamente en tres áreas: Oficinas Centrales, Organismos de Cuenca y Direcciones Locales<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> <https://www.gob.mx/conafor>

<sup>3</sup> <https://www.gob.mx/conagua>

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP): su labor es la conservación del patrimonio natural de México y los procesos ecológicos en Áreas Naturales Protegidas (ANP), uniendo la conservación con el bienestar de los pobladores y usuarios<sup>4</sup>.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER): es una dependencia del Poder Ejecutivo Federal, que entre sus objetivos están: propiciar el ejercicio de una política de apoyo que permita producir mejor; aprovechar mejor las ventajas comparativas del sector agropecuario, integrar actividades del medio rural a las cadenas productivas del resto de la economía, y estimular la colaboración de las organizaciones de productores con programas y proyectos propios, así como con las metas y objetivos para el sector agropecuario en el Plan Nacional de Desarrollo<sup>5</sup>.

### **3. PRINCIPALES RESULTADOS**

Los cambios de cobertura y uso del suelo de la microcuenca para un periodo de 20 años se presentaron con incrementos en áreas en bosque mesófilo de 8.537,31 a 14.126,13 ha, seguido por el área de pastizal con un incremento de 2.088,36 a 8.234,19 ha y agricultura con un aumento de 634,41 a 3.192,21 ha.

La disminución de coberturas en la microcuenca se presentó en bosque de pino–encino con áreas de 12.758,67 a 7.704,36 ha y vegetación arbustiva con áreas de 1.471,05 a 152,64 ha y su distribución se presentó a lo largo del cauce del río El Tablón donde se encuentran las comunidades visitadas y sus actividades pecuarias y agrícolas.

En la microcuenca del río El Tablón se presenta un arrastre de sedimentos de aproximadamente (10 a 50 Ton ha<sup>-1</sup>) generando una erosión moderada a lo largo del cauce principal y donde se encuentran presentes las mayores áreas de agricultura y pastizales ocasionando bajos rendimientos en las producciones.

Los meses de enero, febrero y marzo presentan déficit de precipitación, tomando valores de <-2, alcanzando un SPI excepcionalmente seco. Se refleja en el periodo total de estudio las comunidades Josefa Ortiz, Sombra de la selva, Ricardo Flórez Magón y Los Ángeles, alcanzando los SPI moderadamente seco y excepcionalmente seco con valores que van desde -1 a <-2.

Después de evaluar tres índices importantes como son cobertura presente, erosión potencial e índice estandarizado de precipitación, la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico presente con la categoría muy alta se observa en las comunidades Agrónomos mexicanos y 30 de Noviembre que corresponde a 2.410,1 ha del total de la microcuenca.

---

<sup>4</sup> <https://www.gob.mx/conanp>

<sup>5</sup> <https://www.gob.mx/sader>

Se identificaron cinco prácticas y dos tecnologías en la cuales se encuentran trabajando los productores ganaderos en la microcuenca con el fin de disminuir el riesgo que trae consigo el cambio climático.

Con base en la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico y las prácticas que llevan a cabo los productores en la microcuenca, se priorizaron un total de 938,7 ha, distribuidas en 12 comunidades, para intervenir con una inversión de 815.175 USD en un horizonte de cinco años.

#### **4. CONCLUSIONES**

La cobertura y uso de suelo en la microcuenca tiene una tendencia al crecimiento de la frontera agrícola y agropecuaria, y este es un factor detonante para el incremento de la erosión que trae consigo la disminución de rendimientos en las producciones por pérdida de partículas presentes en el suelo.

Por tener la noción del comportamiento de la precipitación en la microcuenca, obliga a las comunidades afectadas a implementar prácticas que promuevan el uso eficiente del recurso hídrico como también la planificación en sus ranchos para brindar a sus animales el aporte nutricional requerido en las épocas de sequía.

El llevar a cabo el análisis de la vulnerabilidad en la microcuenca El Tablón da pautas para enfocar a los tomadores de decisiones, en este caso las comisiones y secretarías a realizar mejoras en las zonas que representan un riesgo para sus habitantes.

Al priorizar áreas de intervención bajo un esquema de prácticas se logró vincular los apoyos y subsidios provenientes por parte de la Comisión Nacional de Áreas protegidas (CONANP), la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMARNAT) y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) que se encuentran disponibles en las reglas de operación.

## 5. LITERATURA CITADA

- Arellano J. L. 1999. El manejo de cuencas en Chiapas: una estrategia para el desarrollo regional sustentable. En: Medina, Mendoza, Raúl. (ed), Memorias simposio 4 Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas, IX Congreso Nacional de Irrigación, Asociación Nacional de Especialista en Irrigación, A. C. (ANEI), Culiacán, Sinaloa. 29–48 p.
- Arellano J. L. 2010. Gestión integral de recursos hídricos para reducir la vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones en las cuencas de la Sierra Madre de Chiapas. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. 2(1):23–37.
- BioPaSOS (Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles). 2017-2020. Promoviendo la conservación de la biodiversidad a través de prácticas agrosilvopastoriles climáticamente inteligentes en paisajes dominados por la ganadería de tres regiones de México. Cartilla proyecto BioPaSOS en ejecución. Implementado por (CATIE) Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. p. 2.
- Bologaro Crevenna Recaséns A., Márquez García A.Z., Torres Rodríguez, V., Anglés Hernández M., Origel Gutiérrez G. y M.I. Márquez García. 2016. Diagnóstico de la vulnerabilidad ante el cambio climático del destino turístico de Campeche, Campeche. En: Bologaro Crevenna Recaséns A. (coord.), Estudio de vulnerabilidad al cambio climático en diez destinos turísticos seleccionados. Informe Técnico Proyecto 238980. Fondo Sectorial para la Investigación en Desarrollo y la Innovación Tecnológica en Turismo CONACYT-SECTUR. México: Academia Nacional de Investigación y Desarrollo A.C. 388 p.
- Calvo Brenes, Guillermo. 2015. Ríos: fundamentos sobre su calidad y la relación con el entorno socioambiental/ Guillermo Calvo Brenes. 1 ed. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 236 p.
- Cortés F. Banegas I. Fernández T. y Mora M. 2014. Perfiles de la pobreza en Chiapas. México: el Colegio de México, Secretaría de desarrollo Social, Gobierno del Estado de Chiapas. (en línea). Consultado 19 sep. 2018. Disponible en: <https://www.coneval.org.mx/informespublicaciones/documents/informe-pobreza-mexico-2014.pdf>
- Dasgupta, P, 2004: “World Poverty: Causes and Pathways, en World Bank’s Annual Bank Conference on Development Economics (May 2003, Bangalore)”, in: *Proceedings of the World Bank Conference on Development Economics, 2003 (Supplement to the World Bank Economic Review and the World Bank Research Observer)*. Washington DC, World Bank, p. 44.
- Dessai, S., Lu, X. and Risbey, J.S. 2005. On the role of climate scenarios for adaptation planning. (en línea). Consultado 28 ago. 2018. *Global Environmental Change* 15: 87–97. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378004000895>

- Di Gregorio, A. 2005. Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra. (en línea). Consultado 30 ago. 2018. Roma: Food an Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: [http://www.glcn.org/downs/pub/docs/manuals/lccs/LCCS2-manual\\_270208\\_es.pdf](http://www.glcn.org/downs/pub/docs/manuals/lccs/LCCS2-manual_270208_es.pdf)
- Fetzek S. 2009. Impactos relacionados con el clima en la seguridad nacional de México y Centroamérica, primer informe, Instituto Real de Servicios Unidos–FUNDAECO, Gran Bretaña.
- Flores, R., Salas, J., Astorga, M. y Rivera, J. 2010. *Impacto económico de los eventos naturales y antrópicos extremos en Costa Rica. 1988-2009*. Ministerio de Planificación Sectorial y Política Económica. San José. 32p.
- García-Mendoza A. Ordóñez M. y Biones-Salas M. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. México: Insituto de Biología-UNAM, Fondo Oaxaqueño para la conservación de la naturaleza, World Wildlife Fund.
- Ganasri, BP; Ramesh, H. 2015. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. (en línea). *Geoscience Frontiers* 7(6):953-961. Consultado 16 ago.2018. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>
- Helbig C. 1964. El Soconusco y su zona cafetalera en Chiapas, Instituto de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Ibarrarán E. y Rodríguez M. 2007. Estudio sobre la economía del cambio climático en México, Instituto Nacional de Ecología y Universidad Iberoamericana Puebla, México.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- IPPC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Cambio Climático 2014. Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Ginebra, Suiza. 40 p.
- Kallis, G. (2008). “Droughts”. *Annual Review of Environment and Resources*, 33, pp. 85-118.
- Landa R. Magaña V. y Neri C. 2008. Agua y Clima: elementos para la adaptación al cambio climático, Semarnat, México.
- Lavell, A., M. Oppenheimer, C. Diop, J. Hess, R. Lempert, J. Li, R. Muir-Wood, and S. Myeong, 2012: Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and

resilience. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64.

Montero-Martínez M. J., Ojeda-Bustamante W., Santana-Sepúlveda J. S., Prieto-González R. y Lobato-Sánchez R. 2013. Sistema de consulta de proyecciones regionalizadas de cambio climático para México. (en línea). *Ciencias del Agua*. 4(2):113-128. Consultado 20 sep. de 2018. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v4n2/v4n2a7.pdf>

OMM (Organización Meteorológica Mundial); GWP (Asociación Mundial para el Agua). 2014. Directrices de política nacional para la gestión de sequías: Modelo para la adopción de medidas. (en línea). Consultado el 15 ago. 2018. s.l., s.e. s.p. Disponible en: [http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP-WMO\\_IDMP\\_NDMPG\\_2014\\_es.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/GWP-WMO_IDMP_NDMPG_2014_es.pdf)

Renschler, C.S., Mannaerts, C., Diekkrüger, B., 1999. Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk - rainfall erosivity and soil loss ratios in Andalusia, Spain. *Catena* 34, 209e225.

Retana, JA. 2012. Eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en Costa Rica desde la perspectiva de la adaptación al cambio en el clima. *Ambientales* 44(2):5-16

Ruiz L. E., Arellano J. L. 2014. Identificación comunitaria de riesgos climáticos, medios de vida y estrategias de adaptación en la cuenca del río Huehuetán, en Chiapas. Reflexiones y expresiones de la vulnerabilidad social en el sureste de México. Denise Soares, Gemma Millán e Isabel Gutiérrez. Juitepec. Mor: Instituto Mexicano de Tecnología del agua. 316 p.

Sánchez-Román Rodrigo M.; Folegatti Marcos V.; Orellana González Alba M. G.. 2010. Una aproximación para la evaluación de los recursos hídricos utilizando dinámica de sistemas en las cuencas hidrográficas de los ríos Piracicaba , Capivarí y Jundiaí. *Investigación ambiental. Ciencia y política pública* 2(2):14-24.

Santiago J. 2015. Cambios ambientales en Chiapas, Doce testimonios del medio rural. Universidad Intercultural de Chiapas. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. 123 p.

SEMARNAT; INECC (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) 2012. México, Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.

SEP (Secretaría de Educación Pública). 2006. Conocimiento del ambiente y prevención de riesgos en la familia y en la comunidad. México. 49 p.

Soares, D; Gutiérrez, I. 2011. Vulnerabilidad social, institucionalidad y percepciones sobre el cambio climático: un acercamiento al municipio de San Felipe, Costa de Yucatán. (en línea). *Ciencia Ergo Sum* 18(3):249-263. Consultado el 14 ago. 2018. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10420073006%0A>

- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2007. Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido, PNUD, Nueva York. (en línea). Consultado el 14 ago. 2018. Disponible en [http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr\\_20072008\\_summary\\_spanish.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_20072008_summary_spanish.pdf)
- Valverde T. Meave J. Carabias J. y Cano Z. 2005. Ecología y medio ambiente. México: Pearson Prentice Hall.
- Velazco, I; Ochoa, L; Gutiérrez, C. 2005. Sequía, un problema de perspectiva y gestión. (en línea). *Región y Sociedad XVII* (34):35-71. Consultado 15 ago. 2018. Disponible en <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=10203402>
- Villafuerte D. y García M. C. 2010. Chiapas. La independencia y la revolución que llegaron tarde. *Economía y Sociedad* 14(25):15-32.
- Vogl A, Tallis H, Douglass J, Sharp R, Veiga F, Benítez S, León J, Game E, Petry P, Guimerães J, Lozano JS. 2016. Sistema de Optimización de Inversión en Recursos (RIOS). Introducción y Documentación Teórica 107 p. (en línea). Consultado 1 de sep. 2018. Disponible en: [http://data.naturalcapitalproject.org/rios\\_releases/RIOSGuide\\_Combined\\_May2016\\_Espanol.pdf](http://data.naturalcapitalproject.org/rios_releases/RIOSGuide_Combined_May2016_Espanol.pdf)
- Watler, W. 2017. Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos (RIOS), El paso a paso de la Corrida del Software RIOS, Zona Piloto B: Unidad hidrográfica Aquin St. Louis du Sud, Departamento el Sur de Haití. (Guía de clase). 56 p.
- Wilches, Ch. G. 1993. La vulnerabilidad global. *In* Maskrey, A. (Comp). Los desastres no son naturales. Bogotá, CL, La Red. p. 9-50.
- Wilches, Ch. G. 1989. Desastres, ecologismo y formación profesional: herramientas para la crisis. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Popayán.



## **6. Artículo 1. Análisis de la Vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico en paisajes ganaderos de la microcuenca del río El Tablón en Chiapas, México**

Yudy Vanessa Burbano Rodríguez<sup>1</sup>, William Watler<sup>2</sup>, Vladimir Valera<sup>2</sup>, Claudia Sepúlveda<sup>2</sup>, Laura Benegas<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Estudiante de Maestría del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, <sup>2</sup>Investigador del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. yudy.burbano@catie.ac.cr, wwatler@catie.ac.cr, vladimir.valera@catie.ac.cr, csepul@catie.ac.cr, lbenegas@catie.ac.cr

### **Resumen**

Este artículo describe la vulnerabilidad biofísica global de la microcuenca El Tablón en el estado de Chiapas, México, para la cual se realizó la estimación de la vulnerabilidad según el porcentaje de cobertura, vulnerabilidad por grado de erosión y la vulnerabilidad por índice estandarizado de precipitación (SPI). Posteriormente se realizó la sumatoria lineal ponderada propuesta por Wilches en 1993 para la estimación de la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico. Como resultado, se obtuvo una vulnerabilidad alta en las comunidades Agrónomos mexicanos y 30 de Noviembre. En la parte media siguiendo el cauce principal del río El Tablón, se obtuvo una vulnerabilidad baja con rangos entre 0-40 donde se encuentran las comunidades Ricardo Flores Magón, Sombra de la selva y Josefa Ortiz; y en la parte alta, ubicando las comunidades Tierra y Libertad, Los Ángeles, Tres Picos, y California presenta una vulnerabilidad media en un rango de 41-60. Este análisis parte de la estimación de áreas ganadas en coberturas como bosque mesófilo con incrementos al final del año 2018 con 14.126,13 ha, agricultura con 3.192,21 ha y pastizales con 8.234,19 ha ganadas y coberturas perdidas al finalizar el último año de estudio, tales como bosque de pino-encino con 7.704,36 ha y vegetación arbustiva con disminución de 152,64 ha. La erosión estimada de la microcuenca se encuentra en una categoría moderada con un 75% de arrastre de partículas distribuidas principalmente en el cauce principal del río que además es zona de áreas urbanas. Respecto del SPI, se observan para los 20 años de estudio periodos de sequía prolongados los cuales alcanzan valores de SPI <-2, y que se traduce en disminución de precipitación en áreas de la microcuenca la cual es requerida para la recarga directa del caudal del río, acuíferos o por escorrentía superficial.

**Palabras claves:** vulnerabilidad, cobertura, erosión, sequía, ganancia, pérdida

### **Abstract**

This article describes the global biophysical vulnerability of the El Tablon micro-watershed in the state of Chiapas, Mexico, for which the vulnerability was estimated according to the percentage of coverage, vulnerability by degree of erosion and vulnerability by Standardized precipitation index (SPI). Subsequently, the weighted linear summation proposed by Wilches in 1993 was carried out to estimate the vulnerability to the availability of the water resource. As a result, a

high vulnerability was obtained in the Mexican Agronomist communities and November 30. In the middle part following the main riverbed of the El Tablón river, a low vulnerability was obtained with ranges between 0-40 where the Ricardo Flores Magón, Sombra de la selva and Josefa Ortiz communities are located; and in the high part, locating the communities Earth and freedom, Los Angeles, Tres Picos and California presents a medium vulnerability in a range of 41-60. This analysis, part of the estimation of areas gained in coverage such as, mesophilic forest with increases at the end of 2018 with 14,126.13 ha, agriculture with 3,192.21 ha and pastures with 8,234.19 ha gained and coverage hedges at the end of the last year of study such as, pine-oak forest with 7,704.36 ha and shrub vegetation with a decrease of 152.64 ha. The estimated erosion of the micro-watershed is in a moderate category with a 75% drag of particles distributed mainly in the main riverbed that is also an area of urban areas, with respect to the SPI, periods of study are observed for 20 years of study. prolonged drought which reach SPI values  $<-2$ , which translates into a decrease in rainfall in areas of the micro-watershed which is required for the direct recharge of river flow, aquifers or surface runoff.

**Keywords:** vulnerability, coverage, erosion, drought, gain, loss

## Introducción

El termino de vulnerabilidad ha sido utilizado considerablemente por la mayoría de estudios vinculados con el cambio climático, ya que el afán de grupos u organismos en primera medida, es determinar acciones o planes de adaptabilidad ante cambios o sucesos que afecten a las poblaciones, como también, la intensidad de los daños que produzca la ocurrencia efectiva del riesgo, especialmente si tiene que ver con el cambio del clima en el mundo (Fussel 2010; Arribas *et al* 2012; Watson *et al* 2013, Wilches 1993).

La vulnerabilidad toma en cuenta la exposición y sensibilidad de especies y cómo puede verse afectada la biodiversidad de una zona en particular. El IPCC AR-5, cuantificó los efectos registrados sobre los recursos naturales tales como el agua y suelo, (Pacifici *et al* 2015; Jiménez *et al* 2014). Entonces es primordial estudiar las propiedades de los ecosistemas con el fin de conocer si toleran el funcionamiento y desarrollo social (Cárdenas y Tobón 2016).

En los ecosistemas hay relaciones e interacciones mutuas de componentes ecológicos y de explotación biológica, que cuando se incorporan variables de uso y ocupación de la tierra, su grado de complejidad es mayor, de tal forma que afectan la resiliencia del ecosistema al provenir de las actividades antrópicas (Souza 2000; Cárdenas y Tobón 2016).

Por tratarse de fenómenos originados por la actividad humana, el control, reducción o eliminación de la vulnerabilidad tendría que ser la única opción, en ese caso, deberían controlarse o eliminarse las inadecuadas explotaciones de los recursos naturales, como también, la introducción de tecnologías como uso de sustancias toxicas que ponen en riesgo la comunidad (Wilches 1993).

Los estudios ambientales son necesarios y muy importantes como herramientas para controlar previamente el riesgo, tomándose como base para la toma de decisiones. Situando a

Chiapas, estado en el cual se llevó a cabo la presente investigación, se hallaron antecedentes de una expansión de la agricultura y la ganadería de aproximadamente un 59% (Morales 2009).

De acuerdo con el censo agropecuario del 2007, la superficie ocupada por producción agropecuaria y forestal acompañada de la urbanización ocupaban un 55%, relegando los bosques, la selva y vegetación a una extensión de 32.900 km<sup>2</sup>. Si la situación continúa, en pocos años no existirá la Selva Lacandona ni el agua de los ríos del Estado (INEGI 2009).

Este incremento de los espacios agropecuarios se vincula a deforestación; entre 1990 y el 2007 se estimó una tasa anual de cambio de cobertura forestal del 5,4%, la cual es de las más altas registradas en el mundo (Morales 2009). En este contexto se evaluó la vulnerabilidad biofísica que presenta la microcuenca del río El Tablón, en Chiapas México.

Para esta investigación se planteó una metodología de combinación de índices que represente la vulnerabilidad existente en la microcuenca, para que de los resultados obtenidos, se puedan generar recomendaciones a los habitantes de la zona y tomadores de decisiones (Wilches 1993, IPCC AR-5 2014 citado por Cárdenas y Tobón 2016).

## **Materiales y métodos**

### *Ubicación del área de estudio*

La microcuenca de la parte alta del río El Tablón se encuentra ubicada en la Sierra Madre de Chiapas, municipio de Villaflores entre coordenadas 93°45' y 93°25' oeste y 16°10' y 16°25' norte. Esta área se localiza en la región suroeste del estado de Chiapas, contiene cinco zonas discontinuas del núcleo y amortiguamiento más extensas de la reserva de la Biosfera La Sepultura (REBISE) con 13.759 ha, ubicando el ejido Tierra y Libertad como una de estas zonas dentro de la microcuenca con una superficie de 2.351,9 ha. Limita al norte y noreste con la Depresión Central de Chiapas, al este con otras cumbres de la Sierra Madre en su continuación hacia el Soconusco, al sur con la Planicie Costera del Pacífico de Chiapas y al oeste con la Sierra Madre hacia el estado de Oaxaca (Baltazar 2012; Hernández 1995).

La microcuenca forma parte de la cuenca sur oeste del río Grijalva. Tiene aproximadamente 40.146 ha, un perímetro de 97,5 km y forma parte de la Región Hidrológica (RH) 30. Son áreas montañosas y muy abruptas, con altitudes de entre 800 – 2.550 m, con un gradiente climático desde templado hasta semicálido subhúmedo. Tiene suelos forestales transformados de origen granítico, 6 tipos de bosques con predominancia de selva baja caducifolia, bosque de pino-encino y mesófilo de montaña (García y González 2017; Arellano *et al.* 2002).

### *Análisis temporal en los cambios de cobertura y uso del suelo*

Para llevar a cabo el análisis de la vulnerabilidad biofísica global, se realizó la estimación de tres subíndices por evaluar, en primera instancia, se hizo el análisis temporal en los cambios de cobertura y uso del suelo. Para esto, la información recolectada se llevó a cabo por medio de visitas de campo realizando recorridos a ranchos ganaderos de las comunidades Tierra y Libertad, Los Ángeles, Tres Picos, California, Ricardo Flórez Magón, Josefa Ortiz y Agrónomos

mexicanos, pertenecientes a la microcuenca del río El Tablón. En estos sitios se tomaron puntos de control por medio de GPS, siguiendo el protocolo de evaluación del tipo de cobertura y uso del suelo existente (ver Anexo 1).

Posteriormente, para realizar el análisis temporal de cambio y uso de suelo, se realizó la descarga de imágenes satelitales por medio de lenguaje de programación en la interfaz de RStudio, desde la plataforma del Servicio geológico de los Estados Unidos (USGS)<sup>6</sup>, filtrando las imágenes por una nubosidad no mayor del 20% y aquellas que se ajustan dentro del polígono del área de estudio, estas imágenes satelitales fueron Landsat 5, para el año 1998, Landsat 7, para los años 2003, 2008 y 2013 y Landsat 8 para el año 2018.

A las imágenes descargadas se les realizó la corrección atmosférica con el programa QGIS 3.0.1, desde el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), en donde se estimaron los valores verdaderos de cada banda. Continuando con el procedimiento, se hizo la extracción del área de la microcuenca de las imágenes y la creación de las firmas espectrales según la distribución de la cobertura.

Se efectuó la clasificación de usos de suelo con las firmas espectrales anteriormente creadas, ejecutando en el programa QGIS 3.6.1, y el complemento, Processing R provider, medio por el cual permitió añadir y ejecutar el script Support Vector Machine (SVM)<sup>7</sup>, modelo de aprendizaje supervisado con algoritmos que analiza los datos para la clasificación, que halla el hiper plano que mejor diferencie o separe las dos clases a través de regresiones múltiples (Cortés y Vapnik 1995).

Al ejecutarse el modelo se realiza una partición de datos “firmas o puntos” en dos subconjuntos: el primer subconjunto con el 70% de los puntos, es para el entrenamiento del modelo, y el 30% para la validación del mismo, generando así una eficiencia del algoritmo superior al 75% (Maldonado y Weber 2012). Como resultado se obtuvieron los raster clasificados con los respectivos usos de suelo encontrados en la microcuenca.

Después de generar los archivos raster de uso de suelo para los años 1998, 2003, 2008, 2013 y 2018, se realizó la estimación de pérdida y ganancia por medio de la interfaz de RStudio, ejecutando el script de cambios (Lost and Gain) comparando así, año tras año, las pérdidas y ganancias de cobertura que se presentaron en ese periodo de tiempo, generando como resultado archivos raster a los que posteriormente se les realizó la vectorización con el fin de estimar el porcentaje de áreas perdidas o ganadas de los usos encontrados en la microcuenca.

#### *Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)*

El segundo subíndice evaluado fue el índice estandarizado de precipitación, el cual fue estimado, por medio de un script ejecutado en la interfaz de RStudio, en donde se realizó la descarga de imágenes con datos de precipitación diaria cuasi global desde el año 1998 al 2018,

---

<sup>6</sup> <https://earthexplorer.usgs.gov/>




<sup>7</sup>

[http://scholar.google.co.cr/scholar\\_url?url=ftp://ftp.cse.yzu.edu.tw/CRAN/web/packages/e1071/vignettes/svmdoc.pdf&hl=es&sa=X&scisig=AAGBfm2tV48sXVD8AMRIT8IlmuMJoBWkug&nossl=1&oi=scholar](http://scholar.google.co.cr/scholar_url?url=ftp://ftp.cse.yzu.edu.tw/CRAN/web/packages/e1071/vignettes/svmdoc.pdf&hl=es&sa=X&scisig=AAGBfm2tV48sXVD8AMRIT8IlmuMJoBWkug&nossl=1&oi=scholar)

desde la estación CHIRPS<sup>8</sup> de Hazards Group, una vez descargados los datos diarios de precipitación por año, se precedió con el apilado de datos por mes de los años anteriormente nombrados, generando 12 imágenes correspondientes a los meses de enero a diciembre de precipitación.

Después de adquirir las imágenes, se realizó la extracción por máscara del polígono de la microcuenca a estas imágenes y se procede a realizar la estandarización de los datos, para obtener finalmente el índice estandarizado de precipitación por meses. A continuación, a esas imágenes se les realizó un proceso de reclasificación, según los rangos de vulnerabilidad asociada a los valores de Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee *et al* 1993) (Cuadro 1). Así mismo, se llevó a cabo la vectorización de las imágenes mensuales para poder así realizar la intersección de los datos de SPI de los 12 meses y obtener la intersección del SPI de los 20 años de estudio.

**Cuadro 1. Vulnerabilidad según valores de Standardized Precipitation Index (SPI)**

SPI	Rango	Vulnerabilidad asociada al SPI	Convención
Excepcionalmente húmedo	SPI >= 2.0	No aplica	
Extremadamente húmedo	1.60 <= SPI < 1.99	No aplica	
Muy húmedo	1.30 <= SPI < 1.59	No aplica	
Moderadamente húmedo	0.80 <= SPI < 1.29	Muy baja	
Anormalmente húmedo	0.51 <= SPI < 0.79	Baja	
Casi normal	-0.50 <= SPI <= 0.50	Baja	
Anormalmente seco	-0.79 <= SPI < -0.51	Media	
Moderadamente seco	-1.29 <= SPI < -0.80	Media	
Severamente seco	-1.59 <= SPI < -1.30	Alta	
Extremadamente seco	-1.99 <= SPI < -1.60	Alta	
Excepcionalmente seco	SPI <= -2.0	Muy alta	

Fuente: (McKee *et al* 1993) modificada para la investigación

*Erosión potencial anual*

El tercer subíndice fue el de la erosión potencial el cual se obtuvo a partir de la revisión de datos existentes para México y de acceso libre, desde la plataforma del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)<sup>9</sup>. Para obtener esta capa se realizó desde ArcGis 10.3, el clip de la microcuenca en estudio a la capa del país, seguido del proceso de rasterización.

*Vulnerabilidad biofísica global*

<sup>8</sup> [ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/global\\_daily/tifs/p05/](ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/global_daily/tifs/p05/)

<sup>9</sup> <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/default.html>

Obtenidos todos los subíndices para llevar a cabo el proceso de estimación de la vulnerabilidad biofísica global, se realizó la homogenización de las capas ráster de cambio de cobertura, SPI y erosión, esto se ejecutó por medio de la interfaz de RStudio, corriendo el script para el cambio de proyección, resolución, y extensión de las capas para que estas posean los mismos datos de coordenadas, número y tamaño de pixel y poder proceder con la operación por realizar.

Anteriormente en campo se obtuvo por medio de entrevistas el peso relativo de los subíndices, según la importancia que le genera a productores y expertos de la zona, y la ponderación fue expresada en forma numérica en una escala de 0 a 100. Prosiguiendo con la metodología propuesta por Wilches en (1993) y usada para estimar el índice de calidad de agua (ICA), se realizó una suma lineal ponderada (Ecuación 1) del efecto de las variables de respuesta, que en este caso fueron vulnerabilidad por erosión, vulnerabilidad por cambio de cobertura y uso del suelo y vulnerabilidad por sequía por el peso que arrojó el resultado de las entrevistas, permitiendo entonces cumplir con el objetivo de estimar la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico.

$$VBG = \sum_{i=1}^3 Xi * Wi = (VPC * Wi + VS * Wi + VE * Wi)$$

***Ecuación 1. Ecuación 1. Vulnerabilidad biofísica global a la disponibilidad del recurso hídrico adaptada de Vera y Albarracín (2017) y SNET (2002)***

Donde:

- VBG: vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico.
- Xi: Tipos de vulnerabilidades
- Wi: Peso relativo
- VPC: vulnerabilidad según el porcentaje de cobertura.
- VS: vulnerabilidad a la sequía.
- VE: vulnerabilidad por erosión.

### **Resultados y discusión**

A continuación se dan a conocer los resultados y discusión de los subíndices obtenidos y que fueron necesarios para la estimación de la vulnerabilidad biofísica global en la microcuenca del río El Tablón.

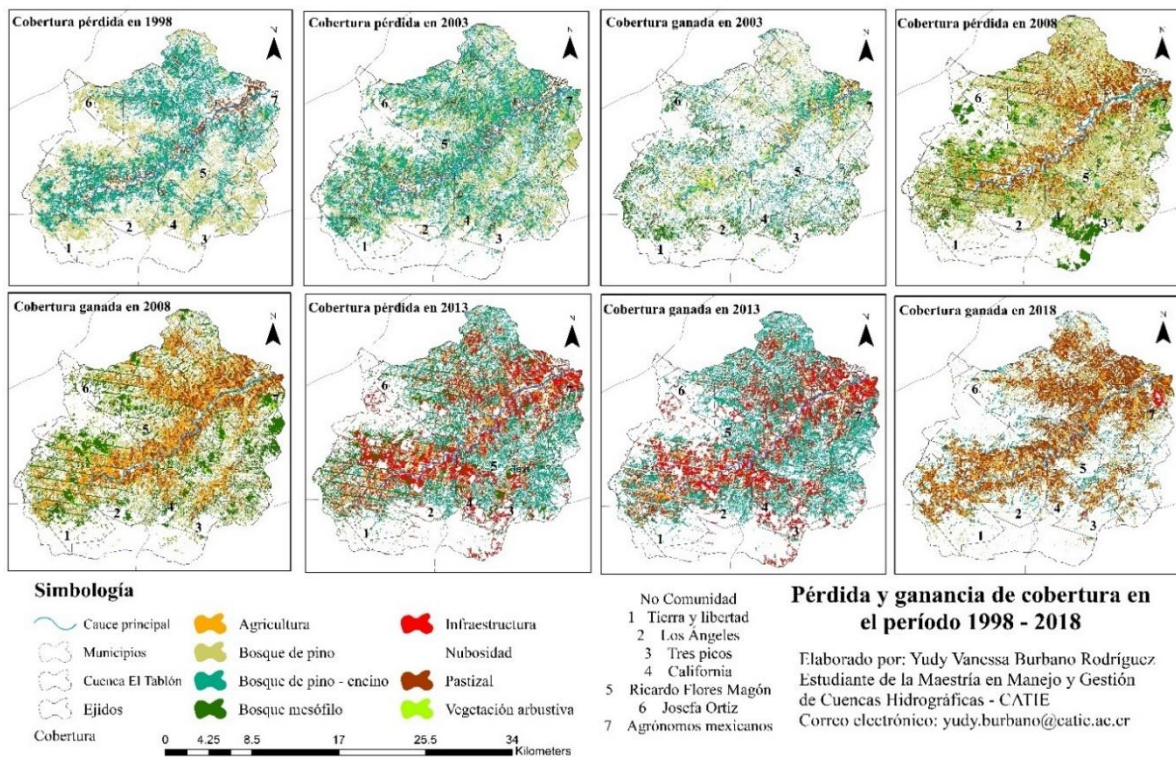
#### *Análisis temporal en los cambios de cobertura y uso del suelo*

Se clasificaron de ocho usos de suelo, según los usos de suelo y tipos de cobertura y vegetación para México, mencionados por Velázquez *et al* (2002): a) agricultura, incluye cultivos anuales o cultivos permanentes y semipermanentes; b) Bosque de pino – encino, perteneciente a las coníferas y latifoliadas, incluyendo vegetación primaria y la secundaria arbórea en una sola categoría; c) Bosque mesófilo de montaña, incluye la vegetación primaria y la secundaria arbórea

en una sola categoría; d) Bosque de pino, perteneciente a las coníferas; e) Pastizal, el cual es incluido en el tipo de vegetación de agricultura de riego y humedad; f) Vegetación arbustiva, incluido en el tipo de vegetación de mezquital, complementado con lo sugerido por la guía de buenas prácticas del IPCC para LULUCF (2003) donde, g) Infraestructura, hace referencia a los asentamientos humanos de cualquier tamaño y h) Nubosidad, el cual es incluido en otras tierras o usos.

Los cambios que ocurren en una determinada zona están determinados por las transiciones en un tiempo determinado (Soria *et al* 1998), y estas probabilidades de transición reflejan los resultados obtenidos en el cambio de usos de suelo que se ven reflejados en pérdidas y ganancias en los usos obtenidos en la microcuenca comprendidos en el período 1998-2018, y que se muestran a continuación (Figura 2). Es de resaltar que la clasificación de las imágenes para realizar los análisis temporales de pérdida y ganancia obtuvieron una eficiencia en el modelo Suport Vector Machine (SVM) de 81% para la imagen del año 1998, 86% para el año 2003, 75% en el 2008, del 78% en el 2013 y de 76% para el año 2018.

Estas eficiencias se comparan con las obtenidas en el estudio en la zona metropolitana de ciudad de México de López y Plata (2009), el cual al usar el modelo para la clasificación espectral Tasseled Cap (TC), obtuvo para las imágenes de 1990 el 72% de eficiencia y para el año 2000 del 76%; y de acuerdo con Ghindon *et al* (2004) estos valores son aceptados al provenir de imágenes con esta resolución, y que permiten tener mayor variabilidad entre los elementos y las áreas que son susceptibles de ser identificadas (Seto *et al* 2002; Chuvieco 2002).



**Figura 2. Pérdida y ganancia de cobertura en la microcuenca El Tablón, en el período 1998-2018**

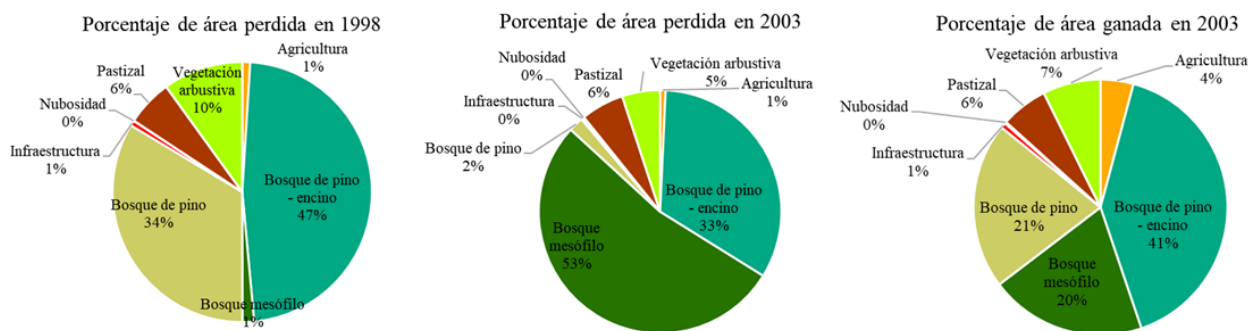
El porcentaje de áreas perdidas y ganadas en el período de 1998-2018, están distribuidas según las (Figuras 2, 3, 4 y 5) alrededor de la microcuenca. Se puede observar en las diferentes comunidades visitadas cómo se han presentado pérdidas y ganancias en lo que respecta a las siguientes coberturas.

**Bosque de pino-encino**

Para esta cobertura las pérdidas registradas según las figuras 3, 4 y 5 fueron de 47% en 1998, las cuales se vieron reflejadas también en pérdidas para el año 2003 en un 33%, el año 2008 por su parte, registra el porcentaje más bajo en pérdidas con un 6%, el cual incrementa a un 36% en el 2013. Por otra parte, en los años 2003, 2008, 2013 y 2018 según la figura 3, se registra área ganada de esta cobertura en 41, 2, 36 y 9% en la microcuenca.

Se puede observar la distribución de estas áreas ganadas en la figura 2, pues en ella se puede comparar que las pérdidas y ganancias registradas se presentaron en áreas que estaban con otro tipo de cobertura, como en el caso de las comunidades Ricardo Flores Magón (5), Josefa Ortiz (6) y Los Ángeles (2), o en otro caso, son comunidades como Tierra y Libertad (1), Tres Picos (3), California (4) y Agrónomos mexicanos que mantienen este tipo de cobertura.

De acuerdo con el estudio de Osuna *et al* (2015) en Veracruz, las áreas de bosques naturales y que son de conservación se concentraban en sitios con terrenos accidentados y pendientes pronunciadas y son límites fronterizos entre municipios y comunidades.



**Figura 3. Porcentaje de área perdida y ganada en el período 1998-2003**

**Bosque de pino**

La cobertura de bosque de pino en la microcuenca es una de las coberturas que ha sufrido mayores áreas tanto en pérdidas como en ganancias, esto según lo observado en la distribución espacial de la figura 1 y según los porcentajes representados en las figuras 3, 4 y 5. Las pérdidas en el año 1998 con un 34% y en el año 2008 con 41% son las pérdidas más representativas de la microcuenca, seguido del año 2003 con un 2%. Estas pérdidas se generaron en las comunidades



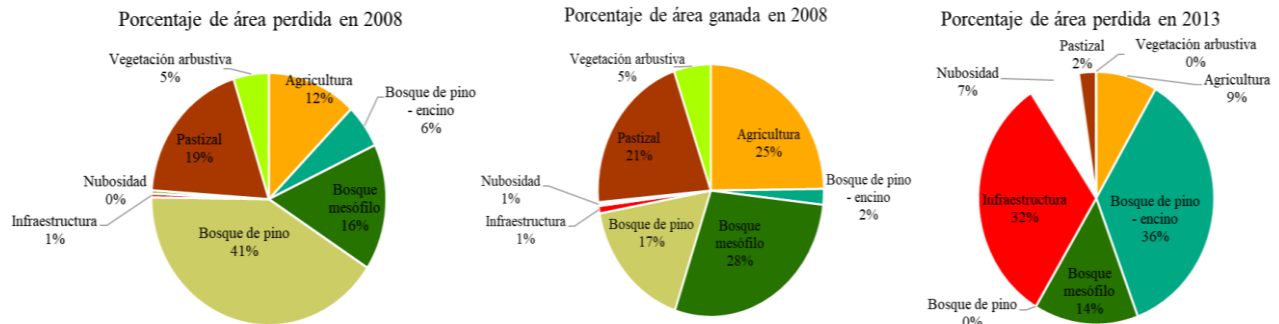
Tierra y Libertad (1), Los Ángeles (2), Tres Picos (3), Ricardo Flores Magón (5) y Josefa Ortiz (6).

En lo que respecta al área ganada de esta cobertura, se observan en los gráficos 3, 4 y 5 valores de 21, 17 y 14%. Distribuidas en el área de la microcuenca, según el gráfico 2, estas áreas en algunas comunidades de la microcuenca son zonas que han mantenido cada año esta cobertura por cuestiones productivas, ya que su mayor ingreso económico surge de esta especie.

### Bosque mesófilo

Los bosques mesófilos hacen parte de las zonas más importantes en la microcuenca El Tablón, ya que se encuentra ubicada en las partes menos explotadas de la zona y además forma parte de una de las zonas núcleo de la REBISE. En cada año analizado de pérdida y ganancia de cobertura se determinó que el año con mayor pérdida fue el 2003 con 53%, seguido de un 16, 14 y 1% ( ver figuras 3, 4 y 5); por otra parte, se puede ver (figura 1), en que las perdidas registradas en el año 2008 tienen concentraciones en las comunidades Tres Picos (3), California (4) y Los Ángeles (2).

En cuanto a ganancias de esta cobertura o el mantenimiento de esta, se puede observar en la figura 2 que en la microcuenca, las comunidades como Tierra y Libertad (1), Josefa Ortiz (6), Ricardo Flores Magón (5) y Agrónomos mexicanos (7), poseen buenas zonas de esta cobertura y las ganancias se estiman en 28% para el año 2008, 20, 13 y 21% para los años 2003, 2013 y 2018.



**Figura 4. Porcentaje de área perdida y ganada en el período 2008 -2013**

### Vegetación arbustiva

Este tipo de vegetación en la microcuenca ha sufrido un proceso de pérdida y ganancia de cobertura bajo, y en comparación con las otras encontradas en la microcuenca las pérdidas estimadas por año estudiado se encuentran entre el 5 y 10%, y las ganancias entre el 5 y 7% (ver figuras 3, 4 y 5). La distribución de estas áreas se puede observar en la figura 2, llegando a la de donde hay la mayor concentración de áreas destinadas a usos como agricultura e infraestructura.

Por otra parte, en comparación con el estudio en Veracruz de Osuna *et al.* (2015), se observa que la transición de bosque a vegetación arbustiva llegó a un 8% de cambio en 16 años de estudio

el cual reflejó un proceso de transformación; este además, coincide en que estas áreas que se convirtieron en vegetación arbustiva sufrieron una transformación posterior a suelo agrícola del 24,9% y 14,7% a pastizales.

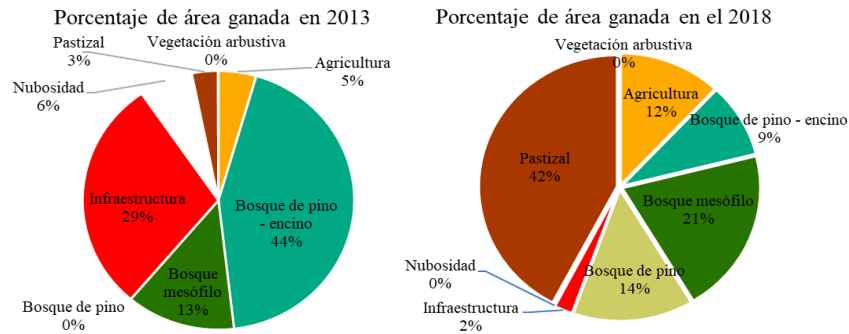
### Agricultura

En la microcuenca, las actividades agrícolas son parte del día a día de los habitantes de la zona, cultivos como el maíz, frijol, plátano, café, chile y calabaza se convierten en los productos de primera mano en el consumo de las personas. El cambio de esta cobertura genera en el tiempo de estudio más años de área ganada que los registros de años de área de pérdida.

Para el caso de áreas pérdidas se observa en las figuras 3, 4 y 5 la comparación entre los años 1998 en donde se disminuyó en un 1%, en el 2003 siguió esta tendencia con pérdida de 1% y es hasta el año 2008 cuando se produjo la mayor pérdida con un 12%; por el contrario, las ganancias de esta cobertura incrementan en el año 2003 en un 4% llegando al porcentaje máximo de 21% en el año 2008 seguido por el año 2018 con un 12%.

Esto es comparable con el estudio realizado por Ramos en (2004), en donde afirma que a pesar de la pérdida de un 7.5% de uso agrícola entre 1972 y el 2000, esta no se ve afectada en su totalidad, ya que se recupera un 2% con otro tipo de cultivo; también en trabajos como el de Ellis *et al* (2011) y Osuna *et al* (2015) donde se observa que en Áreas Naturales Protegidas (ANP) los cuales son focos de conservación, son los más afectados por la expansión de la frontera agropecuaria, incidiendo en coberturas de bosques. También Antillon *et al* (2015) afirman en su estudio de expansión de la frontera agrícola en Chihuahua, que es una de las actividades que mayor impacto tiene en la región avanzando en 30% sobre la categoría de matorral y suelo desnudo; estas a su vez dicen que indudablemente hay un cambio en las áreas limítrofes a la laguna modificando la hidrología con aumentos de la carga de sedimentos producto de la erosión por escorrentía superficial.

La distribución de agricultura (figura 2), en lo que abarca la extensión de la microcuenca, es en su mayoría ubicada en las comunidades Los Ángeles (2), Ricardo Flores Magón (5) y Agrónomos mexicanos (7), ubicados a su vez en las zonas aledañas a las riberas del cauce principal del río El Tablón, lo cual lleva a afirmar que por encontrarse en las cercanías del río hace propicio el lugar para efectuar esta práctica.



**Figura 5. Porcentaje de área pérdida y ganada en el período 2013-2018**

### Pastizal

Los pastizales conforman la cobertura con mayor persistencia en los años de evaluación, a pesar de los registros de pérdidas en los años 1998 en un 6%, seguido en el 2003 con el 6%, y en el año 2008 se registra su mayor pérdida alcanzando el 19%; no obstante, esta cobertura toma gran fuerza en otras áreas a partir del año 2003 en el cual se puede observar, según la figura 2, una ganancia en áreas específicas de la microcuenca, ya que estas se encuentran alrededor del 6 al 42% alcanzando este valor en el 2018, el último año de estudio.

Esta cobertura se presenta en mayor concentración a lo largo del cauce del río, en donde se encuentran 5 de las 7 comunidades visitadas, entre las cuales se identificaron a Tierra y Libertad (1), Los Ángeles (2), California (4), Ricardo Flores Magón (5) y Agrónomos mexicanos (7), las dos comunidades restantes, Tres Picos (3) y Josefa Ortiz (6) presentan una distribución menor de esta cobertura; sin embargo se observa el cambio entre un año y otro.

El aumento de coberturas como pastizales y bosques posiblemente se le atribuye al constante mejoramiento de pastizales e introducción de especies forrajeras de alta calidad que mantengan la seguridad de la producción ganadera en la zona (Tudela 1992; Palma y Cisneros 2000). El cambio en altas proporciones del uso pecuario (pastizales), son considerados usos de suelo en el nivel de estado, nacional y global como fuente de recuperación de áreas dedicadas en su mayoría a la agricultura y que han perdido su potencial productivo (Pietri y Stern 1985, Livernash 1992, Tudela 1992).

### Infraestructura

La infraestructura en la microcuenca El Tablón presentó en el año 2013 en ganancia y pérdida, un incremento del 32% de área adquirida y un 29% en área pérdida al final del periodo, y resulta este el año con mayor impacto de esta cobertura que se ve representada en la figura 2, como el crecimiento de esta se observa disperso en las comunidades Los Ángeles (2), California (4), Ricardo Flores Magón (5) y Agrónomos mexicanos (7). Este patrón es similar al de López y Plata en el 2009 ya que el crecimiento en extensión de área construida observada entre 1990 y 2000 se encontró en 88% para el área metropolitana de Ciudad de México, haciendo énfasis en el

proceso de metropolización mencionado por Aguilar (2002) y Borsdorf (2003), los cuales afirman que se continúan incorporando progresivamente periferias rurales al complejo urbano.

#### Nubosidad

La pérdida y ganancia de esta cobertura se debe con mayor exactitud a la presencia o no de nubes en la época de descarga de las imágenes satelitales establecida para el mes de marzo; es por esta razón que su ganancia o pérdida abarcan para los años de estudio un área específica entre el 0 y 7% según las figuras 3, 4 y 5, y su distribución se ve reflejada en la figura 2 en partes altas de la microcuenca.

Respecto del área de ocupación de cada uso y cobertura para cada año, se dan a conocer en el Cuadro 2 los siguientes resultados: la permanencia y predominancia del bosque mesófilo llegando al año 2018 con 14.126,13 ha, de la totalidad de la microcuenca, y este tipo de cobertura fue seguido por los pastizales lo cual ocupa 8.234,19 ha, que como se mencionó antes, ha ido incrementando el área dentro de la zona tomando como referencia cada año estudiado; la cobertura de bosque de pino-encino con una ocupación de 7.704,36 ha, en el último año ha mostrado un cambio significativo ya que disminuyó casi en la mitad de área respecto de tres de los cinco años comparados.

Por otro lado, se distingue en el cuadro 2 que la vegetación arbustiva, al compararse desde los años 1998 al 2018, disminuyó en 1.318,41 ha, presentando al último año un área ocupada de 152,64 ha. Otra cobertura que ha presentado una disminución gradual es el bosque de pino, el cual desde 1998 al 2018 decayó en 8.005,86 ha, llegando al área ocupada dentro de la microcuenca de 6.471,27 ha.

**Cuadro 2. Área de uso de suelo encontrado en la microcuenca en el período de 1998-2018**

<b>Cobertura</b>	<b>Área (ha) 1998</b>	<b>Área (ha) 2003</b>	<b>Área (ha) 2008</b>	<b>Área (ha) 2013</b>	<b>Área (ha) 2018</b>
Agricultura	634,41	723,69	5.477,58	3.787,83	3.192,21
Bosque de pino - encino	12.758,67	14.606,91	4.537,62	12.751,02	7.704,36
Bosque mesófilo	8.537,31	10.389,87	15.603,84	14.911,47	14.126,13
Bosque de pino	14.477,13	12.055,23	8.862,39	0,36	6.471,27
Infraestructura	175,05	137,88	263,61	6.474,24	233,01
Nubosidad	3,51	22,5	95,58	1.388,07	31,68
Pastizal	2.088,36	1.202,85	4.255,2	821,43	8.234,19
Vegetación arbustiva	1.471,05	1.006,56	1.049,67	11,07	152,64

Fuente: elaboración propia

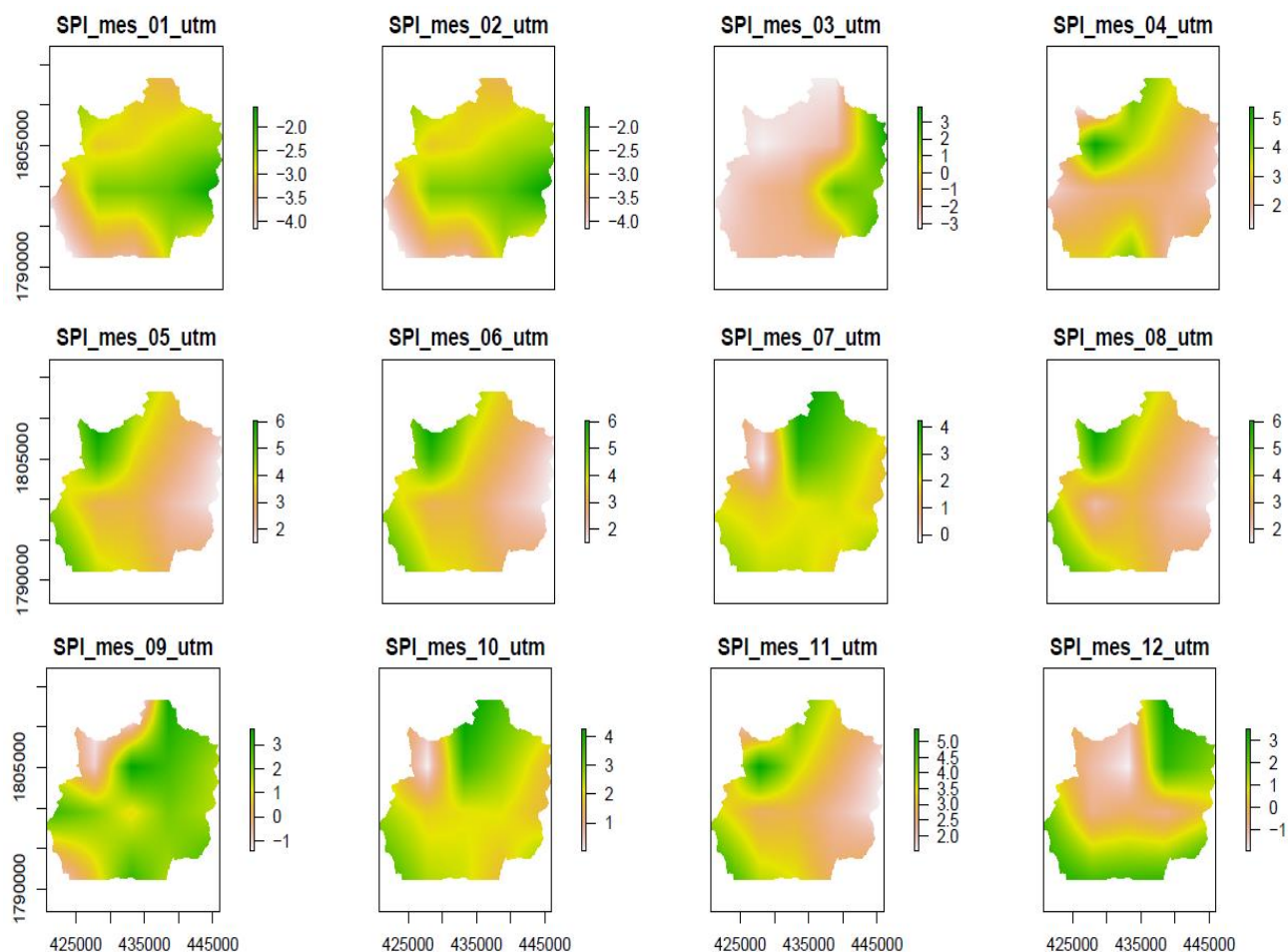
#### *Índice estandarizado de precipitación SPI*

El índice SPI es el resultado del cálculo de precipitación en una escala de tiempo definida, los valores descritos por McKee *et al* en (1993) indican valores positivos para precipitaciones mayores que la mediana y los valores negativos indican precipitaciones menores que la mediana.

Se debe tener en cuenta que la sequía del rango SPI se divide en condiciones de moderadamente secas ( $-1,0 > \text{SPI} > -1,49$ ), severamente seca ( $-1,5 > \text{SPI} > -1,99$ ) y excepcionalmente secas ( $\text{SPI} < -2$ ) ver (Cuadro 1).

A continuación, se muestra en la figura 6 el Índice estandarizado de precipitación (SPI) del valor total de cada mes en particular en relación con el promedio de ese mes multianual para toda la serie en la microcuenca El Tablón, para el período de estudio comprendido entre los años 1998 al 2018 en los 12 meses del año, y en cada figura se puede observar el comportamiento y distribución del SPI.

Como resultado se obtuvo que para los meses enero y febrero el SPI presenta valores ( $\leq -2$ ) manifestando entonces una excepcional sequía, esta inicia en enero y febrero, desde la parte alta de la microcuenca recorriendo las comunidades Tierra y Libertad, Los Ángeles, Ricardo Flores Magón, Sombra de la selva, Josefa Ortiz y Agrónomos mexicanos, en el mes de marzo se observan rangos de valores de SPI entre los cuales están excepcionalmente seco con valores de ( $\leq -2$ ), distribuidos en las comunidades de Josefa Ortiz y Sombra de la selva, extremadamente seco con rango de valores de (-1,9 a -1,60) los cuales se observan en Tierra y Libertad, Viva Chiapas y Los Ángeles, severamente seco de (-1,59 a -1,30) en las comunidades Ricardo Flores Magón y California, moderadamente seco tomando valores de (-1,29 a -0,80) en la comunidad de Tres Picos, anormalmente seco dentro del rango (-0,79 a -0,51) en Agrónomos mexicanos, casi normal (-0,50 a 0,50), anormalmente húmedo (0,51 a 0,79), moderadamente húmedo (0,80 a 1,29), severamente húmedo (1,30 a 1,60), extremadamente húmedo (1,60 a 1,90) y excepcionalmente húmedo ( $\geq 2$ ) en las comunidades Niquidambar y Villa Hermosa.

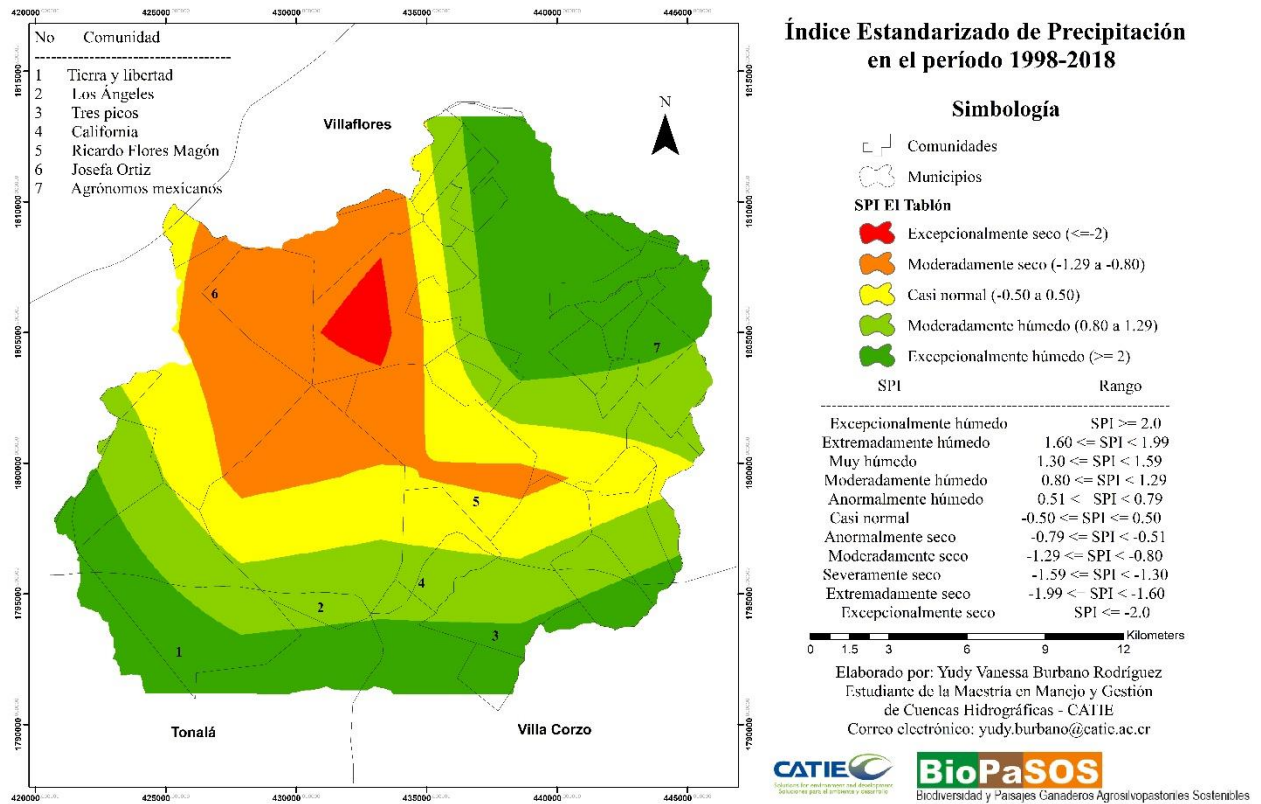


**Figura 6. Índice estandarizado de precipitación mensual en la microcuenca El Tablón**

En los meses abril, mayo y junio el SPI toma valores de ( $\geq 2$ ) presentando una condición excepcionalmente húmeda, resaltando que la distribución de precipitación en la microcuenca es mayor en la parte alta abarcando comunidades como Tierra y Libertad, Josefa Ortiz y Sombra de la selva. El mes de julio presenta una distribución de SPI excepcionalmente húmedo, en el rango de ( $\geq 2$ ) en la parte baja de la microcuenca, donde se encuentra la comunidad Agrónomos mexicanos; en la parte media donde se ubican las comunidades Ricardo Flores Magón, Tierra y Libertad, California y Tres Picos en el cual se expone el rango de (0,80 a 1,29) arrojando un SPI moderadamente húmedo, en el mes de agosto el valor de SPI se encuentra en ( $\geq 2$ ), abarcando las comunidades visitadas en la microcuenca.

Al comparar la distribución de SPI en los meses evaluados se observa que setiembre es el mes con la distribución más uniforme de precipitación en toda la microcuenca y presenta un rango del índice de ( $\geq 2$ ) el cual es excepcionalmente húmedo en toda la zona demostrando que este mes es el que registra las mayores precipitaciones. Este es precedido por los meses octubre y noviembre, que aunque su distribución es mucho más específica, presenta el mismo rango de valor de SPI.

En diciembre ocurre que a pesar de que en la parte alta y baja de la microcuenca se presentan valores de ( $\geq 2$ ) con SPI excepcionalmente húmedo, en la parte media ya se observa el inicio de la sequía con rangos de moderadamente seco (-1,29 a -0,80) y excepcionalmente seco ( $\leq -2$ ).



**Figura 7. Índice Estandarizado de Precipitación en la microcuenca El Tablón**

Al realizar el cálculo del SPI en el período de 1998 al 2018 para la microcuenca El Tablón (figura 7), se observa que presenta 5 condiciones, las cuales registra rangos de la siguiente manera: excepcionalmente húmedo, con un valor de 2 mayor que la mediana, moderadamente húmedo con valores positivos en 1 con una vulnerabilidad baja según el cuadro 1, casi normal presentando una condición de 0 precipitaciones, por lo cual su vulnerabilidad es baja y valores de sequía con datos de -1 para una condición de moderadamente seco y por lo cual su categoría de vulnerabilidad está en rango medio y  $< -2$  para condiciones de excepcionalmente seco, ubicando así esta zona en un rango de vulnerabilidad muy alta.




La distribución de la sequía en la microcuenca mostró que la comunidad Josefa Ortiz (6), parte de la comunidad Los Ángeles (2) presentó una condición de sequía, y es -1 el umbral de distribución, la comunidad Sombra de la selva ubicada entre los ejidos Josefa Ortiz (6) y Ricardo Flores Magón (5), se observa una condición de sequía de -2, presentando dificultades por la severa falta de precipitación, evidenciándose situaciones de déficit hídrico tal y como lo analizan Carbone *et al* en (2015), al presentarse en la cuenca de Sauce Grande en Argentina, una distribución espacial del SPI en regiones con rangos de  $< -2.51$  a -1.98.

Se debe tener en cuenta que este índice tiene inicio cuando el valor del SPI alcanza el umbral del valor de -1 y finaliza en el momento en que vuelve a ser positivo y su intensidad es determinada por el valor que alcanza dentro del periodo seco (Loaiza *et al* 2014, OMM 2012, McKee *et al* 1993), además, la UNCCD en (1994) define la sequía como el fenómeno natural producido cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, los cuales causan un desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras.

*Erosión potencial anual*

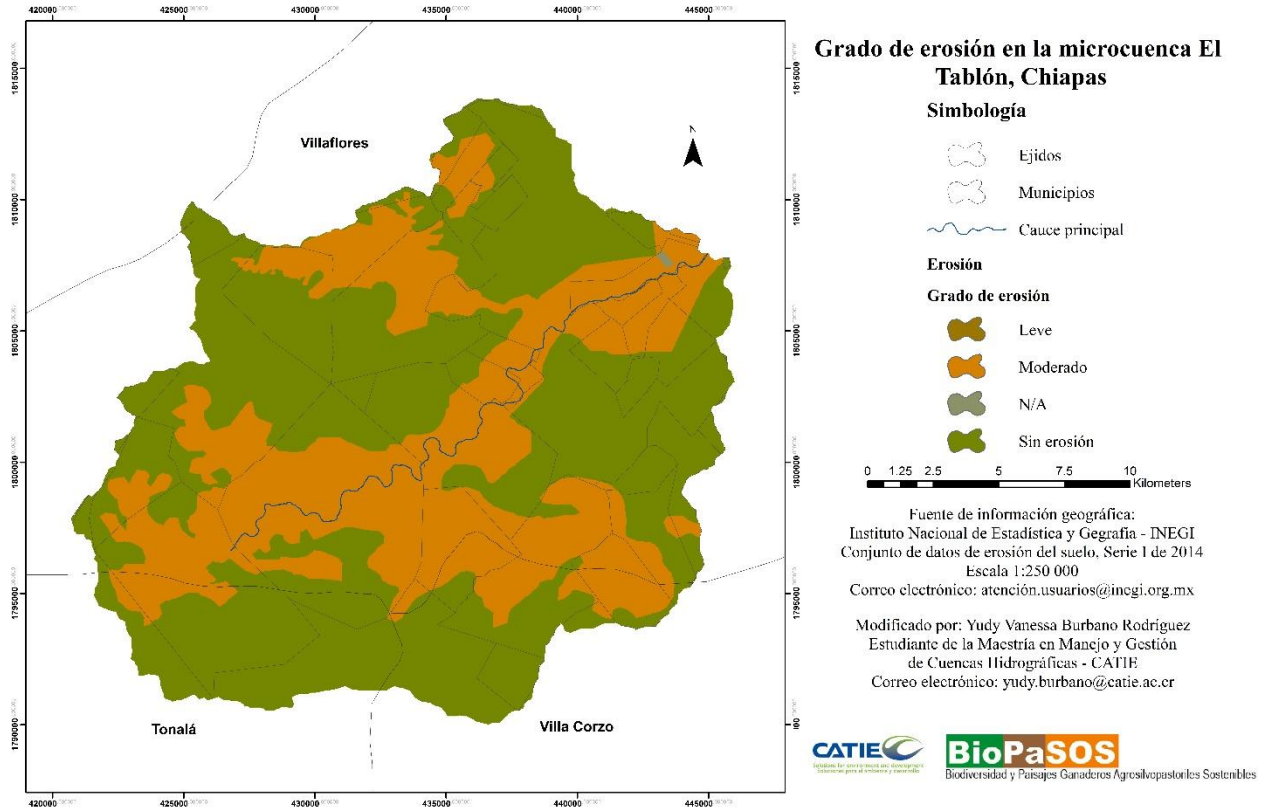
Al hacer la revisión del resultado de la extracción de la microcuenca en los metadatos de carácter nacional, se encontraron dos tipos de erosión (figura 8), y se observa la presencia de un grado de erosión leve, ver (Cuadro 3), con un arrastre de partículas de 25% de la capa superficial presentando una vulnerabilidad baja, y erosión moderada lo cual tiene un arrastre de entre 25-75% mostrando pérdidas hasta el punto de arado mezclándose con el horizonte A (FAO 1980) que cual muestra una vulnerabilidad por erosión media. Estos tipos de suelo presentes en la microcuenca son clasificados de acuerdo con los Grupos de Suelos de Referencia GSR de FAO (2006), en donde se asignan por conjuntos de acuerdo con identificadores dominantes. En el caso de la microcuenca, es de acuerdo con el grupo de suelos relativamente jóvenes, con muy poco o ningún desarrollo de perfil o con arenas muy homogéneas, entre los cuales se encuentran los Cambisoles y Regosoles.

**Cuadro 3. Clasificación de vulnerabilidad por erosión en la microcuenca El Tablón**

<b>Categoría</b>	<b>Categoría de erosión</b>	<b>Convención</b>
Muy alta/Alta	Muy severa/ Severa	
Media	Moderada	
Muy baja/Baja	Nula/ Leve	

Fuente: FAO 2006, modificada para la investigación





**Figura 8. Grado de erosión en la microcuenca El Tablón**

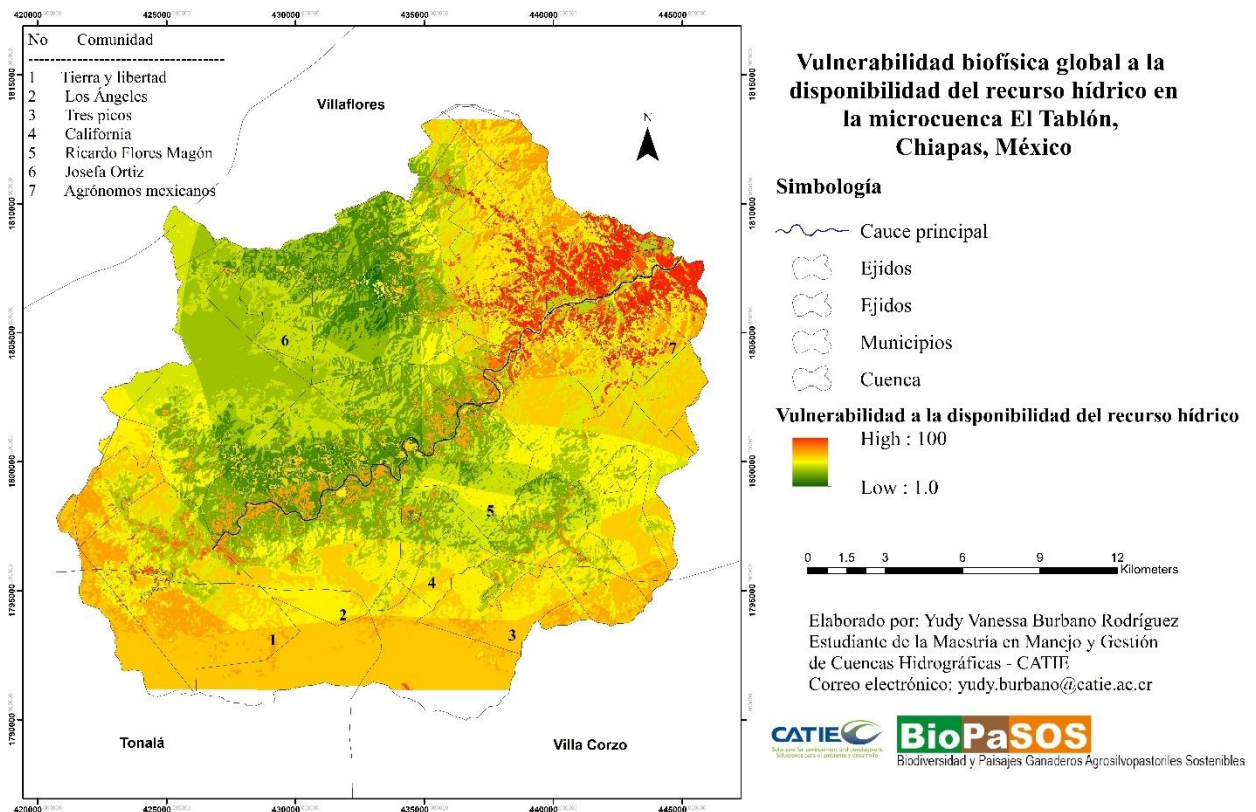
Se describe, según la figura 8, que en donde hay erosión moderada se encuentra la presencia de suelos cambisoles, los cuales abarcan en la microcuenca la zona ribereña o colindante con el cauce principal del río, además, en esta zona se encuentra la mayoría de asentamientos o comunidades en donde la mayor ocupación del suelo es de uso agrícola y agropecuario. Según FAO (2016) las tierras agrícolas son especialmente propensas a la erosión y al agotamiento de nutrientes; se reportan pérdidas de rendimientos desde el 2% en un nivel moderado, hasta niveles de más del 50%, que son los más severos y catastróficos; esto depende de los cultivos, el tipo de suelo, clima y los sistemas de producción en donde más se reportan pérdidas significativas.

*Vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico*

Una vez preparados los subíndices para estimar la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico, se procedió por medio de la calculadora raster de ArcGis 10.3 a realizar la suma ponderada de los subíndices con su respectiva determinación, obtenida anteriormente de las entrevistas a los productores ganaderos de la microcuenca, monitores comunitarios y personal técnico de la REBISE, en donde se obtuvo la siguiente calificación:

**Cuadro 4. Valoración de subíndices**



Índice de vulnerabilidad	Valoración
Cobertura y uso del suelo	30
Sequía	50
Erosión potencial	20



**Figura 9. Vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca El Tablón**

El resultado de la suma lineal ponderada es el expuesto en la figura 9. Se observan las diferentes categorías de vulnerabilidad siguiendo la metodología propuesta por Wilches en (1993) y usada para estimar el ICA-NSF propuesta por Aguirre *et al* (2013), en el cual, por medio de un sistema de subíndices basado en distintas vulnerabilidades, cada una de estas tiene una escala de ponderación (Cuadro 4), expresadas en forma numérica entera representado en colores (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Valoración de vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca El Tablón**

Categoría	Convención
Muy alta/Alta	
Media	
Muy baja/Baja	

Fuente: elaboración propia

Entonces, la vulnerabilidad en la microcuenca se evaluó del siguiente modo: el color verde simboliza el rango de vulnerabilidad muy baja /baja y corresponde a 9.733,77 ha del área total de la microcuenca; el color amarillo – naranja muestra el rango de vulnerabilidad media, formando la mayor parte de la microcuenca con un área de 27.436,32 ha y el color rojo muestra un rango de vulnerabilidad alta/muy alta, ocupando 2.410,11 ha de la microcuenca. De este modo, la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca El Tablón se encuentra distribuida de la siguiente forma: (ver figura 9).

En la parte alta de la microcuenca, donde se encuentran las comunidades, Tierra y Libertad (1) y Tres Picos (3) presenta una vulnerabilidad media; en esta misma ubicación de la microcuenca las comunidades Los Ángeles (2) y California (4) presentan vulnerabilidad media enfocada en la ribera del cauce principal del río y las zonas colindantes con otras comunidades, además, en estas mismas comunidades se presenta una vulnerabilidad baja la cual da inicio en las comunidades vecinas pertenecientes a la parte media de la microcuenca.

La parte media de la microcuenca en donde se encuentran ubicadas las comunidades Josefa Ortiz (6) y Ricardo Flores Magón (5), se presenta un rango de vulnerabilidad baja, excepto en el cauce principal del río, en el cual se puede observar una coloración naranja y esta zona es ubicada en el rango de vulnerabilidad media.

Respecto de la parte baja de la microcuenca a la cual pertenece la comunidad Agrónomos mexicanos, y además es una zona de transición entre Área Natural Protegida (ANP) y área libre, la vulnerabilidad presente es muy alta, presentando esta categoría tanto en el nivel de comunidad y alrededores como en el cauce principal del río, pues se convierte necesariamente en una zona a la cual se debe prestar atención respecto de las actividades que están llevando a cabo y están generando estos inconvenientes.

### Conclusiones

El cambio de cobertura y uso del suelo de la microcuenca para un periodo de 20 años se presentó en el incremento de áreas en bosque mesófilo de 8.537,31 a 14.126,13 ha seguido por el área de pastizal con un incremento de 2.088,36 a 8.234,19 ha y agricultura con un aumento de 634,41 a 3.192,21 ha. Estas ganancias de coberturas pueden ser el resultado de proyectos que se

han presentado en la zona, los cuales están ligados principalmente a la liberación de áreas de pastoreo en las zonas núcleo y altas de la microcuenca, además, proyectos que buscan como alternativa la siembra de pastos mejorados para la adopción de tecnologías de alimentación para los animales. Respecto del área de agricultura, con el tiempo se han presentado proyectos de preservación y conservación de maíces criollos y frijol como granos básicos y preservación de vegetación arbórea implementando cultivos como café y palma camedor.

La microcuenca presenta en las zonas donde el tipo de suelo es regosol, un grado de erosión leve, el cual tiene un 25% de arrastre de partículas. Este se encontró únicamente en la parte alta de la microcuenca; el otro tipo de suelo encontrado fue cambisol el cual por su textura y formación, presentó una erosión moderada, llegando al arrastre de partículas de hasta un 75%. Este arrastre se encuentra distribuido en la zona riparia del cauce principal del río, que a su vez, es el área donde se desarrolla la mayor producción pecuaria y agrícola de la microcuenca. Estas deposiciones se van acumulando en las riberas y limitan el caudal de agua disponible para los diferentes usos de los habitantes de la microcuenca.

La disminución de coberturas en la microcuenca se presentó en bosque de pino-encino con áreas de 12.758,67 a 7.704,36 ha y vegetación arbustiva con áreas de 1.471,05 a 152,64 ha y su distribución se presentó a lo largo del cauce del río donde principalmente se encuentran las comunidades Tierra y Libertad, Los Ángeles, Ricardo Flores Magón y Agrónomos mexicanos, además, en esta zona se presenta una erosión moderada lo cual lleva a decir que es el reflejo de una sucesión ecológica que presentó la vegetación natural de la microcuenca la cual afecta no solo las propiedades del suelo; sino las fuentes hídricas, las cuales al perder la vegetación natural se pierde flora que ayuda en la producción de agua.

La vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico de la microcuenca, teniendo en cuenta los subíndices, cobertura, erosión y SPI, muestra que la parte baja en donde se encuentran las comunidades Agrónomos mexicanos y 30 de Noviembre, presenta la categoría más alta de vulnerabilidad, esto debido a las actividades o usos que se han presentado en el periodo de 20 años, ya que el área dedicada a la producción pecuaria y agrícola debe recuperar el enfoque de adopción de tecnologías como los divulgados por el proyecto BIOPASOS en donde los sistemas con arreglos silvopastoriles, cercos vivos, bancos forrajeros con árboles nativos, combinación de bancos proteicos, cultivos y pastos, ayudan no solamente como alternativas de alimentación de los animales; sino en la recuperación de área cubierta para la fijación de suelos y recuperación de zonas riparias, lo cual se aprovecharía para la detención de suelos y disminución de deposición de estos por erosión; además, teniendo en cuenta la sequía en la zona, se observan en el tiempo evaluado periodos con menos precipitación y mayor época de estiaje, dejando huella en la disponibilidad de agua que alimenta el cauce principal, directamente por acuíferos y escorrentía superficial. Convendría entonces optar por formar a los productores en este tema e incentivarlos a hacer un uso óptimo del recurso hídrico.

## Literatura citada

- Aguilar, G. 2002. "Las mega-ciudades y las periferias expandidas. Ampliando el concepto en Ciudad de México", *EURE*, núm. 28(85):121-149.
- Aguirre M., Vanegas E., García N. 2013. Aplicación del índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala. (en línea) *Ciencias Técnicas Agropecuarias* (25) 2:39-43. Consultado 21 jun 2019. Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542016000200006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542016000200006)
- Antillón, V. M. Y; Corral, G. G. M; Alatorre, C. L. C. 2015. Análisis de los cambios de cobertura y uso de suelo en los márgenes de la laguna de Bustillos, Chihuahua: Efectos de la expansión agrícola. *Memorias de resmenes en extenso SELPER XXI México UACJ*. p. 1–6.
- Arellano L; García C; García M; Muñoz G; Ruiz E; Villanueva G. 2002. Diagnóstico Regional de la Cuenca del Río El Tablón en la Reserva de la Biosfera de La Sepultura. Chiapas, México, Universidad Autónoma Chapingo.
- Arribas, P. et al., 2012. La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 21(3):79–84. Disponible en: <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/701>.
- Baltazar EB; Naranjo EJ; Vandame R. 2012. La otra innovación para el ambiente y la sociedad en la frontera sur de México. *Red de Espacios de Innovación Socioambiental*: s.p.
- Borsdorf, A. 2003. "Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana", (en línea). *EURE* 29(86):37-49. Consultado 9 jul 2019. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025071612003008600002&lng=es&nrm=iso&tlng=es: 12 de mayode 2007](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025071612003008600002&lng=es&nrm=iso&tlng=es: 12 de mayode 2007)].
- Carbone, M. E; Fornerón, C. F; Piccolo, M. C. 2015. Impacto de los eventos de sequía en la región de la cuenca hidrográfica de la laguna sauce grande provincia de Buenos Aires, Argentina. (en línea). *Investigaciones Geográficas*. (63) :131-142. Consultado 21 jun 2019. Disponible en: DOI: 10.14198/INGEO2015.63.09.
- Cárdenas M; Tobón C. 2016. Evaluación de la vulnerabilidad biofísica de los servicios ecosistémicos ante el cambio climático: una aproximación conceptual y metodológica. (en línea). *Gestión y Ambiente* 19(1):163-178. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Consultado 11 jun 2019. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169446378011>
- Cortés C; Vapnik V. 1995. Support-Vector Networks. (en línea) *Machine Learning*. (20): 273-297. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00994018>
- Chuvieco, E. 2002. *Teledetección Espacial. La observación de la Tierra desde el espacio*, Ariel, Barcelona.
- Ellis, E. A; Martínez-Bello, M; Monroy-Ibarra, R. 2011. Focos rojos para la conservación de la Biodiversidad en el estado de Veracruz. *La Biodiversidad en Veracruz, México*. CONABIO Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana e Instituto de Ecología p. 351-368.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). 2016. Estado Mundial del Recurso Suelo Resumen Técnico, del Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. (en línea). Roma. 92 p. Consultado 21 jun 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). 2006. Base referencial mundial del recurso suelo, Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. (en línea). Roma 128 p. Consultado 21 jun 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a0510s/a0510s00.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). 1980. Metodología provisional para evaluar la desertificación de los suelos. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. FAO. Roma, Italia.
- Füssel, H.M., 2010. Review and quantitative analysis of indices of climate change exposure, adaptive capacity, sensitivity and impacts, Germany: Potsdam Institute for Climate Impact Research.
- García L; González M. 2017. Investigación ecológica participativa como apoyo de procesos de manejo y restauración forestal, agroforestal y silvopastoril en territorios campesinos. Experiencias recientes y retos en la Sierra Madre de Chiapas, México. (en línea). Revista Mexicana de Biodiversidad 88:129-140. Consultado 24 ago. 2018. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.10.022>
- Guindon, B; Zhang, Y; Dillabaugh, C. 2004. "Landsat urban mapping based on a combined spectral-spatial methodology", *Remote Sensing of Environment* 92(2):218-232.
- Hernández A. 1995. "Propuesta para establecer el área natural protegida (Reserva de la Biosfera) La Sepultura, en la porción oeste de la Sierra Madre de Chiapas, México". Tesis de licenciatura en biología. México: Facultad de Biología Universidad Veracruzana, Xalapa.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. VIII Censo Agrícola Ganadero y Forestal. Censo Agropecuario 2007. Aguascalientes, México: INEGI. (en línea). Consultado 20 sep. de 2018. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/>
- IPCC\_AR5, W.G. 2, 2014. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. In Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, p. 44. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- Jiménez, B; Field C; Barros V; Dokken K; Mach M; Mastrandrea T; Bilir M; Chatterjee K; Ebi Y; Estrada R; Genova B; Girma E; Kissel A; Levy S; MacCracken P. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 229–269.

- Livernash, R. 1992. Alimentación y agricultura. pp. 107-127. *In*: Banco Interamericano de Desarrollo (ed.). Recursos Mundiales 1992-1993. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México, D.F.
- Loaiza, W.; Carvajal, Y. & Baquero, O. 2014: Sequías y Adaptación. Principios para su evaluación en sistemas productivos agrícolas del Valle del Cauca, Colombia. Cali, Programa Editorial de la Universidad del Valle, 149 pp.
- López, V. V. H; Plata, R. W. 2009. Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. (en línea). Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Num 68, 2009, pp. 85-101. Consultado 8 jul 2019. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n68/n68a7.pdf>
- Maldonado, S, Weber, R. 2012. Modelos de Selección de Atributos para Support Vector Machines. (en línea). Revista Ingeniería de Sistemas. (26):49-70p.Consultado 21 jun 2019 Disponible en: <http://www.dii.uchile.cl/~ris/RISXXVI/maldonado1.pdf>.
- Morales M. 2009. Plan de acción de cambio climático para el estado de Chiapas (PACCCH), México. Conservación Internacional. México. p. 162.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, January 17 e 22, Anaheim, California, pp. 179 e 184.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2012. “Índice normalizado de precipitación, Guía del Usuario OMM” - No, 1090, ISBN- 978-92-63-31090-3, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza,
- Osuna, O. A. K; Díaz, T. J. de J; De Anda, S. J; Villegas, G. E; Gallardo, V. J; Davila, V. G. 2015. Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; período 1994-2010. (en línea). Ambiente y Agua, 10(2):350-362. Consultado 14 jul 2019 Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1980-993X2015000200350&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1980-993X2015000200350&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Palma-López, D.J. y J. Cisneros A. 2000. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. Volumen 1. Fundación Produce Tabasco A. C. Villahermosa, Tabasco, México.
- Pacifici M; Foden B; Visconti P; Watson E; Butchart H; Kovacs M; Scheffers R; Hoyo G; Martin G; Akcakaya R; Corlett T; Huntley B; Bickford D; Carr A; Hoffmann A; Midgley F; Pearce P; Pearson G; Williams E; Willis G; Joven B; Rondinini C. 2015. Assessing species vulnerability to climate change. Nature Climate Change, 5(3), pp.215–224.
- Penman, J; Gytarsky, M; Hiraishi, T; Krug, T; Kruger, D; Pipatti, R; Buendia, L; Miwa, K; Ngara, T. 2003. Intergovernmental Panel on Climate Change Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. (en línea). p. 590. Consultado 18 jun 2019. Disponible en: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_files/GPG\\_LULUCF\\_FULL.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf)

- Pietri, R. y C. Stern. 1985. Petróleo, agricultura y población en el sureste de México. El Colegio de México. México, D.F.
- Ramos, R; Palma, D; Ortiz, C; Ortiz, C; Diaz, G. 2004. Change of Land Use by Means of Geographical Information Systems in a Cacao Region. (en línea). *Terra Latinoamerica* (22) 3:267-278 p. Consultado 21 jun 2019. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57322303>
- Seto, K; Woodcock, C; Song, C; Huang, X; Lusand, J; Kaufmann R. 2002. “Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM”, *International Journal of Remote Sensing* 23(10):1985-2004.
- Soria R., J., C.A. Ortiz-Solorio, F. Islas G. y V. Volke H. 1998. Sensores remotos, principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales: Experiencias en México. Publicación Especial 7. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Souza, M.J.N. 2000. Bases naturais e esboço do zonamento geoambiental do estado do Ceará. In: Lima, L. C.; Orais, J. O. de; Souza, M. J. N de. *Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Parte I. Fortaleza: FUNECE.* p. 106-104.
- SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2002. Índice de Calidad del Agua General ICA. Centro de Gobierno. San Salvador, El Salvador, Centro América. 14p. Consultado sep. 2018. Disponible en: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>
- Tudela, F. 1992. La modernización forzada del trópico: El caso de Tabasco. Proyecto integrado del Golfo. 2a ed. El Colegio de México-Federación Internacional de Institutos de Estudios Avanzados-Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas para Desarrollo Social-Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.
- UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). 1994. United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in África. (en línea). p. 66. Consultado 14 jul 2019. Disponible en: [http://catalogue.unccd.int/936\\_UNCCD\\_Convention\\_ENG.pdf](http://catalogue.unccd.int/936_UNCCD_Convention_ENG.pdf)
- Velázquez, A; Mas, J. F; Díaz Gallegos, J. R; Mayorga Saucedo, R; Alcántara, P. C; Castro, R; Fernández, T; Bocco, G; Ezcurra, E; Palacio, J. L. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. (en línea). *Gaceta Ecológica*, núm. 62, pp. 21-37. Consultado 19 de sep. 2018. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906202>
- Vera J; Albarracín A. 2017. “Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. (en línea).” *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*” 27(2):109-136p. Consultado sep. 2018. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2309>
- Watson, J.E.M., Iwamura, T. & Butt, N., 2013. Mapping vulnerability and conservation adaptation strategies under climate change. *Nature Climate Change*, advance on. Disponible en: <http://www.nature.com/nclimate/journal/vaop/ncurrent/full/nclimate2007.html>.
- Wilches-Chaux, G. 1993. La vulnerabilidad global. In Maskrey, A. (Comp). Los desastres no son naturales. Bogotá, Colombia, La Red. p. 9-50.



## **7. Artículo 2. Lineamientos de intervención en zonas priorizadas de la microcuenca del río El Tablón en Chiapas, México**

Yudy Vanessa Burbano Rodríguez<sup>1</sup>, Vladimir Valera<sup>2</sup>, William Watler<sup>2</sup>, Claudia Sepúlveda<sup>2</sup>, Laura Benegas<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Estudiante de Maestría del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,

<sup>2</sup>Investigador del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. yudy.burbano@catie.ac.cr, vladimir.valera@catie.ac.cr, wwatler@catie.ac.cr, csepul@catie.ac.cr, lbenegas@catie.ac.cr

### **Resumen**

El artículo describe la metodología utilizada para la priorización de áreas de intervención en la microcuenca El Tablón en Chiapas, México, realizada con el modelo Resource Investment Optimization System (RIOS). Se identificaron ocho prácticas bajo categoría de riesgo ante el cambio climático por medio de visitas a ranchos ganaderos. Para ejecutar RIOS, fue necesaria información biofísica, social, presupuestaria y costos para producir paquetes de inversión en la microcuenca, generando componentes claves de detección de diagnóstico y áreas prioritarias, mostrando un conjunto de inversiones en áreas de mejor rentabilidad. Además, se generó el escenario que refleja la condición futura de la microcuenca si se implementa el paquete de inversión. El efecto de la ejecución permitió priorizar un total de 12 comunidades para la intervención con capital económico, con un área convertida de 938,7 ha y un presupuesto total de 815.175 USD a un horizonte de cinco años. Así como también, fueron seleccionados componentes específicos que abarcan apoyos para las prácticas identificadas, dentro de las reglas de operación de las Comisiones y Secretarías Federales y Estatales, para la gestión e inyección de capital dentro del marco legal por parte de los pobladores de las comunidades e inversionistas.

**Palabras claves:** priorización, áreas de intervención, RIOS, gestión

### **Abstract**

The article describes the methodology used for the prioritization of intervention areas in the El Plan micro-watershed in Chiapas, Mexico, carried out with the Resource Investment Optimization System (RIOS) model. Eight practices were identified under the category of risk in the face of climate change through visits to cattle ranches. To execute RIOS, biophysical, social, budgetary and cost information was necessary to produce investment packages in the micro-watershed, generating key diagnostic detection components and priority areas, showing a set of investments in areas of better profitability. In addition, the scenario that reflects the future condition of the micro-watershed was generated if the investment package is implemented. The effect of the execution allowed a total of 12 communities to be prioritized for intervention with economic capital, with a converted area of 938.7 ha and a total budget of USD 815,175 over a five-year horizon. As well as, specific components were selected that include support for the

identified practices, within the rules of operation of the Federal and State Commissions and Secretariats, for the management and injection of capital within the legal framework, by the residents of the communities and investors.

**Keywords:** prioritization, areas of intervention, RIOS, management

## **Introducción**

La planificación en una cuenca hidrográfica se torna importante para su desarrollo, el cual conlleva al uso y manejo sostenible de los recursos naturales, de tal manera que se obtiene un equilibrio para el aprovechamiento económico y social, llevando a cabo la conservación de todos los componentes bióticos de la cuenca (Castaño 2003). Se deben realizar minuciosos estudios que revelen tanto el momento actual de la cuenca como también los futuros, redireccionando los recursos económicos para la intervención, e invirtiendo esfuerzos que generen impactos para una gestión sostenible (Jaramillo *et al* 2004, Yaguache *et al* 2018).

Existen varios modelos computarizados apoyando en la identificación de priorización de áreas para la conservación de la biodiversidad (Blumentrath 2011, Margules y Sarkar 2009, Semarnat 2006), ya que conociendo los altos costos que representa esta actividad en grandes superficies y las limitaciones en los recursos económicos, deben centrarse los esfuerzos en áreas donde se produzcan los más altos beneficios de tipo ambiental (Razola *et al* 2006, Benegas y León 2009, Geneletti *et al* 2011, Chávez *et al* 2014).

Los múltiples beneficios que aporta la conservación de áreas naturales deben ir ligados significativamente a la generación de políticas locales y administración pública, ya que al valorar los servicios que estos paisajes proveen se obtiene un cuadro perfecto para definir decisiones vinculadas a la gestión del territorio (Pacha 2014). Sin embargo, los procesos de áreas naturales se ven alterados por la participación del hombre, que en afán de desarrollo se focaliza en el objetivo productivo (Boff 1999) y debido al uso irracional de tecnologías intensivas y políticas gubernamentales, los recursos naturales que deben ser usados para impulsar el progreso agropecuario experimentan un deterioro acelerado (Alonzo 2011).

Se calcula que la superficie usada de carácter mundial para el pastoreo de ganado se encuentra en un 20 a 35% total. En México, la ganadería ocupa aproximadamente 1.1 millones de Km<sup>2</sup>, un 56% de la superficie nacional, excediendo el potencial ganadero que constituye el 46,8% de la superficie. En el año 2002 esta actividad superó la capacidad de carga en 24 estados del país lo que repercute en degradación y fragmentación de hábitat<sup>10</sup>.

La ganadería presenta uno de los componentes con mayor crecimiento del sector agropecuario; sin embargo, afecta la biodiversidad, sobre todo la vegetación; por lo tanto, es necesario plantear alternativas que minimicen el daño, y estas alternativas serían mejoramiento genético en aras de reducir el inventario, otra opción es disminuir los sistemas de pastoreo

---

<sup>10</sup> <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/845-la-ganaderia-y-la-perdida-de-la-biodiversidad>

extensivo y trabajar en las políticas públicas y el ordenamiento territorial para evitar la deforestación.

En este contexto, reconociendo el antecedente, el CATIE formuló el proyecto Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles (BioPaSOS), el cual promueve la conservación de la biodiversidad a través de prácticas agrosilvopastoriles climáticamente inteligentes en paisajes dominados por la ganadería de tres regiones de México: (Jalisco, Campeche y Chiapas), fortaleciendo la capacidad de conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de los públicos meta para la creación de un marco institucional y de políticas para promover prácticas agrosilvopastoriles que mejoren la productividad, el ingreso familiar y reduzcan la vulnerabilidad climática en paisajes ganaderos.

Para incidir en las metas propuestas por el proyecto BioPaSOS, se propusieron como objetivos la identificación de prácticas bajo categoría de riesgo climático en zonas priorizadas con el modelo Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos (RIOS), en los paisajes ganaderos de la microcuenca El Tablón y la generación de lineamientos de intervención para productores e instituciones gubernamentales en el marco de los apoyos y subsidios federales y estatales con base en la priorización del modelo RIOS.

## **Materiales y métodos**

### *Ubicación del área de estudio*

La microcuenca del río El Tablón se encuentra ubicada en la Sierra Madre de Chiapas, municipio de Villaflores entre coordenadas 93°45' y 93°25' oeste y 16°10' y 16°25' norte. Esta área se localiza en la región suroeste del estado de Chiapas, limita al norte y noreste con la Depresión Central de Chiapas, al este con otras cumbres de la Sierra Madre en su continuación hacia el Soconusco, al sur con la Planicie Costera del Pacífico de Chiapas y al oeste con la Sierra Madre hacia el estado de Oaxaca (Baltazar 2012; Hernández 1995).

La microcuenca forma parte de la cuenca sur oeste del río Grijalva. Tiene aproximadamente 40.146 ha, un perímetro de 97,5 km y forma parte de la Región Hidrológica (RH) 30. Son áreas montañosas y muy abruptas, con altitudes de entre 800 – 2.550 m, con un gradiente climático desde templado hasta semicálido subhúmedo con épocas marcadas de lluvias de junio a octubre y épocas secas de noviembre a mayo; fluctúan precipitaciones anuales entre 1200 a 3000 mm y su temperatura media anual se encuentra entre 16 y 24°C. Tiene suelos forestales transformados de origen granítico, 6 tipos de bosques con predominancia de selva baja caducifolia, bosque de pino-encino y mesófilo de montaña (García y González 2017; Arellano *et al.* 2002; CONABIO 2010).

### *Identificación de prácticas en la microcuenca del río El Tablón*

La identificación de prácticas para enfrentar el riesgo de cambio climático en la microcuenca se llevó a cabo en compañía de monitores comunitarios, los cuales son personal adscrito de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Con ellos se realizaron recorridos en ranchos ganaderos que en el momento y desde años anteriores hacen parte de la base de datos de asociaciones ganaderas presentes en la microcuenca.

La información se recolectó por medio de entrevista personal al encargado del manejo del rancho para que así diera respuesta a las preguntas propuestas en la investigación para obtener la información detallada de la práctica, siguiendo el manual para extensionistas en cría de animales climáticamente inteligente en Jamaica, propuesto por la FAO (2014) (Ver anexo 2).

Posteriormente, se realizó la clasificación de prácticas para enfrentar el riesgo de cambio climático, además, se verificó que cada práctica tuviera su sistematización respecto de las actividades necesarias para llevar a cabo la práctica, insumos y materiales utilizados, días de trabajo y personal a cargo para el desarrollo de la misma; toda esta información se complementó con el costo específico.

#### *Selección de objetivos*

Los objetivos control de erosión, recarga de aguas subterráneas y flujo base, fueron seleccionados con base en los resultados del estudio análisis de la vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca en estudio; además de contar con el juicio de un especialista en CATIE para la selección de estos.

#### *Preparación de datos requeridos para el ejecutable RIOS pre-proceso*

Para la corrida del ejecutable RIOS pre-proceso, hay una demanda de información geoespacial insumo (capas) según los objetivos propuestos en esta investigación. A continuación se describe el procedimiento utilizado para la obtención de cada una:

- **Uso del suelo:** para la elaboración de esta capa se hizo la recolección de información, por medio de visitas de campo realizando recorridos a ranchos ganaderos de las comunidades Tierra y Libertad, Los Ángeles, Tres Picos, California, Ricardo Flórez Magón, Josefa Ortiz y Agrónomos mexicanos, pertenecientes a la microcuenca del río El Tablón. En estos sitios se tomaron puntos de control por medio de GPS, teniendo en cuenta el tipo de cobertura y uso del suelo existente.

Posteriormente, para realizar el análisis de cobertura y uso de suelo, se descargó la imagen satelital por medio de lenguaje de programación en la interfaz de RStudio, desde la plataforma del Servicio geológico de los Estados Unidos (USGS)<sup>11</sup>, filtrando la imagen, por condición de nubosidad (no mayor del 20%) y el ajuste del polígono del área de estudio, seleccionando una imagen Landsat 8.

A la imagen descargada se le realizó la corrección atmosférica con el programa QGIS 3.0.1, desde el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), en donde se estimaron los valores verdaderos de cada banda. Continuando con el procedimiento, se hizo la extracción del área de la microcuenca de la imagen y se crearon las firmas espectrales según la distribución de la cobertura.

Se efectuó la clasificación de usos de suelo con las firmas espectrales anteriormente creadas, ejecutando en el programa QGIS 3.6.1, y el complemento, Processing R provider, medio por el cual se añadió y ejecutó el script Support Vector Machine

---

<sup>11</sup> <https://earthexplorer.usgs.gov/>

(SVM)<sup>12</sup>. Como resultado se obtuvo el raster clasificado con los respectivos usos de suelo encontrados en la microcuenca.

- Modelo de Elevación Digital (DEM): esta capa fue elaborada a partir de la descarga del archivo del Modelo de Elevación para México desde la página DIVA-GIS<sup>13</sup> la cual facilita un archivo comprimido con la capa por trabajar, consecutivamente, se realizó desde el programa ArcGis 10.3 la extracción por máscara del polígono de la microcuenca en la capa anteriormente nombrada para obtener el Modelo de Elevación Digital de la microcuenca El Tablón.
- Erosividad (factor r): la capa fue realizada a partir del cálculo del Índice Modificado de Fournier (ver Ecuación 2), el cual es un índice de erosión pluvial que representa la energía cinética de la lluvia (Renard and Freimund 1994, Segura *et al* 2014). Para realizar el cálculo de esta, se efectuó la descarga de datos espaciales de precipitación global mensual con frecuencia de 30 segundos, desde la página de variables climáticas libres WorldClim<sup>14</sup>.

Seguidamente se realizó la extracción por máscara del polígono de la microcuenca en los 12 archivos GeoTiff correspondientes a los meses del año; se efectuó el cálculo de precipitación anual por medio de la calculadora de raster en el programa ArcGis 10.3 y finalmente por el cálculo en la calculadora de raster, ingresando el archivo necesario se estimó el índice modificado de Fournier expresado a continuación.

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} P_i^2 / P$$

***Ecuación 2. Índice Modificado de Fournier (Renard and Freimund 1994, Segura et al 2014)***

Donde:

IFM: índice de Fournier modificado en mm

P<sub>i</sub>: precipitación del mes i en mm

P: precipitación total anual en mm

- Erodabilidad (factor k), determina la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, su valor depende del contenido de materia orgánica, la permeabilidad, estructura y textura del suelo (Birkel 2016). Para estimar este índice se utilizó la información proporcionada por el centro mundial de datos del suelo ISRIC<sup>15</sup>, del cual se realiza la descarga de la base de datos SOTERLAC versión 2.0 (Dijkshoorn *et al* 2015).

De allí se obtiene el reporte de la base de datos para Latinoamérica y el Caribe de suelos y archivos tipo shape, de los cuales se pueden visualizar desde ArcGis 10.3 los códigos de

<sup>12</sup>

[http://scholar.google.co.cr/scholar\\_url?url=ftp://ftp.cse.yzu.edu.tw/CRAN/web/packages/e1071/vignettes/svmdoc.pdf&hl=es&sa=X&scisig=AAGBfm2tV48sXVD8AMRIT8IlmuMJoBWkug&nossl=1&oi=scholar](http://scholar.google.co.cr/scholar_url?url=ftp://ftp.cse.yzu.edu.tw/CRAN/web/packages/e1071/vignettes/svmdoc.pdf&hl=es&sa=X&scisig=AAGBfm2tV48sXVD8AMRIT8IlmuMJoBWkug&nossl=1&oi=scholar)

<sup>13</sup> <http://www.diva-gis.org/datadown>

<sup>14</sup> <http://worldclim.org/version2>

<sup>15</sup> [https://soilgrids.org/#/!/?layer=ORCDRC\\_M\\_sl2\\_250m&vector=1](https://soilgrids.org/#/!/?layer=ORCDRC_M_sl2_250m&vector=1)

cada país y municipio con información concerniente al porcentaje de arena, arcilla, limo, materia orgánica, textura y permeabilidad.

Seguidamente, al archivo shape se le realizó un clip de la microcuenca, en esta se identificaron los códigos presentes y se llevó a cabo la búsqueda en la base de datos, de los valores de las fracciones de arena, arcilla, limo y materia orgánica; textura y permeabilidad para posteriormente estimar el factor de erodabilidad del suelo por medio de la fórmula propuesta por Wischmeier (1971) expuesta a continuación: (Ecuación 3).

$$K = \frac{[10^{-4} * 2.71M^{1.14} * (12 - MO) + 4.20 (S - 2) + 3.23 (P - 3)]}{100}$$

***Ecuación 3. Factor de erodabilidad del suelo (Wischmeier (1971))***

Donde:

K: factor de erodabilidad del suelo expresado en [t\*m<sup>2</sup>\*hr/ha\*J\*cm]

MO: materia orgánica (%)

S: código de la estructura del suelo

P: código de permeabilidad

M: producto de las fracciones del tamaño de las partículas primarias

- Profundidad del suelo y textura: estas capas, igual que lo anterior, fueron adquiridas desde la base de datos SOTERLAC versión 2.0 (Dijkshoorn *et al* 2015), del centro mundial de datos del suelo ISRIC, de la cual, según el tipo de suelo de la microcuenca, se obtiene información del horizonte y la profundidad de extracción de la muestra de suelo, igual que la textura, se estima a partir del tamaño de partículas presentes en los tipos de suelo que se encuentran en la microcuenca y son interpretadas por medio del triángulo textural.
- Precipitación mensual y anual: esta información fue obtenida por medio de lenguaje de programación, ejecutando un script en la interfaz del programa RStudio, medio por el cual se realizó la descarga de imágenes con datos de precipitación global, desde la estación CHIRPS<sup>16</sup> de Hazards Group. Una vez descargadas las imágenes diarias de precipitación por un año, se continuó con la extracción por máscara del polígono de la microcuenca a estas imágenes, e inmediatamente con la suma de imágenes raster por medio de la calculadora de raster de ArgGis 10.3, generando entonces 12 imágenes correspondientes a los meses de enero a diciembre de precipitación.  
Para la precipitación anual se efectuó la suma desde ArcGis 10.3 por medio de la calculadora raster, a las capas anteriormente creadas, generando una capa raster con la información de precipitación acumulada de los 12 meses del año.
- Evapotranspiración: esta capa se estimó a partir de la descarga de datos globales desde la página de acceso libre del Consortium for Spatial Information CGIAR CSI<sup>17</sup>, grupo que adopta la definición de Evapo-Transpiración (PET) del documento No. 56 de la FAO, la

<sup>16</sup> [ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/global\\_daily/tifs/p05/](ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/global_daily/tifs/p05/)

<sup>17</sup> <https://cgiarcsi.community/data/global-aridity-and-pet-database/>

cual introdujo el término como la Transpiración (ET) de un cultivo de referencia en óptimas condiciones, con características de riego, un césped con altura supuesta de 12cm, una resistencia superficial fija de 70seg mt y un albedo de 0,23 (Allen *et al* 1998).

Entre los varios modelos para estimar PET se aplica el de Hargreaves (Ecuación 4) como el más adecuado para modelar esta variable de carácter mundial, y los datos para su estimación son provenientes de PET Global la cual se modeló usando los datos disponibles en el WorldClim Global Climate Data (Hijmans *et al* 2004, Hargreaves y Allen 2003). Como parámetros de entrada requirió datos mensuales promedio de los siguientes parámetros climáticos: temperatura media, rango de temperatura diaria y radiación extraterrestre.

$$PET = 0.0023 * RA * (Tmean + 17.8) * TD^{0.5}$$

***Ecuación 4. Modelo de PET mensual con el método Hargreaves***

Donde:

Tmean: temperatura media °C

TD: rango de temperatura diaria °C

AR: radiación extraterrestre mm/mes

Al realizar la descarga del archivo en formato GeoTiff se lleva a cabo el proceso de extracción por máscara del polígono de la cuenca, obteniendo así la capa requerida para el proceso.

- **Beneficiarios:** esta capa en formato shape fue facilitada por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas CONANP, entidad de la cual se obtuvo el acompañamiento durante la fase de toma de datos. Seguidamente, a este archivo se le realizó un clip desde el programa ArcGis 10.3, continuando con la transformación de un archivo tipo polígono (shape) a archivo tipo raster, y este proceso se efectuó con la finalidad de identificar las comunidades que abarca la microcuenca y en la cuales se enfocó esta investigación.
- **Recarga de agua subterránea:** esta información fue lograda a partir de la visita en la web de la página del Portal de Geoinformación del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad del catálogo de metadatos geográficos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO<sup>18</sup>, la cual muestra la recarga media total de acuíferos de la República Mexicana en el nivel de región hidrológica administrativa (Balvanera *et al* 2008).

Se efectuó la descarga del archivo en formato shape y a continuación se realizó desde el programa ArcGis 10.3 el clip de la microcuenca para lograr la información deseada.

- **Unidad hidrológica:** esta capa fue puesta a disposición por Enríquez (2018) proveniente del estudio Evaluación integral del estado ecológico de los ecosistemas fluviales en la zona intertropical americana.

---

<sup>18</sup> <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Una vez que se obtuvieron todas las capas necesarias, se realizó una homogenización de estas, usando la interfaz del software RStudio, que por medio de la ejecución de un script, permitió ajustar de tamaño de pixel y el sistema de coordenadas.

#### *Corrida de RIOS pre-proceso (preprocessing)*

Para llevar a cabo la corrida de RIOS pre-proceso, se efectuó la descarga del software desde la página de acceso libre, natural capital Project de la Universidad de Stanford<sup>19</sup>, de donde se obtuvo el ejecutable RIOS 1.1.16 y la guía de usuario de RIOS. Inmediatamente se activó el ejecutable desde la plataforma del software ArcGis 10.3 en la caja ArcToolbox.

El proceso de la corrida de RIOS pre-proceso se realizó desde ArcMap dirigiéndose a la caja ArcToolbox y activando la ventana RIOS pre-proceso, en donde se realizó la selección de objetivos, el espacio de trabajo en el cual se irán guardando las salidas del proceso, la capa de uso del suelo, el archivo en formato Excel con la tabla de los coeficientes biofísicos, el Modelo de Elevación Digital, la erosividad, erodabilidad, la profundidad del suelo, la precipitación del mes con mayores lluvias, textura del suelo, precipitación anual, evapotranspiración anual, la distancia de la zona riparia y la cuenca.

Una vez introducidas las anteriores capas, se generaron dos carpetas en el espacio de trabajo con el nombre de “Intermediate” y “Output” en las cuales se visualizaron los datos intermedios de la salida del pre-proceso respecto de los objetivos definidos.

#### *Corrida de RIOS Asesor de inversiones en buenas prácticas (Portfolio Adviser)*

La corrida de este portafolio se efectuó desde el ejecutable, llamándolo desde Windows; de este emergió una ventana llamada Selección de objetivos (Select Objectives), en la cual se realiza la selección de los objetivos introducidos anteriormente en el pre-proceso; se realiza la selección del espacio de trabajo, de los coeficientes asociados a las prácticas para enfrentar el riesgo al cambio climático, y finalmente el nombre de la microcuenca.

Seguidamente se hace un traslado a la ventana editar pesos de factores (Edit Factor Weights), en la cual se hallan los objetivos seleccionados anteriormente y para llevarlos a cabo requieren cada uno capas específicas descritas a continuación:

Objetivo 1. Requirió de capas como erosividad, erodabilidad, profundidad, beneficiarios y de las carpetas “Intermediate” y “Output”, producto del preprocesamiento, las capas erosion upslope source tablon, erosion downslope retention index tablon y erosion riparian index tablon.

Objetivo 2. Demandó las capas, precipitación anual, evapotranspiración, textura, profundidad, recarga hídrica, beneficiarios y de la salida del preprocesamiento se seleccionó gwater bflow upslope source tablon, gwater bflow downslope retention index tablon, gwater bflow slope index tablon.

Objetivo 3. En este último se introdujeron las capas, precipitación anual, evapotranspiración, textura, profundidad, beneficiarios y de las carpetas de salida del preprocesamiento, gwater bflow

---

<sup>19</sup> <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/>



downslope retention index tablon, gwater bflow upslope source tablon, gwater bflow slope index tablon.

Consecutivamente, se desplegó la ventana de Pesos de las transiciones hacia los objetivos (Objective – Transition Weights), en la cual se indicaron los pesos de los objetivos y las transiciones entre sí teniendo en cuenta que no todos los objetivos son considerados iguales en la determinación de la transición y no todas estas contribuyen al cumplimiento de los objetivos (Watler 2017). Posteriormente se continuó con la ventana Potencial de transición (Transition Potential), desde la cual se indica la transición que realiza cierta práctica para enfrentar el riesgo al cambio climático, esta se expresó con valores de 0, 0,5 y 1, revelando la no transición, una transición moderada y una transición respectivamente, según los objetivos.

Finalmente, se hace un traslado a la ventana Selección de presupuesto (Select Burget), en esta se realizó la selección del presupuesto tomando en cuenta que el dinero será gastado proporcionalmente en el tiempo de ejecución. El presupuesto flotante, el cual se basa en rentabilidad, fue asignado entre las actividades teniendo en consideración un porcentaje para cada práctica y así enfrentar el riesgo al cambio climático para invertir estratégicamente; además, se realizó el ingreso del costo por cada una especificando el monto de implementación de cada actividad por hectárea, (ver Anexo 3).

Una vez verificado que los datos requeridos fueran introducidos, se corrió esta parte del portafolio, y por ser satisfactorio el proceso, se obtuvo un informe en HTML el cual se visualizó desde la página web mostrando la distribución del presupuesto para cada práctica y enfrentar el riesgo al cambio climático.

*Corrida de RIOS traductor del portafolio de inversiones en buenas prácticas (Portafolio Translator)*

Para ejecutar la corrida del portafolio traductor se llamó el ejecutable desde Windows, de la cual emergió la ventana en donde se encuentra el espacio de trabajo, el cual corresponde a los datos de la corrida del portafolio asesor, el nombre de la microcuena y el número de años en los cuales se espera que ocurra la transición de la práctica en el uso de suelo actual.

En esta misma ventana se encuentra la opción de Protección, con ella se definió el tipo de cobertura o uso del suelo que es posible que desplace a la cobertura natural en caso de no recibir financiamiento. En esta opción se indicó con valores de 0 a 1 la proporción de cobertura vegetal en transición, donde 1 es la mayor proporción, 0,5 es la proporción media y 0 es sin proporción de transición.

Igualmente se encuentra la opción de Restauración, en la cual se visualizaron todos los antiguos usos de suelo “LULC (Land Use, Land Change)”, los tipos de transición y la nueva clase de “LULC” la cual equivale al modelo hacia donde el antiguo uso irá en transición como resultado de la restauración y la selección del tipo de cobertura. En este espacio se agregaron valores de 0 y 1 indicando las proporciones del antiguo LULC que hará en el nuevo LULC, donde 0 significa la no proporción de transición y 1 indica la proporción de transición del antiguo LULC al nuevo LULC.

Finalmente, en la opción de Agricultura, se modificó una de sus columnas, haciendo la selección de la cobertura del suelo New LULC. Esta representa la situación ideal en caso de que la parcela estuviese manejada apropiadamente; además, los valores en la columna transición proporcional (Proportional Transition) de 0 y 1.

Al completar el requerimiento de datos en esta ventana, se realizó la corrida del Portafolio traductor. Asimismo, se abrió la ventana del explorador de Windows la cual mostró la ubicación de la carpeta del espacio de trabajo seleccionado anteriormente.

## **Resultados y discusión**

### *Identificación de prácticas en la microcuenca del río El Tablón*

Se realizó la visita en 7 comunidades de la microcuenca El Tablón, en cooperación total de 45 productores ganaderos con los cuales se identificaron las siguientes prácticas y tecnologías para enfrentar el riesgo ante el cambio climático.

- Práctica: Bancos de pasto de corte, mejor práctica contra el peligro de sequía, riesgos de deslizamientos, inundaciones y vientos fuertes; las barreras de pastos son recomendadas no solo en las zonas propensas a la erosión del suelo; sino porque también proporciona una fuente de abono que puede reducir el impacto a la sequía y retener la humedad del suelo (FAO 2014). Dependiendo de la variedad del pasto ayudan a proteger el suelo de los impactos de las lluvias extremas, inundaciones y la erosión eólica.
- Prácticas y tecnologías: Banco de proteína en cultivos, bancos de proteína, cercos vivos y potreros con árboles, mejores prácticas y tecnología contra el riesgo de deslizamientos y vientos fuertes, Los cultivos en franja o hileras son una buena manera de mezclar los cultivos de alimentos con cultivos forrajeros para el ganado, estos pueden incluir pastos, árboles frutales o árboles fijadores de nitrógeno tales como Gliricidia, Luceana y Calliandra. La importancia de este método está en que los cultivos que crecen en las bandas o filas cuando se siembran bastante juntos, forman una capa que crea una resistencia a la erosión del suelo y el escurrimiento del agua facilitando así la infiltración (FAO 2014). Uno de los objetivos principales del establecimiento de esta práctica, afirman Holguín e Ibrahim en el 2005, es la obtención de follaje de calidad y en grandes proporciones que ayuda en el suplemento animal en la época de baja disponibilidad de pasto, en el mismo contexto Jiménez *et al.* en 2014, comentan que la producción de este sistema en el rancho reduce en gran medida la necesidad de invertir en suplementos como pollinaza y alimento concentrado.

Los cercos forman una barrera contra el escurrimiento, reducen la erosión eólica como cortavientos y cortinas protectoras, pues conforme crecen expanden sus sistemas de raíces estabilizando el suelo (FAO 2014). Además, estos tienen beneficios económicos al disminuir los costos de establecimiento y mantenimiento de cercos muertos (Jiménez *et al* 2014), hablando ecológicamente, las hileras de árboles ayudan a conectar parches de bosque fragmentado conocidos como corredores biológicos; estos sirven como alimento o

nidos de mamíferos y aves migratorias que utilizan estos sistemas para descansar (Villanueva *et al* 2008).

Los potreros con árboles cubren el suelo con sus hojas, generando materia orgánica y una superficie sombreada. Esta aumenta el valor del suelo y la rentabilidad como estructura de conservación, mejora la biodiversidad y contribuye en la creación de microclimas y microbio-sistemas que aportan beneficios al suelo (FAO 2014). Aunque en los esquemas tradicionales el productor muy pocas veces siembra árboles en los potreros, la selección de estos es en respuesta a sus necesidades e intereses, ya que busca algún beneficio con ese árbol: sombra, fuente de frutas o follaje, protección al ganado o posibilidad de obtener madera (Jiménez *et al* 2014).

- Tecnología: Barrera muerta, mejor tecnología contra el riesgo de deslizamientos y el exceso de lluvia, el uso de materiales orgánicos como la madera, el bambú y material vegetal; crea barreras que detienen o ralentizan la lluvia y el escurrimiento del suelo, minimizando así la erosión del suelo y la escorrentía (FAO 2014). Estos materiales se encuentran en los ranchos y por su cercanía son más rentables, y resultan de tal manera un método permanente.
- Tecnología: Bebederos, mejor tecnología contra el riesgo de la sequía y el fuego (FAO 2014). En este contexto Jiménez *et al* (2014), explican que en la época seca, generalmente se dispone a los animales forraje seco y en el proceso digestivo el animal requiere una buena cantidad de agua para aprovechar los nutrientes y reducir el estrés y fatiga por calor.

### *Selección de objetivos*

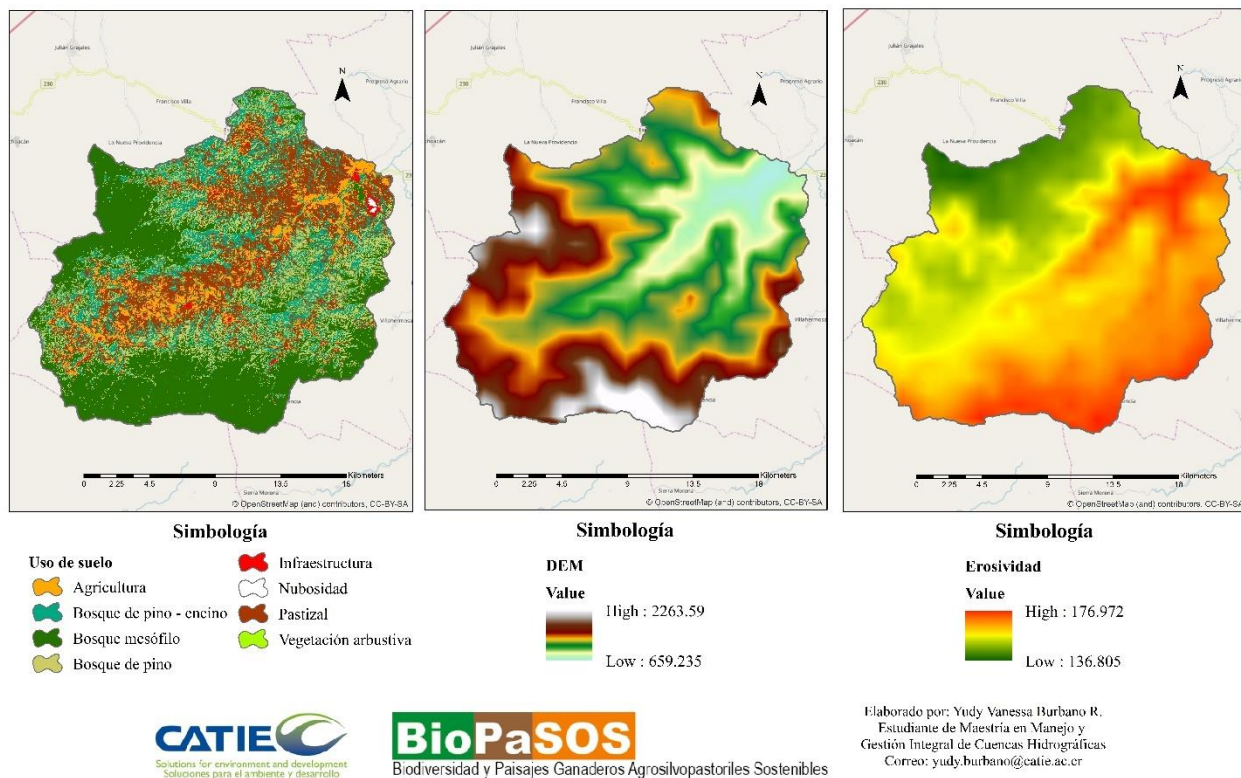
Fueron seleccionados los objetivos para la corrida de los portafolios de RIOS, según la opinión de expertos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE en el tema y con base en la guía de usuario Resource Investment Optimization System, Introduction & Theoretical Documentation (Volg *et al* 2016), de los cuales surgieron los siguientes:

- Control de la erosión: la inversión en este tema ayuda a prevenir la erosión excesiva del suelo, mejorar la calidad del agua en descenso y potencialmente disminuir costos de tratamiento para agua potable, se relaciona con la regulación del lavado de láminas, surcos y quebradas y erosión de bancos.
- Recarga de aguas subterráneas: al invertir en la mejora de la recarga de agua subterránea ayuda a interceptar la lluvia, ralentizar el flujo de agua y aumentar la posibilidad de que el agua se filtre en el suelo y recargue los acuíferos, esta inversión ayuda a mantener los niveles de capa freática lo cual mejora la seguridad del agua y disminuye costos de extracción.
- Flujo base: este objetivo da a conocer el rol que puede desempeñar el capital natural en la captura y el almacenamiento del agua, suministrando la liberación de esta a las corrientes, aumentando el almacenamiento temporal del agua subterránea en suelos, que durante la estación seca aumenta el volumen y la permanencia de flujos bajos.

*Preparación de datos requeridos para el ejecutable RIOS pre-proceso*

Como resultado, se muestran a continuación las capas raster que requiere RIOS para ejecutar el pre-proceso según los objetivos planteados.

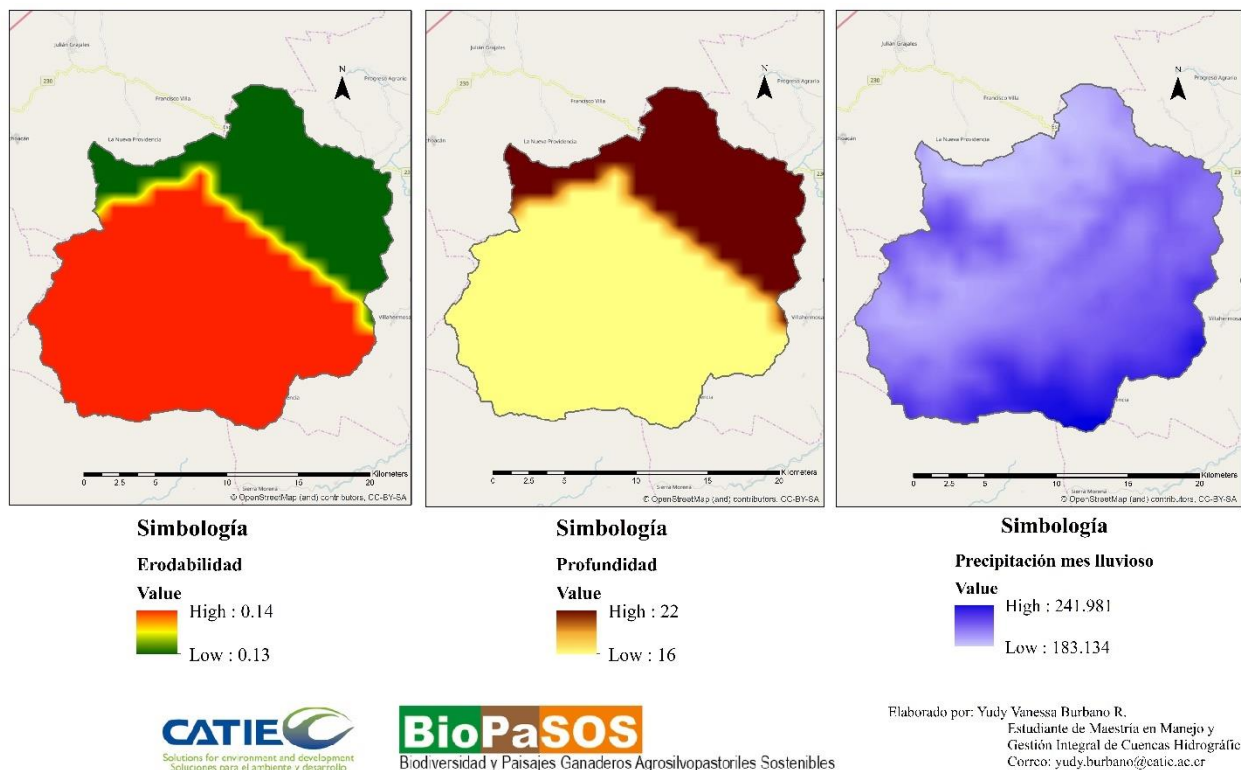
En la figura 10 se diferencia el mapa de uso de suelo, donde se clasificaron 8 tipos de uso entre los que están agricultura, bosque de pino-encino, bosque mesófilo, bosque de pino, infraestructura, nubosidad, pastizal y vegetación arbustiva. El Modelo de Elevación Digital DEM, el cual es una representación visual de los valores de altura respecto del nivel del mar, y se estimaron el valor máximo de la microcuenca en 2263,59 msnm y el punto mínimo en 659,235 msnm. La erosividad es el índice de la erosión pluvial que representa la energía cinética de la lluvia y en la microcuenca se encuentran el máximo valor en 176,972 mm y el mínimo en 136,805 mm, comparados estos valores con las notas de Mancilla en (2008) en el estudio de uso de ecuación de pérdidas de suelo en campo forestal, es considerada una lluvia erosiva a toda precipitación igual o mayor 12,7 mm, con intervalos de lluvia de 6 horas anteriores o posteriores.



**Figura 10. Mapa de uso del suelo 2018, Modelo de Elevación Digital y Erosividad en la microcuenca El Tablón**

Continuando con los datos requeridos para ejecutar el pre-proceso (figura 11), se realizó la capa de erodabilidad la cual determina la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, su valor depende del contenido de materia orgánica, la permeabilidad, estructura y textura del suelo (Birkel 2016). Esta para la microcuenca tomó valores de 0,13 y 0,14 t\*m2\*hr/ha\*J\*cm. La

siguiente capa es la profundidad, esta posee dos profundidades: 16 y 22 cm, las cuales están ligadas al tipo de suelo presente en la microcuenca, como también de los horizontes en los cuales fueron tomados las muestras; en este caso, corresponden al horizonte A. La precipitación mensual equivale al mes con mayor precipitación en la microcuenca que corresponde al mes de setiembre, el cual presentó un rango de entre 183,134 a 241,981 mm/mes de lluvia.

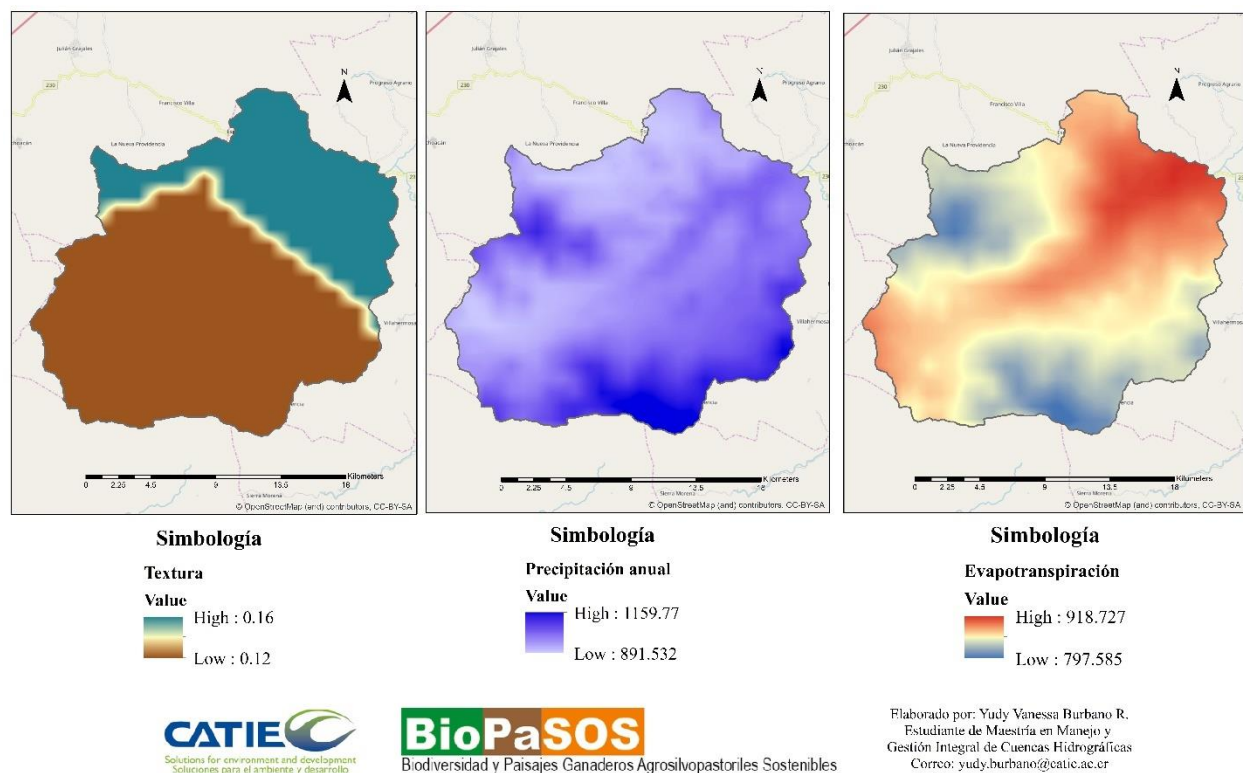


**Figura 11. Erodabilidad, Profundidad y Precipitación mensual de la microcuenca El Tablón**

Finalizando con los datos requeridos para la corrida del pre-proceso, se presentan los resultados de las capas textura, precipitación anual y evapotranspiración (figura 12). La textura indica el contenido de partículas de diferentes tamaños como arena, limo y arcilla presentes en el suelo, como también la facilidad de trabajo, su penetración, cantidad de agua y aire que retiene (FAO 2016, Blanquer *et al* 2010). En este sentido, las texturas presentes en la microcuenca son de 0,12 correspondiente a una textura franco areno arcillosa con presencia de 20% de arcilla, 50% de arena y 30% de limos, y 0,16 para una textura franco arenosa, donde hay una presencia de 4% de arcilla, 68% de arena y 28% de limos.

La precipitación anual de la microcuenca presenta un rango de 891,5 a 1159,7 mm equivalente al valor obtenido a partir de las precipitaciones registradas en los 12 meses del año (figura 12). Finalmente, la evapotranspiración, proceso por el cual cierta cantidad el agua vuelve

a la atmósfera como efecto de la evaporación y la transpiración de las plantas, que presentó un rango de resultados entre 797,5 a 918,7 mm.



**Figura 12. Textura, Precipitación anual, Evapotranspiración microcuenca El Tablón**

*Corrida de RIOS Portafolio Asesor*

Este proceso dio como resultado el reporte del presupuesto total, así como también las áreas dentro de la microcuenca para ejecutar las prácticas (Cuadro 6)<sup>20</sup> (Figura 13), además de los reportes detallados para cada año de ejecución (Cuadros 7 a 11). Es de resaltar que para esta investigación se consideró un lapso de 5 años. Esta elección de tiempo se debió principalmente a los periodos de elección presidencial de México, según el Art. 83 de la Constitución Política Mexicana, correspondiente a cinco años diez meses, dentro de los cuales cada gabinete realiza cambios en los destinos de presupuesto en las diferentes comisiones y secretarías dependiendo de sus reglas de operación, las cuales incluyen componentes dentro de su presupuesto que financie este tipo de prácticas.

En el reporte completo se presenta, dependiendo la actividad, un monto de dinero asignado y a su vez, el área potencial de conversión (figuras 14 a 18).

20

file:///C:/capas\_rios/corrida\_Riosinvestment\_Portafolio\_Adviser/1\_investment\_portfolio\_adviser\_workspace/html\_report\_Tablón/ipa\_report\_Tablón.html

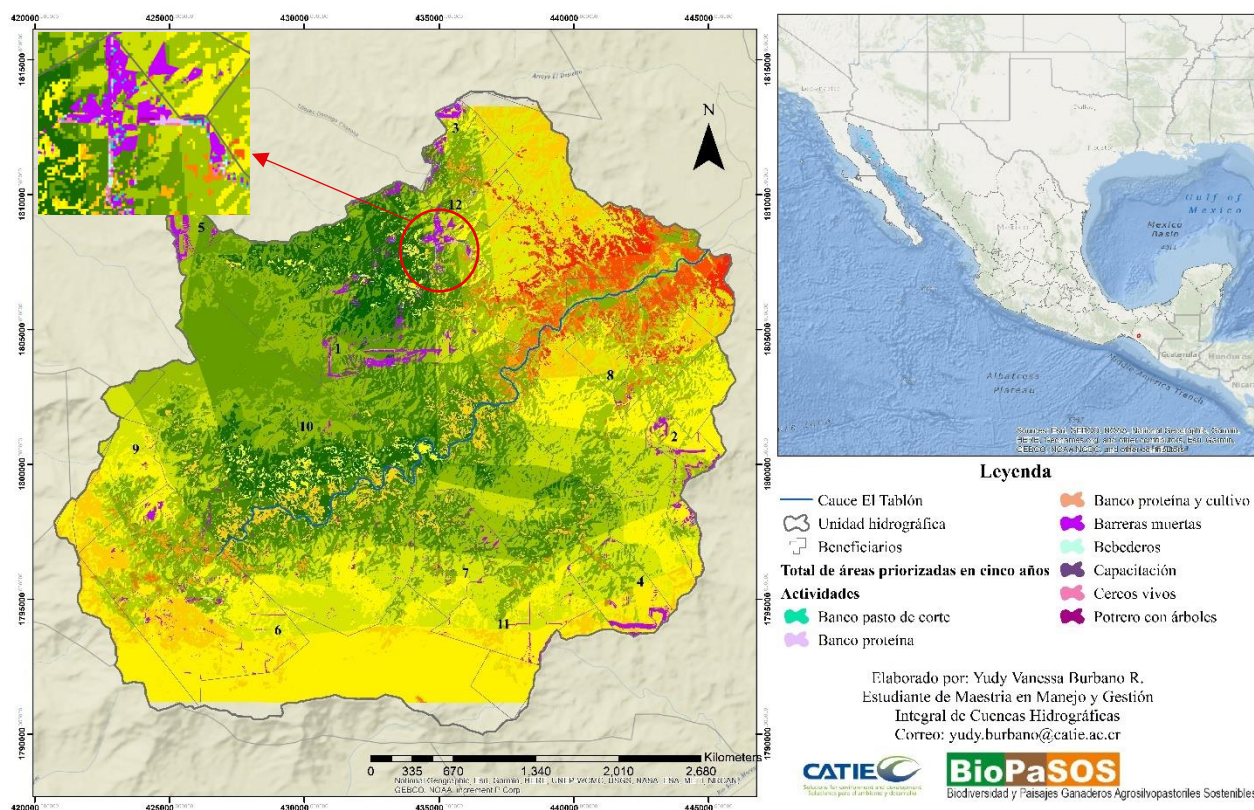
**Cuadro 6. Reporte presupuestal total para cada actividad y área para ser convertida**

<b>Tipo de actividad</b>	<b>Gasto real</b>	<b>Total presupuestado</b>	<b>Área por convertir (Ha)</b>	<b>%</b>
Presupuesto flotante	n/a	110.000,00	n/a	100
Banco pasto corte	176.666,73	178.451,25	24,8	2,6
Banco proteína	41.760,67	42.182,50	24,8	2,6
Banco proteína, cultivo	19.762,87	19.962,50	24,8	2,6
Barreras muertas	120.941,10	3.950,00	765,5	81,5
Bebederos	24.131,25	24.375,00	24,8	2,6
Capacitación	234.630,00	237.000,00	24,8	2,6
Cercos vivos	15.616,01	15.773,75	24,8	2,6
Potrero con árboles	181.645,20	183.480,00	24,8	2,6
<b>Total</b>	<b>815.153,85</b>	<b>815.175,00</b>	<b>938,7</b>	<b>100</b>

El resultado del reporte total (cuadro 6) dispone de ocho prácticas, cada una con una cantidad de dinero que el portafolio ha designado a gastar en cada una de ellas; también el total de dinero originalmente asignado el cual corresponde a los recursos asignados en un comienzo y el presupuesto flotante (floating Budget) sería el recurso económico proveniente de la gestión de proyectos o un organismo donante. De este modo, la corrida del portafolio asesor determina un total de 938,7ha para ser intervenidas con las prácticas identificadas y distribuidas en áreas iguales con un monto de dinero total de 815.175,00 USD el cual fue asignado según el costo por área.

Las áreas por intervenir con prácticas bajo categoría de riesgo concernientes al cambio climático en el horizonte de 5 años, se puede visualizar en la figura 12, estas prácticas se encuentran distribuidas en 12 de las 32 comunidades que abarca la microcuenca, donde la práctica con mayor influencia y área para intervenir son las barreras muertas con 765,5 ha ocupando lo que corresponde a 81,5% de las áreas destinadas a intervención. La elección de inversión en la práctica realizada por el portafolio tiene que ver con el costo de implementación de esta, ya que equivale al menor valor comparado con las demás prácticas.

De la misma manera, se reparte el 18,5% restante equitativamente entre las prácticas banco de pastos de corte, bancos de proteína, bancos de proteína en asocio con cultivos, bebederos, cercos vivos, potreros con árboles y capacitación.



**Figura 13. Áreas priorizadas para realizar actividades de ejecución en un horizonte de cinco años**

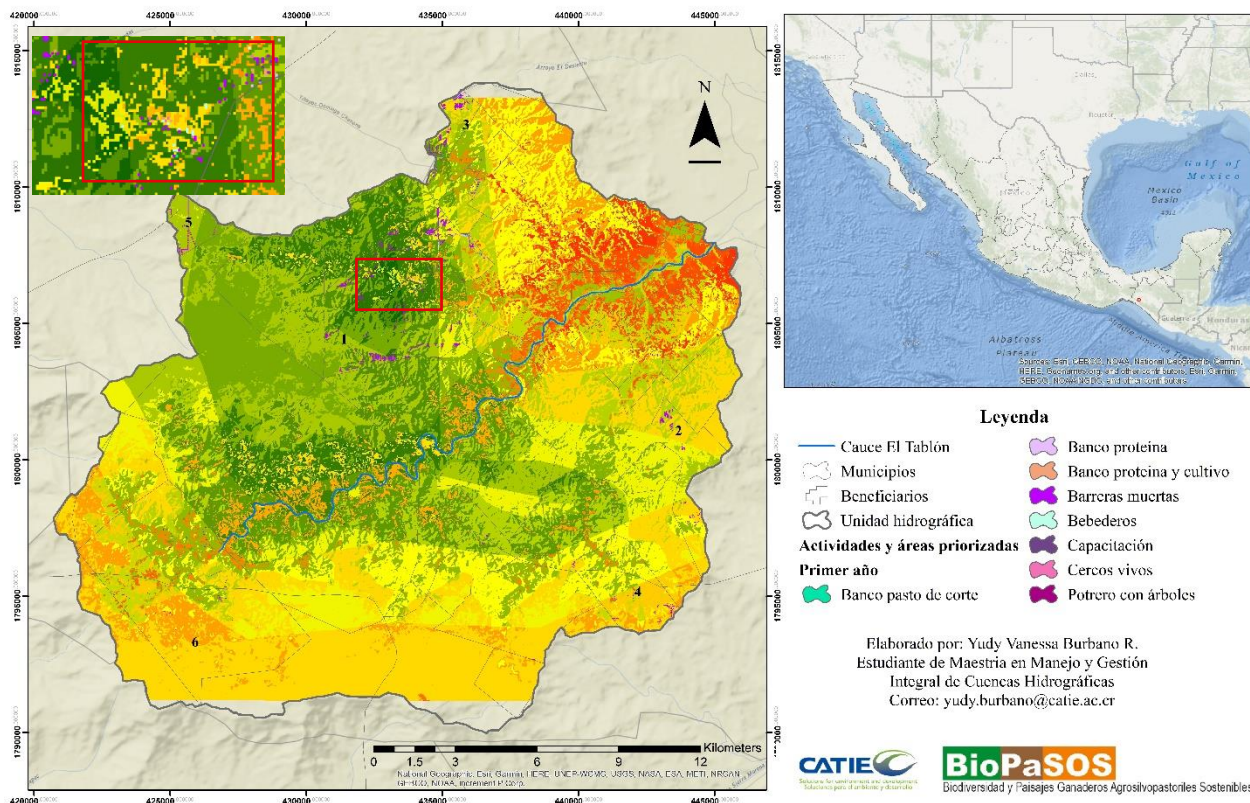
Los reportes de presupuesto anuales (Cuadros 7 a 11) muestran, igual que el reporte total, una cantidad de 8 prácticas para las cuales se hizo una asignación de presupuesto para cada una, de la misma forma, un presupuesto flotante el cual especificó el monto de dinero por gastar en cada una de las actividades basándose en el retorno de la inversión.

**Cuadro 7. Reporte primer año de presupuesto para gastar en actividades asignadas en áreas de potencial conversión**

Tipo de actividad	Gasto real	Total presupuestado	Área convertida (Ha)
Presupuesto flotante	n/a	22.000,00	n/a
Banco pasto corte	35.333,34	35.690,25	5
Banco proteína	8.352,13	8.436,50	5
Banco proteína, cultivo	3.952,57	3.992,50	5
Barreras muertas	24.188,22	790,00	153,1
Bebederos	4.826,25	4.875,00	5
Capacitación	46.926,00	47.400,00	5
Cercos vivos	3.123,20	3.154,75	5
Potrero con árboles	36.329,04	36.696,00	5
<b>Total</b>	<b>163.030,77</b>	<b>163.035,00</b>	<b>187,7</b>



El reporte anual presenta la selección del presupuesto requerido para realizar cada actividad en áreas equitativas en los 5 años determinados, mostrando las zonas para intervenir (figuras 14 a 18), y puede observarse en los cuadros 7 a 11 que la única práctica que adquiere un valor diferente es la correspondiente a las barreras muertas; ante esto, Volg *et al* en (2016) expresa que la asignación de un presupuesto flotante en cantidades menores o sin cantidades específicas en cada actividad puede conducir a la práctica más económica o más rentable, como es el caso de la presente asignación de presupuesto en las barreras muertas, ya que en la identificación de las prácticas surge que su costo es el menor.



**Figura 14. Áreas priorizadas para realizar actividades en el primer año de ejecución**

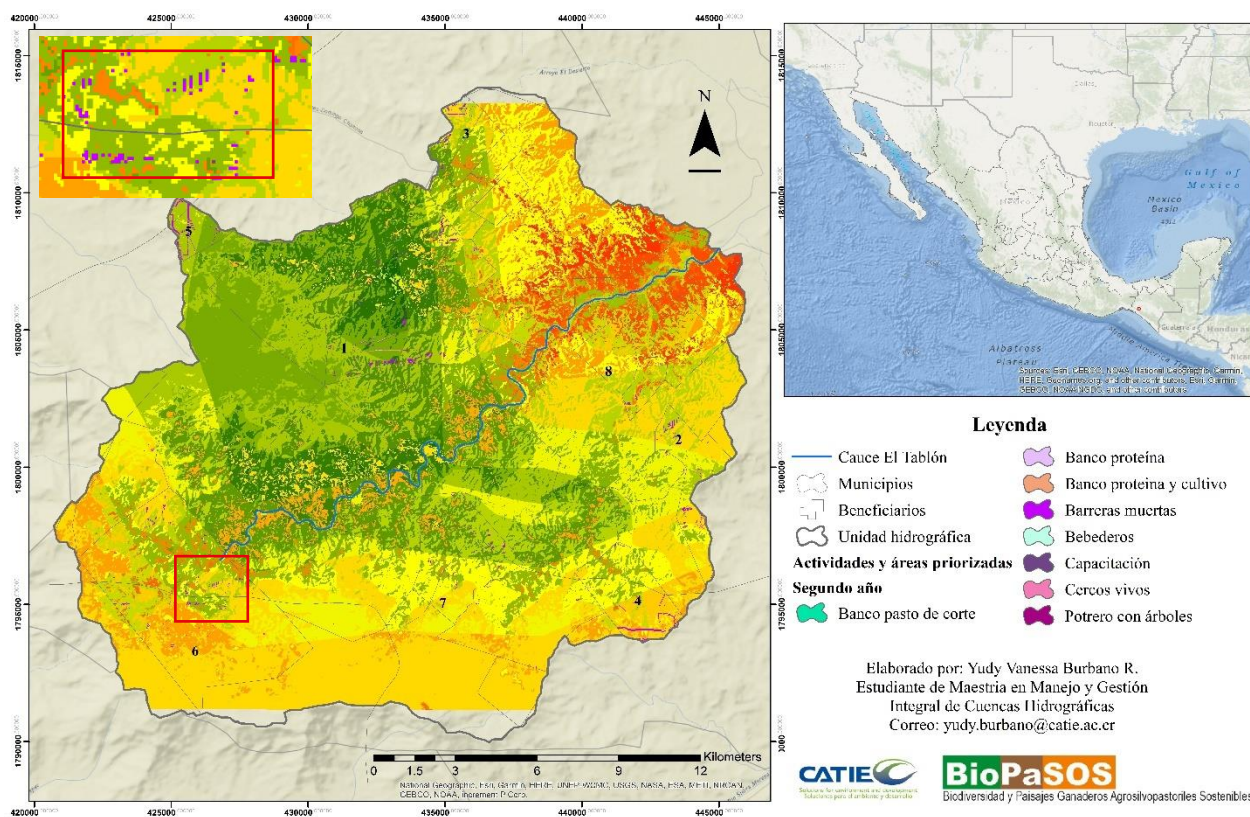
La figura 14 muestra las áreas que fueron priorizadas para el primer año de ejecución por el portafolio para llevar a cabo las actividades, estas se distribuyen en mayor superficie en la comunidad Sombra de la selva (1), seguido por las comunidades Villa Hermosa (2), 18 de Febrero (3), El Paraíso (4), Julián Grajales (5) y en menor área en la comunidad Tierra y Libertad (6).

**Cuadro 8. Reporte segundo año de presupuesto para gastar en actividades asignadas en áreas de potencial conversión**

Tipo de actividad	Gasto real	Total presupuestado	Área convertida (Ha)
Presupuesto flotante	n/a	22.000,00	n/a

Banco pasto corte	35.333,34	35.690,25	5
Banco proteína	8.352,13	8.436,50	5
Banco proteína, cultivo	3.952,57	3.992,50	5
Barreras muertas	24.188,22	790,00	153,1
Bebederos	4.826,25	4.875,00	5
Capacitación	46.926,00	47.400,00	5
Cercos vivos	3.123,20	3.154,75	5
Potrero con árboles	36.329,04	36.696,00	5
<b>Total</b>	<b>163.030,77</b>	<b>163.035,00</b>	<b>187,7</b>

Para el segundo año de ejecución, las áreas priorizadas se observan en la figura 15, para lo cual mantiene un presupuesto igual al primer año de ejecución, ver (cuadro 8), se distinguen además, nuevas áreas para la implementación de las actividades propuestas por el portafolio, y que hace referencia a las comunidades California (7) y Agrónomos mexicanos (8).



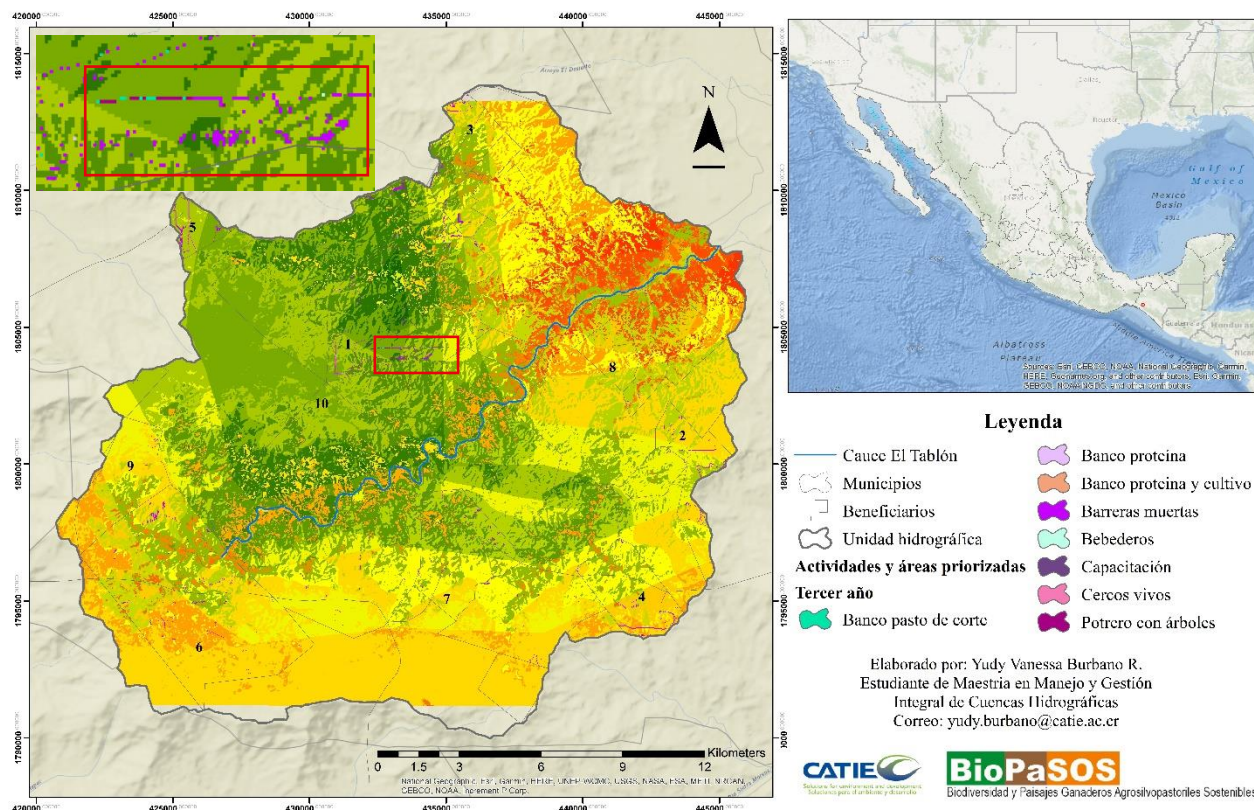
**Figura 15. Áreas priorizadas para realizar actividades en el segundo año de ejecución**

Para el segundo año de ejecución se distingue (figura 15), una mayor proporción de área por intervenir, de tal forma que va incluyendo con el paso de los años y el presupuesto otorgado más comunidades en las cuales se pueden generar transiciones.

**Cuadro 9. Reporte tercer año de presupuesto para gastar en actividades asignadas en áreas de potencial conversión**

Tipo de actividad	Gasto real	Total presupuestado	Área convertida (Ha)
Presupuesto flotante	n/a	22.000,00	n/a
Banco pasto corte	35.333,34	35.690,25	5
Banco proteína	8.352,13	8.436,50	5
Banco proteína, cultivo	3.952,57	3.992,50	5
Barreras muertas	24.188,22	790,00	153,1
Bebederos	4.826,25	4.875,00	5
Capacitación	46.926,00	47.400,00	5
Cercos vivos	3.123,20	3.154,75	5
Potrero con árboles	36.329,04	36.696,00	5
<b>Total</b>	<b>163.030,77</b>	<b>163.035,00</b>	<b>187,7</b>

Al tercer año de ejecución el reporte en cuanto a presupuesto y áreas según actividades propuestas (cuadro 9), es igual a los primeros años reportados.



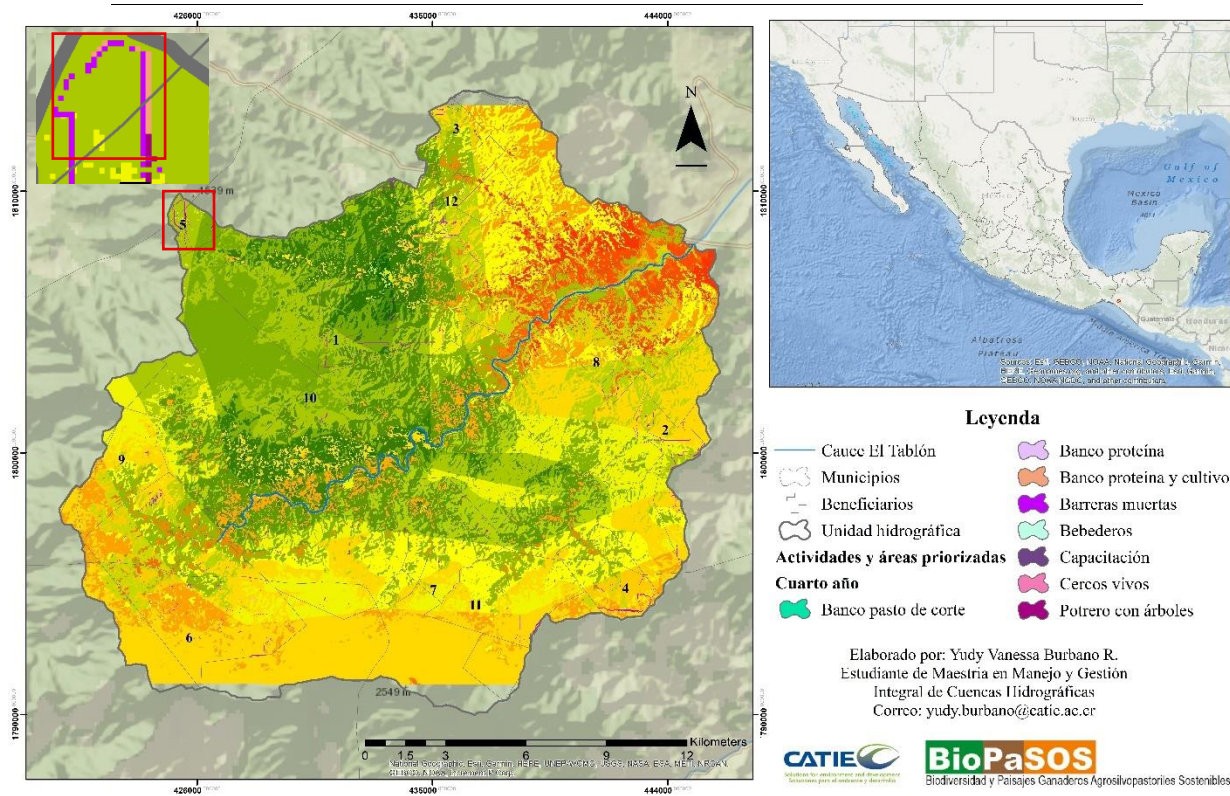
**Figura 16. Áreas priorizadas para realizar actividades en el tercer año de ejecución**

La figura 16 muestra las áreas priorizadas para la realización de las actividades propuestas en el tercer año de ejecución, y se observó que se incluyen intervenciones en las comunidades Viva Chiapas (9) y Los Ángeles.

Continuando con el reporte presupuestal anual (cuadro 10), se observa que, igual que los anteriores años, el presupuesto para cada actividad sigue siendo el mismo, como también el área para ser intervenida.

**Cuadro 10. Reporte cuarto año de presupuesto para gastar en actividades asignadas en áreas de potencial conversión**

Tipo de actividad	Gasto real	Total presupuestado	Área convertida (Ha)
Presupuesto flotante	n/a	22.000,00	n/a
Banco pasto corte	35.333,34	35.690,25	5
Banco proteína	8.352,13	8.436,50	5
Banco proteína, cultivo	3.952,57	3.992,50	5
Barreras muertas	24.188,22	790,00	153,1
Bebederos	4.826,25	4.875,00	5
Capacitación	46.926,00	47.400,00	5
Cercos vivos	3.123,20	3.154,75	5
Potrero con árboles	36.329,04	36.696,00	5
<b>Total</b>	<b>163.030,77</b>	<b>163.035,00</b>	<b>187,7</b>



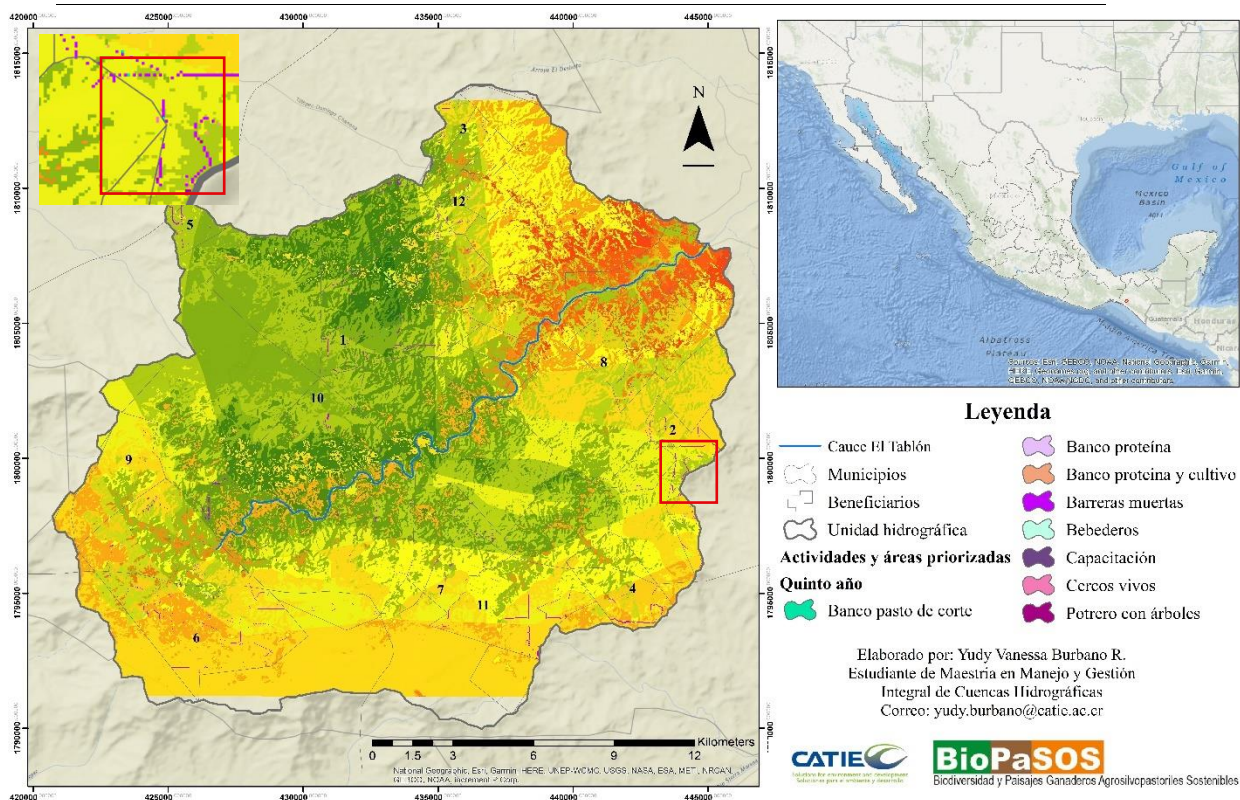
**Figura 17. Áreas priorizadas para realizar actividades en el cuarto año de ejecución**

La figura 17 presenta las áreas priorizadas para la realización de las actividades propuestas en el cuarto año de ejecución, y se observó que se incluyen intervenciones en las comunidades Tres Picos (11) y Champerico (12).

Finalizando con el reporte presupuestal anual para el quinto año, a su vez el último (cuadro 11), se determina que, igual que los anteriores años, el presupuesto para cada actividad sigue siendo el mismo, como también el área para ser intervenida.

**Cuadro 11. Reporte quinto año de presupuesto para gastar en actividades asignadas en áreas de potencial conversión**

Tipo de actividad	Gasto real	Total presupuestado	Área convertida (Ha)
Presupuesto flotante	n/a	22.000,00	n/a
Banco pasto corte	35.333,34	35.690,25	5
Banco proteína	8.352,13	8.436,50	5
Banco proteína, cultivo	3.952,57	3.992,50	5
Barreras muertas	24.188,22	790,00	153,1
Bebederos	4.826,25	4.875,00	5
Capacitación	46.926,00	47.400,00	5
Cercos vivos	3.123,20	3.154,75	5
Potrero con árboles	36.329,04	36.696,00	5
<b>Total</b>	<b>163.030,77</b>	<b>163.035,00</b>	<b>187,7</b>



**Figura 18. Áreas priorizadas para realizar actividades en el quinto año de ejecución**

Finalizando con las áreas priorizadas para el quinto año de ejecución (figura 18), se observó que hay un total de 12 comunidades para intervenir con las 8 prácticas bajo categoría de riesgo, concerniente al cambio climático y las cuales de ser introducidas realizarían una transición de 938,7 ha con un capital de inversión de 815.153,85 USD.

#### *Corrida de RIOS Portafolio Traductor*

Al correr el portafolio Traductor se obtuvo un conjunto de opciones para la generación de escenarios que reflejan la condición en el futuro de la microcuenca en caso de implementarse la cartera de inversión (Cuadro 12, Figura 19). Este consideró la efectividad de las prácticas y el tiempo propuesto para la estimación de beneficios cuantitativos.

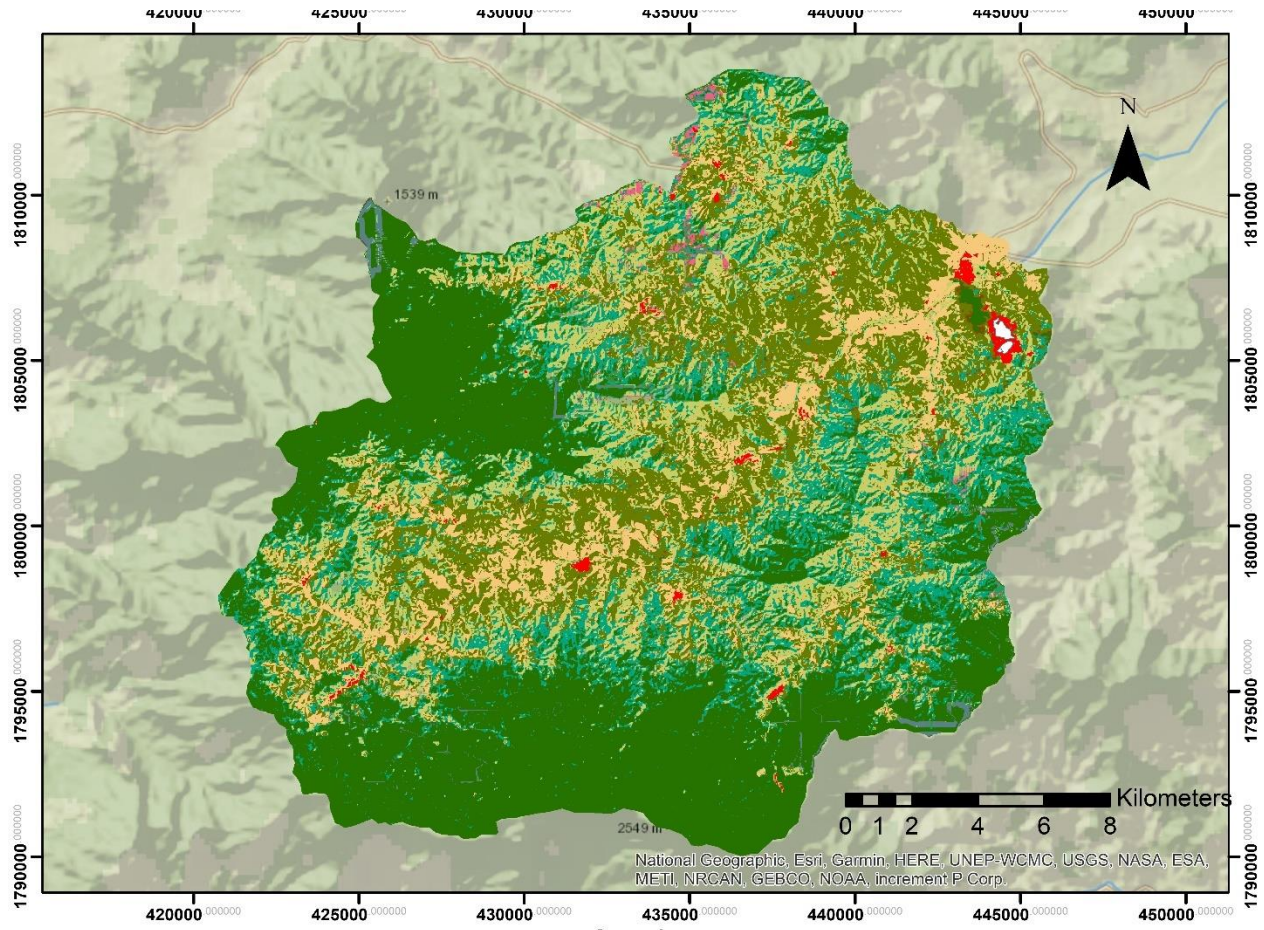
**Cuadro 12. Áreas de las actividades del mapa de transición, agricultura y protección en un horizonte de 5 años**

<b>Actividades</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Agricultura	3.130,15	7,79
Agricultura en barbecho	15,70	0,04
Agricultura en vegetación nativa	4,73	0,01
Agricultura con árboles y pastos	1,35	0,003
Agricultura con cercos vivos, árboles y pastos	0,27	0,001
Agricultura con revegetación asistida a bosque	2,08	0,005
Bosque de pino	7.258,85	18,9
Bosque de pino con barreras muertas y pasto	0,27	0,001
Bosque de pino, manejo de pastos y fertilización	4,08	0,01
Bosque de pino con banco de proteína y manejo de fertilización a bosque mixto	4,82	0,012
Bosque de pino con barreras muertas	240,85	0,60
Bosque de pino, capacitación en manejo de fertilización y vegetación arbustiva	14,13	0,04
Bosque de pino con manejo de pasto en bancos de corte	3,98	0,01
Bosque de pino con manejo de pasto y barreras muertas	130,70	0,33
Bosque de pino, capacitación en manejo de pastos a bosque mixto con pasto	7,63	0,02
Bosque de pino con revegetación asistida y barreras muertas a bosque de coníferas	0,18	0,001
Bosque de pino con revegetación asistida, barreras muertas a bosque	30,51	0,08
Bosque de pino, capacitación y revegetación asistida	1,59	0,004
Bosque mesófilo	13.884,90	34,6
Bosque mesófilo, barreras muertas y bancos de proteína a bosque mixto	0,09	0,00022
Bosque mesófilo, bancos de proteína y cultivo con manejo de fertilización	3,04	0,008
Bosque mesófilo manteniendo la vegetación nativa	274,19	0,68

Bosque mesófilo con manejo de pastos y bancos de proteína y cultivo	14,11	0,035
Bosque mesófilo con manejo de pastos y barreras muertas y arbustos	0,87	0,0021
Bosque mesófilo con cercos vivos, manejo de pastos y arbustos	1,68	0,005
Bosque de pino - encino	6266,73	15,61
Bosque de pino-encino, manteniendo la vegetación nativa	109,16	0,272
Bosque de pino- encino, barreras muertas y manejo de pasturas	0,90	0,0022
Infraestructura	230,75	0,57
Infraestructura manteniendo vegetación nativa	0,54	0,0013
Nubosidad	31,81	0,08
Pastizales	129,70	0,32
Pastizales con árboles, barreras muertas y bebederos	2,48	0,01
Pastizales con bancos de proteína, cultivos y manejo de fertilización	1,08	0,003
Pastizales con pasto de corte, manejo de fertilización y barreras muertas	0,09	0,0002
Pastizales con bancos de proteína manejo de pasturas y arbustos	2,34	0,006
Pastizales con barreras muertas arbustos y manejo de pasturas	0,18	0,00044
Pastizales con cercos vivos y arbustos	0,54	0,0013
Pastizales con revegetación asistida y bebederos	2,80	0,007
Bosque mixto con revegetación asistida nativa	8.306,62	20,69
Mantener la vegetación nativa	23,87	0,06
<b>Total</b>	<b>40.140,39</b>	<b>100</b>

La generación de la información de estas prácticas de conversión en áreas específicas de la microcuenca conducen a dar información acerca del estado actual y proyectar a un futuro, en este caso 5 años de como fuese el área en estudio después de ser intervenida, y se pueden observar en la figura 19 las diferentes transiciones que sufriría respecto del uso actual del suelo en caso de recibir la inyección del capital. Así mismo, en el cuadro 12 se especificó por cada transición el área que sería convertida, además se detalla el porcentaje que ocupa cada transición dentro de la microcuenca.

Entre las transiciones más relevantes se encuentran las siguientes: los bosques templados manteniendo la vegetación nativa con un área de 8.330,49 ha ocupando el 20,75%, café con manejo de barreras cerradas, bosque mixto y agricultura con un 15,88% y área de 6.376,79 ha, pastos en bancos de proteína en cultivo y bosque mixto ocupando 14.176,33 ha equivalente a 35,32% de la cobertura total, y la transición de suelos en degradación manejando barreras muertas a cubierta de pastizales con 18,8% y área de 7.259,13 ha.



**Transición, protección y agricultura en un horizonte de cinco años**

- Agricultura
- Agricultura con cercos vivos, árboles y pastos
- Agricultura con revegetación inasistida a bosque
- Agricultura en barbecho
- Agricultura en vegetación nativa
- Agricultura con arboles y pastos
- Bosque de pino
- Bosque de pino con banco de proteína y manejo de fertilización a bosque mixto
- Bosque de pino con barreras muertas
- Bosque de pino con barreras muertas y pasto
- Bosque de pino con manejo de pasto en bancos de corte
- Bosque de pino con manejo de pasto y barreras muertas
- Bosque de pino con revegetación asistida y barreras muertas a bosque de coníferas
- Bosque de pino con revegetación asistida, barreras muertas a bosque
- Bosque de pino, capacitación en manejo de pastos a bosque mixto con pasto
- Bosque de pino, capacitación en manejo de fertilización y vegetación arbustiva
- Bosque de pino, manejo de pastos y fertilización
- Bosque de pino- encino, barreras muertas y manejo de pasturas
- Bosque de pino-encino
- Bosque de pino-encino, manteniendo la vegetación nativa

**Leyenda**

- Bosque mesófilo
- Bosque mesófilo con cereos vivos, manejo de pastos y arbustos
- Bosque mesófilo con manejo de pastos y bancos de proteína y cultivo
- Bosque mesófilo con manejo de pastos y barreras muertas y arbustos
- Bosque mesófilo manteniendo la vegetación nativa
- Bosque mesófilo, bancos de proteína y cultivo con manejo de fertilización
- Bosque mesófilo, barreras muertas y bancos de proteína a bosque mixto
- Bosque mixto con revegetación asistida nativa
- Bosque de pino, capacitación y revegetación asistida
- Infraestructura
- Infraestructura manteniendo vegetación nativa
- Mantener la vegetación nativa
- Nubosidad
- Pastizales
- Pastizales con bancos de proteína manejo de pasturas y arbustos
- Pastizales con bancos de proteína, cultivos y manejo de fertilización
- Pastizales con barreras muertas arbustos y manejo de pasturas
- Pastizales con cercos vivos y arbustos
- Pastizales con pasto de corte, manejo de fertilización y barreras muertas
- Pastizales con revegetación asistida y bebederos
- Pastizales con árboles, barreras muertas y bebederos



Elaborado por: Yudy Vanessa Burbano R.  
 Estudiante de Maestría en Manejo y  
 Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas  
 Correo: yudy.burbano@catie.ac.cr

**Figura 19. Mapa de transición, agricultura y protección en un horizonte de cinco años**



Al realizar esta clase de estimación de beneficios cuantitativos mediante identificación de prácticas bajo categoría de riesgo concernientes al cambio climático, se lleva a cabo la búsqueda de presupuesto para invertir en la microcuenca, y el propósito es obtener el acceso a las convocatorias propuestas por las diferentes comisiones en cabeza del Gobierno federal y estatal y la distribución presupuestal dependiendo de cada entidad reguladora y programas por apoyar. Con base en esto, se realizó la revisión de las reglas de operación y sus componentes para la ejecución de apoyos en el estado de Chiapas.

#### Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER)

- Programa de Fomento Ganadero 2019 en coordinación General de Ganadería: Su objetivo, contribuir a aumentar la productividad de las unidades económicas pecuarias mediante la inversión en el sector pecuario, dentro del componente IV Sustentabilidad pecuaria, parágrafo b) mantenimiento y reconversión de praderas y agostaderos. Las instancias ejecutoras son las representaciones de la secretaría en el Estado, Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura (FIRA), Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero (FND) y el Instituto Nacional para el Desarrollo de Capacidades del Sector Rural (INCA RURAL). El monto máximo por hectárea a persona natural será hasta de 3.000 PMX – 152,3 USD con un área máxima de 200 hectáreas, en concepto de paquetes tecnológicos en praderas y agostaderos.
- Programa Crédito Ganadero en coordinación General de Ganadería: Su objetivo es incrementar la productividad del pequeño productor pecuario en carne y leche, mediante la entrega de apoyos en especie para alcanzar la soberanía alimentaria dentro del componente Equipamiento y obras de infraestructura pecuaria. Apoyo y concepto equipamiento y obras de infraestructura para el almacenamiento, captación y conducción de agua, bebederos comederos, sombreaderos, prensa ganadera y báscula; además, cercado con postería de larga vida útil. El monto para persona física en función de la infraestructura disponible es de 100.000 PMX – 5.076,14 USD. Dentro del componente Complementos alimenticios, en apoyo y concepto de Rehabilitación de praderas y producción de forrajes, con insumos como semillas fertilizantes, herbicidas contenidos en paquetes tecnológicos. El monto para persona física en función de la infraestructura disponible es de 100.000 PMX – 5.076,14 USD.

#### Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

- Desarrollo Forestal Sustentable 2019: Su objetivo es contribuir a que la superficie forestal, preferentemente forestal y temporalmente forestal, es protegida, conservada, restaurada e incorporada al manejo forestal sustentable, competitivo y participativo.

Dentro de los componentes de apoyo: III. Restauración Forestal y Reconversión Productiva (RF), el cual apoya acciones y proyectos integrales de reforestación, restauración forestal y reconversión productiva a efecto de recuperar la capacidad y el potencial natural de los ecosistemas forestales y de la cobertura forestal bajo condiciones de degradación, además de la recuperación gradual de la capacidad de provisión de bienes y servicios ambientales.

Las personas elegibles son poseedoras de terrenos forestales cuyos terrenos presenten procesos de deterioro por la degradación de suelos, pérdida de vegetación forestal o áreas perturbadas por incendios.

El monto máximo por reforestación y restauración por hectárea es de 5.000 PMX – 253,81 USD y por manejo de acahuales por hectárea es de 11.700 PMX – 593,91 USD.

V. Servicios ambientales (SA), con el objeto de incorporar prácticas de buen manejo para promover la conservación y manejo sustentable de los ecosistemas y fomentar la provisión en el largo plazo en los servicios ambientales, tales como la captación de agua, mantenimiento de la biodiversidad, la captura y conservación del carbono, los cuales benefician a centros de población.

Las personas elegibles son propietarios cuyos predios mantienen una cobertura forestal en buen estado de conservación, incluyendo a los que tienen manejo y aprovechamiento forestal autorizado por la SEMARNAT.

El monto depende de las áreas registradas, Área 1: 1100 PMX – 55 USD/ha año, Área 2: 700 PMX – 35,33 USD/ha año, Área 3<sup>a</sup>: 382 PMX – 19,4 USD/ha año, Área 3<sup>b</sup>: 280 PMX – 14,21 USD/ha año.

#### Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas reconoce la importancia de los servicios ambientales que prestan a la sociedad las Áreas Naturales Protegidas y sus zonas de influencia. De esta forma, el Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCOCODES) constituye el instrumento de políticas públicas que promueve la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad.

Tipo de apoyo:

I. Estudios técnicos que consisten en la elaboración de análisis que constituyan herramientas de planeación, programación y evaluación en torno a estrategias y líneas de acción para el desarrollo sostenible de las localidades ubicadas en las Áreas Naturales Protegidas y sus zonas de influencia.

II. Proyectos, realización de actividades para la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad, restauración ecológica o para el establecimiento, construcción y/o conservación de la infraestructura ambiental y productiva.

III. Cursos de capacitación, apoyos que tendrán la finalidad de realizar cursos y/o talleres de capacitación sobre las líneas de acción para la conservación y desarrollo sostenible en gestión, aplicación de nuevas tecnologías y educación ambiental.

IV. Brigadas de contingencia ambiental, apoyos destinados a la prevención, mitigación y restauración de las situaciones de riesgo derivadas de la presencia de incendios forestales, sismos, actividades humanas o fenómenos naturales que ponen en peligro la integridad de los ecosistemas.

Los montos se otorgan a cada persona beneficiaria hasta por 1.200.000 PMX – 60.913,71 USD independientemente del número de conceptos que apoyen. Los proyectos deben estar relacionados con:

- I. La conservación y restauración de ecosistemas, a) cultivos de cobertura, b) establecimiento de barreras vivas y/o rompe vientos, d) conservación y restauración de suelos, f) reforestación, g) enriquecimiento de acahuales, l) construcción de obras para el manejo y captación de agua.
- II. Productivos, c) establecimiento y mantenimiento de plantaciones agroforestales, d) establecimiento de viveros forestales, f) talleres para la transformación de recursos naturales, p) pago por conservación de la agrobiodiversidad.

Los montos por conceptos de proyectos se presentan a continuación:

**Cuadro 13. Montos por concepto de proyectos SEMARNAT - CONANP**

<b>Concepto</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Apoyo máximo Federal por unidad de medida (PMX)</b>	<b>Valor (USD)</b>
<b>Proyectos de conservación y restauración de ecosistemas</b>			
Cultivos de cobertura	Ha	3.799	192,8
Establecimiento de barreras viva y/o rompe vientos	Km	2.994	152
Conservación y restauración de suelos (represas de piedra acomodada)	Ha	6.959	353,25
Reforestación	Ha	3.200	162,44
Enriquecimiento de acahuales	Ha	1.303	66,14
Construcción de obras para el manejo y captación de agua	m <sup>3</sup>	4.200	213,2
<b>Proyectos productivos</b>			
Establecimiento y mantenimiento de plantaciones agroforestales	Ha	3.809	193,35
Establecimiento de viveros forestales	m <sup>2</sup>	600	30,46
Talleres para la transformación de recursos naturales	m <sup>2</sup> /lote	4.400/ 18.000	223,35/ 913,71
Pago por conservación de la agrobiodiversidad	Ha	3.000	152,3

La revisión de los apoyos económicos propuestos en los componentes, dentro de las reglas de operación, tiene como finalidad que los habitantes de las comunidades en las cuales se identificó la priorización de áreas para realizar prácticas bajo categoría de riesgo concerniente al cambio climático, lleven a cabo la gestión de los proyectos y recursos económicos de líneas específicas, teniendo en cuenta actividades que ya están implementadas y proveen beneficios para la naturaleza y las personas.

La priorización de áreas en la microcuenca El Tablón debería ser tomada en cuenta por las entidades que trabajan en la zona, organizaciones no gubernamentales (ONG'S), comisiones estatales y proyectos en ejecución o por ejecutarse, pues convendría que los destinos de los recursos fuesen dispuestos para suplir requerimientos puntuales, además de realizar una distribución equitativa de recursos en las comunidades con el propósito de una mejora en toda la zona.

### **Conclusiones**

Llevar a cabo el proceso de identificación de prácticas para hacer frente al cambio climático permitió realizar una verificación y evaluación del estado de árboles y forrajes donados a los propietarios de los ranchos ganaderos por parte de la CONANP. En esta se recopiló información de 4 prácticas y 3 tecnologías ejecutadas en las 7 comunidades visitadas.

Por medio de la ejecución del modelo Resource Investment Optimization System RIOS se identificaron 12 comunidades que requieren intervención, en las cuales se pueden implementar prácticas y tecnologías ya evaluadas en la zona y que se llevan a cabo con un bajo costo.

El modelo Resource Investment Optimization System RIOS se convierte en una herramienta útil para la planificación en las comunidades de la microcuenca, además de la distribución eficiente de recursos, ya que al priorizar áreas se destina de una manera perspicaz el capital económico y laboral.

El tener un monto estimado para llevar a cabo prácticas en áreas específicas conlleva a que líderes dentro de las comunidades, entidades federales, estatales y privadas, direccionen proyectos que pueden materializarse y generar cambios positivos para la conservación de la biodiversidad.

### **Recomendaciones**

Validar en campo las áreas priorizadas al correr los portafolios de RIOS, por parte de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de la Reserva la Biosfera la Sepultura (CONANP – REBISE), con el fin de conocer si la ubicación de estas áreas es apta para llevar a cabo el desarrollo de las prácticas y generar la transición esperada.

Implementar una zona piloto en al menos una de las áreas priorizadas en el nivel de finca ganadera, tomando como base los insumos generados en la investigación.

Realizar un sistema de monitoreo y evaluación de las áreas intervenidas con prácticas en la microcuenca para determinar la importancia sobre las intervenciones que se están llevando a cabo y conocer si se están generando los resultados esperados.

### **Literatura citada**

- Allen RG, Pereira LS, Raes D & Smith M, 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. (en línea). Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy. Consultado 25 jul 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- Alonzo, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. Revista Cubana de Ciencia agrícola. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. 2(45):107-115.
- Arellano L; García C; García M; Muñoz G; Ruiz E; Villanueva G. 2002. Diagnóstico Regional de la Cuenca del río El Tablón en la Reserva de la Biosfera de La Sepultura. Chiapas, México, Universidad Autónoma Chapingo.
- Baltazar EB; Naranjo EJ; Vandame R. 2012. La otra innovación para el ambiente y la sociedad en la frontera sur de México. Red de Espacios de Innovación Socioambiental: s.p.
- Balvanera, P., F. Castellarini, C. Pacheco, U. Carrillo, 2008. Recarga media total de acuíferos', escala: 1:1000000. Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco), Universidad Nacional Autónoma de México Campus Morelia. Proyecto: FQ003, Extraído del proyecto FQ003: Servicios Ecosistémicos de México: patrones, tendencias y prioridades de investigación. Financiado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) México, DF. Michoacán, México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Benegas, L. y J. León. 2009. Criterios para priorizar áreas de intervención en cuencas hidrográficas: La experiencia del programa Focuenas II. Serie Técnica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico No. 378. 52 p.
- Birkel, C. 2016. Caracterización del comportamiento hidrológico actual, bajo escenarios de cambio de cobertura y escenarios futuros de clima de la región hidrológica de Aquin/Saint-Louis Du Sud, Haití: proyecto WATERCLIMA LAC. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 54p.
- Boff, L. 1999. Teología de la liberación enjuicia la globalización. Punto Final. No.450
- Blanquer, G. J. M., Ibáñez, A. S., Moreno, R. H. 2010. La textura de un suelo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Producción Vegetal. Universidad Politécnica de Valencia. 9 p.
- Blumentrath, S. 2011. Site prioritization models and their suitability for assessing and designing policy mixes for biodiversity conservation and ecosystem services provision: A comparison of software packages. Technical briefs, Issue No. 4. <http://policymix.nina.no/Publications/>
- Castaño C., 2003. Planificación y Ordenamiento Territorial: Algunos Modelos e Instrumentos para la Gestión Integrada de las Cuencas. III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Arequipa, Perú.

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2010. Regionalización – Áreas protegidas Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp\\_086.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_086.html)
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Art. 83. México. 5 feb. 1917. (Modificado en 2014).
- Chávez, G. H., González, G. M. de J., Hernández, de la R. P. 2014. Metodologías para identificar áreas para conservación de ecosistemas naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6(27):8-23.
- Dijkshoorn JA, Huting JRM and Tempel P. 2005. Update of the 1:5 million Soil and Terrain Database for Latin America and the Caribbean (SOTERLAC; version 2.0). Report 2005/01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen.
- Enríquez E. 2018. Evaluación integral del estado ecológico de los ecosistemas fluviales en la zona intertropical americana. Tesis de Maestría en Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas, CATIE. Turrialba. Costa Rica. 151 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2014. Climate-Smart Land Husbandry in Jamaica: A Manual for Extension. (en línea). Alberto Bigi y María Protz, Jamaica, Desarrollo Agrícola Rural (RADA). 270 p. Consultado 4 sep. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-br873e.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). 2006. Base referencial mundial del recurso suelo, Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. (en línea). Roma 128 p. Consultado 21 jun 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a0510s/a0510s00.pdf>
- García L; González M. 2017. Investigación ecológica participativa como apoyo de procesos de manejo y restauración forestal, agroforestal y silvopastoril en territorios campesinos. Experiencias recientes y retos en la sierra Madre de Chiapas, México. (en línea). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88:129-140. Consultado 24 ago. 2018. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.10.022>
- Geneletti, D., F. Orsi, E. Lanni y A. C. Newton. 2011. Identificación de áreas prioritarias para la restauración de bosques secos. *In*: Newton, A. C. y Tejedor, N. (eds.). Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: Estudios de caso en las zonas secas de América Latina. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y Madrid, España: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas. Gland, Suiza. pp. 289-326.
- Hargreaves GH & Allen RG 2003. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. *J. Irrig. Drain. Eng.* 129 (1): 53-63.
- Hernández A. 1995. “Propuesta para establecer el área natural protegida (Reserva de la Biosfera) La Sepultura, en la porción oeste de la Sierra Madre de Chiapas, México”. Tesis de licenciatura en biología. México: Facultad de Biología Universidad Veracruzana, Xalapa.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG & Jarvis A, 2004. The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces, version 1.3. Consultado 27 jul 2019. Disponible en: <http://biogeo.berkeley.edu/>.

- Holguín, VA; Ibrahim, M. 2005. Bancos forrajeros de especies leñosas. Turrialba, Costa Rica, CATIE, CIPAV, INTLAPAN.
- Jaramillo, P. Smith, R. A. Vélez, I. 2004. Metodología de análisis multiobjetivo supervisado para la priorización de zonas de intervención y proyectos en cuencas hidrográficas. XXI Congreso Latinoamericano de hidráulica Sao Pedro, Brasil. 10 p.
- Jiménez, T. JA; Sepúlveda, L. C; Aguiar, V. JL; Velasco, R. R. 2014. Sistemas silvopastoriles y buenas prácticas para la ganadería sostenible. Manual técnico CATIE. 32 p.
- Jiménez, T. JA; Sepúlveda, L. C; Aguiar, V. JL; Velasco, R. R. 2014. Opciones de alimentación y nutrición para la ganadería sostenible. Manual técnico CATIE. 40 p.
- Mancilla, E. G. A. 2008. Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de silvicultura. p. 64.
- Margules, C. y S. Sarkar. 2009. Planeación sistemática de la conservación. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., México. 304 p.
- Razola, I., J. M. Rey B., E. de la Montaña y L. Cayuela L. 2006. Selección de áreas relevantes para la conservación de la biodiversidad. Ecosistemas 15 (2):34-41.
- Pacha, M. J. 2014. Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía. Brasíla, Iniciativa Amazonia Viva, 92p.
- Renard, K.G., and J.R. Freimund. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-Factor in the Revised Usle. Journal of Hydrology 157(1-4):287-306.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2006. Métodos para identificar áreas prioritarias de conservación de la biodiversidad para el ordenamiento ecológico. In: SEMARNAT. Manual del proceso de ordenamiento ecológico. México, D. F., México. pp. 223-254. +Anexo 6.
- Segura, C., G. Sun, S. McNulty, and Y. Zhang (2014) Potential impacts of climate change on soil erosion vulnerability across the conterminous United States. (en línea). Journal of Soil and Water Conservation, 69(2): 171-181. Consultado el 17 de sep. 2018. Disponible en [https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2014/ja\\_2014\\_segura\\_001.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2014/ja_2014_segura_001.pdf)
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Casasola, F. 2008. Valor económico y ecológico de las cercas vivas en fincas y paisajes ganaderos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. (Serie técnica. Informe técnico no 372). 36 p.
- Volg, A; Tallis, H; Douglas, J; Sharp, R; Veiga, F; Benitez, S; León, J; Game, E; Petry, P; Guimaraes, J; Lozano, J. 2016. Resource Investment Optimization System. Introduction & Theoretical Documentation. Stanford University. The Natural Capital Project. 103p. Consultado 15 sep del 2018. Disponible en: [http://data.naturalcapitalproject.org/rios\\_releases/RIOSGuide\\_Combined\\_May2016\\_Espanol.pdf](http://data.naturalcapitalproject.org/rios_releases/RIOSGuide_Combined_May2016_Espanol.pdf)

- Watler, W. 2017. Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos (RIOS), El paso a paso de la Corrida del Software RIOS, Zona Piloto B: Unidad hidrográfica Aquin St. Louis du Sud, Departamento el Sur de Haití. (Guía de clase). 56 p.
- Wischmeier, W.H.; C. B.Johnson, & B.V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*. 71:189-191.
- Yaguache, R., Cobo, E. y Yaguache L. 2018. ¿Cómo priorizar acciones de protección de servicios ecosistémicos hidrológicos en una cuenca? El caso de la cuenca transfronteriza Catamayo-Chira. UICN, Quito, Ecuador. 63 p. Disponible en: [www.uicn.org/sur](http://www.uicn.org/sur)



## 8. Anexos

### Anexo 1

Punto ID: \_\_\_\_\_ Datos colectados por: \_\_\_\_\_

Fecha: día \_\_\_ mes \_\_\_ año \_\_\_

Nombre finca: \_\_\_\_\_ Nombre propietario: \_\_\_\_\_

Coordenadas: X \_\_\_\_\_ Y \_\_\_\_\_

Área total en: \_\_\_ ha

Distancia estimada a ríos \_\_\_ mts

Distancia estimada a asentamientos humanos: \_\_\_ mts

Descripción de USO DEL SUELO Y COBERTURA (Ver apéndice 1 para los códigos)

Vegetación/ tipo	Uso/ cobertura antrópica	Topografía	% Cobertura de copa	Altura de copa	Cobertura dominante	Tipo de sotobosque

Evidencia de tala: S / N

Describe: \_\_\_\_\_

Evidencia de fuego: S/ N

Describe: \_\_\_\_\_

Evidencia de pastoreo S/ N

Describe: \_\_\_\_\_

Descripción

Fotos

ID foto

Apéndice 1. Códigos para USO/COBERTURA DEL SUELO

<b><u>1. Vegetación</u></b>	<b><u>CÓDIGO</u></b>
Bosque latifoliado	1
Bosque coníferas	2
Bosque mixto	3
Matorral	4

<b><u>2. Uso y cobertura antrópica</u></b>	<b><u>CÓDIGO</u></b>
Cultivos arbolados	1
Cultivación con herbáceas	2
Cultivos mixtos	3
Cultivos con vegetación natural	4
Plantación forestal	5
Minería	6
Extracción de madera	7
Camino	8
Sendero	9
Puente	10
Urbano	10
Suelo desnudo	12
Otro	13

<b><u>3. Topografía</u></b>	<b><u>CÓDIGO</u></b>
Plana	1
Pronunciada/ Valle	2
Fondo de valle	3
Cresta de montaña	4


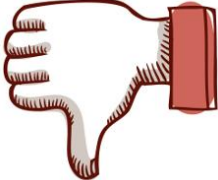

<b><u>4. Cobertura de copa</u></b>	<b><u>CODIGO</u></b>
Sin árboles	0
Muy abierto (1-29%)	1
Abierto (30-65%)	2
Cerrado (>65%)	3

<b><u>5. Altura del dosel</u></b>	<b><u>O</u></b>	<b><u>CÓDIG</u></b>
Sin dosel	0	
Bajo <5m	1	
Medio <5-25m	2	
Alto >25m	3	

<b><u>6. Dominancia de copa</u></b>	<b><u>O</u></b>	<b><u>CODIG</u></b>
Mixto	1	
Monoespecífico	2	
Indefinido	3	
Ninguno	4	

<b><u>7. Tipo de sotobosque</u></b>	<b><u>CODIGO</u></b>
Plantas leñosas	1
Palmas	2
Gramíneas no leñosas	3
Helechos no leñosos	4
Arbustos no leñosos	5
Lianas	6
Otros	7

## Anexo 2

<b>Práctica</b>	
<b>Cuesta abajo</b>	
<b>Suelo</b>	
<b>Zonas agroecológicas</b>	
<b>Cultivos</b>	
<b>Ventajas</b> 	
<b>Desventajas</b> 	
<b>Costo</b> 	
<b>Recomendaciones</b>	
<b>Fuentes de información</b>	
<b>Aporte a la resiliencia</b>	

### Anexo 3

#### Práctica: Bancos de pasto de corte

Actividad	Insumos	Costo insumo (PMX)	Mano de obra	Costo mano de obra (PMX)	Duración (días)
extracción semilla (1 ton)	semilla (varas)	127.300	2	300	1
transporte	flete	800			
limpieza	faena (glifosato) 4lts	540	2	260	1
preparación de terreno	yunta de bueyes (alquiler)	500	1	100	1
siembra			6	2400	4
fertilización	urea	584			
riego			24	2400	48
manguera	4 rollos de manguera x 100 mts 1"	4.332			5 años
surtidor	1 aspersor de 1"	109			5 años
mantenimiento	fertilizante (urea)	2.336	1	800	8
<b>Costo (PMX)</b>		136.501		6.260	
<b>Costo total (PMX)</b>		142.761			
<b>Costo total (USD)</b>		7.138.05			

Tipo de cambio \$20,0 PMX por USD

#### Práctica: Banco de proteína en cultivos

Actividad	Insumos	Costo insumo (PMX)	Mano de obra	Costo mano de obra (PMX)	Duración (días)
compra de árboles	árboles	6.000			
compra de semillas de maíz	1 bulto de maíz	2.200			
compra de semillas de calabaza	1 kilo de semilla de calabaza	574			
limpieza	faena 2 lts	260	1	100	1
preparación del terreno (mano de obra)			1	200	1
alquiler tractor	máquina	1.000			
gasolina	flete	1.000			1
siembra de cultivo			1	1.000	10
ahoyado			1	200	2
siembra de árboles			1	500	5
fertilización	3 bultos de úrea	1.752	2	200	1
mantenimiento (fertilización)	1 bulto de sulfato de amonio 25 k y 1 bulto de úrea	784	2	200	1
<b>Costo (PMX)</b>		13.570		2.400	
<b>Costo total (PMX)</b>		15.970			

---

**Costo total (USD)** 798.5

---

Tipo de cambio \$20,0 PMX por USD

**Práctica: Bancos de proteína**

Actividad	Insumos	Costo insumo (PMX)	Mano de obra	Costo mano de obra (PMX)	Duración (días)
transporte de árboles	flete	500			1
compra de árboles	árboles	14.480			
limpieza	faena (glifosato) 1 lt	130	1	150	1
ahoyado			9	1.350	1
siembra de árboles			9	1.350	1
fertilización	fertilizante (urea)	584	1	150	1
plateo de árboles (limpieza)			1	1.500	10
mantenimiento (fertilización)	fertilizante (urea)	1.168	1	600	4
llenado de bolsas			4	1.200	2
bolsas	400 bolsas de vivero	443			
siembra de semilla en bolsa			2	300	1
riego			1	5.400	36
manguera	4 rollos de manguera x 100 mts 1"	4.332			5 años
surtidor	1 aspersor de 1"	109			5 años
<b>Costo (PMX)</b>		21.746		12.000	
<b>Costo total (PMX)</b>		33.746			
<b>Costo total (USD)</b>		1.687,3			

Tipo de cambio \$20,0 PMX por USD

**Práctica: Cercos vivos 400 mts en 1 ha**

Actividad	Insumos	Costo insumo (PMX)	Mano de obra	Costo mano de obra (PMX)	Duración (días)
poda de árboles	800 estacas de árbol	2 400	2	600	2
llenado de bolsas			2	900	3
bolsas	800 bolsas de vivero	886			
siembra de semilla en bolsa			2	900	3
riego			1	3.600	24
manguera	1 rollo x 100 de 1"	1.083			

limpieza a mano		2	600	2
ahoyado		2	600	2
siembra en terreno		1	450	3
mantenimiento (plateo)		1	600	4
	<b>Costo (PMX)</b>	4.369	8.250	
<b>Costo total (PMX)</b>		12.619		
<b>Costo total (USD)</b>		630.95		

Tipo de cambio \$20,0 PMX por USD

#### Tecnología: Potrero con árboles

Actividad	Insumos	Costo insumo (PMX)	Mano de obra	Costo mano de obra (PMX)	Duración (días)
mantenimiento de árboles	plateo		1	900	6
mantenimiento de potrero	fertilización (úrea) 1 bulto)	584	2	1.200	4
limpieza manual de potrero			1	1.500	10
	<b>Costo (PMX)</b>	584		3.600	
<b>Costo total (PMX)</b>		4.184			
<b>Costo total (USD)</b>		209,2			

Tipo de cambio \$20,0 PMX por USD

#### Tecnología: Barrera muerta

Actividad	Insumos	Costo insumo (PMX)	Mano de obra	Costo mano de obra (PMX)	Duración (días)
derribo de árboles			3	390	1
corte de madera			3	390	1
alquiler de maquinaria	motosierra	300	1	130	1
gasolina	flete 3 lts	80			
aceite	1/4 aceite	70			
acarreo de madera	caballo	500	1	260	2
arreglo barreras			1	1.040	8
	<b>Costo (PMX)</b>	950		2.210	
<b>Costo total (PMX)</b>		3.160			
<b>Costo total (USD)</b>		158			

Tipo de cambio \$20,0 PMX por USD

**Tecnología: Bebederos**

Actividad	Insumos	Costo insumo (PMX)	Mano de obra	Costo mano de obra (PMX)	Duración (días)
transporte	flete	500			
compra de manguera	manguera 14 rollos de 1"	15.000			
compra de bebederos	bebedero	1.000			
instalación manguera			8	1.200	3
mantenimiento (limpieza)			12	1.800	12
	<b>Costo (PMX)</b>	16.500		3.000	
	<b>Costo total (PMX)</b>	19.500			
	<b>Costo total (USD)</b>	975			

Tipo de cambio \$20,0 PMX por USD