

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

PROGRAMA DE POSGRADO

**Impacto del cambio de cobertura y uso de suelo
e incendios forestales, sobre los recursos hídricos y biodiversidad,
en dos subcuencas ganaderas de la Costa Sur de Jalisco, 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

Edgar Abad Conde Blanco

Turrialba, Costa Rica

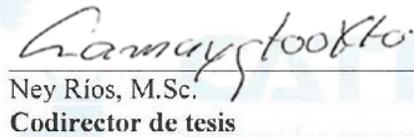
2019

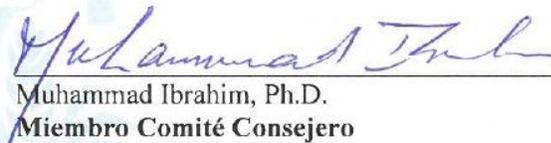
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

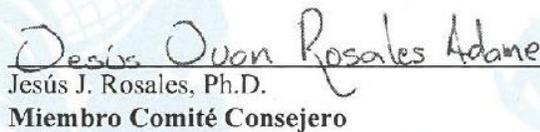
**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y GESTIÓN INTEGRAL
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

FIRMANTES:

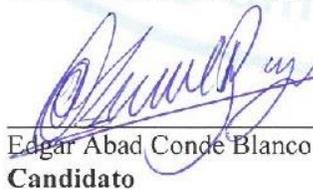

Claudia Sepúlveda, M.Sc.
Codirectora de tesis


Ney Ríos, M.Sc.
Codirector de tesis


Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Miembro Comité Consejero


Jesús J. Rosales, Ph.D.
Miembro Comité Consejero


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


Edgar Abad Conde Blanco
Candidato

ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

La presente tesis se organiza en formato de artículos científicos. Está compuesta de tres partes:

La primera con una introducción general del tema de investigación, la segunda que corresponde al cuerpo principal del documento con tres artículos científicos elaborados, y la última parte con anexos e información complementaria.

DEDICATORIA

Para Edith y Edgar: fui, soy y seré por ustedes.

Santiago y Rocío: juntos, brillan más las estrellas.

Filomena (+) e Inés (+), están aquí conmigo siempre.

*"Desde lejos como el viento, traigo nombres de otras patrias
pero busco en tu infinito, las raíces de mi alma"*

Matilde Casazola, De regreso

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Edith y Edgar, y a toda mi familia, gracias por creer en mí.

A Santiaguito y Rocío, por el amor a diario, y comprender cuando no pude estar ni como papá, ni como esposo.

A todas las amistades entrañables en Bolivia, en especial a mis padrinos Mercedes y Gualberto.

Al CATIE y la Escuela de Posgrado, por becarme y hacer este trabajo posible. Me dieron cobijo y me instaron a crecer. Más que nunca, reafirmo que los sueños se pueden cumplir.

Al Dr. Ibrahim, director General del CATIE, por su enorme calidez humana y sus importantes aportes a la investigación.

A mis codirectores de tesis, Claudia Sepúlveda, por el gran apoyo y tomarme en cuenta en el proyecto BioPaSOS, a Ney Ríos, por los importantes consejos y la constante capacitación. A ambos por la paciencia y comprensión.

Al proyecto BioPaSOS (Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles), por financiar el trabajo de campo y todo el apoyo logístico.

Al Dr. Jesús Juan Rosales, de la Universidad de Guadalajara, por el sincero acompañamiento en la fase de campo y sus recomendaciones al trabajo.

A Héctor Messa, responsable del proyecto BioPaSOS en Jalisco, por la amistad y la invaluable guía en la recolección de datos.

A las y los productores de la Costa de Jalisco, México, por dejarme conocer algo de su realidad.

A las instituciones mexicanas y sus funcionarios: CONAFOR, CONABIO, CONANP, DRBSM, JICOSUR, JIRA, SAGARPA, SEDER, SEMADET, SEMARNAT, UdG, gracias por apoyar este trabajo.

A todas las bonitas amistades en México que hicieron amena mi estadía allá.

A la memorable generación 2017-2018, y a todos los amigos catianos, en especial a los cuencólogos: Natalia, Enya, Fabiola y Johan.

A las y los profesores de la Escuela de Posgrado, por la dedicación a enseñar y la amistad.

A la WWF y al comité de la beca Príncipe Bernhard, por el apoyo a mi familia y a mí.

Al Ing. Ángel Pastrana, por presentarme y animar mi postulación en CATIE.

CONTENIDO

ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA TESIS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
CAPÍTULO I	1
1. Introducción general de la tesis	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	2
1.3. Importancia	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Preguntas de investigación	3
2. Marco de referencia	4
2.1. Impulsores de deforestación	4
2.1.1. Dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo en México y Jalisco	5
2.1.2. Incendios forestales, situación en México y Jalisco	5
2.2. La actividad ganadera y silvopastoril en México	7
2.3. Mecanismos de conservación en México	8
2.4. Recursos hídricos y modelación hidrológica en México	9
2.5. Biodiversidad y su estado en México	9
3. Resultados principales	10
3.1. Análisis espacio – temporal de los incendios forestales en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México	10
3.2. Mecanismos de conservación y su impacto en la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo en dos subcuencas de la Costa de Jalisco, México	11
3.3. Escenarios de cobertura y uso de suelo y sus posibles efectos sobre el comportamiento hidrológico y la biodiversidad, en dos subcuencas de la Costa de Jalisco, México.....	13
4. Conclusiones principales.....	13
4.1. Análisis espacio – temporal de los incendios forestales en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México	13
4.2. Mecanismos de conservación y su impacto en la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México.....	14

4.3. Escenarios de cobertura y uso de suelo y sus posibles efectos sobre el comportamiento hidrológico y la biodiversidad, en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México	16
5. Recomendaciones generales.....	17
6. Literatura citada.....	17
CAPÍTULO II	23
ARTÍCULO 1	23
Análisis espacio – temporal de los incendios forestales en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México	23
RESUMEN	23
1. Introducción	23
2. Metodología.....	25
2.1. Sitio de estudio	25
2.2. Procedimientos metodológicos	28
2.2.1. Sistematización de la información espacial sobre incendios forestales.....	29
2.2.2. Capas <i>raster</i> con la sumatoria de eventos de incendios registrados.....	30
2.2.3. Análisis de densidad de puntos.....	30
2.2.4. Probabilidades de ocurrencia de incendios.....	31
2.2.5. Cantidad de hectáreas potencialmente afectadas por incendios	31
3. Resultados y discusión	31
3.1. Sistematización de la información espacial sobre incendios forestales.....	31
3.2. Capas <i>raster</i> con la sumatoria de eventos de incendios registrados.....	36
3.3. Análisis de densidad de puntos	37
3.4. Probabilidades de ocurrencia de incendios.....	37
3.5. Cantidad de hectáreas potencialmente afectadas por incendios	40
4. Conclusiones.....	40
5. Agradecimientos.....	41
6. Literatura citada.....	41
ARTÍCULO 2.	44
Mecanismos de conservación y su impacto en la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México	44
RESUMEN	44
1. Introducción	45
2. Metodología.....	46
2.1. Descripción del área de estudio.....	46

2.2. Procedimientos metodológicos	49
2.2.1. Análisis del cambio de cobertura y uso de suelos	50
2.2.1.1. Construcción de la base de datos espaciales en formato raster	50
2.2.1.2. Construcción del modelo de cambio de cobertura y uso de suelo	50
2.2.2. Análisis cualitativo-cuantitativo de la percepción de ganaderos sobre el uso de suelo y mecanismos de conservación.....	51
2.2.2.1. Entrevista a productores ganaderos	51
2.2.2.2. Análisis de la información cuantitativa	54
2.2.2.3. Análisis de la información cualitativa	55
2.2.2.4. Análisis del experimento de elección	55
2.2.2.5. Asignación de valores para simulación de escenario futuro	56
2.2.3. Comparación de mapas prospectivos de la cobertura y uso de suelo	56
3. Resultados y discusión	56
3.1. Análisis del cambio de cobertura y uso de suelos	56
3.1.1. Construcción de la base de datos espaciales en formato raster	56
3.1.2. Construcción del modelo de cambio de cobertura y uso de suelo	57
3.2. Análisis cualitativo-cuantitativo de la percepción de ganaderos sobre el uso de suelo y mecanismos de conservación.....	61
3.2.1. Entrevista a productores ganaderos	61
3.2.2. Análisis de la información cuantitativa	61
3.2.3. Análisis de la información cualitativa	65
3.2.3.1. Factores que inciden en la decisión de ingresar a un mecanismo de conservación.....	65
3.2.3.2. Cambio en los usos de suelo y coberturas hacia el futuro	66
3.2.4. Análisis del experimento de elección	67
3.2.5. Asignación de valores para simulación de escenario futuro	69
3.3. Comparación de mapas prospectivos de la cobertura y uso de suelo	70
4. Conclusiones.....	72
5. Agradecimientos.....	73
6. Literatura citada.....	74
ARTÍCULO 3. Escenarios de cobertura y uso de suelo y sus posibles efectos sobre el comportamiento hidrológico y la biodiversidad, en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México	78
RESUMEN	78
1. Introducción	79

2. Metodología	81
2.1. Descripción del área de estudio.....	81
2.2. Procedimientos metodológicos	83
2.2.1. Sistematización de la información	84
2.2.2. Estimación del balance hídrico para los escenarios	84
2.2.3. Cálculo de métricas de conectividad estructural.....	86
3. Resultados y discusión	87
3.1. Sistematización de la información.....	87
3.2. Simulación del ciclo hidrológico para los escenarios.....	88
3.3. Cálculo de métricas de conectividad estructural	95
3.3.1. Métricas en el nivel de clase de parche	95
3.3.2. Métricas en el nivel de paisaje.....	96
3.3.3. Comparación entre escenarios.....	97
4. Conclusiones.....	99
5. Agradecimientos.....	99
6. Literatura citada	100
CAPÍTULO III	104
Información complementaria.....	104
1. Anexos	104
1.1. Script para creación de distribución normal en R.....	104
1.2. Demanda de investigación para diseño de la entrevista semiestructurada.....	104
1.3. Boleta usada en la recolección de información cualitativa-cuantitativa	105
1.4. Boleta para el experimento de elección	108
1.5. Scripts utilizados en el experimento de elección	110

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Preguntas de investigación.....	4
Cuadro 2. Parámetros morfométricos de las cuencas en estudio.....	25
Cuadro 3. Procedimientos aplicados en la sistematización de los datos de registros de incendio	29
Cuadro 4. Reconocimiento de incendios forestales registrados anualmente (2008-2017) en la zona de estudio	33
Cuadro 5. Principales causas de los incendios por año en la zona de estudio.....	35
Cuadro 6. Probabilidades de incendios y hectáreas potencialmente afectadas.....	40
Cuadro 7. Principales parámetros morfométricos de las dos cuencas que componen el área de estudio.....	46
Cuadro 8. Partes de la entrevista semiestructurada aplicada	51
Cuadro 9. Atributos y niveles utilizados en los tres experimentos de elección	52
Cuadro 10. Información cuantitativa recolectada en la entrevista.....	54
Cuadro 11. Insumos cartográficos usados en la construcción del modelo de cambio de cobertura y uso de suelo.....	56
Cuadro 12. Comparación de las versiones de uso de suelo, categorías por versión y número de categorías agrupadas	57
Cuadro 13. Matriz de transición sencilla para el periodo 2009 – 2013	57
Cuadro 14. Análisis de CUS realizados en México.....	59
Cuadro 15. Comparación de la extensión de cada categoría de cobertura y uso de suelo entre el mapa 2016 y el mapa simulado 2025	61
Cuadro 16. Diseño muestral para recolección de información, por grupo de ganaderos con y sin experiencia en mecanismos de conservación.....	61
Cuadro 17. Comparación de los coeficientes de correlación de <i>Pearson</i> de la información general de los grupos de ganaderos	62
Cuadro 18. Comparación de características de los 3 grupos de productores identificados en el análisis de conglomerado.....	63
Cuadro 19. Coeficientes de los atributos del primer experimento de elección, modelo logit anidado (n=100).....	67
Cuadro 20. Coeficientes de los atributos del segundo experimento de elección, modelo logit anidado (n=100).....	68
Cuadro 21. Coeficientes de los atributos del tercer experimento de elección, modelo logit anidado (n=100).....	69
Cuadro 22. Tasas de cambio modificadas para la simulación al año 2022, con base en las perspectivas de los productores ganaderos	70

Cuadro 23. Comparación de la extensión de cada categoría de cobertura y uso de suelo entre el mapa 2016 y el mapa simulado y modificado 2025	71
Cuadro 24. Principales parámetros morfométricos de las subcuencas que componen el área de estudio.....	81
Cuadro 25. Insumos utilizados en la estimación del balance hídrico.....	84
Cuadro 26. Parámetros del balance hídrico generados	86
Cuadro 27. Métricas calculadas para el área de estudio.....	86
Cuadro 28. Resultados del balance hídrico por subcuenca para los escenarios.....	88
Cuadro 29. Índice de Dispersión y Yuxtaposición (IJI) para ocho clases de parche en la zona de estudio, en los años 2001, 2005, 2009, 2013, 2016 y 2 escenarios del 2025	96
Cuadro 30. Índice de contagio e Índice de dispersión y yuxtaposición (IJI) para la zona de estudio en los años 2001, 2005, 2009, 2013, 2016 y 2 escenarios del 2025.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diferentes escalas de análisis de los triángulos de fuego	6
Figura 2.	Distribución de los rubros ganaderos en el Estado de Jalisco	8
Figura 3.	Ubicación geográfica de las subcuencas estudiadas	26
Figura 4.	Ubicación de las subcuencas respecto de JICOSUR	27
Figura 5.	Climograma sobre comportamiento histórico anual de la precipitación, junto a temperaturas máximas y mínimas de la zona de estudio	27
Figura 6.	Procedimiento metodológico empleado en el presente artículo.....	29
Figura 7.	Ejemplo sobre la asignación de valores a cada año de incendio registrado y la suma de capas <i>raster</i>	30
Figura 8.	Ejemplo de <i>raster</i> de salida de la función <i>Kernel density</i>	31
Figura 9.	Histograma sobre los registros anuales de hectáreas quemadas y eventos de incendios, para el periodo 2008-2017 en la zona de estudio	32
Figura 10.	Ubicación espacial de los incendios registrados durante 2008-2017, dentro el área de estudio y el <i>buffer</i> creado alrededor	34
Figura 11.	Principales causas de los incendios registrados en la zona de estudio durante el periodo 2008-2017	34
Figura 12.	Proporción de las causas de los incendios	35
Figura 13.	Sumatoria de los eventos de incendios registrados y el área aproximada que cubren dentro el área de estudio	36
Figura 14.	Resultados del análisis de densidad de Kernel sobre los registros de incendio en la zona de estudio, para el periodo 2008-2017.....	37
Figura 15.	Rangos de probabilidades de incendio y el área que abarcan	37
Figura 16.	Rangos de probabilidades de ocurrencia de incendios y los usos de suelo sobre los que asientan	38
Figura 17.	Probabilidades de ocurrencia de incendio en la zona de estudio, separado por uso de suelo	39
Figura 18.	Ubicación de las subcuencas RH15AC y RH15Bc en relación con el Estado de Jalisco y México	47
Figura 19.	Ubicación de las subcuencas respecto de JICOSUR	47
Figura 20.	Climograma sobre comportamiento histórico anual de la precipitación junto a temperaturas máximas y mínimas de la zona de estudio	48
Figura 21.	Procedimiento metodológico general	49
Figura 22.	Procedimiento para la construcción del modelo de cambio de cobertura y uso de suelo en al zona de estudio	50

Figura 23. Ganancias y pérdidas por categoría 2009-2013	58
Figura 24. Validación del modelo simulado por medio de ventanas	59
Figura 25. Mapa de cobertura y uso de suelo simulado al 2025	60
Figura 26. Análisis de conglomerado sobre los productores entrevistados.....	62
Figura 27. Diagrama de barras que compara las características de los 3 grupos de productores encontrados en la zona de estudio.....	63
Figura 28. Comparación de los intereses expresados por los productores con y sin experiencia en mecanismos de conservación	64
Figura 29. Factores que inciden sobre los productores en la decisión de ingresar o no a un mecanismo de conservación.....	65
Figura 30. Mapa de simulación de las coberturas y uso de suelo para el año 2025, con base en la perspectiva de los productores ganaderos	70
Figura 31. Comparación de la extensión de las principales categorías de cobertura y uso de suelo a futuro.....	71
Figura 32. Ubicación de las subcuencas respecto de JICOSUR.....	82
Figura 33. Climograma sobre comportamiento histórico anual de la precipitación, junto a temperaturas máximas y mínimas de la zona de estudio	82
Figura 34. Procedimiento metodológico empleado.....	83
Figura 35. Pasos para la estimación del balance hídrico en QSWAT.....	85
Figura 36. Comparación media mensual del contenido de agua en el nivel suelo (mm), en las 11 subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS	89
Figura 37. Comparación de la media mensual del contenido inicial de agua en suelo para Unidades Hidrológicas de Respuesta para los escenarios	89
Figura 38. Comparación de la media mensual del contenido final de agua en suelo (mm), en Unidades Hidrológicas de Respuesta para los escenarios.....	90
Figura 39. Comparación del contenido de agua en el nivel suelo (mm), en las 11 subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS	90
Figura 40. Comparación de la escorrentía superficial (mm), en 9 subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS.....	91
Figura 41. Comparación de la escorrentía mensual media (mm), en Unidades Hidrológicas de Respuesta del año 2016 y 2 escenarios al 2025.....	92
Figura 42. Comparación de la evapotranspiración real (mm) en las subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS.....	92
Figura 43. Comparación de la evapotranspiración real mensual media (mm), en Unidades Hidrológicas de Respuesta del año 2016 y 2 escenarios al 2025.....	93
Figura 44. Comparación de la percolación (mm) en las subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS.....	93

Figura 45. Comparación de la percolación mensual media (mm), en Unidades Hidrológicas de Respuesta del año 2016 y 2 escenarios al 2025.....	94
Figura 46. Comparación del flujo de retorno (mm), en las subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS.....	95
Figura 47. Comparación del flujo de retorno mensual medio (mm), en Unidades Hidrológicas de Respuesta del año 2016 y 2 escenarios al 2025.....	95
Figura 48. Comparación del Índice de Dispersión y Yuxtaposición (IJI) de los años 2001, 2005, 2009, 2013, 2016 y 2 escenarios en el 2025, para las principales clases de parche en la zona de estudio.....	97
Figura 49. Comparación del Índice de Contagio (CONTAG) y el Índice de Dispersión y Yuxtaposición (IJI) de los años 2001, 2005, 2009, 2013, 2016 y 2 escenarios en el 2025, en el nivel de paisaje.....	98

LISTA DE ACRÓNIMOS

ADVC	Áreas Dedicadas Voluntariamente a la Conservación
BioPaSOS	Proyecto Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles
CUS	Cobertura y Uso de Suelo
CCUS	Cambio de Cobertura y Uso de Suelo
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
DRBSM	Dirección de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán
GEI	Gases de Efecto Invernadero
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IRE	Iniciativas de Reducción de Emisiones
JICOSUR	Junta Intermunicipal de Medio Ambiente de la Costa Sur
PMFS	Plan de Manejo Forestal Sustentable
PSA	Pago por Servicios Ambientales
PROGAN	Componente del Programa de Fomento Ganadero
RBSM	Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán
RBCC	Reserva de la Biósfera Chamela - Cuixmala
RH	Región Hidrológica
RHA	Región Hidrológica-Administrativa
REDD+	Reducción de Emisiones de la Deforestación y la Degradación de los bosques y aumento de las reservas de carbono forestal
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEDER	Secretaría de Desarrollo Rural
SEMADET	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial
SEMARNAT	Secretaría de medio ambiente y recursos naturales
SINIIGA	Sistema Nacional de Identificación Individual de Ganado
UdG	Universidad de Guadalajara
UMA	Unidad de Manejo Ambiental

RESUMEN

El incremento de la deforestación de carácter mundial puede tener consecuencias sobre la provisión de servicios ecosistémicos y biodiversidad. La cobertura de bosque en el planeta disminuyó de 31.6% a 30.6% en el periodo 1990 a 2015. Esto representa alrededor de 4000 millones de hectáreas deforestadas que cambiaron de cobertura y uso de suelo (CUS). A un nivel global, este cambio se dirige especialmente hacia tierras agrícolas con fines comerciales o de subsistencia. Esto supone a futuro, un riesgo a la sostenibilidad de los servicios ambientales de los que se beneficia la sociedad. La costa del Estado de Jalisco, en México, es un caso particular, pues el monitoreo al cambio de cobertura y uso de suelo (CCUS) muestra que las tasas de deforestación son más altas que el promedio nacional y que el principal CCUS es hacia agricultura o pastizal. Así, el Estado, que es uno de los principales productores agropecuarios de orden nacional, contribuye con el 20% de la deforestación y degradación forestal del país, a pesar de la implementación de diferentes mecanismos de conservación de recursos naturales. Tal dinámica de CUS, sumado a considerables incendios forestales, tendrá un efecto sobre la provisión sostenible de agua a futuro y la conservación de biodiversidad de la zona.

De tal manera, para entender el impacto que tienen el CCUS y los incendios forestales sobre los recursos hídricos y la biodiversidad en dos cuencas de importancia en la Costa de Jalisco, la presente investigación analizó la espacio-temporalidad de los incendios forestales, posteriormente, se describió la dinámica de CCUS en un escenario de implementación de mecanismos de conservación, y finalmente, se modelaron efectos de posibles escenarios de CCUS a futuro.

Se encontró una probabilidad máxima de incendio de 69%, ubicado en la parte noreste de las cuencas, que coincide con la mayor zona de producción agropecuaria del área estudiada. Alrededor de 1830 km² tienen probabilidades de incendio por encima del 50%. Las actividades agropecuarias y las actividades ilícitas, son las que más originan incendios forestales. En el caso de la CCUS, la vegetación secundaria es la categoría que más incrementó su extensión (2009-2013) y lo hará a futuro (escenarios 2025), y obtiene sus aportes de las coberturas de agricultura y pastos. Productores con experiencia en mecanismos de conservación tienen mayor predisposición a mantener/incrementar la cobertura forestal a futuro. La principal característica que limita al productor a ingresar a un mecanismo, es el "Suficiente acceso a la información", mientras que la posibilidad de "Subvención a áreas no productivas del rancho", los motiva. La "Posibilidad de aprovechar el bosque en alguna actividad secundaria" es la principal característica que llama la atención de un productor, al elegir entre distintos mecanismos de conservación. De igual forma, la "Distribución espacial de los árboles en las demás áreas del rancho", es la primera preocupación del mismo al planificar las actividades productivas. La "cobertura de bosque" sufre los cambios más importantes en tal planificación. Los valores del balance hídrico disminuyen para todos los parámetros modelados. Los cambios ocurren especialmente en la zona central, donde se ubica la principal zona productiva. Se anticipan condiciones adversas para la recarga hídrica y el flujo de retorno, como contribuyente a caudales de los ríos. Las métricas de conectividad (CONTAG, IJI clase, IJI paisaje) confirman que la vegetación secundaria desplaza a los demás parches, ratificando los procesos de degradación forestal y fragmentación del hábitat para la biodiversidad.

Palabras Claves: Incendios forestales, Cambio de cobertura y uso de suelo, Ganadería, Sistemas silvopastoriles, Balance hídrico, Biodiversidad, Conectividad estructural.

ABSTRACT

An increase in deforestation may have consequences for ecosystem services provision and biodiversity. Forest cover on planet decreased from 31.6% to 30.6% from 1990 to 2015. This represents around 4000 million deforested hectares, that changed cover and land use (LUC). At global level, this change is directed especially toward agricultural land for commercial or subsistence purposes. This means, in future, a risk to environmental services sustainability from which society benefits. The coast of Jalisco State, in Mexico, is a particular case, since the monitoring of land cover /land use change (LUCC) shows that deforestation rates are higher than national average and that the main LUCC is towards agriculture or pasture. Thus, the State, which is one of the main agricultural producers at national level, contributes with 20% of deforestation and forest degradation of the country, despite the implementation of different natural resources conservation mechanisms. Such LUC dynamics, added to considerable forest fires, will have an effect on future sustainable fresh water supply and biodiversity conservation in the area.

In this way, to understand the impact of LUCC and forest fires, on water resources and biodiversity in two important basins in Jalisco Coast, the present investigation analyzed forest fires spatial-temporality, subsequently, LUCC dynamics were described in a scenario of implementation of conservation mechanisms, and finally, possible future effects on LUC scenarios were modeled.

A maximum fire probability of 69% was found, located in northeast part of basins, which coincides with largest agricultural production area. Around 1830 km² have a fire risk over 50%. Agricultural and illicit activities are cause most forest fires. In LUC analysis, secondary vegetation is most increased category in extension (2009-2013) and will do so in the future (scenarios 2025), and it obtains contributions from agriculture and pasture cover. Producers with experience in conservation mechanisms are more willing to maintain / increase forestry cover in future. The main characteristic that limits producer to enter a conservation mechanism, is "Sufficient access to information", while the possibility of "Subsidy to non-productive areas of ranch" motivates them. The "Possibility of taking advantage of protectec forest with some secondary activity" is the main characteristic that attracts the attention of a producer, when choosing between different conservation mechanisms. Similarly, the "spatial distribution of trees in other areas of the ranch" is the first concern when planning productive activities. The "forest cover" undergoes the most important changes in such planning.

The water balance values decrease for all modeled parameters. Changes occur especially in central zone, where the main productive zone is located. Adverse conditions are anticipated for groundwater recharge and flow return, as contributor to main rivers flows. The connectivity metrics (CONTAG, IJI class, IJI landscape) confirms that secondary vegetation in the landscape displaces other patches, corroborating forest degradation processes and habitat fragmentation for biodiversity.

Key words: Forest fire, Land use and land cover change, Livestock, Silvopastoral system, Water balance, Biodiversity, Structural connectivity.

CAPÍTULO I

1. Introducción general de la tesis

1.1. Antecedentes

El incremento de la deforestación de carácter mundial puede tener consecuencias sobre la provisión de servicios ecosistémicos y biodiversidad. Según FAO (2016), la cobertura de bosque en el planeta disminuyó de 31.6% a 30.6% en el periodo 1990 a 2015. Esto representa alrededor de 4000 millones de hectáreas deforestadas que cambiaron de cobertura y uso de suelo (CUS). En el nivel global, este cambio se dirige especialmente hacia tierras agrícolas con fines comerciales o de subsistencia (Lobovikov *et al.* 2010; Angelsen *et al.* 2013). Esto supone, a futuro, un riesgo a la sostenibilidad de los servicios ambientales que proveen los bosques (FAO 2012; MacDicken *et al.* 2016).

En América Latina, México atraviesa una situación compleja en cuanto a la conservación de los bosques. Cuenta con 68 millones de hectáreas de bosque y selva (CONAFOR 2015), que lo convierte en el tercer país con mayor cobertura forestal de Latinoamérica y el Caribe (FAO 2006), no obstante, también forma parte de los diez países de orden mundial que más perdieron bosque primario en el periodo 1990 a 2010, a una razón de 148000 hectáreas por año aproximadamente (FAO 2010). La deforestación se ubica especialmente en la Península de Yucatán, la costa del mar Pacífico y el noroeste del país (Bray 2010). Aunque la tasa de deforestación disminuyó durante los últimos años, se espera que los bosques continuarán bajo presión debido a la degradación forestal y la expansión de la actividad agropecuaria (CONABIO y SEMADET 2017).

La pérdida de bosque en México es influenciada por impulsores de deforestación o *drivers*, que pueden ser directos como el cambio de cobertura y uso de suelo, incendios forestales, prácticas agropecuarias no sustentables y explotación forestal no contralada, entre otros (Gerber *et al.* 2013; CONAFOR 2015); y también indirectos, como las políticas públicas, gobernanza, inversión en la industria forestal, rentabilidad en la actividad forestal, tenencia de tierra y pobreza, entre otros (Millennium Ecosystem Assessment 2005; Marklund 2012). Para Jalisco, se reconocen especialmente la falta de coordinación del sector público, las actividades ilegales, las prácticas agropecuarias y forestales no sustentables, y el cambio de uso de suelo (CONAFOR 2015). Cabe resaltar la relación que existe entre la habilitación de terrenos con la práctica de tumba y quema, vinculada a la ocurrencia de incendios forestales provocados, que es identificada como otro importante impulsor de deforestación y degradación forestal (Cochet 2001; Marklund 2012; SEMARNAT 2013; SAGARPA 2017). Tal es así, que para el 2011 el 36.3% del área incendiada se relaciona con actividades agropecuarias, (SEMARNAT 2013). Bajo ese complejo escenario, diversas instituciones mexicanas monitorean la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo (CCUS) y los incendios forestales, a fin de entender y proponer soluciones a la deforestación y degradación forestal.

De esa manera, y en cumplimiento de compromisos ambientales asumidos, en México se implementan iniciativas para controlar la deforestación. Una de éstas es el desarrollo de proyectos de conservación con ayuda de la cooperación internacional. Es el caso del proyecto BioPaSOS (Biodiversidad y Paisajes ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles), enmarcado en la iniciativa REDD+ (Reducción de las Emisiones Debidas a la Deforestación y la Degradación de los bosques). Este proyecto trabaja con pequeños y medianos ganaderos en tres estados mexicanos, con la

implementación de sistemas silvopastoriles económicamente eficientes y ambientalmente apropiados; mientras contribuyen a la conservación de la biodiversidad. Paralelamente, existen otros programas federales de fomento productivo con enfoque producción/conservación, para contribuir a evitar o revertir el deterioro de los servicios ecosistémicos (CONABIO y SEMADET 2017). Así, se presenta un escenario donde los ganaderos tienen la oportunidad de elegir y mejorar su producción de manera amigable con el medio ambiente.

1.2. Justificación

A futuro, se prevé que la deforestación ocasionada por el CCUS, tomando en cuenta los fines productivos, continuará presionando la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos (FAO 2006). Esta tendencia se identifica en México, donde la habilitación de terrenos para la ganadería incrementa dramáticamente debido al aumento de los precios de la carne y bajos precios en otros cultivos agrícolas (Jiménez-Ferrer *et al.* 2008). En específico, el Estado de Jalisco aparece como uno de los principales productores de carne y leche en el orden nacional (INEGI 2014b; FIRA 2017); sin embargo, también forma parte de los estados con mayor pérdida de masas forestales para el periodo 2002-2007, hasta el punto de contribuir con el 20% de la deforestación total del país (CONAFOR 2015; SAGARPA 2017). Como resultado, instituciones nacionales ya han alertado los retos que enfrenta este estado, para asegurar volúmenes aprovechables de agua (superficial y subterránea), encarar riesgos de origen hídrico y conservar la biodiversidad ante la fragmentación del paisaje (CONAGUA 2015; CONAFOR 2015; CONABIO y SEMADET 2017). De esa manera, los servicios ecosistémicos en Jalisco son afectados por el CCUS y los incendios.

Es necesario generar información acerca de la relación entre el CCUS y los incendios forestales, pues ambos tendrán un impacto sobre la disponibilidad futura de recursos hídricos y la biodiversidad (Hennin y Moya 2001). Sobre esto, Bruijnzeel (2004) apunta que la relación entre la cobertura de suelo y precipitación puede sufrir cambios especialmente en regiones con aportes del Océano Pacífico, como Centroamérica y México. De igual forma, Newbold *et al.* (2015) confirman que tanto la riqueza como abundancia de especies están fuertemente influenciadas por el tipo de uso de suelo y la intensidad respecto del el uso en el paisaje. De esa forma, un mejor entendimiento de los impulsores de deforestación permitirá anticipar los posibles cambios futuros en el terreno (Bautista-Andalón y Rodríguez-Alcaraz 2017) y en la disponibilidad de recursos hídricos y el estado de la biodiversidad.

Es preciso considerar que el crecimiento de la actividad ganadera de rango mundial supondrá mayor presión sobre la cobertura de bosque. Proyecciones al 2050 indican que la demanda de carne y leche en un nivel mundial se incrementarán hasta 73 y 58% respectivamente (Gerber *et al.* 2013; Kehoe *et al.* 2017). Por tanto, la ganadería continuará su expansión en busca de satisfacer esa demanda (Herrero y Thornton 2013). Sin embargo, en el caso mexicano, existen compromisos asumidos en el nivel de país, respecto de la reducción de emisiones de dióxido de carbono y conservación de la biodiversidad. Éstos se traducen en acciones concretas, como son los mecanismos de conservación que se implementan en el orden nacional. Es por tanto apremiante conocer cuáles son las tendencias en el CCUS y los incendios forestales, en un escenario donde incrementa la demanda de productos agropecuarios y existen incentivos federales de producción/conservación. De esa manera, la información que se genere puede aportar a futuros

ajustes para los enfoques y procedimientos de las iniciativas de conservación implementadas y por implementar.

1.3. Importancia

Es importante conocer las modalidades y las causas de los cambios en el área de bosques a lo largo del tiempo porque pueden conducir a reducciones permanentes en las tierras forestales (MacDicken *et al.* 2016). Sin embargo, más allá de los posibles efectos negativos del incremento de la actividad ganadera sobre el bosque y los servicios ecosistémicos, existe una relación entre el CCUS registrado y los medios de vida de pequeños y medianos productores (Gerritsen *et al.* 2007; Gerber *et al.* 2013; INEGI 2014b). Tal es el caso del Estado de Jalisco, donde alrededor de 104000 productores tienen como principal medio de vida la ganadería (UGRJ 2017). Por tanto, es importante generar información cuantitativa y cualitativa que aporte a la reducción de la degradación y deforestación. Tal información debe considerar los medios de vida de los productores ganaderos de la zona y la implementación de iniciativas de producción/conservación.

De la misma manera, deben ser estudiados los impactos de la deforestación sobre el comportamiento hidrológico y la biodiversidad en el Estado de Jalisco, en un contexto donde se desarrollan mecanismos de conservación. Un mayor conocimiento de estos procesos permitirá proponer mejores estrategias de intervención y mecanismos de conservación más efectivos. Por tales motivos, con los resultados encontrados en esta investigación, se tendrá mayor entendimiento acerca de las tendencias del CCUS y los incendios, y cómo todos estos afectarán los recursos hídricos y la biodiversidad en el futuro, en la zona de estudio.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Estimar el impacto del cambio de cobertura y uso de suelo e incendios forestales, sobre los recursos hídricos y biodiversidad en dos subcuencas ganaderas de la Costa Sur de Jalisco, México.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar el espacio – temporalidad de los incendios forestales en dos subcuencas de la Costa de Jalisco, México.
- Describir la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo en un escenario de implementación de mecanismos de conservación en dos subcuencas de la Costa de Jalisco, México.
- Modelar los posibles efectos de diferentes escenarios de cobertura y uso de suelo, sobre el comportamiento hidrológico y la biodiversidad, en dos subcuencas de la Costa de Jalisco, México.

1.5. Preguntas de investigación

En el siguiente cuadro se presentan las preguntas de investigación:

Cuadro 1. Preguntas de investigación

Objetivos específicos	Preguntas de investigación
O.E.1. Analizar la espacio – temporalidad de los incendios forestales en las dos subcuencas.	1. ¿Cuál es la probabilidad de incendios forestales dentro de las subcuencas? 2. ¿Cuál es el área de la cobertura de bosque afectada por incendios forestales para el periodo determinado?
O.E.2. Describir la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo en un escenario de implementación de mecanismos de conservación.	1. ¿Cuál es el cambio de cobertura y uso de suelo dentro las dos subcuencas para el periodo determinado? 2. ¿Qué características de los mecanismos de conservación inciden significativamente en el cambio de cobertura y uso de suelo? 3. ¿Cuál es la tendencia del uso de suelo futuro en los ranchos ganaderos, bajo diferentes mecanismos de conservación?
O.E.3. Modelar los posibles efectos de diferentes escenarios de cobertura y uso de suelo, sobre el comportamiento hidrológico y la biodiversidad.	1. ¿Cuál es el comportamiento hidrológico, bajo diferentes escenarios de cobertura y uso de suelo? 2. ¿Cuál es la conectividad del paisaje, bajo diferentes escenarios de cobertura y uso de suelo?

2. Marco de referencia

2.1. Impulsores de deforestación

El Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) (2007), define a la deforestación como la conversión de una extensión boscosa en no boscosa. Este proceso, junto la degradación de bosques, viene de muy atrás en el tiempo, y fuertes intereses creados alrededor influyen en que aún persista (Angelsen *et al.* 2013). Sobre el concepto, MacDicken *et al.* (2016) aclaran que es un fenómeno complejo, pues las ganancias y pérdidas de bosque ocurren de manera continua, además de que la dinámica del cambio del área de los bosques naturales y de los bosques plantados es muy diferente en función de las circunstancias nacionales y de los tipos de bosque. De esa forma, los impulsores de deforestación, varían en cada región del mundo, con diferentes configuraciones de actores, diferencias en función del tiempo (Cronkleton *et al.* 2011).

De manera general, se reconocen dos tipos de impulsores sobre la deforestación: directos e indirectos. El primero influye directamente en un proceso ecosistémico que puede ser identificado y medido en diferentes grados de precisión. En cambio, un impulsor indirecto opera difusamente, y

para establecer su influencia, es preciso entender su efecto en uno o más impulsores directos. Ambos impulsores a menudo operan en sinergia (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

2.1.1. Dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo en México y Jalisco

El cambio de cobertura y uso de suelo (CCUS) es un parámetro usado en la investigación ambiental para poder evaluar tendencias espacio-temporales que suceden sobre la superficie terrestre. Ha sido usado para evaluar procesos de deforestación, degradación ambiental (Osuna-Osuna *et al.* 2015), modificaciones en la biodiversidad terrestre (Newbold *et al.* 2015), y alteraciones al ciclo hidrológico (Hamilton *et al.* 2009), entre muchas otras. Este tipo de análisis ha cobrado relevancia, pues permite cuantificar los cambios ocurridos y realizar proyecciones futuras con base en registros pasados (Mas y Flamenco 2011).

Cobertura y uso de suelo son conceptos diferentes que ayudan a una mejor comprensión de la configuración superficial de la tierra. En el primer caso, cobertura o cubierta vegetal, es la cobertura biofísica observada sobre la superficie terrestre, mientras que uso de suelo o uso de la tierra se caracteriza por los arreglos, actividades y usos que las personas emprenden sobre cierto tipo de cobertura para cambiarla o mantenerla (Di Gregorio y Jansen 2005; FAO 2016). Estos procesos son regulados por impulsores de cambio o “*drivers*”, directos e indirectos (Marklund 2012).

En México, el monitoreo del CCUS es un parámetro usado para interpretar la situación de los recursos naturales. Gracias a ese monitoreo, es posible saber que el cambio de bosque a otros usos aceleró en los últimos 50 años (Ibarra-Montoya *et al.* 2011; Osuna-Osuna *et al.* 2015). Con base en los procesos de CCUS monitoreados, instituciones nacionales como CONABIO, CONAFOR, CONAGUA y SEMADET planifican acciones y estrategias de conservación.

Para el análisis del CCUS, existe variedad de softwares y herramientas en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Dinámica EGO es un software libre para el geoprocetamiento de objetos desarrollado por la Universidad de Minas Gerais en Brasil y usado para estudios sobre CCUS (Padilla *et al.* 2015; Espinoza Mendoza 2016), deforestación tropical y crecimiento urbano (Mas y Flamenco 2011). Se presenta un ambiente de trabajo con posibilidades excepcionales para resolver una variedad de procedimientos espaciales en diversos formatos para el análisis y simulación de fenómenos espacio-temporales. El programa está escrito en C++ y Java, para poder mantener una serie de algoritmos espaciales del entorno para SIG, y algoritmos diseñados para simulación espacial, transiciones, calibración y métodos de validación (Soares-Filho *et al.* 2009). En México específicamente, ha sido usado por varios autores para evaluar impulsores de deforestación y el CCUS en diferentes estados y épocas (Mas y Flamenco 2011; Kolb *et al.* 2013; Kolb y Galicia 2017; Mas *et al.* 2017; Perez-Vega *et al.* 2017; Ramírez-Mejía *et al.* 2017).

2.1.2. Incendios forestales, situación en México y Jalisco

Los incendios son procesos naturales que han tenido una función fundamental en la formación del medio ambiente y la biodiversidad. Intervienen de manera benéfica en la distribución de hábitats, flujos del carbón y nutrientes e inclusive en propiedades de retención del agua en los suelos. A pesar de estas ventajas, su uso indiscriminado en actividades humanas, y en especial en hábitats donde no son frecuentes, puede interrumpir los procesos naturales de recuperación

(Shlisky *et al.* 2009). Autores como Cochrane y Ryan (2009) puntualizan que los cambios drásticos en la cobertura del terreno pueden ocasionar cambios físicos y ecológicos sobre el ecosistema.

Según Cochrane y Ryan (2009), se considera incendios forestales desde fuegos controlados hasta incendios incontrolables. Éstos pueden ocurrir por accidentes naturales o iniciar de manera intencionada. Sin embargo, el peligro de incendio en un territorio es además exacerbado por incrementos en la población del área rural, inadecuadas políticas y el cambio climático (FAO 2011).

Para su ocurrencia, se requiere de una mezcla proporcionada de calor, combustible y oxígeno. En el caso de los incendios forestales, el combustible primario podrían ser los carbohidratos de la celulosa y hemicelulosa derivados de la biomasa vegetal (Follaje, madera, humus, etc.). Para un mejor estudio, existen tres niveles en función de la escala espacial y temporal que se quiera analizar (Ver Figura 1). La escala más fina es la del "triángulo de fuego", que considera eventos individuales de combustión, duración de segundos hasta un par de días, y escala de monitoreo limitada a cuadrantes. La siguiente escala "ambiente de fuego", es la suma del ambiente que facilita combustión más los eventos individuales de fuego. En esta escala, el monitoreo y modelado del fuego usualmente se evalúan por los combustibles, calor y oxígeno, que pueden variar de acuerdo con el terreno y clima, sumado a los fuegos individuales con eventos que pueden durar de horas a meses. En la última escala "régimen de fuego", se describe el tipo modal de fuego que ocurre en la comunidad, paisaje o bioma, a través de décadas o siglos. En esta última escala, los descriptores son inferidos a partir de técnicas dendrológicas y paleogeológicas. De tal manera que para entender el comportamiento del fuego, se debe entender la topografía, los combustibles y el clima (Cochrane y Ryan 2009; Manzo-Delgado *et al.* 2009).

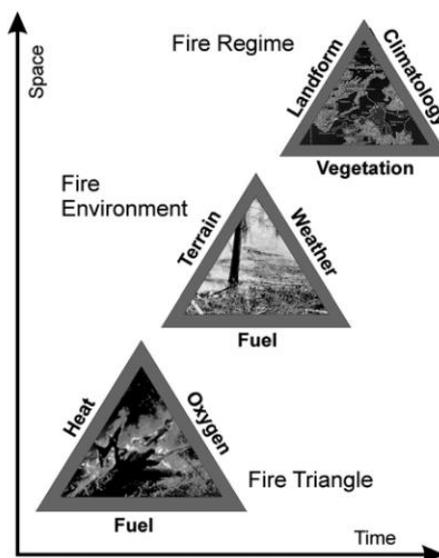


Figura 1. Diferentes escalas de análisis de los triángulos de fuego

Fuente: Cochrane y Ryan (2009)

Los incendios forestales en México son una de las principales causas de la deforestación. SEMARNAT (2013) menciona que las principales causas registradas fueron las quemadas asociadas a actividades agropecuarias (36.3%), seguidas por fogatas (13%) y fumadores (11.7%). De la misma manera, entre 1991 y el 2011, el promedio anual de hectáreas incendiadas en el país fue

de 8276, con una superficie promedio afectada total de 270000 hectáreas. Las áreas afectadas son mayormente pastizales, matorrales y vegetación arbustiva.

El Estado de Jalisco es uno de los más afectados por los incendios forestales. Desde el 2013, ocupó el segundo lugar en el orden nacional por cantidad de incendios y superficie afectada (CONAFOR 2015; CONABIO y SEMADET 2017). Durante la gestión 2017, ocupó el cuarto lugar en número de incendios, y el primer lugar en superficie afectada (CONAFOR 2017b). Esta situación afecta también las áreas protegidas; por ejemplo, el Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP), (Castañeda-González *et al.* 2012), de igual manera, la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (RBSM) (Cassell 2012), y la Reserva de la Biósfera Chamela Cuixmala (RBCC), las cuales sufren constantemente de daños ocasionados por los incendios antropogénicos en su interior y alrededor.

2.2. La actividad ganadera y silvopastoril en México

La ganadería convencional puede tener un impacto negativo sobre el medio ambiente. Cuando se implementan prácticas ganaderas inadecuadas se corre el riesgo de propiciar cambios en el terreno, como incrementar drásticamente el flujo superficial de agua, aumentar la erosión e incrementar el arrastre de sedimentos (Perramond 2001; Julich *et al.* 2016). Según Gerber *et al.* (2013), existen tres preocupaciones sobre la actividad ganadera: La producción de proteína animal es menos eficiente que la proteína vegetal. Cuando es extensiva, a menudo se ubica en lugares remotos sin suficiente control estatal, por lo que genera deforestación y degradación; finalmente, cuando es intensiva, tiende a ubicarse en lugares con alto costo de oportunidad, donde la falta de espacio limita la posibilidad de reciclar los residuos generados. A pesar de las implicaciones ambientales que tiene, esta actividad genera importantes ingresos económicos para millones de productores en un nivel mundial (FAO y FEPALE 2012), razón por la cual se proponen enfoques de producción ganadera más sostenibles como los sistemas silvopastoriles.

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una opción de producción ganadera que puede disminuir los impactos de la ganadería y generar beneficios al medio ambiente. (Toruño *et al.* 2015). En estos sistemas, especies leñosas perennes (árboles o arbustos) interactúan con los forrajes y animales bajo un sistema de manejo integral (Pezo e Ibrahim 1999). Los SSP contribuyen a la protección del suelo contra la erosión, incrementan la infiltración, disminuyen la escorrentía superficial y la erosión laminar (Ríos 2006). Alonso (2011) añade que los SSP promueven un mejor uso de los recursos naturales, disminuyen el efecto de la contaminación de las aguas, pueden generar mejores rendimientos productivos y mayores ingresos para los productores. Otra de las ventajas, es que por proteger e incrementar la cobertura de bosque, puede influir positivamente en la conservación de la biodiversidad del paisaje (SAGARPA 2017). Por tales motivos, la práctica silvopastoril es difundida y promovida como alternativa sustentable, frente a la producción ganadera convencional.

En México, la ganadería es considerada como una de las principales actividades del sector agrícola desde el punto de vista económico (INEGI 2014); al mismo tiempo, es uno de los principales motores históricos de la deforestación en el país, especialmente con la práctica de tumba y quema para la habilitación de parcelas (Cochet 2001; Marklund 2012). Las áreas dedicadas a este rubro de carácter nacional, ubicada históricamente en la parte selvática del país (Hennin y Moya 2001), incrementan dramáticamente en un contexto de aumento de los precios de

la carne y descenso en otros cultivos (Jiménez-Ferrer *et al.* 2008; FIRA 2015). Como resultado, el país es el octavo productor de carne bovina en un nivel mundial (FIRA 2017), pero llegó a ser décimo en el orden de Latinoamérica y el Caribe en pérdida de cobertura de bosque (FAO 2010).

Actualmente, el Estado de Jalisco es uno de los más importantes productores ganaderos de México. Según la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2014, realizada por el Instituto de Estadística y Geografía de México (2014a), el Estado cuenta con 2.3 millones de cabezas de ganado, ocupando el segundo lugar de rango nacional. De la misma manera, es el cuarto estado con mayor cantidad de cabezas de ganado para engorde (7%), y el segundo en existencia de vacas para producción de leche (16.7%). No obstante, ocupa el primer lugar en producción media diaria de leche, con 5.6 millones de litros. Según la Unión Ganadera Regional de Jalisco (2017), existen alrededor de 88000 productores de carne, asentados principalmente al oeste, sobre la costa del Pacífico¹; mientras que 16000 ganaderos se dedican a la producción de leche, especialmente en la parte este del Estado² (Ver Figura 2).

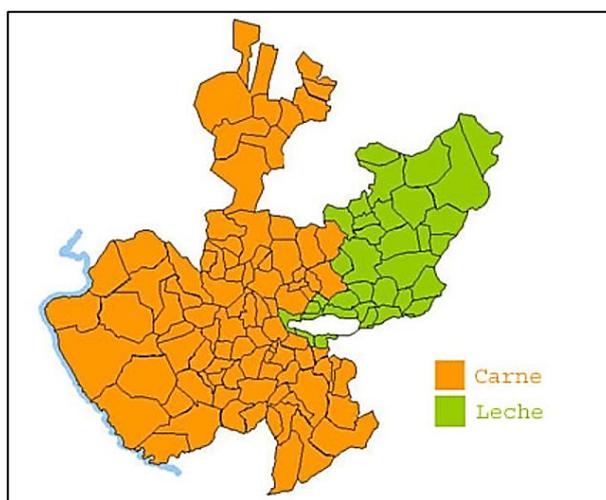


Figura 2. Distribución de los rubros ganaderos en el Estado de Jalisco

Fuente: (URGJ 2017)

Si bien la producción de leche es relevante en el nivel del Estado, la producción de carne es la principal actividad ganadera de la región costera de Jalisco. Los municipios de Tomatlán, Villa Purificación, Casimiro Castillo y Cuautitlán, que también forman parte de JICOSUR, pertenecen al grupo de principales productores de carne del Estado. Estos productores tienen cuatro diferentes sistemas de producción: Becerro destetado, Torete para repasto, Pie de cría y Finalización en corral. Logran anualmente sacrificar alrededor de 280000 cabezas de ganado (UGRJ 2017).

2.3. Mecanismos de conservación en México

Ante el complejo reto de conservar las coberturas forestales en México, se promueven iniciativas que buscan evitar o revertir el deterioro de los servicios ecosistémicos y promover la

¹ En las regiones costa, valles y sierras del Estado.

² En las regiones de los Altos y la Ciénega de Chapala.

producción con enfoques de conservación (CONAFOR 2015; CONABIO y SEMADET 2017). Una de estas es la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) por deforestación y degradación forestal, que busca mejorar la coordinación transversal de políticas públicas y dar un impulso al desarrollo rural mediante la promoción de modelos sustentables de manejo del territorio (SAGARPA y SEDER 2017). La IRE se implementa como un ensayo del tipo de modelo de trabajo, en Jalisco y otros cuatro estados mexicanos, en el marco de la Estrategia Nacional para la Reducción de las Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (ENAREDD+) (CONAFOR 2017a). Dentro de este contexto de mecanismos de conservación, la costa de Jalisco tiene atención prioritaria para acciones tempranas de REDD+, donde se promueve la participación de productores agropecuarios y ejidos, en mecanismos que entregan recursos con un enfoque de producción y conservación, por ejemplo para: Agroforestería (Sistemas silvopastoriles y agroforestales), que incluyan un componente de conservación como por ejemplo: Pago por servicios ambientales (PSA), planes de manejo forestal sustentable (PMFS), áreas dedicadas voluntariamente a la conservación (ADVC), y unidades de manejo ambiental (SEDER 2017).

2.4. Recursos hídricos y modelación hidrológica en México

Los recursos hídricos en México se gestionan con base en cuencas. Para esto, CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) utiliza dos tipos de clasificación. En la primera, se identifican 13 Regiones Hidrológicas-Administrativas (RHA), consideradas las unidades básicas para la gestión de recursos hídricos; no obstante, para facilitar la administración e integración de datos socioeconómicos, los límites de cada región respetan la división política municipal. En el segundo caso, son 37 Regiones Hidrológicas (RH), definidas por la división natural del relieve y usadas para investigación-planificación. Estas RH agrupan un total de 731 cuencas hidrológicas (CONAGUA 2016), que a la vez se dividen en subcuencas. Las RHA y las RH son independientes, por lo que no coinciden en composición y área (CONABIO y SEMADET 2017).

El Estado de Jalisco en especial, enfrenta retos en cuanto a la sostenibilidad de los recursos hídricos en su territorio. Según CONAGUA (2015), la desigual disponibilidad de agua, el desarrollo de las actividades económicas, la degradación de las cuencas y los efectos de las sequías e inundaciones, constituyen parte de la problemática del sector hídrico del Estado. Para hacer frente a esta situación, se plantean desafíos en cuanto a una mayor eficiencia en los usos agrícolas, proteger de inundaciones las áreas productivas y el sostenimiento de la cobertura de agua potable.

2.5. Biodiversidad y su estado en México

La biodiversidad es fundamental para la sostenibilidad de los ecosistemas. Esta se define como la variabilidad entre organismos vivos de todas las fuentes (terrestre, marina, otras.), y la complejidad ecológica de la que son parte. De esta manera, muchos beneficios de los ecosistemas, como alimentos, recursos genéticos y servicios, son productos de la biodiversidad, y pueden ser influenciados por cambios en ella (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

México alberga en su territorio una gran biodiversidad. En ese sentido, el país pertenece al grupo de 17 países reconocidos como megadiversos (CONAFOR 2015), pues alberga entre el 10 y 12% de las especies conocidas en el mundo. De igual forma, es reconocido como un importante

centro de origen, de diversidad genética y centro de diversificación y domesticación de especies cultivadas (CONABIO 2016).

El Estado de Jalisco cuenta con regiones de gran biodiversidad. Para su conservación, posee 22 áreas naturales protegidas que representan el 10% de territorio. Dentro de estas áreas se contienen cerca de 7000 especies de plantas vasculares, equivalentes al 25% de la flora mexicana. Respecto de la fauna, el Estado tiene identificados 537 UMA's (Unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre), que ocupan hasta 657000 hectáreas. Tal cantidad de biodiversidad da al Estado importantes servicios ambientales, de entre los que destacan especialmente: abastecimiento, regulación y culturales. En cuanto a los productos forestales, Jalisco tiene un potencial de aproximadamente 25160 km², de los cuales 32% corresponde a áreas de bosque (CONABIO y SEMADET 2017).

A pesar del potencial de biodiversidad que tiene el Estado de Jalisco, la degradación de los ecosistemas forestales es uno de los principales problemas. Bautista-Andalón y Rodríguez-Alcaraz (2017) detallan que 35% del territorio del Estado está afectado por presiones culturales y económicas; mientras que en el 42% ya no existe vegetación original. Todo esto supone un reto para el diseño de estrategias para la conservación de la biodiversidad. Es el caso de las áreas protegidas, como la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, en la que se ha procurado incluir a las comunidades aledañas en estudios para el manejo del agua y la ganadería (Halfetter 2011), de esta manera, evitar el ingreso más allá de los límites del área de amortiguamiento.

3. Resultados principales

3.1. Análisis espacio – temporal de los incendios forestales en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México

Se recopilaron datos de 10 años de monitoreo de incendios forestales de la zona de estudio correspondiente al periodo 2008 – 2017. Los resultados muestran una importante incidencia de incendios en la zona de estudio. En el periodo 2008-2017 se registraron 279 incendios forestales que dejan una cicatriz total que alcanza 213.5 km², y representa el 6.4% del sector total del área de estudio. En promedio se quemaron 2658 ha. por año, lo cual corresponde al 0.8% del área total de las subcuencas. Los datos indican que existe una tendencia a incrementar la incidencia de incendios, en cuanto a número de eventos y cantidad de hectáreas afectadas, especialmente al noreste de la zona de estudio. La principal causa de incendios se debe a actividades agropecuarias, con el 59% de los casos registrados. Le siguen los incendios por causas intencionales (cazadores furtivos, vandalismo y cultivos ilícitos) con el 23%. Posteriormente aparecen los incendios por causas desconocidas o no definidas que rondan el 12%, seguido de los casos iniciados por fumadores con el 4%, y por accidentes (actividades de paseantes y rayos), con un porcentaje cercano al 6%.

La probabilidad mínima de incendio determinada por la función de distribución asciende a 49.57%; mientras que el valor máximo alcanza el 69.38%. Los 5 rangos de probabilidades generados (<50, 50-55, 55-60, 60-65, 65-70), permiten aseverar que más del 95% del área de estudio tiene una probabilidad de incendio menor al 55%. Las probabilidades de incendio se agrupan especialmente en la parte noreste de las subcuencas, alrededor de usos de suelo agropecuarios, donde se ubica el municipio de Casimiro Castillo. Este municipio tiene la mayor

parte de su territorio bajo probabilidades del 50-55%, y se incluyen zonas con probabilidades de hasta el 70%.

Los resultados muestran que a mayor probabilidad de incendio en la zona, el bosque resulta progresivamente más afectado; mientras disminuye la afectación a selva y vegetación secundaria. De manera general, los incendios en estas coberturas (bosque, vegetación secundaria y selva), ocupan alrededor del 80% de las probabilidades de incendio en la zona de estudio.

Se determinó que dentro de la zona de estudio, aproximadamente 1830 km² (48% de la extensión total de las subcuencas) tienen una probabilidad de ocurrencia de incendio por encima del 50%; por tanto podrían ser afectadas por incendios. Las áreas con mayores probabilidades de incendios mantienen extensiones por debajo del 5% de la zona de estudio. Así, alrededor 1637 km² de las dos subcuencas no tienen probabilidades significativas de incendio con base en los resultados encontrados.

3.2. Mecanismos de conservación y su impacto en la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo en dos subcuencas de la Costa de Jalisco, México

Los principales cambios en la cobertura y uso de suelo de la zona de estudio ocurren en la cobertura de "Vegetación secundaria". Su ganancia total alcanza 34%; es decir, que incrementó de 287225 a 324623 ha. Cabe resaltar que el principal aportante a esta cobertura es la categoría de pasto. Así, la segunda cobertura con transiciones más altas es la extensión final de pastizales, que pasaron de 160223 ha en el 2009 a 128549 en el 2013. Respecto de las coberturas forestales, la cobertura de selva pierde cerca del 5.23% anual (616063 ha en 2016), frente a la recuperación de bosques con 1.15% anual (131258 ha en el 2016). De esa manera, la tasa de deforestación para la zona alcanzó 4.08% anual. Este valor supera el promedio nacional y estatal (CONAFOR 2017a). Si se consideran las tendencias por incrementar en la vegetación secundaria, se puede afirmar que existen indicios de una recuperación de la cobertura forestal en las cuencas altas, frente a un retroceso en la costa.

Los resultados del mapa simulado para el 2025 sobre la ventana de trabajo muestran que el mayor incremento se encontrará en la cobertura de vegetación secundaria, por encima de las categorías de pasto y agricultura. De igual forma, se registra una disminución de la extensión de bosque y selva comparada con el año 2016, que se ven afectadas y disminuyen en un 6.7 y 7.5% respectivamente; mientras que las coberturas agrícolas y pastizal disminuyen en 9 y 14% respectivamente.

Con base en las listas de productores gestionadas y al análisis sobre el esfuerzo muestral posible, se alcanzó una muestra de 103 entrevistas, 43 del grupo de ganaderos con experiencia y 60 del grupo sin experiencia. Se encontraron diferencias entre el grupo de productores ganaderos con y sin experiencia de trabajo con mecanismos de conservación. Existen correlaciones positivas significativas entre todas las combinaciones producidas sobre la información general del grupo de ganaderos sin experiencia; mientras que para el grupo con experiencia, sólo presenta dos combinaciones con coeficiente correlación de *Pearson* por encima de 0.5. El análisis de conglomerado aplicado al total de productores (sin considerar las experiencias en mecanismos de conservación), permitió reconocer tres grupos de productores diferenciados por "Cantidad animales", "Animales vendidos al año", "Extensión del rancho" y "Área de pasto".

De manera general, las opiniones e intereses positivos frente a la conservación e incremento de árboles en el rancho acumulan mayores porcentajes a diferencia de las opciones negativas. Cerca del 80% de los entrevistados afirma estar interesado en poder incrementar la actividad ganadera en su rancho. Alrededor del 90% tiene una opinión positiva sobre mantener árboles en el rancho; no obstante, sólo el 70% aproximadamente estaría dispuesto a incrementar la cobertura boscosa. Sin embargo, cerca el 100% tiene una opinión positiva de los árboles como cerco vivo, y similar proporción estaría dispuesto a implementar el arreglo silvopastoril. De igual forma, alrededor del 90% elegiría más de una especie en la cerca viva. En todas las preguntas relacionadas con la cobertura forestal, los productores con experiencia acumularon mayores porcentajes que los ganaderos sin experiencia. Éstos últimos registran mayor interés en incrementar la actividad ganadera hacia el futuro.

Respecto del análisis cualitativo, los mecanismos de conservación y el proceso de inscripción poseen ciertas características que, sumadas a factores individuales, inciden en la decisión de los productores ganaderos sobre ingresar en algún mecanismo de conservación. Las principales características que limitan son el "Suficiente acceso a la información", "Reglas que generan sensación de pérdida de control sobre el rancho", y "Pérdida de estatus como ganadero". Por otro lado, existen características que incentivan el ingreso, como "Subvención a áreas no productivas del rancho", "Reconocimiento de las ventajas de tener árboles en el rancho" y "Sensibilidad ambiental desarrollada". Características como el "Área mínima por inscribir al mecanismo, posibilidad de participar como ejido" y "Percepción acerca del rol de los árboles en el rancho" generan opiniones encontradas en los entrevistados.

Se encuentra que la mayoría de las opiniones de los ganaderos avizora mantener o incrementar la cantidad de cobertura forestal en el futuro, de igual forma, la mayoría de los entrevistados afirman que la actividad ganadera futura se intensificará. Cabe resaltar que existen prácticas silvopastoriles que empiezan a cobrar fuerza, como los cercos vivos.

En el caso del primer experimento de elección, se encontró que el principal atributo que incide en la decisión de participar o no en un mecanismo de conservación, es la "Posibilidad de aprovechar el bosque en alguna actividad secundaria". Respecto del segundo experimento, se encontró que la "Distribución espacial de los árboles en las demás áreas del rancho" forma parte de los principales cambios que considera los productores a la hora de planificar cambios en las actividades productivas que realizarían si ingresaran a un mecanismo de conservación. Los resultados del tercer experimento permiten un acercamiento a las decisiones de los ganaderos respecto del futuro de los usos de suelo y coberturas en sus ranchos, donde "Cambios en la cobertura forestal" es la mayor condicionante. Esto sugiere que en el futuro, los principales cambios en los ranchos serán en la extensión de los árboles.

Para la simulación futura, se definieron nuevos valores de tasa de cambio individual para algunas de las transiciones de suelo encontradas. Tales valores se incrementaron un 25% para todos los usos que se dirigen hacia agricultura y pastizales. Por otro lado, los cambios que se dirigían a valores de bosque, selva y vegetación secundaria, disminuyeron también en un 25%. Existen diferencias entre los mapas simulados de cobertura y uso de suelo para el año 2025. El primer mapa con las tendencias registradas muestra un incremento importante en la vegetación secundaria como principal uso de suelo; mientras la actividad agrícola y pecuaria disminuye, igual

que la extensión de bosque y selva, escenarios de cobertura y uso de suelo y sus posibles efectos sobre el comportamiento hidrológico y la biodiversidad.

3.3. Escenarios de cobertura y uso de suelo y sus posibles efectos sobre el comportamiento hidrológico y la biodiversidad, en dos subcuencas de la Costa de Jalisco, México

Los resultados del balance hídrico del modelo SWAT muestran que existen diferencias entre el escenario de CUS 2016 y los dos escenarios al 2025. No obstante, no se muestran diferencias entre los escenarios de CUS al 2025. Se registra un descenso en todos los parámetros del balance hídrico para la zona de estudio. La similitud de resultados entre los escenarios al 2015 puede deberse a que la cobertura vegetal en los escenarios simulados no sufre cambios drásticos.

Respecto de la clase de parche, los valores del índice de dispersión y yuxtaposición (IJI) encontrados muestran que existen cambios importantes en el periodo analizado 2001 - 2016, y que existen diferencias entre los escenarios comparados al 2025. En los parches de agricultura y pasto, IJI se reduce de 81% y 64% en el 2011, a 64% y 35% en el 2016. Esta disminución de aproximadamente 20 puntos porcentuales muestra que la distribución de las adyacencias disminuye; por tanto, estas clases de parches empiezan a tener menos contacto con los demás tipos de parches. Este mismo comportamiento se ve en los parches de selva y bosque, cuyo IJI rebaja de 70% a 51% y 61% a 42% respectivamente. En el caso de la vegetación secundaria, cuya ocupación del paisaje incrementa en cada versión de CUS, disminuye aproximadamente 15 puntos porcentuales, pasando de 70% a 55%. Esto indica que la vegetación secundaria también reduce el número de adyacencias con otras clases de parches, pero en menor medida que la agricultura y los pastos.

Los escenarios al 2025, que incluyen la tendencia de cobertura y uso de suelo al 2025, y el escenario que incluye también a la percepción de los ganaderos respecto de los mecanismos de conservación que se desarrollan en la zona y el uso de suelo futuro en sus ranchos, difieren en los valores CONTAG e IJI anteriores (2001-2016). La reducción de los valores IJI pueden deberse a que las demás clases de parche tienen mayor probabilidad de estar rodeadas de vegetación secundaria. En el comportamiento de IJI para las clases, se puede distinguir que a partir del 2005 hasta el 2013 los valores reducen la intensidad. Los escenarios al 2025 difieren levemente entre sí; por un lado, en el escenario con la percepción de productores, los valores IJI para agricultura y pasto disminuyen menos que en el escenario tendencial. Ocurre lo mismo con selva y bosque, cuyos valores son menores en tal escenario, a diferencia de vegetación secundaria, cuyo valor es superior en el escenario tendencial. Estos resultados muestran que el paisaje visto al 2025 con la percepción de los productores es menos agregado, pues tiende a mantener la adyacencia de las clases de parches, ligeramente más equilibrada que los resultados encontrados con los escenarios tendenciales.

4. Conclusiones principales

4.1. Análisis espacio – temporal de los incendios forestales en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México

- Los 10 años de monitoreo analizados registran una importante ocurrencia de incendios, especialmente en la parte noroeste de la zona de estudio. Si bien los registros

muestran una variación en torno a la cantidad de eventos y el área afectada por año, se puede reconocer un incremento considerable en los años 2016 y 2017. Tal variación pueden deberse a alteraciones, a factores físicos, biológicos, anomalías climáticas extremas y factores socioeconómicos. Las actividades agropecuarias junto a las causas intencionales (caza furtiva, vandalismo, cultivos ilícitos) ocasionaron el 82% de los casos de incendios forestales reportados en la zona de estudio.

- El valor máximo de frecuencia de incendios alcanzado en toda el área de estudio alcanza a 4 eventos durante el periodo de evaluación de 10 años, y se distribuyen espacialmente en el noreste de la zona de estudio, incluida parte de la RBSM. Esta variación puede tener factores antrópicos, físicos y biológicos, que lo están condicionando.
- La mayor probabilidad de incendio alcanza los 69.4%, mientras que la mínima es de apenas 49.6%. Entre ambas categorías, se suma el 95% de la extensión del área de estudio, de manera general y espacialmente, la cercanía a centros poblados y zonas de producción agropecuaria incrementa las probabilidades de incendio.
- Existen mayores posibilidades de incendio en los usos de suelo bosque, selva, y vegetación secundaria. Los demás usos de suelo no reportan porcentajes significativos en ninguno de los rangos de probabilidades. La agricultura, y en especial la ganadería, mantienen presencia en los rangos de probabilidades bajos y altos, aunque su participación baja en las mayores.
- 1830 km² de la zona de estudio tiene probabilidades de incendio por encima del 50%. Y esto representa cerca del 48% de la extensión de ambas cuencas.

4.2. Mecanismos de conservación y su impacto en la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México

- El análisis del CCUS muestra que los principales cambios ocurren en la cobertura de vegetación secundaria. Ésta obtiene aportes importantes de las coberturas de pasto especialmente y agricultura. La cobertura de pastizales disminuye en el periodo 2009-2013, y está relacionado con varios factores que pueden explicar su disminución, tales como los mecanismos de conservación y como la dinámica de los mercados agropecuarios. La cobertura forestal en el periodo pierde una importante extensión de bosque y selva, por encima del promedio nacional y estatal³. Estas coberturas se dirigen especialmente hacia coberturas de pasto y agricultura.
- El modelo de suelo generado fue validado y logra simular escenarios futuros de cambio de cobertura y uso de suelo en las cuencas estudiadas. El escenario simulado para el año 2025 muestra que el principal cambio sucede en la vegetación secundaria que se incrementa mientras las coberturas de bosque y selva disminuyen.
- Existen características productivas que diferencian a los productores con experiencia de los de sin experiencia; por ejemplo, la correlación entre la extensión del rancho y el área de pasto es menor en el grupo con experiencia, lo que sugiere un menor condicionamiento a esta relación en los productores con experiencia.

³ 30000 ha/año de bosque

- Se diferenciaron tres nuevos grupos de productores con base en sus características productivas (animales vendidos al año, área de pasturas, cantidad de animales y extensión del rancho), sin considerar las experiencias en mecanismos de conservación. La relación entre área de pastoreo y extensión total del rancho es diferente entre el grupo de grandes ganaderos frente a los grupos de pequeños y medianos productores. Así mismo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas respecto de la carga animal estimada.
- De manera general, las opiniones e intereses positivos frente a la conservación e incremento de árboles en el rancho acumulan mayores porcentajes a diferencia de las opciones negativas. En todas las preguntas relacionadas con la cobertura forestal, los productores con experiencia acumularon mayores porcentajes que los ganaderos sin ella. Estos últimos registran mayor interés en incrementar la actividad ganadera en el futuro.
- Los ganaderos consideran incrementar e intensificar su actividad ganadera para el futuro. Esto a pesar de que se registra sensibilidad ambiental en muchos de los entrevistados, pues pone en riesgo la cobertura forestal de la zona puesto que las principales zonas de expansión son hacia zonas inapropiadas para cultivos agrícolas, especialmente bosques y selvas. Esta sensibilidad puede entenderse como reconocimiento y apreciación de los servicios ecosistémicos del bosque, en especial culturales y de provisión. De igual manera, ésta podría deberse a la participación de los productores en mecanismos de conservación. Los cercos vivos complejos son el arreglo silvopastoril más aceptado tanto en productores con experiencia como sin ella.
- La vegetación secundaria corresponde a terrenos en proceso de cambio de uso de suelo; es decir, que existe presión de actividades agropecuarias e ilícitas para que la cobertura no recupere biomasa y sea considerada a futuro como zona agrícola o pecuaria.
- Los mecanismos de conservación y sus procesos de inscripción poseen ciertas características que sumadas a factores individuales inciden en la decisión de los productores ganaderos sobre ingresar en algún mecanismo de conservación. Las principales características que limitan son el "Suficiente acceso a la información", "Reglas que generan sensación de pérdida de control sobre el rancho", y "Pérdida de estatus como ganadero". Por otro lado, existen características que incentivan el ingreso, como "Subvención a áreas no productivas del rancho", "Reconocimiento de las ventajas de tener árboles en el rancho" y "Sensibilidad ambiental desarrollada". Características como el "Área mínima por inscribir al mecanismo, posibilidad de participar como ejido" y "Percepción acerca de la función de los árboles en el rancho" generan opiniones encontradas en los entrevistados.
- La mayoría de los ganaderos avizora mantener o incrementar la cantidad de cobertura forestal en el futuro. Al mismo tiempo, la mayoría de los entrevistados afirma que la actividad ganadera futura continuará y se incrementará.
- La "Posibilidad de aprovechar el bosque en alguna actividad secundaria" es el principal atributo que incide en la decisión de participar o no en un mecanismo de conservación en el primer experimento de elección.

- La "Distribución espacial de los árboles en las demás áreas del rancho" forma parte de los principales cambios en las actividades productivas que realizarían los ganaderos si ingresaran a un mecanismo de conservación.
- Los ganaderos anticipan que los principales cambios en sus ranchos en el futuro serán en la extensión de los árboles en el rancho. Por otro lado, la extensión de los terrenos dedicados a la ganadería y cultivo no condicionan la elección futura de los ganaderos para implementar cambios en sus actividades productivas. El siguiente atributo que sí alcanza importancia y significado estadístico es la interacción entre cobertura forestal y áreas para cultivo.
- Existen diferencias entre los mapas simulados de cobertura y uso de suelo para el año 2025. El primer mapa con las tendencias registradas muestra un incremento importante en la vegetación secundaria como principal uso de suelo; mientras la actividad agrícola y pecuaria disminuye, igual que la extensión de bosque y selva.
- El mapa simulado con la percepción de los productores muestra que la cobertura de pasto disminuirá, pero no en el nivel que resulta del modelo con las tendencias actuales. Por otro lado, las tasas modificadas de cambio muestran que las coberturas de bosque y selva disminuirán, pero no en el rango que plantea el mapa de las tendencias.

4.3. Escenarios de cobertura y uso de suelo y sus posibles efectos sobre el comportamiento hidrológico y la biodiversidad, en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México

- Los escenarios de balance hídrico al 2025, que incluyen la tendencia en el cambio de cobertura/uso de suelo, y el que incluye la percepción de los productores respecto del uso de suelo futuro de las fincas, difieren de la CUS modelada al 2016. Todos los parámetros (agua en suelo antes y después del periodo, precipitación, evapotranspiración, percolación, escurrimiento y flujo de retorno) denotan un descenso en los valores simulados.
- Los parámetros del balance hídrico modelados para dos escenarios diferentes de cobertura y uso de suelo para el 2025 tienen diferencias mínimas entre sí.
- Los principales descensos y cambios en los valores del modelo hidrológico para la zona de estudio se ubican en la zona central, que coincide con los alrededores del principal distrito de riego.
- Los resultados anticipan una menor recarga acuífera en la explanada y condiciones desfavorables para el flujo de retorno a los principales ríos de la zona de estudio.
- Los parches de agricultura y pasto, tanto como los de selva y bosque, pierden más adyacencias frente a la vegetación secundaria. Por tanto, tienen menos probabilidad de ser adyacentes con otros tipos de parches, y la probabilidad que conecten con vegetación secundaria que tienen mayor cantidad de área en cada versión de CUS, incrementa.
- La vegetación secundaria domina el paisaje en el periodo 2001 – 2016. De tal manera, los valores de CONTAG encontrados confirman que la tendencia en el paisaje es encontrar parches agregados y de mayor tamaño, por encima de los pequeños parches. Los valores de IJI a nivel de clase y paisaje también confirman que los demás

tipos de parche tienen mayores probabilidades de tener adyacente parches de vegetación secundaria.

- Los escenarios al 2025 no difieren en los valores de CONTAG e IJI en el nivel de paisaje entre sí; pero sí difieren con los anteriores años. En ambos escenarios existe una disminución en la agregación del paisaje. Por tanto, los parches pequeños de bosques y selva tienen más probabilidades de permanecer y ser adyacentes a otros tipos de parches.
- De acuerdo con las tendencias en el periodo 2001-2016, el paisaje tiende a fragmentarse en parches grandes y alejados. Esto implica mayores condiciones adversas para la biodiversidad de la zona. A pesar de que los escenarios al 2025 son más amigables, no retornan a los niveles originales antes del 2001.

5. Recomendaciones generales

Se recomienda a los productores agropecuarios de la zona considerar la cobertura forestal como una aliada para la producción. Existen alternativas amigables con el medio ambiente como los sistemas silvopastoriles, los cuales pueden ayudar a la productividad del rancho y garantizar la provisión de agua para riego y el ganado. De la misma manera, el uso de fuego para la habilitación de terrenos de cultivo/pastoreo, debe apegarse a las recomendaciones técnicas de las instituciones como CONAFOR, CONABIO y CONANP. De esta manera, pueden evitarse los perjuicios al bosque, su biodiversidad y poner en riesgo a vecinos y parcelas.

Se recomienda a las instituciones federales y estatales de la zona considerar la percepción de los productores en la planificación de actividades y el diseño de nuevos mecanismos de conservación. En especial, se deben encontrar formas eficientes para que la información, como procedimientos para quemas controladas, convocatorias a mecanismos de control y otros para que llegue a la mayor cantidad de ejidos.

6. Literatura citada

- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45(2):107-115.
- Angelsen, A; Brockhaus, M; Sunderlin, W; Verchot, L. 2013. Análisis de REDD+: Retos y opciones. CIFOR.
- Bautista-Andalón, M; Rodríguez-Alcaraz, G. 2017. Cambio de uso del suelo y deforestación *In* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (ed.). La biodiversidad en Jalisco: Estudio de estado Volumen I. México. p. 263-267. Consultado 28 oct. 2017. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html>
- Bray, DB. 2010. Forest Cover Dynamics and Forest Transitions in Mexico and Central America: Towards a "Great Restoration"? Dordrecht, Springer Netherlands. 85-120 p. Consultado 1 sep 2017. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9656-3_5
- Bruijnzeel, LA. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104(1):185-228.
- Cassell, BA. 2012. Fire history of the sierra de Manantlán Biosphere Reserve in Western México (Electrónico). Tesis Master of Science. University of Washington. 103 p. Consultado 28 oct. 2017. Disponible en <http://search.proquest.com/openview/2f98768d0b41452e472bc7b69d5bf21e/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>

- Castañeda-González, JC; Gallegos-Rodríguez, A; Sánchez-Durán, M; Domínguez-Calleros, PA. 2012. Biomasa aérea y posibles emisiones de CO2 después de un incendio: caso del bosque " La Primavera", Jalisco, México. *Ra Ximhai* 8(3):1-15. Consultado 25 oct. 2017 Disponible en http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-25aarticulosPDF/1.-%20BIOMASA%20AEREA%20Y%20POSIBLES%20EMISIONES-Juan_Agustin_Magaly_Pedro.pdf
- Cochet, H. 2001. Agricultura de tumba y quema, ganadería extensiva y degradación ambiental en la Sierra Madre del Sur: Sierra de Coalcomán, Michoacán. *In* Hernández, L (ed.). Historia ambiental de la ganadería en México. Veracruz, México, Instituto de Ecología A.C. p. 76.
- Cochrane, MA; Ryan, KC. 2009. Fire and fire ecology: Concepts and principles (Electrónico). *In* Tropical Fire Ecology. Berlin, Germany, Springer. p. Consultado 27 oct. 2017. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77381-8_2
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Programa hídrico estatal 2014-2018 del Estado de Jalisco. 1 ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMADET) (ed.). México. 178 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2016. Atlas del agua en México 2016. México. 140 p. Consultado 2 nov. 2017. Disponible en <https://agua.org.mx/biblioteca/atlas-del-agua-en-mexico-2015-regiones-hidrologicas/>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2015. Modelo de intervención en las áreas de acción temprana REDD+. 1 ed. Jalisco, México. 52 p. Consultado 15 feb. 2018.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2017a. Estrategia nacional para REDD+ 2017-2030. 1 ed. Jalisco, México. 124 p. Consultado 15 feb. 2018. Disponible en <http://www.enaredd.gob.mx/wp-content/uploads/2017/09/Estrategia-Nacional-REDD+-2017-2030.pdf>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2017b. Reporte semanal de resultados de incendios forestales 2017. México, Programa Nacional de Prevención de Incendios Forestales. Consultado 26 oct. 2017. Disponible en <https://www.gob.mx/conafor/documentos/reporte-semanal-de-incendios-2017-90771>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2016. Estrategia nacional sobre biodiversidad de México: Y plan de acción 2016-2030. 1 ed. 388 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET). 2017. La biodiversidad en Jalisco: Estudio de estado Volumen I. México. 396 p. Consultado 29 oct. 2017. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html>
- Cronkleton, P; Bray, DB; Medina, G. 2011. Community Forest Management and the Emergence of Multi-Scale Governance Institutions: Lessons for REDD+ Development from México, Brazil and Bolivia *Forests* 2(2):451. Consultado 19 ago. 2017 Disponible en <http://www.mdpi.com/1999-4907/2/2/451>
- Di Gregorio, A; Jansen, LJM. 2005. Land cover classification system: Classification concepts and user manual (Electrónico). 2 ed. Roma, Italia, FAO. 212 p. Consultado 25 oct. 2017. Disponible en www.fao.org/gtos/doc/ecvs/t09/ecv-t9-landcover-ref25-lccs.pdf.
- Espinoza Mendoza, VE. 2016. Impulsores de cambio en el uso de suelo y almacenamiento de carbono sobre un gradiente de modificación humana de paisajes en Nicaragua (Electrónico). Tesis Maestría. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE),. 170 p. Consultado 25 sep. 2017. Disponible en <http://hdl.handle.net/11554/8589>.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2015. Panorama Agropecuario: Carne Bovina 2015. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. 36 p. (Journal of Hydrology). Disponible en https://www.gob.mx/cms/.../Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Bovino_2015.pdf

- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2017. Panorama Agroalimentario: Carne de bovino 2017. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. 27 p. (Journal of Hydrology). Disponible en https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjB-6exkIDXAhXEQCYKHRI7BK4QFgg3MAM&url=https%3A%2F%2Fwww.gob.mx%2Fcms%2Fuploads%2Fattachment%2Ffile%2F200639%2FPanorama_Agroalimentario_Carne_de_bovino_2017_1.pdf&usq=AOvVaw2D3h74tPklyerpydyfXz1Q.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011. Community-based fire management: A review (Electrónico). Roma, Italia. 99 p. (FAO Forestry Paper). Consultado 27 oct. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/015/i2495e/i2495e00.htm>.
- Gerber, PJ; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Falcucci, A; Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Gerritsen, PRW; Rosales Adame, JJ; Moreno Hernández, A; Louette, D. 2007. Ganadería y sociedad: Los sistemas productivos ganaderos de la Sierra de Manantlán. *In* estado actual y perspectivas de la ganadería extensiva en la Sierra de Manantlán, en el occidente de México (Físico). 1 ed. Autlán de Navarro, México, Petra Ediciones. p. 77-89. (1).
- Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del IPCC. 1 ed. Equipo de redacción principal IPCC; Pachauri, R; Reisinger, A (eds.). Ginebra, Suiza, 104 p. Consultado 16 ago. 2017. Disponible en https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf.
- Halfetter, G. 2011. Reservas de la biósfera: Problemas y oportunidades en México Acta Zoológica Mexicana 27(1):177-189. Consultado 19 may. 2017 Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372011000100014
- Hamilton, L; Dudley, N; Greminger, G; Hassan, N; Lamb, D; Stolton, S; Tognetti, S. 2009. Los bosques y el agua. 1 ed. 101 p. (Estudio FAO: Montes). Consultado 1 Dic. 2018. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=zamocat.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mn=027903>.
- Hennin, MRK; Moya, EG. 2001. Producción animal en la Selva Mediana de la costa de Jalisco. *In* Hernández, L (ed.). Historia ambiental de la ganadería en México. Veracruz, México, Instituto de Ecología A.C. p. 122-132. Consultado 17 oct. 2017.
- Herrero, M; Thornton, PK. 2013. Livestock and global change: emerging issues for sustainable food systems. United States, 20878-81 p. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24344313>.
- Ibarra-Montoya, JL; Román, R; Gutiérrez, K; Gaxiola, J; Arias, V; Bautista, M. 2011. Change in land cover and land use in the north of Jalisco, México: An analysis of the future in a context of climate change (deforestation; land use change; watershed Atengo-Huichol; ground cover). 2011 6(2):18. Disponible en <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/615>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014a. Encuesta Nacional Agropecuaria 2014: Producción de ganado bovino (Electrónico). INEGI México. 4 p. Consultado 20 oct. 2017. Disponible en <https://documentslide.org/poblacion-ganado-mexico>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014b. Producción de ganado bovino (En línea). México, Consultado 20 may. 2017. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/agropecuarias/ena/ena2014/#Mas>.
- Jiménez-Ferrer, G; Aguilar-Argüello, V; Soto-Pinto, L. 2008. Livestock and carbon sequestration in the Lacandon rainforest, Chiapas, México. *In* Rowlinson, P; Steele, M; Nefzaoui, A (eds.).

- Livestock and global climate change. Livestock and global climate change 2008 International Conference Hammamet, Tunisia, Cambridge University Press. p. 195-197.
- Julich, S; Mwangi, HM; Feger, K-H. 2016. Forest Hydrology in the Tropics:1917-1939. doi 10.1007/978-3-642-54601-3_152.
- Kehoe, L; Romero-Muñoz, A; Polaina, E; Estes, L; Kreft, H; Kuemmerle, T. 2017. Biodiversity at risk under future cropland expansion and intensification. *Nature Ecology & Evolution* 1(8):1129. Consultado 3 nov. 2017 Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0234-3>.
- Kolb, M; Mas, J-F; Galicia, L. 2013. Evaluating drivers of land-use change and transition potential models in a complex landscape in Southern México *International Journal of Geographical Information Science* 27(9):1804-1827. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2013.770517> doi 10.1080/13658816.2013.770517.
- Kolb, M; Galicia, L. 2017. Scenarios and story lines: drivers of land use change in southern Mexico (journal article). *Environment, Development and Sustainability*: Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9905-5> doi 10.1007/s10668-016-9905-5.
- Lobovikov, M; German, L; Jaeger, D; Kengen, S; Konijnendijk, C; Buttoud-Kouplevatskaya, I; Komarudin, H; McClain, KM; Nascimento, JR; Schoneveld, G. 2010. Extra-sectoral drivers of forest change. IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations) Secretariat.
- MacDicken, K; Jonsson, Ö; Piña, L; Maulo, S; Contessa, V; Adikari, Y; Garzuglia, M; Lindquist, E; Reams, G; D'Annunzio, R. 2016. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015: cómo están cambiando los bosques del mundo? 2da ed. FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura) (ed.) Roma, Italia, 54 p.
- Manzo-Delgado, L; Sánchez-Colón, S; Álvarez, R. 2009. Assessment of seasonal forest fire risk using NOAA-AVHRR: a case study in central México *International Journal of Remote Sensing* 30(19):4991-5013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1080/01431160902852796> doi 10.1080/01431160902852796.
- Marklund, LG. 2012. Identifying drivers of land use change in Mesoamérica. *In* Capacity building workshop on ecosystem conservation and restoration to support achievement of the Aichi biodiversity targets. 2014, San José, Costa Rica). p. 19.
- Mas, J-F; Flamenco, A. 2011. Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México *GeoTropico* 5(1):1-24. Consultado 24 sep. 2017 Disponible en http://www.geotropico.org/ns_5_1_mas-flamenco.pdf.
- Mas, J-F; Lemoine Rodríguez, R; González, R; López Sánchez, J; Piña Garduño, A; Herrera Flores, E. 2017. Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT (actualización cartográfica; cartografía de cubierta/uso de suelo; evaluación de la fiabilidad; inventarios forestales; segmentación de imagen). 2017 23(2):14. Disponible en <http://myb.ojs.incol.mx/index.php/myb/article/view/1472/1652> doi 10.21829/myb.2017.2321472.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human well-being: scenarios, volume 2 (Electrónico). 1 ed. Carpenter, SR; Pingali, PL; Bennett, EM; Zurek, MB (eds.). Washington, USA. Consultado 15 ago. 2017. Disponible en <https://www.millenniumassessment.org/en/Scenarios.html>.
- Newbold, T; Hudson, LN; Hill, SLL; Contu, S; Lysenko, I; Senior, RA; Borger, L; Bennett, DJ; Choimes, A; Collen, B; Day, J; De Palma, A; Diaz, S; Echeverria-Londono, S; Edgar, MJ; Feldman, A; Garon, M; Harrison, MLK; Alhousseini, T; Ingram, DJ; Itescu, Y; Kattge, J; Kemp, V; Kirkpatrick, L; Kleyer, M; Correia, DLP; Martin, CD; Meiri, S; Novosolov, M; Pan, Y; Phillips, HRP; Purves, DW; Robinson, A; Simpson, J; Tuck, SL; Weiher, E; White, HJ; Ewers, RM; Mace, GM; Scharlemann, JPW; Purvis, A. 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity (Article). *Nature* 520(7545):45-50. Disponible en

<http://www.nature.com/nature/journal/v520/n7545/abs/nature14324.html#supplementary-information> doi 10.1038/nature14324.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2006. Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y El Caribe. 1 ed. Killmann, W (ed.). Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 178 p. (Montes).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Informe principal. 1 ed. Roma, Italia: , 346 p p. (Estudio FAO montes). Consultado 15 ago 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/013/i1757s/i1757s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2012. Ganadería mundial 2011 - La ganadería en la seguridad alimentaria. McLeod, A (ed.). Roma, FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO); Federación Panamericana de Lechería (FEPALE). 2012. Situación de la lechería en América Latina y el Caribe 2011. Chile FAO. Consultado 21 oct. 2017.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2016. El estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades con el uso de la tierra. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), .
- Osuna-Osuna, AK; De Jesús Díaz-Torres, J; De Anda-Sánchez, J; Villegas-García, E; Gallardo-Valdez, J; Davila-Vazquez, G. 2015. Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010 Ambiente & Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science 10(2):
- Padilla, O; Pérez, P; Cruz, M; Huilcamaigua, S; Astudillo, S. 2015. Utilización de autómatas celulares como técnica de modelamiento espacial para determinación del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal Ciencias Espaciales; Vol. 8, Núm. 1 (2015): Consultado 25 sep. 2017 Disponible en <https://www.lamjol.info/index.php/CE/article/view/2055/1850>.
- Perez-Vega, A; Álvarez, FR; García, HHR. 2017. Spatial distribution of land use/cover and forest degradation in Sierra Gorda of Guanajuato biosphere reserve Acta Universitaria 26:33-44. Consultado 28 oct. 2017 Disponible en <http://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/1500>.
- Perramond, EP. 2001. La ganadería sonorensis y los cambios ecológicos: una propuesta. In Hernández, L (ed.). Historia ambiental de la ganadería en México. Veracruz, México, Instituto de Ecología A.C. p. 76.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles (Electrónico). 2 ed. CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Ramírez-Mejía, D; Cuevas, G; Meli, P; Mendoza, E. 2017. Land use and cover change scenarios in the Mesoamerican Biological Corridor-Chiapas, México Botanical Sciences 95(2):221-234.
- Ríos, JN. 2006. Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del río Jabonal, cuenca del río Barranca, Costa Rica Costa Rica:17-24.
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca (SAGARPA); Secretaria de Desarrollo Rural (SEDER). 2017. Sistemas agroforestales productivos bajos en emisiones de carbono: Proyecto estratégico SAGARPA - SEDER. 42 p.
- Secretaría de Desarrollo Rural (SEDER). 2017. Modelo de gobernanza para el desarrollo rural en Jalisco: Las tecnologías agroforestales como estrategia REDD+ (En línea). In Jalisco, Consultado 15 ago. 2018. Disponible en http://www.red-sam.enesmorelia.unam.mx/wp-content/uploads/1_MVZ_Seki_Cinco_Martinez.pdf.
- Secretaria de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT). 2013. Informe de la situación del medio ambiente en México: Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de

- desempeño ambiental. México, 382 p. Consultado 26 oct. 2017. Disponible en http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf.
- Shlisky, A; Alencar, AAC; Nolasco, MM; Curran, LM. 2009. Overview: Global fire regime conditions, threats, and opportunities for fire management in the tropics. *In*. Tropical Fire Ecology. Springer, Berlin, Heidelberg, Springer Praxis Books. p. Consultado 27 oct. 2017. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77381-8_3#citeas.
- Soares-Filho, BS; Rodrigues, HO; Costa, W. 2009. Modeling environmental dynamics with Dinámica EGO. Electrónica ed. Belo Horizonte, Minas Gerais, Centro de Sensoriamento Remoto. Universidade Federal de Minas Gerais. . 115 p. Consultado 23 oct. 2017. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Tao_Guo28/publication/282782423_Dinamica_EGO_guidebookpdf/links/561c711108aea80367243fdc.pdf.
- Toruño, I; Mena, M; Guharay, F. 2015. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. CatholiC Relief Services (CRS); El Programa de Gestión Rural Empresarial, Sanidad y Ambiente (PROGRESA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); United States Department of Agriculture (USDA).
- Unión Ganadera Regional de Jalisco (UGRJ). 2017. UGRJ Producción (En línea). Consultado 21 oct. 2017. Disponible en http://www.ugrj.org.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=138&Itemid=228

CAPÍTULO II

ARTÍCULO 1

Análisis espacio – temporal de los incendios forestales en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México

RESUMEN

Los incendios forestales son eventos naturales de perturbación que pueden ocasionar cambios drásticos en la cobertura del terreno, con efectos físicos y ecológicos sobre el ecosistema. Sin embargo, de acuerdo con su severidad y frecuencia, pueden infringir daño a la cobertura vegetal y llegar a afectar los servicios ecosistémicos que prestan. En México, los incendios forestales son parte de los principales impulsores de la deforestación y degradación forestal. La presente investigación, analizó el espacio – temporalidad de los incendios forestales en dos subcuencas de interés en la costa de Jalisco, México. Para esto, se gestionó y sistematizó la información espacial oficial acerca del tema, misma que fue analizada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y con un análisis de densidad de puntos con el estimador *Kernel*. Posteriormente, se creó el *raster* de probabilidades de incendio y el área potencialmente afectada por incendios. Se encontró una importante ocurrencia de incendios, especialmente en la parte noroeste de la zona de estudio. Las actividades agropecuarias junto a las causas intencionales (caza furtiva, vandalismo y cultivos ilícitos) ocasionaron el 82% de los casos de incendios forestales reportados. El valor máximo de frecuencia de incendios alcanzado en toda el área de estudio abarca 4 eventos durante el periodo de evaluación de 10 años. La mayor probabilidad de incendio logra los 69.38%, mientras que la mínima es de apenas 49.57%. Entre ambas categorías se suma el 95% de la extensión del área de estudio, de manera general y espacialmente, la cercanía a centros poblados y zonas de producción agropecuaria incrementa las probabilidades de incendio. Existen mayores posibilidades de incendio en los usos de suelo bosque, selva y vegetación secundaria. En total, 1830 km² de la zona de estudio tiene probabilidades de incendio por encima del 50%, y representan el 48% de la extensión de ambas cuencas.

Palabras claves: Posibilidad de aprovechar el bosque en alguna actividad secundaria, Incendios forestales, Régimen de fuego, Probabilidad de incendio, Patrones espaciales de puntos, Cobertura y Uso de suelo.

1. Introducción

Los incendios forestales son eventos naturales de perturbación que pueden ocasionar cambios drásticos en la cobertura del terreno, con efectos físicos y ecológicos sobre el ecosistema (Cochrane y Ryan 2009). Es usada por la humanidad desde la antigüedad y esencial para manipular el ambiente en muchas sociedades aun hoy; sin embargo, no siempre es usado apropiadamente y a menudo, de acuerdo con su severidad y frecuencia, pueden contribuir ya sea a la deforestación o degradación forestal (Shlisky *et al.* 2009; FAO 2011; CONAFOR 2015). Así, éstos pueden ocurrir por accidentes naturales o iniciarse de manera intencionada. En escalas pequeñas, una combinación proporcionada de calor, combustible y oxígeno es suficiente para iniciar un incendio forestal. Cuando se habla de escalas mayores, se analizan los factores de paisaje, climáticos y vegetación. Sobre éstos se incluyen últimamente las anomalías climáticas extremas y los factores culturales (Cochrane y Ryan 2009; Manzo-Delgado *et al.* 2009).

Cuando se desarrollan de manera descontrolada pueden afectar gravemente la cobertura de bosque y poner en riesgo la sostenibilidad en la provisión de servicios ecosistémicos. Así, en un nivel mundial, se considera que los incendios forestales forman parte de los impulsores de deforestación más importantes, que además, pueden aportar una considerable cantidad de emisiones de dióxido de carbono al ambiente, al afectar los bosques como sumideros de carbono (MacDicken *et al.* 2016; FAO 2016). De esta manera, al menos el 60% de la superficie terrestre ha alterado su régimen de fuego y alrededor del 20% de los hábitats globales son ahora clasificados como sensibles al fuego (Shlisky *et al.* 2009).

La biodiversidad puede verse fuertemente afectada por cambios drásticos en los regímenes de incendio en un paisaje. Si bien, los incendios cumplen una función importante como fuerza selectora y guía para la adaptación de especies, riqueza y diversidad de comunidades, forman parte también de las principales amenazas a la biodiversidad en los bosques tropicales, debido a que puede cubrir espacialmente amplias áreas en periodos de tiempo cortos (Manzo-Delgado *et al.* 2009). De manera similar, su estrecha relación con actividades e intereses antropogénicos ocasiona que los incendios tengan más impacto sobre la biodiversidad, comparada con otras causas de degradación forestal (Barlow y Silveira 2009).

Los incendios forestales también tienen un rol importante en las alteraciones de la cobertura y uso de suelo. Los pequeños productores agropecuarios, especialmente emplean la técnica de roza, tumba y quema, para usualmente limpiar bosque primario o secundario y ampliar la producción de alimentos (Palm *et al.* 2005; SAGARPA 2017). Según la FAO (2011), la consolidación del cambio de uso de suelo en el paisaje puede exacerbar aún más la utilización peligrosa del fuego. A éste se le puede sumar el incremento de la población en el área rural, políticas inadecuadas o inapropiadas y el cambio climático.

En México, los incendios forestales son incluidos en el grupo de los principales impulsores que causan la deforestación y degradación forestal (SAGARPA y SEDER 2017). Según registros oficiales de SEMARNAT (2013), el 36.3% del área incendiada de orden nacional está relacionada con actividades agropecuarias. La práctica de la tumba y quema para habilitación de terrenos productivos, especialmente para pastizales y en menor medida para cultivos agrícolas, está considerada dentro de este tipo de actividades que realizan los productores (Palm *et al.* 2005).

En la costa del Estado de Jalisco está identificada una zona prioritaria de conservación de biodiversidad, donde existen dos áreas protegidas de interés: la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (RBSM) y la Reserva de la Biósfera Chamela Cuixmala (RBCC) (CONAFOR 2015). Ambas tienen un conflicto con los incendios forestales que acontecen en su interior (en especial la RSBM), alrededores (Balcázar Medina 2011) y en el medio del corredor natural que los conecta, pues están atravesadas por un paisaje productivo de vocación especialmente ganadera en los valles, y agrícola en las planicies. El extremo de cada área protegida que podría conectarse y el paisaje que las divide se asienta en las subcuencas de los ríos Cuixmala y Purificación (CONAGUA 2016). Ambas áreas protegidas, junto a instituciones nacionales, estatales y locales como CONAFOR, SEMADET, UdG, UNAM y JICOSUR, entre otros, se ocupan de las actividades de prevención, control y monitoreo de los incendios forestales.

El monitoreo de los incendios forestales en la zona de estudio indica que a pesar de existir variación entre cada año, los últimos muestran una tendencia a disminuir (Balcázar Medina 2011).

Estas variaciones son parte de las dinámicas de cambio de cobertura y uso de suelo de la zona, y los cambios en el régimen de fuego. Según Cochrane y Ryan (2009), el término régimen de fuego es útil para entender el rol del fuego en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas en escala amplia. No obstante, las variaciones en el ambiente pueden alterar significativamente los impactos ecosistémicos en cada evento y entre eventos; por tanto, modificar el comportamiento potencial de futuros incendios. Esta herramienta es aplicada en el análisis de patrones espacio-temporales de incendios forestales. Ha sido usada con incendios en múltiples escalas, con base en registros históricos de eventos y bajo alguna influencia sobre el régimen de fuego o el paisaje (Kellogg *et al.* 2008; McKenzie y Kennedy 2012; Turner y Simard 2017).

Identificar cuáles son los cambios en el régimen de fuego en el nivel de paisaje es apropiado para planificaciones estratégicas a largo plazo y para ilustrar los cambios en el tiempo, debido a causas climáticas o antropogénicas (Cochrane y Ryan 2009). Así mismo, esta información puede ayudar a identificar objetivos de manejo y prioridades de restauración (Brown *et al.* 2004). En este caso, los registros espaciales de incendios son una fuente de información valiosa y a menudo insuficiente (Manzo-Delgado *et al.* 2009).

Igual que en muchos países, en México se promueven diferentes iniciativas de conservación y control de los incendios forestales para evitar el cambio de cobertura/uso de suelo (CONAFOR 2015). La información acerca de la efectividad de las mismas es aún insuficiente para poder plantear ajustes a los enfoques de trabajo. La situación es compleja, pues existe evidencia de que la introducción de sólo prácticas agronómicas sostenibles no será suficiente para detener la deforestación ya que esta resulta económicamente más atractiva para el sector privado, a pesar incluso de los costos sociales (Palm *et al.* 2005). Frente a todo ese panorama, es importante desarrollar análisis que permitan un mejor entendimiento sobre las dinámicas de los incendios forestales, en espacio y tiempo, en zonas que son prioritarias para la conservación, y que están bajo la presión constante de impulsores de deforestación y degradación.

Por tales motivos, la presente investigación tuvo como objetivo analizar la espacio – temporalidad de los incendios forestales en las dos subcuencas de la costa de Jalisco, México.

2. Metodología

2.1. Sitio de estudio

La zona de estudio abarca dos subcuencas, de los ríos Cuixmala y Purificación. Ambas pertenecen a la región hidrológica 15 - costa de Jalisco (RH15), ubicada sobre la costa pacífica del Estado de Jalisco, México. El área total de ambas suma un aproximado de 3341 km², mientras que el perímetro ronda los 383.5 km (ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Parámetros morfométricos de las cuencas en estudio

Nombre Subcuenca	Región hidrológica	Código subcuenca	Área km ²	Perímetro km	Centroide X*	Centroide Y*
Río Cuixmala	RH-15	RH15-Ba	2221	363	520450.08	2169279.57
Río Purificación		RH15-Ac	1120	236	539005.41	2145702.94

* Para Datum NAD27 UTM 13N

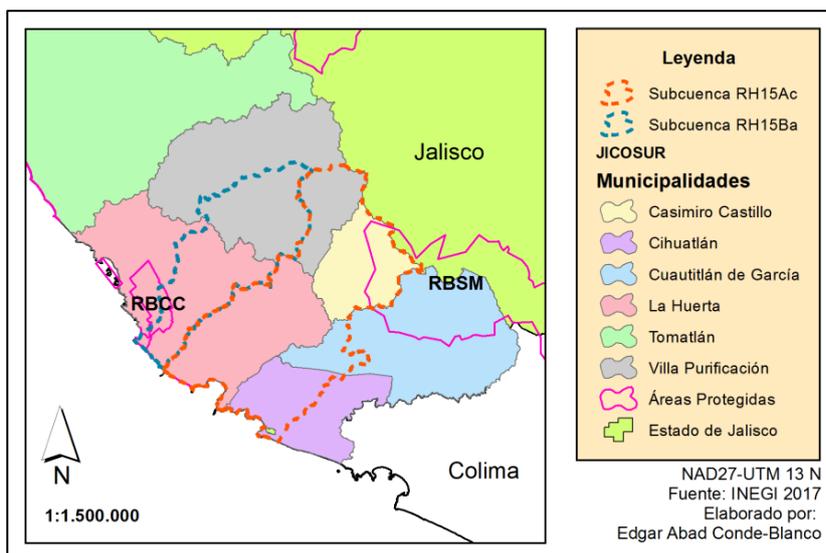


Figura 4. Ubicación de las subcuencas respecto de JICOSUR

Según CONABIO y SEMADET (2017b), todo el Estado de Jalisco está dominado por el clima templado, y en menor parte por el clima cálido y seco. La temperatura promedio es de 25°C. La precipitación anual estimada para la RH15 asciende a 1144 mm. La mayor parte de la lluvia se presenta entre julio y octubre (INEGI 2016) (ver Figura 5), y es superior al promedio de precipitación media anual del Estado (842.5 mm) (CONAGUA 2015). Cabe resaltar que sobre esta zona particularmente, se han reportado ciclones y tormentas tropicales (CONAGUA 2016).

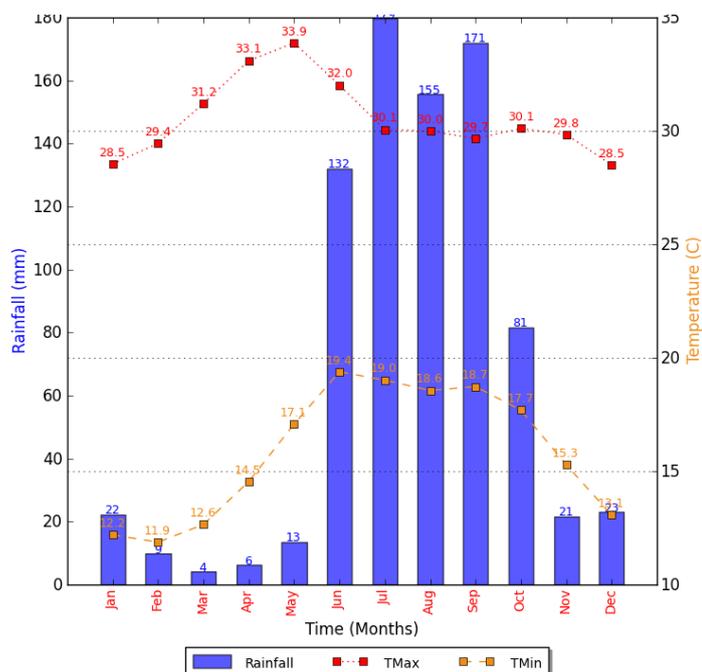


Figura 5. Climograma sobre comportamiento histórico anual de la precipitación, junto a temperaturas máximas y mínimas de la zona de estudio

Fuente: MarkSim DSSAT weather file generator (2017).

El relieve de la costa de Jalisco presenta una importante sierra formada por rocas ígneas intrusivas y extrusivas, donde la mitad es granito. Existen amplios valles intermontanos con poco relleno aluvial. Dentro de la sierra se localizan algunas topoformas como mesetas complejas, lomerías, cañones y llanuras (INEGI 2000). En relación con los suelos, se originaron por la meteorización de rocas y minerales en diferentes niveles y por zonas climáticas. Como resultado, se reconocen 20 grupos de suelos en todo el Estado, la mayoría con aptitud para las actividades agropecuarias (CONABIO y SEMADET 2017b).

Jalisco es considerado un estado abastecedor de granos. Es el segundo productor nacional de maíz, pero primer lugar en maíz forrajero y sorgo. La actividad productiva se concentra especialmente en la zona de la costa y alrededor del lago Chapala. Para alcanzar tal producción, el Estado cuenta con tres distritos de riego y dos módulos. Éstos alcanzan 121189 ha regables, aunque en promedio anual se riegan 60196 ha. Por otro lado, se registran 1803 unidades de riego en el Estado, las cuales alcanzan 156480 ha. Los cultivos principales de los distritos bajo riego son maíz grano, caña de azúcar, pastos y maíz forrajero (CONAGUA 2015).

La población total de las cinco municipalidades que comparten el territorio de las subcuencas asciende a 116289 habitantes, que representa el 1.48% de la población del Estado de Jalisco. La tasa media anual de crecimiento poblacional del Estado alcanza 1.84%; mientras que el índice de desarrollo humano para el año 2012 fue de 0.751, por encima del valor registrado de carácter nacional, de 0.746. Los índices de educación y salud ascienden a 0.622 y 0.846, cercanos a los promedios nacionales de 0.625 y 0.835 respectivamente (CONAGUA 2015). De igual forma, se informan cambios importantes en los últimos años, como el incremento en los rangos de mayor edad y tendencia al proceso de urbanización de las localidades rurales (CONABIO y SEMADET 2017b).

2.2. Procedimientos metodológicos

Se filtró y sistematizó la información espacial sobre incendios. Posteriormente se generaron capas *raster* con la sumatoria de eventos de incendios registrados. Luego, se realizó un análisis de densidad de puntos, y se generó el *raster* de probabilidades de incendio. Se analizó la relación entre el tipo de uso y cobertura de suelo, con los registros de incendios, y finalmente se calculó la cantidad de ha potencialmente afectadas por incendios (ver Figura 6).

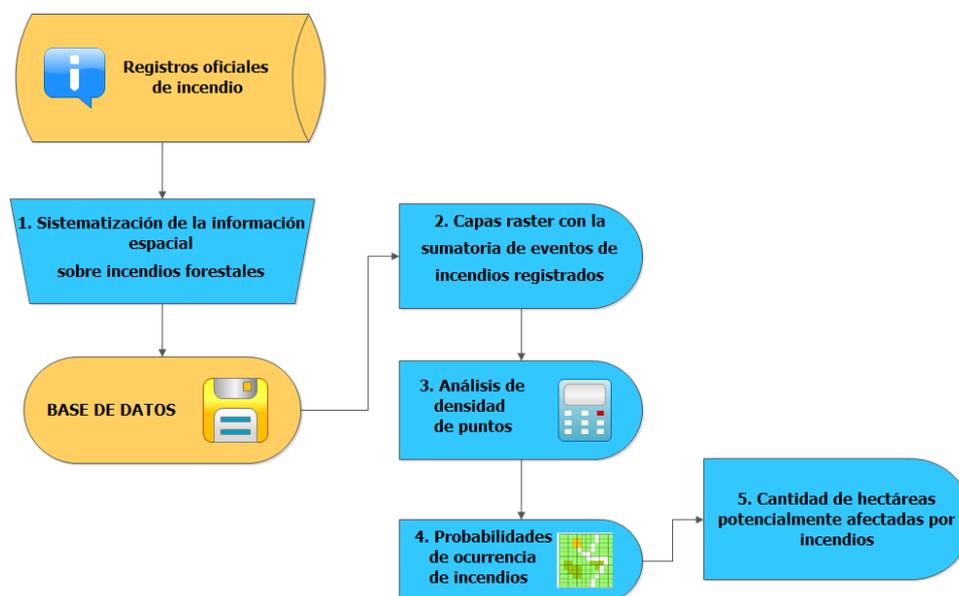


Figura 6. Procedimiento metodológico empleado en el presente artículo

2.2.1. Sistematización de la información espacial sobre incendios forestales

Se gestionaron registros históricos de incendios forestales correspondientes a la zona de estudio. Esta información fue tramitada formalmente en la CONANP-DRBSM (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas - Dirección de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán), SEMADET (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial) y CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). La información que entregaron fue analizada en Microsoft Excel y con herramientas de ArcGis 10.2.

Seguidamente se creó un buffer de 4 km alrededor de las dos subcuencas para así poder incluir los polígonos de incendio que cruzaban los límites del área de estudio; segundo, se utilizó el *Datum* NAD27 en coordenadas proyectadas UTM de la zona 13 norte para uniformizar la información geográfica. Ambos procesos se realizaron con la herramienta de ArcGis. A continuación, los principales procedimientos aplicados sobre la información original para construir la base geográfica de datos que se detallan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Procedimientos aplicados en la sistematización de los datos de registros de incendio

Años	Fuente	Formato	Operaciones
2008	SEMADET y CONANP- DRBSM	* Tablas de registros, formato Excel	* Creación capa puntos shapefile
2009			* Eliminación datos fuera de zona de estudio
2010			* Creación de buffer sobre cada punto
2011			* <i>Dissolve</i> sobre polígonos
2012			* Transformación de capa a <i>raster</i> 90 x 90 m
2013		* Polígonos shapefile	* Ajuste de la proyección y datum
2014			* Creación capa puntos shapefile
2015			* Eliminación datos fuera de zona de estudio
2016	* Tabla de registros,	* Creación de buffer sobre cada punto	
2017			

		formato Excel	<ul style="list-style-type: none"> * Unión de buffers con polígonos * <i>Dissolve</i> sobre polígonos * Transformación de capa a <i>raster</i> 90 x 90 m
	CONAFOR		<ul style="list-style-type: none"> * Ajuste de la proyección y datum * Eliminación áreas fuera de zona de estudio * <i>Dissolve</i> sobre polígonos * Transformación de capa a <i>raster</i> 90 x 90 m

Antes de concluir con las capas *raster* de cada año de incendio registrado, se analizaron las principales causas de los incendios y se determinaron parámetros estadísticos básicos en InfoStat, como área promedio afectada anualmente, la suma de los incendios registrados en el periodo y el área total de incendios sin considerar los lugares donde se repitieron incendios.

2.2.2. Capas *raster* con la sumatoria de eventos de incendios registrados

Las capas *raster* creadas para cada año contenían dos posibles valores: 0 para celdas sin registro de incendio y 1 para celdas con registro de incendio forestal. Las 10 capas *raster* fueron sumadas usando la herramienta *raster calculator* en ArcGis (Ver Figura 7).

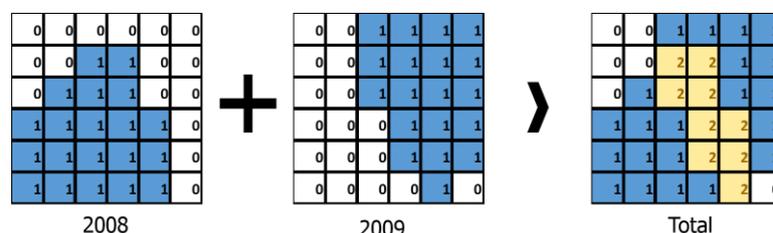


Figura 7. Ejemplo sobre la asignación de valores a cada año de incendio registrado y la suma de capas *raster*

2.2.3. Análisis de densidad de puntos

A continuación, se transformó el *raster* en capas de puntos en función de la cantidad de incendios registrados por celda, con la herramienta *raster to point*. Se aplicó el estimador de densidad de Kernel sobre la capa de puntos resultante, utilizando la función *kernel density* en ArcGis. En la misma se empleó el parámetro de cantidad de registrados por celda como *population field*, 90m como tamaño de las celdas resultantes, y un radio de búsqueda calculado automáticamente de acuerdo con el tamaño de la ventana de análisis de 2856 m.

Básicamente, una función de probabilidad de densidad considera cualquier valor de X y la probabilidad de su densidad en función a f . Por tanto, esta función f permite describir la distribución natural de X , y así, sus probabilidades asociadas con la función (Silverman 1986). En esta investigación se utilizó el estimador Kernel usado para estimar la densidad de variables continuas en el análisis espacial de patrones de puntos (Crawley 2013). El estimador está definido por lo siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K \left(\frac{x - X_i}{h} \right)$$

donde el estimador f es la función de densidad por estimar para una variable x , h es el tamaño de la ventana o ancho de banda, n la cantidad de observaciones, K la función de Kernel, y X_i es la distancia hacia un punto cualquiera (ver Figura 8).

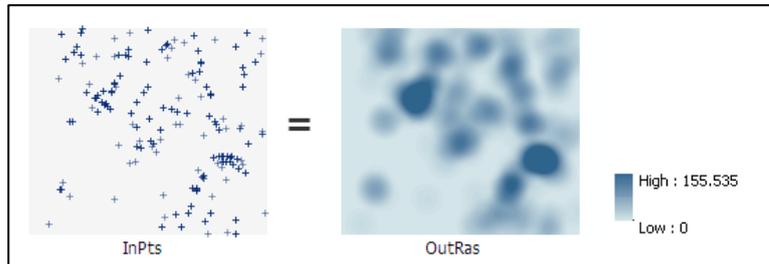


Figura 8. Ejemplo de *raster* de salida de la función *Kernel density*

Fuente: ESRI 2018

2.2.4. Probabilidades de ocurrencia de incendios

A partir del *raster* resultante, se obtuvieron las probabilidades de una distribución normal en cada celda. Para esto, se utilizó la librería *raster* en la interfaz de R para InfoStat. Después de cargar la capa Kernel en formato *raster*, se obtuvieron los valores de probabilidad de una distribución normal sobre la capa, con la función *pnorm*. Se especificó que considere la media de la capa y dos veces la desviación estándar para alcanzar 380. En el siguiente paso se usó la función *values*, para obtener los valores para cada celda de un *raster* nuevo. Finalmente, se creó el *raster* con las probabilidades por celda con la función *writeRaster*.

Se analizó la extensión que cubren las diferentes probabilidades de incendio y los usos de suelo más afectados. Para esto, se reclasificaron los rangos en no significativo, baja, media, alta y muy alta probabilidad de incendio. Posteriormente, el *raster* reclasificado fue convertido a polígono shapefile en función de los nuevos rangos, se disolvió y calculó el área de cada rango para el área de estudio sin considerar la zona buffer.

2.2.5. Cantidad de hectáreas potencialmente afectadas por incendios

Se determinó el área total que tiene probabilidades por encima del 50% y se restó del área total de la subcuenca. Se determinó también la extensión que abarca cada nuevo rango de probabilidades de incendio. El procedimiento fue realizado en ArcGis.

3. Resultados y discusión

3.1. Sistematización de la información espacial sobre incendios forestales

En total se recopilieron datos de 10 años de monitoreo de incendios forestales de la zona de estudio, en formato de hojas de cálculo de Excel y polígonos shapefile. Estos datos corresponden al periodo 2008–2017. Cabe resaltar que en los datos del periodo 2008-2013 sólo registran el

punto de incendio más la cantidad aproximada de hectáreas afectadas; en cambio, los datos del 2014-2017 presentan polígonos de incendios georreferenciados. Dentro esta base de datos se incluyen los siguientes: Datos oficiales en el nivel de país a cargo de CONAFOR, Datos estatales de SEMADET Jalisco, y Datos locales e investigaciones coordinadas entre la CONANP-DRBSM y Universidad de Guadalajara. Cabe resaltar que los registros de incendios sólo consideran los eventos ocurridos en áreas consideradas oficialmente como cobertura vegetal forestal; es decir, que en la realidad acontecieron más incendios como quemas descontroladas de pastizales y de caña, pero éstos no se registran en la base de datos, pues no existe afectación a la cobertura vegetal forestal ni cambio de uso de suelo.

Los resultados muestran incidencia considerable de incendios en la zona de estudio. En el periodo 2008-2017 se registraron 279 incendios forestales que dejan una cicatriz total de 213.5 km², y representan el 6.4% del área total. En promedio se quemaron 2658 ha por año, lo cual corresponde al 0.8% del área total de las subcuencas. Los datos denotan una tendencia donde incrementan la cantidad de eventos ($R^2=0.52$) y a cantidad de hectáreas quemadas ($R^2=0.39$). Hasta el 2010 se registra un descenso en los valores, los cuales incrementan hasta el 2013. Los datos vuelven a disminuir hacia el 2015, para incrementar considerablemente en el 2016 y en el 2017 (ver Figura 9).

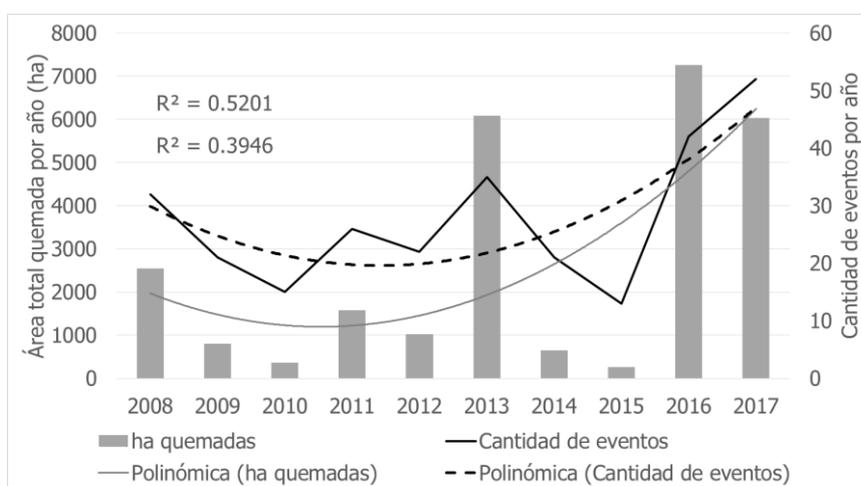


Figura 9. Histograma sobre los registros anuales de hectáreas quemadas y eventos de incendios, para el periodo 2008-2017 en la zona de estudio

El año 2013 se registra la mayor extensión de incendios, con 6085 ha afectadas, mientras que el 2015 muestra apenas 255 ha quemadas como máximo. Respecto del número de eventos, el 2017 reconoce la mayor cantidad de incendios con 52 sucesos; en cambio, el 2015 sólo contempla 13 eventos. (Ver Cuadro 4). Tales variaciones pueden deberse a cambios en los factores físicos (topografía y clima), biológicos (estructura y funcionalidad de la comunidad), y anomalías climáticas como fenómenos del Niño, Niña y eventos extremos (Barlow y Silveira 2009; Manzo-Delgado *et al.* 2009; Cerano-Paredes *et al.* 2015). De igual manera, ha iniciado la regulación de incendios prescritos en la zona, y aunque existe evidencia acerca de las ventajas que se tiene en el control de combustible sobre el terreno (Boer *et al.* 2009), se carece de información acerca del éxito de esta medida en la zona de estudio.

Cuadro 4. Reconocimiento de incendios forestales registrados anualmente (2008-2017) en la zona de estudio

Año	Cantidad de eventos	Media (ha)	Error estándar	Registro mínimo (ha)	Registro máximo (ha)	Total (ha)
2008	32	79.48	±201.12	0.67	1045.41	2543.26
2009	21	37.90	±37.77	2.00	170.00	796.00
2010	15	24.21	±31.99	0.56	100.00	363.17
2011	26	60.40	±117.21	1.06	603.75	1570.51
2012	22	46.10	±68.36	1.00	256.00	1014.22
2013	35	173.85	±303.33	1.00	1376.00	6084.76
2014	21	31.03	±43.56	0.04	178.52	651.58
2015	13	19.67	±20.35	2.21	75.00	255.71
2016	42	173.15	±217.82	1.48	852.65	7272.31
2017	52	115.96	±201.35	0.65	1054.46	6030.13
Media	27,9	95.27				2658.16
Total	279					26581.60

Otros factores que podrían influir en las tendencias de incendios son la ocurrencia del fenómeno del niño/niña y la llegada de ciclones tropicales. Zúñiga-Vásquez y Pompa-García (2018), afirman que existe una relación estadísticamente significativa entre la cantidad de incendios en México⁴ y la ocurrencia de los fenómenos Niño/Niña, es decir, que a menores valores del Índice Multivariado del ENSO⁵ (MEI), existen más eventos de incendio. En el caso de ciclones tropicales, éstos pueden provocar deslaves cuando son prolongados e intensos (Sampablo *et al.* 2016) y ocasionar caída de árboles, lo que luego queda como material combustible para futuros incendios. En la zona, Jova en 2011, Manuel en 2013 y Patricia en 2015, golpearon las costas y zonas montañosas aledañas. Estos fenómenos podrían estar influyendo para que los registros de incendios y área afectada sean superiores durante el 2011, 2013 y 2016.

La homogenización del *Datum* facilitó el procesamiento de las imágenes, mientras que el buffer de 4 km creado permitió incluir en el análisis incendios registrados cuyo polígono cruzaba los límites del área de estudio. La ubicación de los incendios y las cicatrices que dejan por año, en el periodo 2008-2017, se aprecian en la Figura 10. Es posible reconocer que la zona noreste presenta mayor registro de incendios y mayor área afectada en total.

⁴ Especialmente en los meses abril, mayo y junio.

⁵ El Niño Southern Oscillation

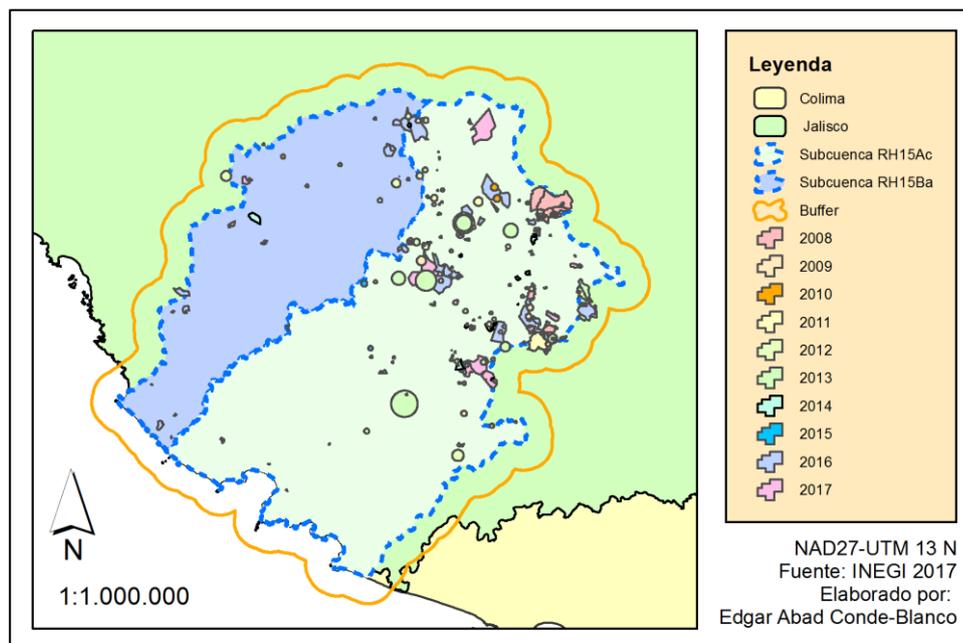


Figura 10. Ubicación espacial de los incendios registrados durante 2008-2017, dentro el área de estudio y el *buffer* creado alrededor

La principal causa de incendios se debe a actividades agropecuarias, con el 59% de los casos registrados. Le siguen los incendios por causas intencionales (cazadores furtivos, vandalismo y cultivos ilícitos) con el 23%. Posteriormente aparecen los incendios por causas desconocidas o no definidas que rondan el 12%, seguido de los casos iniciados por fumadores con el 4%, y por accidentes (actividades de paseantes y rayos), con un porcentaje cercano al 6%. Otras causas, como quema de basureros, limpieza de los derechos de vía, fogatas, alcanzan un porcentaje reducido (0.3%) (ver Figura 11).

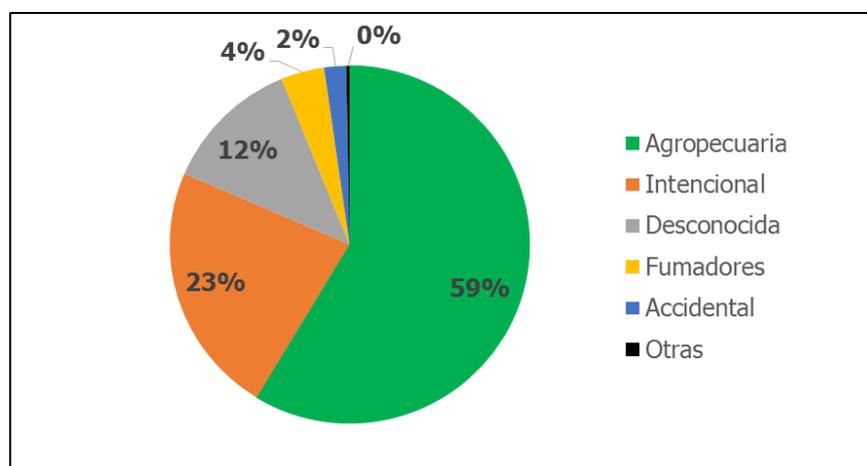


Figura 11. Principales causas de los incendios registrados en la zona de estudio durante el periodo 2008-2017

Las actividades agropecuarias son la principal causa de incendios forestales en las dos subcuencas, por lo menos en 8 de los 10 años monitoreados. Los incendios causados

intencionalmente cubren un área considerable los años 2008, 2013, 2016 y 2017. Esto coincide con reportes de vandalismo en la zona y recrudescimiento de actividades ilícitas (Cárdenas-Hernández y Gerritsen 2015). Los incendios por causas desconocidas adquieren importancia a partir del 2014 (ver Figura 12). Esto coincide con lo encontrado por Balcázar Medina (2011), quien determinó que los cultivos ilegales, quemas agropecuarias e incendios intencionales causaron el 92% de los incendios registrados en el área de la RBSM en el periodo 2001-2008. No obstante, cuando se analiza el área afectada por cada tipo de razón de incendio, existe aún una importante cantidad de hectáreas afectadas a partir del 2014, en las cuales no se logran identificar los causales. (Ver Cuadro 5).

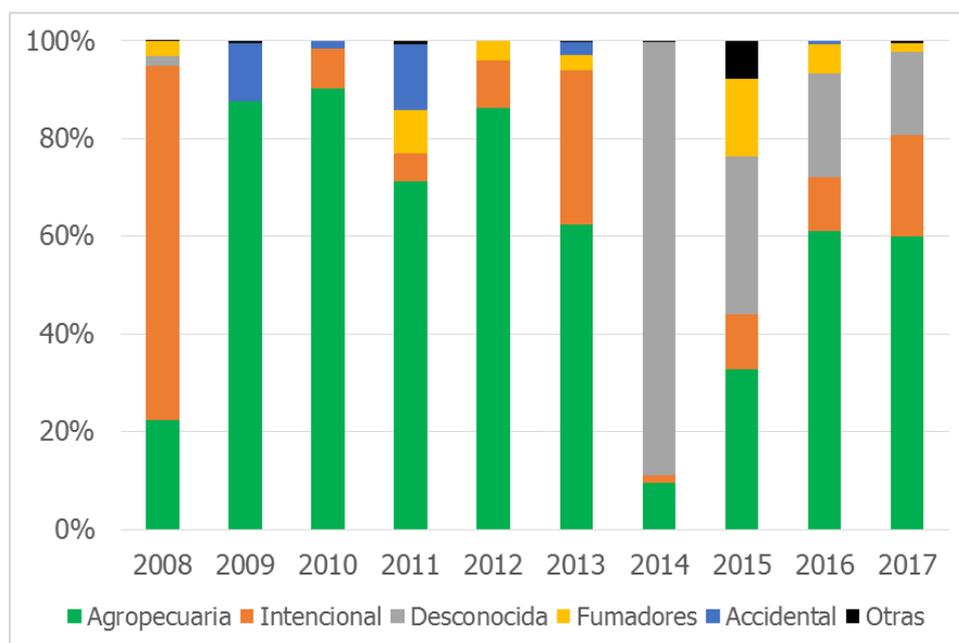


Figura 12. Proporción de las causas de los incendios

Cuadro 5. Principales causas de los incendios por año en la zona de estudio

Año	Agropecuaria	Intencional	Desconocida	Fumadores	Accidental	Otras	Total general
2008	570.26	1840.98	54.99	75.00	-	2.00	2543.23
2009	697.00	-	-	-	95.00	4.00	796.00
2010	328.00	29.39	-	-	5.78	-	363.17
2011	1119.48	88.21	-	140.00	210.82	12.00	1570.51
2012	874.29	98.93	-	41.00	-	-	1014.22
2013	3797.02	1918.03	-	197.50	160.20	12.00	6084.75
2014	62.00	10.00	578.58	-	-	1.00	651.58
2015	84.00	28.50	82.71	40.50	-	20.00	255.71
2016	4434.31	812.71	1540.23	433.01	52.04	-	7272.29
2017	3619.98	1246.56	1027.55	108.57	-	27.47	6030.13
Total	15586.34	6073.31	3284.05	1035.58	523.84	78.47	26581.58
%	58.64	22.85	12.35	3.90	1.97	0.30	100.00

3.2. Capas *raster* con la sumatoria de eventos de incendios registrados

El resultado de la suma de los *raster* contiene celdas con registros entre 0 y 4; es decir, que existen áreas dentro de las subcuencas donde no se registraron incendios en el periodo de 10 años y otras en las que hubo incendios hasta en cuatro oportunidades (ver Figura 13). Esto se asemeja a lo encontrado por Balcázar Medina (2011), quien identificó hasta 6 eventos de incendio en un mismo lugar en el área de la RBSM.

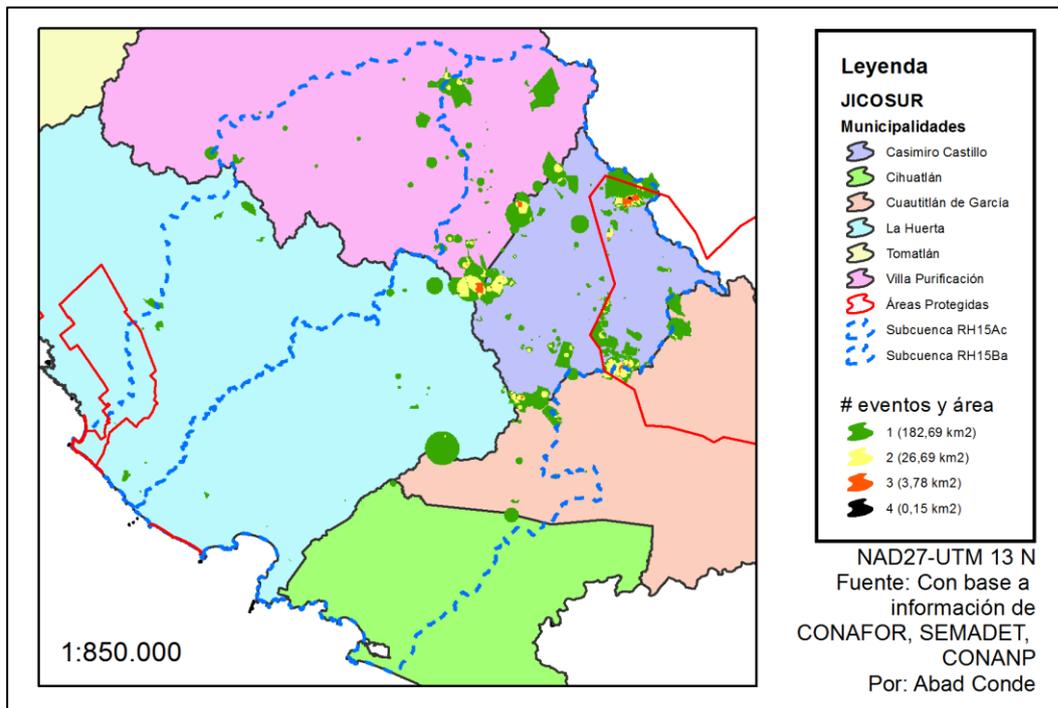


Figura 13. Sumatoria de los eventos de incendios registrados y el área aproximada que cubren dentro el área de estudio

Existen 26334 píxeles de 90 por 90 m que cubren aproximadamente 213 km² del área de estudio incluida la zona buffer. Esto significa que aproximadamente el 4.51% del área total presenta al menos un registro de incendio en los 10 años de monitoreo. Los reconocimientos ocurren mayormente en el territorio del municipio Casimiro Castillo, seguido de Villa Purificación y La Huerta. Los valores encontrados también se presentan dentro de las áreas protegidas de la zona, en especial de la región de amortiguamiento de la RBSM⁶. Este patrón de incendio dentro del área protegida coincide parcialmente con los encontrados por Balcázar Medina (2011), quien definió áreas críticas de alta incidencia de incendios en la reserva.

La variación de los años puede deberse a causas antrópicas, como el cambio de uso de suelo hacia actividades agropecuarias, y por lo comentado por Cárdenas-Hernández y Gerritsen (2015), no obstante, también existe variabilidad en la ocurrencia de incendios que se relacionan también con los eventos Niño y Niña en la zona de estudio (Barlow y Silveira 2009; Cerano-Paredes *et al.* 2015).

⁶ Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán

3.3. Análisis de densidad de puntos

El estimador de densidad *Kernel* determinó una magnitud adimensional máxima de 195.8, y mínima de 0. La media alcanza 3.9 y la desviación estándar de 15.3. La paleta de colores muestra los lugares con magnitud elevada en tonos oscuros de azul, mientras que las magnitudes inferiores son de color claro. (Ver Figura 14).

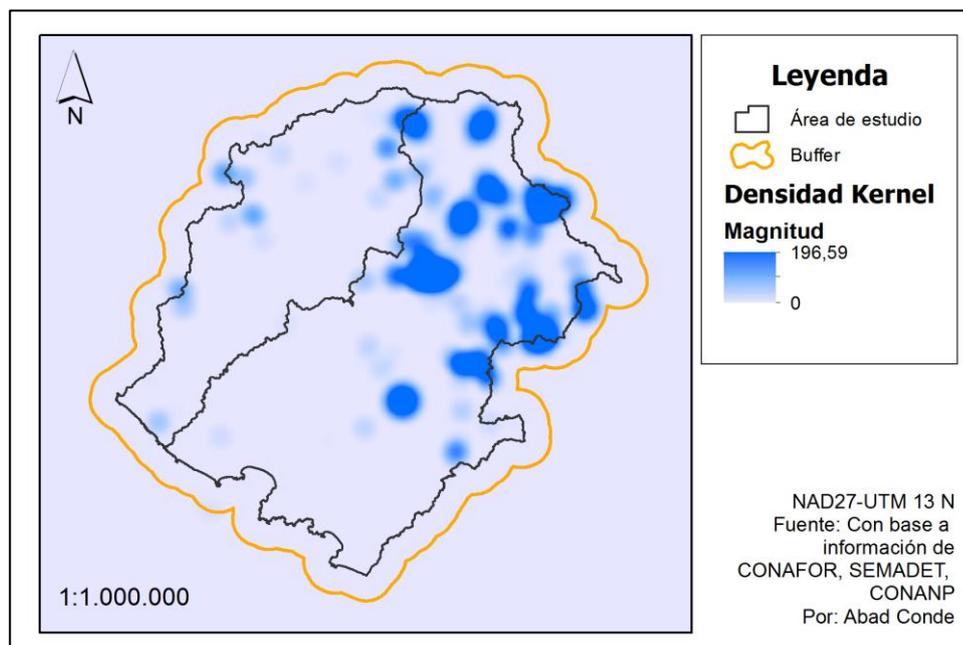


Figura 14. Resultados del análisis de densidad de Kernel sobre los registros de incendio en la zona de estudio, para el periodo 2008-2017

3.4. Probabilidades de ocurrencia de incendios

La probabilidad mínima determinada por la función de distribución asciende a 49.57%, mientras que el valor máximo alcanza el 69.38%. Los 5 rangos de probabilidades generados (<50, 50-55, 55-60, 60-65, 65-70), permiten aseverar, que más del 95% del área de estudio tiene una probabilidad de incendio menor al 55% (ver Figura 15).

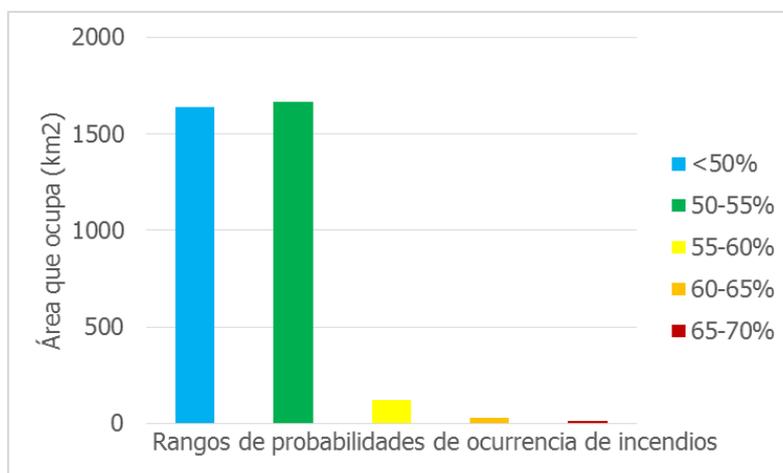


Figura 15. Rangos de probabilidades de incendio y el área que abarcan

El primer rango, de menos de 50% de probabilidades, ocupa alrededor del 47.21% del área total de las subcuencas y no tendría probabilidad significativa de incendio considerando los 10 años de monitoreo. El siguiente rango, entre 50 y 55% de probabilidades, alcanza un porcentaje del 48.03%. El rango con mayores probabilidades de incendio, de 65 a 70%, cubre el 0.33% de las subcuencas, lo cual representa 11.5 km². La media de las probabilidades asciende a 50.38% ± 4.25 al 95% de confianza.

Cuando se sobreponen los resultados encontrados, sobre la última versión de la cobertura y uso de suelo de la zona (2015), se puede distinguir que las probabilidades de incendio se agrupan especialmente en la parte noreste de las subcuencas, en las zonas montañosas típicamente con cobertura de bosque o vegetación secundaria, alrededor de actividades agrícolas y pastizales. Esto coincide parcialmente con lo encontrado por dos autores: Balcázar Medina (2011) y Manzo-Delgado *et al.* (2009), quienes localizaron mayores ocurrencias de incendios en las partes montañosas con pendientes fuertes y bosque, aledaños a terrenos privados agropecuarios. La principal zona de producción agropecuaria en el llano central donde se ubica el municipio de Casimiro Castillo tiene la mayor parte su territorio bajo probabilidades del 50-55%, y se incluyen zonas con probabilidades de hasta el 70%.

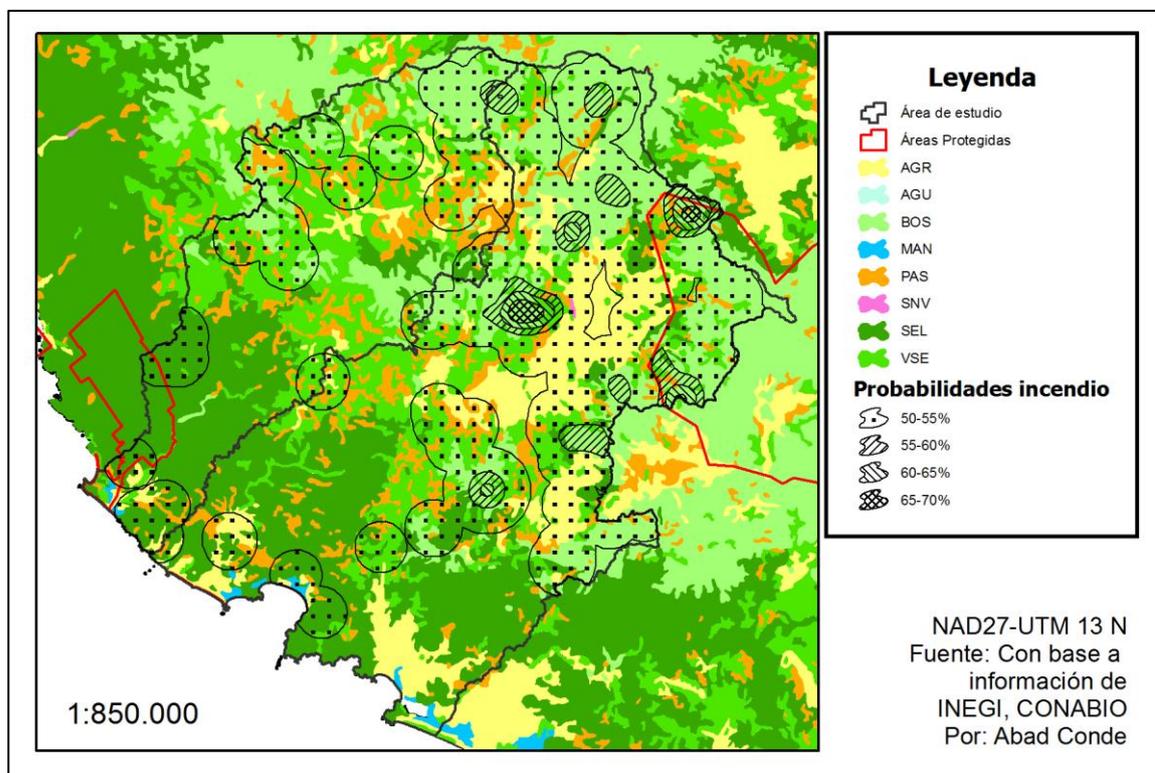


Figura 16. Rangos de probabilidades de ocurrencia de incendios y los usos de suelo sobre los que asientan

Los registros encontrados muestran probabilidades de incendio entre 50-55% dentro de la zona de la RBSM⁷ y en menor medida alrededor de la RBCC⁸. Sobre esto, Cárdenas-Hernández y Gerritsen (2015), sostienen que dentro de la reserva Sierra de Manantlán, los cambios en la cobertura y uso de suelo responden a tendencias en lo social y productivo. En este caso, la cercanía a centros poblados y zonas de producción agropecuaria incrementa las probabilidades de incendio. Sin embargo, Balcázar Medina (2011) encontró mayores frecuencias de incendio y afectación en la parte central de la reserva; no obstante, coincidió bastante con la distribución y tamaño de los incendios en la parte oeste de la RSBM que forma parte del área de estudio. Los patrones encontrados coinciden con lo expuesto por Schulze *et al.* (2018), que identificaron la ocurrencia de incendios, la urbanización y la ganadería dentro de las principales amenazas a las áreas protegidas en el mundo.

Los resultados muestran que a mayor probabilidad de incendio en la zona, el bosque resulta progresivamente más afectado; mientras disminuye la afectación a selva y vegetación secundaria. De manera general, los incendios en estas coberturas (bosque, vegetación secundaria y selva), ocupan alrededor del 80% de las probabilidades de incendio en la zona de estudio (ver Figura 17), y supera el 67.5% que determinó Balcázar Medina (2011) para bosques de pino-encino, en el periodo anterior (2001-2008). Esto coincide por lo encontrado por Zúñiga-Vásquez y Pompa-García (2018), que ubicaron mayor afectación por incendios especialmente en bosques templados y pastizales que en zonas de selva húmeda y vegetación secundaria (Matorrales).

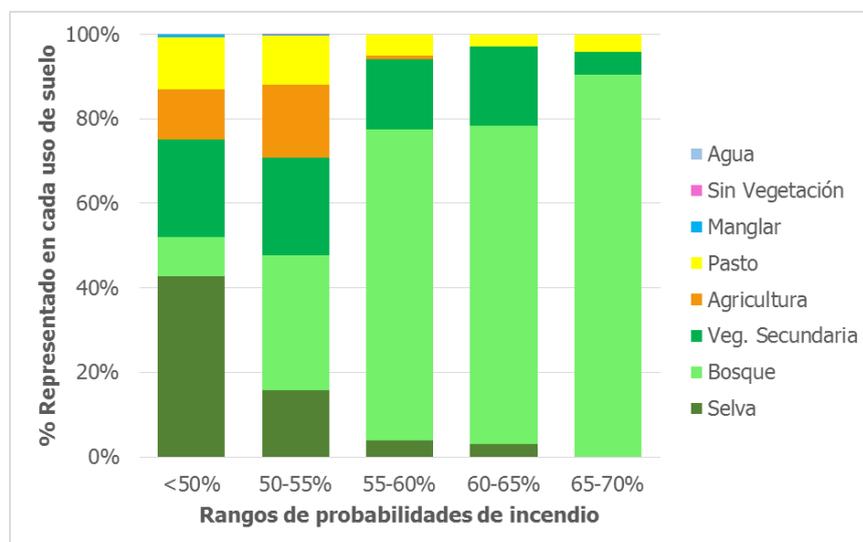


Figura 17. Probabilidades de ocurrencia de incendio en la zona de estudio, separado por uso de suelo

Cabe resaltar que las coberturas de pasto están presentes en las zonas con mayores probabilidades de incendio; mientras que las actividades agrícolas tienen presencia significativa hasta el segundo rango (55-60%). Esto puede deberse a que los pastizales se ubican usualmente cercanos o contiguos a zonas de bosque, fuera de las llanuras de producción intensiva de cultivos

⁷ Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán

⁸ Reserva de la Biósfera Chamela Cuixmala

y en terrenos no aptos para agricultura (pendientes pronunciadas, etc.). Además, el ganado representa en la zona una alternativa de ahorro y estatus en la economía local (Gerritsen *et al.* 2007). Así, es más probable que el fuego utilizado en la renovación de pastizales pueda llegar a coberturas forestales cuando el ganadero pierde el control de la quema. De esta manera, la cercanía entre pastizales y bosques tiene diferentes implicaciones. Por el lado positivo, Gerritsen *et al.* (2007) comenta que los productores optan por alimentar el ganado con restos de la cosecha (maíz usualmente) y así se evita la quema de tales rastrojos. Por otro lado, las quemas suelen utilizarse para consolidar un cambio de cobertura y uso de suelo (Martínez Rivera *et al.* 2007); es decir, que se busca justificar el aprovechamiento de nuevos terrenos evitando la recuperación de la cubierta vegetal (CONAFOR 2015). Ese tipo de consolidación puede llegar a afectar las condiciones del suelo y la biodiversidad que alberga (Arellano y Castillo-Guevara 2014).

3.5. Cantidad de hectáreas potencialmente afectadas por incendios

Se determinó que dentro de la zona de estudio, aproximadamente 1830 km² (48% de la extensión total de las subcuencas) tienen una probabilidad de ocurrencia de incendio por encima del 50%; por tanto, podrían ser afectadas por incendios. Las áreas con mayores probabilidades de incendios mantienen extensiones por debajo del 5% de la zona de estudio. Así, alrededor 1637 km² de las dos subcuencas no tienen probabilidades significativas de incendio con base en los resultados que se encontraron.

Cuadro 6. Probabilidades de incendios y hectáreas potencialmente afectadas

	Rango	Área km2	%
<50	No significativa	1637.0	47.21%
50-55	Baja	1665.6	48.03%
55-60	Media	122.9	3.55%
60-65	Alta	30.6	0.88%
65-70	Muy alta	11.5	0.33%
	TOTAL	3467.5	

4. Conclusiones

Con base en los resultados que se encontraron, se puede concluir lo siguiente:

- Los 10 años de monitoreo analizados registran una importante ocurrencia de incendios especialmente en la parte noroeste de la zona de estudio. Si bien los registros muestran una variación en torno a la cantidad de eventos y el área afectada por año, se puede reconocer un incremento considerable en los años 2016 y 2017. Tal variación puede deberse a alteraciones a factores físicos, biológicos, anomalías climáticas extremas y factores socioeconómicos. Las actividades agropecuarias junto a las causas intencionales (caza furtiva, vandalismo, cultivos ilícitos) ocasionaron el 82% de los casos de incendios forestales reportados en la zona de estudio.
- El valor máximo de frecuencia de incendios abarcado en toda el área de estudio alcanza a 4 eventos durante el periodo de evaluación de 10 años, y se distribuyen espacialmente en el noreste de la zona de estudio, incluida parte de la RBSM. Esta

variación puede tener factores antrópicos, físicos y biológicos que la están condicionando.

- La mayor probabilidad de incendio alcanza los 69.38%, mientras que la mínima es de apenas 49.57%. Entre ambas categorías, se suma el 95% de la extensión del área de estudio, de manera general y espacialmente, la cercanía a centros poblados y zonas de producción agropecuaria incrementa las probabilidades de incendio.
- Existen mayores probabilidades de incendio en los usos de suelo bosque, selva y vegetación secundaria. Los demás usos de suelo no reportan porcentajes significativos en ninguno de los rangos de probabilidades. La agricultura y en especial la ganadería, mantienen presencia en los rangos de probabilidades bajos y altos, aunque su participación baja en las mayores.
- 1830 km² de la zona de estudio tiene probabilidades de incendio por encima del 50%, esto cerca del 48% de la extensión de ambas cuencas.

5. Agradecimientos

Se agradece al proyecto BioPaSOS por el importante apoyo económico y logístico. A los miembros directivos y personal de JICOSUR, por el apoyo en la logística de trabajo. De igual manera, al apoyo fundamental de la Universidad de Guadalajara. A instituciones federales y estatales como CONANP, SEMADET, CONAFOR y CONABIO. También a la unidad de Bioestadística del CATIE. Al Dr. Germán Flores de INIFAP, por los consejos e información.

6. Literatura citada

- Arellano, L; Castillo-Guevara, C. 2014. Efecto de los incendios forestales no controlados en el ensamble de escarabajos coprófagos (Coleóptera: Scarabaeidae) en un bosque templado del centro de México Revista Mexicana de Biodiversidad 85(3):854-865. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345314701873> doi <https://doi.org/10.7550/rmb.41756>.
- Balcázar Medina, OE. 2011. Patrones geoecológicos de incendios forestales en la reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (Físico). Tesis Magister Scientiae. Autlán de Navarro, Jalisco, Universidad de Guadalajara. 145 p.
- Barlow, J; Silveira, J. 2009. The consequences of fire for the fauna of humid tropical forests (Electrónico). *In*. Tropical Fire Ecology. Berlin, Springer Praxis Book. p. Consultado 27 oct. 2017. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77381-8_19#citeas.
- Boer, MM; Sadler, RJ; Wittkuhn, RS; McCaw, L; Grierson, PF. 2009. Long-term impacts of prescribed burning on regional extent and incidence of wildfires—Evidence from 50 years of active fire management in SW Australian forests Forest Ecology and Management 259(1):132-142. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112709007294> doi <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.005>.
- Brown, RT; Agee, JK; Franklin, JF. 2004. Forest restoration and fire: principles in the context of place Conservation biology 18(4):903-912. Consultado 28 ago. 2018 Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1523-1739.2004.521.1.x>.
- Cárdenas-Hernández, OG; Gerritsen, PR. 2015. Dinámica paisajística y cambio de cobertura en la comunidad indígena de Cuzalapa, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (1972 a 2000) CienciaUAT 9(2):30-40. Consultado 25 oct. 2017 Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78582015000100030&script=sci_arttext.

- Cerano-Paredes, J; Villanueva-Díaz, J; Cervantes-Martínez, R; Fulé, P; Yocom, L; Esquivel-Arriaga, G; Jardel-Peláez, E. 2015. Historia de incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México Bosque (Valdivia) 36:41-52. Consultado 27 oct. 2017 Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002015000100005&nrm=iso.
- Cochrane, MA; Ryan, KC. 2009. Fire and fire ecology: Concepts and principles (Electrónico). *In*. Tropical Fire Ecology. Berlin, Germany, Springer. p. Consultado 27 oct. 2017. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77381-8_2.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Programa hídrico estatal 2014-2018 del Estado de Jalisco. 1 ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMADET) (ed.). México. 178 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2016. Atlas del agua en México 2016. México. 140 p. Consultado 2 nov. 2017. Disponible en <https://agua.org.mx/biblioteca/atlas-del-agua-en-mexico-2015-regiones-hidrologicas/>.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2015. Modelo de intervención en las áreas de acción temprana REDD+. 1 ed. Jalisco, México. 52 p. Consultado 15 feb 2018.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET). 2017a. La biodiversidad en Jalisco: Estudio de estado Volumen II. México. 400 p. Consultado 29 oct. 2017. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET). 2017b. La biodiversidad en Jalisco: Estudio de estado Volumen I. México. 396 p. Consultado 29 oct. 2017. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html>.
- Crawley, MJ. 2013. The R book. 2 ed. United Kingdom, John Wiley & Sons.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011. Community-based fire management: A review (Electrónico). Roma, Italia. 99 p. (FAO Forestry Paper). Consultado 27 oct. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/015/i2495e/i2495e00.htm>.
- Gerritsen, PRW; Rosales Adame, JJ; moreno Hernández, A; Louette, D. 2007. Ganadería y sociedad: Los sistemas productivos ganaderos de la Sierra de Manantlán. *In* Estado actual y perspectivas de la ganadería extensiva en la Sierra de Manantlán, en el occidente de México (Físico). 1 ed. Autlán de Navarro, México, Petra Ediciones. p. 77-89. (1).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2000. Estudio hidrológico del Estado de Jalisco. 1 ed. México, INEGI. 105 p. Consultado 27 oct. 2017. Disponible en <https://www.google.com/search?q=estudio+hidrologico+jalisco&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Anuario estadístico y geográfico de Jalisco 2016. 1 ed. Geografía), IINdEy (ed.). Aguascalientes, MX. 840 p. (1).
- Kellogg, L-KB; McKenzie, D; Peterson, DL; Hessel, AE. 2008. Spatial models for inferring topographic controls on historical low-severity fire in the eastern Cascade Range of Washington, USA Landscape Ecology 23(2):227-240.
- MacDicken, K; Jonsson, Ö; Piña, L; Maulo, S; Contessa, V; Adikari, Y; Garzuglia, M; Lindquist, E; Reams, G; D'Annunzio, R. 2016. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015: cómo están cambiando los bosques del mundo? 2da ed. FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura) (ed.) Roma, Italia, 54 p.
- Manzo-Delgado, L; Sánchez-Colón, S; Álvarez, R. 2009. Assessment of seasonal forest fire risk using NOAA-AVHRR: a case study in central Mexico International Journal of Remote Sensing 30(19):4991-5013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1080/01431160902852796> doi 10.1080/01431160902852796.
- Martínez Rivera, LM; Sánchez Velásquez, LR; Cuevas Guzmán, R; Pineda López, MdR; Louette, D. 2007. Dinámica de la ganadería en los bosques tropicales de la Sierra de Manantlán. *In*

- Estado actual y perspectivas de la ganadería extensiva en la Sierra de Manantlán, en el occidente de México (Físico). 1 ed. Autlán de Navarro, México, Petra Ediciones. p. 77-89. (1).
- McKenzie, D; Kennedy, MC. 2012. Power laws reveal phase transitions in landscape controls of fire regimes. *Nature Communications* 3:726. Disponible en <https://www.nature.com/articles/ncomms1731#supplementary-information> doi 10.1038/ncomms1731.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2011. Community-based fire management: A review. 1 ed. ed. Roma, FAO. 99 p. (FAO Forestry paper 166).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2016. El estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades con el uso de la tierra. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), .
- Palm, C; Vosti, SA; Sanchez, PA; Ericksen, PJ. 2005. Slash-and-burn agriculture: the search for alternatives. Columbia University Press.
- Sampablo, LMP; Robles, CLM; Molina, LMF; Tereshchenko, I. 2016. Pronóstico y precipitación de los ciclones Jova (2011), Manuel (2013) y Patricia (2015) que afectaron al estado de Jalisco Teoría y Praxis:10-30. Consultado 14 feb. 2019 Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4561/456147940002.pdf>.
- Schulze, K; Knights, K; Coad, L; Geldmann, J; Leverington, F; Eassom, A; Marr, M; Butchart, SHM; Hockings, M; Burgess, ND. 2018. An assessment of threats to terrestrial protected areas Conservation Letters: Consultado 08 mar. 2018 Disponible en <http://www.cifor.org/nc/online-library/browse/view-publication/publication/6759.html> doi 10.1111/conl.12435.
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca (SAGARPA); Secretaria de Desarrollo Rural (SEDER). 2017. Sistemas agroforestales productivos bajos en emisiones de carbono: Proyecto estratégico SAGARPA - SEDER. 42 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET); Comité de Asociaciones Intermunicipales del Estado de Jalisco (CAIEJ). 2017. Órganos de gobernanza local en Jalisco. 1 ed. Guadalajara. 43 p. (1).
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. Informe de la situación del medio ambiente en México: Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental. México, 382 p. Consultado 26 oct. 2017. Disponible en http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf.
- Shlisky, A; Alencar, AAC; Nolasco, MM; Curran, LM. 2009. Overview: Global fire regime conditions, threats, and opportunities for fire management in the tropics. *In*. Tropical Fire Ecology. Springer, Berlin, Heidelberg, Springer Praxis Books. p. Consultado 27 oct. 2017. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77381-8_3#citeas.
- Silverman, BW. 1986. Density estimation for statistics and data analysis (En línea). *In* Chapman; Hall (eds.). Monograph on Statistics and Applied Probability. London. p. Consultado 14 jun. 2018. Disponible en <https://ned.ipac.caltech.edu/level5/March02/Silverman/paper.pdf>.
- Turner, M; Simard, M. 2017. Using spatial statistics and landscape metrics to compare disturbance mosaics. *In* Gergel, S; Turner, M (eds.). Learning Landscape Ecology. New York, USA, Springer. p. 175-190. Consultado 24 oct. 2017. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-6374-4_5.
- Zúñiga-Vásquez, JM; Pompa-García, M. 2018. The occurrence of forest fires in México presents an altitudinal tendency: a geospatial analysis (journal article). *Natural Hazards*: Consultado 14 feb. 2018 Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3537-z> doi 10.1007/s11069-018-3537-z.

ARTÍCULO 2.

Mecanismos de conservación y su impacto en la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México

RESUMEN

La superficie forestal de carácter mundial se reduce alarmantemente y pone en riesgo la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos. Esta pérdida de cobertura forestal sin precedentes es impulsada por el cambio de cobertura y uso de suelo hacia actividades agropecuarias, explotación forestal y crecimiento urbano. Para monitorear estas transformaciones se emplea como parámetro el cambio de cobertura y uso de suelo (CCUS). Con suficientes insumos geográficos, es posible generar el modelo de CCUS, como una representación abstracta de la realidad que estima la probabilidad de cambio de una zona de interés, en función de un conjunto de variables explicativas. México, país megadiverso y de importantes recursos forestales, atraviesa una situación compleja en cuanto a la conservación de bosques. El monitoreo muestra que el principal CCUS es hacia agricultura o pastizal. Para contrarrestar esto, se promueven mecanismos de conservación de los recursos naturales. Estas iniciativas buscan evitar o revertir el deterioro de los servicios ecosistémicos y promover la producción agropecuaria sustentable.

En este contexto, conocer la percepción de los productores respecto del futuro uso del suelo de sus ranchos en un escenario donde se promueven mecanismos de conservación con diferentes enfoques, puede ser útil para que estas iniciativas mejoren su implementación. Para esto, la presente investigación describió la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo, bajo un escenario de implementación de mecanismos de conservación en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México.

Se construyó un modelo de cambio de cobertura y uso de suelo en el software DINAMICA EGO. Posteriormente se realizó una entrevista semiestructurada y tres experimentos de elección con 103 productores, con la finalidad de analizar cualitativa y cuantitativamente la percepción de los ganaderos respecto del uso de suelo futuro en sus ranchos y los mecanismos de conservación que se ejecutan en la zona. Finalmente, se usó el modelo de CCUS para comparar dos escenarios futuros distintos, el primero con las tendencias de CUS registradas y el segundo incluyendo la percepción de los ganaderos respecto del futuro uso de suelo y la efectividad de los mecanismos de conservación.

Se pudo encontrar que la vegetación secundaria es la cobertura que más se incrementa en la zona de estudio. Esta categoría recibe aportes importantes de las coberturas de pasto y agricultura, mientras estas últimas inciden negativamente sobre la extensión de bosques y selva. Esta tendencia se mantiene al año 2025 con base en valores tendenciales; mientras que la inclusión de la percepción de los productores en una segunda simulación lograría disminuir la tasa de deforestación. En cuanto a las encuestas realizadas, se encontró que existen diferencias productivas entre los productores con y sin experiencias en mecanismos de conservación. El experimento de elección muestra que existen atributos que condicionan la elección de los productores respecto de sus actividades agropecuarias en el futuro y la percepción respecto de los mecanismos de conservación.

Palabras claves: Cobertura y uso de suelo, Percepción, Mecanismos de conservación.

1. Introducción

La superficie forestal de carácter mundial se reduce alarmantemente y pone en riesgo la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos. Su extensión disminuyó del 31.6% de cobertura forestal en 1990, al 30.6% en el 2015. Esto significa una extensión menor a los 4000 millones de hectáreas (FAO 2016). A pesar de que la tasa de pérdida neta de bosques ha disminuido en más de un 50% en los últimos años (MacDicken *et al.* 2016), el cambio de cobertura y uso de suelo hacia actividades agropecuarias, explotación forestal y crecimiento urbano continúa impulsando una pérdida de cobertura forestal sin precedentes (Taubert *et al.* 2018), y continuará presionando la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos hacia el futuro (FAO 2006).

Para poder monitorear estas transformaciones se emplea como parámetro al cambio de cobertura y uso de suelo (CCUS). Éste ha cobrado relevancia en la investigación ambiental, pues permite evaluar tendencias espacio-temporales que suceden sobre la superficie terrestre, tales como procesos de deforestación, degradación ambiental (Osuna-Osuna *et al.* 2015), modificaciones en la biodiversidad terrestre (Newbold *et al.* 2015), alteraciones al ciclo hidrológico (Hamilton *et al.* 2009), entre muchas otras aplicaciones. Una vez analizados los cambios pasados en la superficie, es posible realizar proyecciones hacia el futuro, basados en la determinación del modelo de CCUS. Este último es una representación abstracta de la realidad que estima la probabilidad de cambio en función de un conjunto de variables explicativas (Mas *et al.* 2010; Mas y Flamenco 2011).

México, país megadiverso y de importantes recursos forestales, atraviesa una situación compleja en cuanto a la conservación de bosques presionados por las dinámicas de CCUS (Ramírez-Mejía *et al.* 2017). A pesar de que los últimos resultados en el país muestran una disminución en la tasa de deforestación del 0.2% en el periodo 2010-2015 (CONAFOR 2017a; Perez-Vega *et al.* 2017), existen casos como el del Estado de Jalisco, donde el monitoreo muestra que las tasas de deforestación son más altas que el promedio nacional y que el principal CCUS es hacia agricultura o pastizal (Cárdenas-Hernández y Gerritsen 2015). La intensificación de la producción ganadera forma parte de tales dinámicas, pues la habilitación de terrenos para pastizales incrementa a costa de coberturas de bosque y selva (Jiménez-Ferrer *et al.* 2008; Mas y Flamenco 2011; Mas *et al.* 2017). Como resultado, Jalisco es uno de los principales estados productores de carne y leche de orden nacional (INEGI 2014; FIRA 2017); sin embargo, contribuye con el 20% de la deforestación y degradación forestal del país (SAGARPA 2017), sumado a afectaciones alrededor de áreas protegidas e impacto sobre la regulación de tasas de infiltración de aguas fluviales y contaminación en zonas de descargas (Hennin y Moya 2001).

Ante el complejo reto de conservar las coberturas forestales en México, se promueven iniciativas que buscan evitar o revertir el deterioro de los servicios ecosistémicos y promover la producción con enfoques de conservación (CONAFOR 2015; CONABIO y SEMADET 2017a). Una de estas es la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) por deforestación y degradación forestal, que busca mejorar la coordinación transversal de políticas públicas y dar un impulso al desarrollo rural mediante la promoción de modelos sustentables de manejo del territorio (SAGARPA y SEDER 2017). La IRE se implementa como un ensayo del tipo de modelo de trabajo, en Jalisco y otros cuatro estados mexicanos, en el marco de la Estrategia Nacional para la Reducción de las Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (ENAREDD+) (CONAFOR 2017a). Dentro de

este contexto de mecanismos de conservación, la costa de Jalisco tiene atención prioritaria para acciones tempranas de REDD+, donde se promueve la participación de productores agropecuarios y ejidos, en mecanismos que entregan recursos con un enfoque de producción y conservación; por ejemplo, para Agroforestería (Sistemas silvopastoriles y agroforestales), pago por servicios ambientales (PSA), planes de manejo forestal sustentable (PMFS), áreas dedicadas voluntariamente a la conservación (ADVC) y unidades de manejo ambiental (SEDER 2017).

Conocer la percepción de los productores respecto del futuro uso del suelo de sus ranchos, en un escenario donde se promueven mecanismos de conservación con diferentes características, puede ser útil para diseñar condiciones que se ajusten a los variados contextos donde se implementan tales mecanismos (Costedoat *et al.* 2016). Esto debido a que los productores pueden tener diferentes apreciaciones respecto del tipo de cobertura y uso de suelo que prefieren en sus ranchos, y diferentes opiniones ante la variedad de incentivos que se promueven. Así, es justo incluir la actitud de los productores frente a las iniciativas de conservación en el análisis del CCUS. La interacción entre métodos cualitativos y las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden ayudar a tal análisis. De esa manera, las iniciativas y proyectos con enfoques de producción y conservación pueden mejorar su implementación, si de manera continua se considera la percepción de los productores como principales protagonistas de las dinámicas de CCUS en el futuro.

Por tales motivos, el objetivo de la presente investigación fue describir la dinámica del cambio de cobertura y uso de suelo, bajo un escenario de implementación de mecanismos de conservación en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México.

2. Metodología

2.1. Descripción del área de estudio

La zona de estudio abarca dos subcuencas: de los ríos Cuixmala y Purificación. Ambas pertenecen a la región hidrológica 15 - costa de Jalisco (RH15), ubicada sobre la costa pacífica del Estado de Jalisco, México. El área total de ambas suma un aproximado de 3341 km², mientras que el perímetro ronda los 383.5 km (ver Cuadro 7).

Cuadro 7. Principales parámetros morfométricos de las dos cuencas que componen el área de estudio

Nombre subcuenca	Región hidrológica	Código subcuenca	Área km ²	Perímetro km	Centroide X*	Centroide Y*
Río Cuixmala	RH-15	RH15-Ba	2221.00	363.1	520450.08	2169279.57
Río Purificación		RH15-Ac	1120.00	236.00	539005.41	2145702.94

* Para Datum NAD27 UTM 13N

Ambas cuencas se ubican entre las coordenadas proyectadas de la zona UTM 13 Norte: 496316 y 573575 m en eje "x", y 2118845 y 2195707 m en el eje "Y" (ver Figura 18).

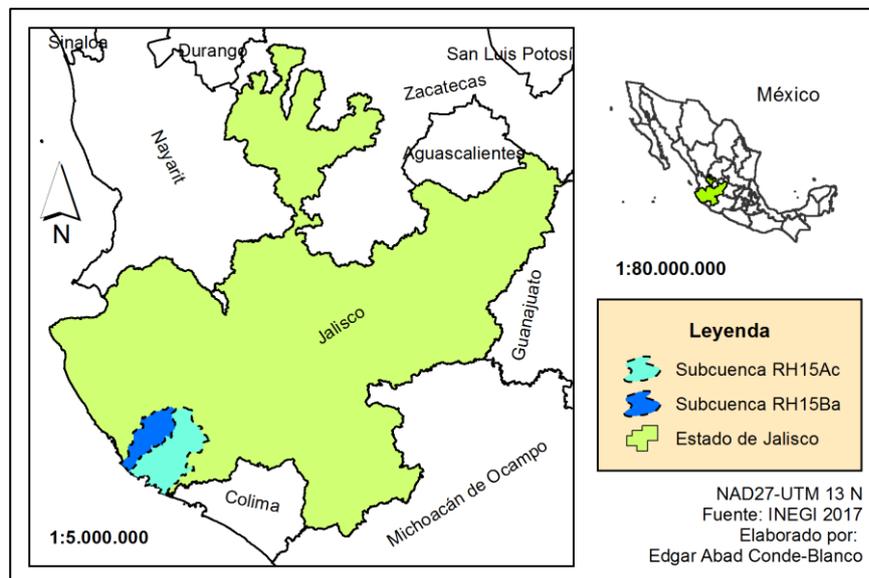


Figura 18. Ubicación de las subcuencas RH15AC y RH15Bc en relación con el Estado de Jalisco y México

Ambas subcuencas coinciden con parte de cinco de las seis municipalidades que conforman la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente de la Costa Sur (JICOSUR). Esta junta es una organización civil con respaldo del Estado, para la representación y apoyo a la gestión de su territorio (SEMADET y CAIEJ 2017). La misma aglomera la extensión de las municipalidades de Casimiro Castillo, Cihuatlán, Cuautitlán de García Barragán, La Huerta, Villa Purificación y Tomatlán (ver Figura 19).

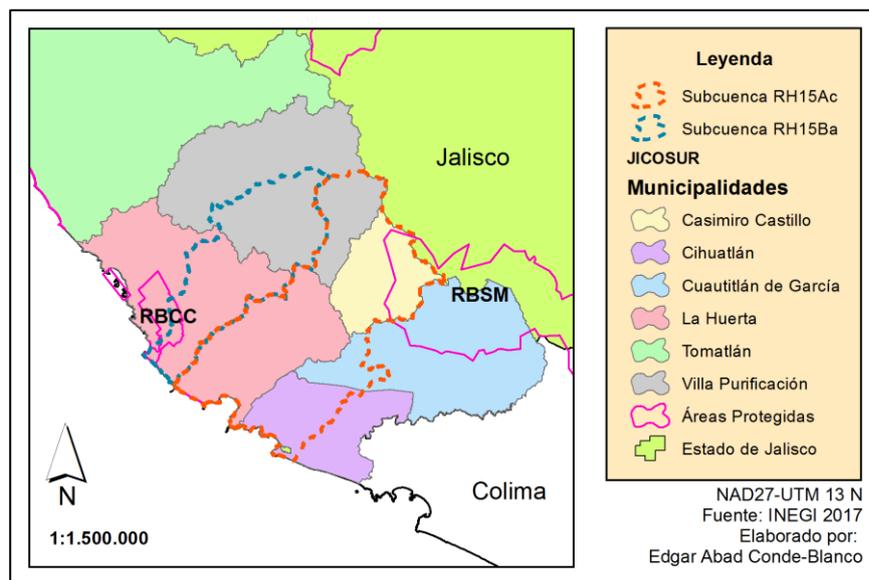


Figura 19. Ubicación de las subcuencas respecto de JICOSUR

Dentro del área de estudio se encuentra parte de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (RBSM) como bosque de pino - encino y Reserva de la Biósfera Chamela Cuixmala (RBCC) como bosque tropical caducifolio. Ambas áreas son de interés para la seguridad

alimentaria, relevancia cultural, conservación de la biodiversidad y los recursos naturales (CONABIO y SEMADET 2017b). De igual forma, hacia la costa está la playa El Tecuán, reconocida como sitio RAMSAR y santuario.

Según CONABIO y SEMADET (2017a), todo el Estado de Jalisco está dominado por el clima templado, y en menor parte por el clima cálido y seco. La temperatura promedio es de 25°C. La precipitación anual estimada para la RH15 asciende a 1144 mm. La mayor parte de la lluvia se presenta entre julio y octubre (INEGI 2016) (ver Figura 20), y es superior al promedio de precipitación media anual del Estado (842,52 mm) (CONAGUA 2015). Cabe resaltar que sobre esta zona particularmente se han reportado ciclones y tormentas tropicales (CONAGUA 2016).

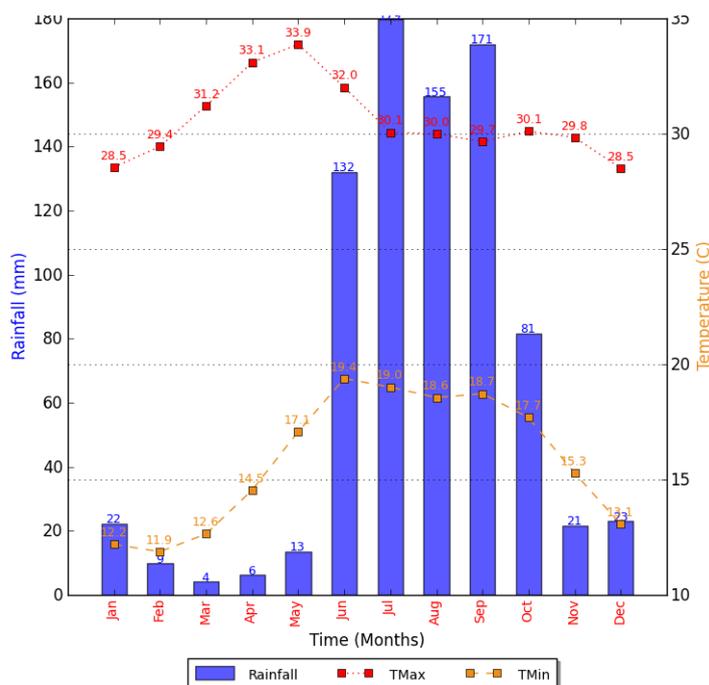


Figura 20. Climograma sobre comportamiento histórico anual de la precipitación junto a temperaturas máximas y mínimas de la zona de estudio

Fuente: MarkSim DSSAT weather file generator (2017)

El relieve de la costa de Jalisco presenta una importante sierra formada por rocas ígneas intrusivas y extrusivas, donde la mitad es granito. Existen amplios valles intermontanos con poco relleno aluvial. Dentro de la sierra se localizan algunas topofomas como mesetas complejas, lomerías, cañones y llanuras (INEGI 2000). En relación con los suelos, se originaron por la meteorización de rocas y minerales en diferentes niveles y por zonas climáticas. Como resultado, se reconocen 20 grupos de suelos en todo el Estado, la mayoría con aptitud para las actividades agropecuarias (CONABIO y SEMADET 2017a).

La población total de las cinco municipalidades que comparten el territorio de las subcuencas asciende a 116289 habitantes, que representa el 1.48% de la población del Estado. La tasa media anual de crecimiento poblacional de Jalisco alcanza 1.84%, mientras que el índice de desarrollo humano para el año 2012 fue de 0.751, por encima del valor registrado en el nivel nacional de 0.746. Los índices de educación y salud ascienden a 0.622 y 0.846, cercanos a los promedios

nacionales de 0.625 y 0.835 respectivamente (CONAGUA 2015). De igual forma, se informan cambios importantes en los últimos años, como el incremento en los rangos de mayor edad y tendencia al proceso de urbanización de las localidades rurales (CONABIO y SEMADET 2017a).

El Producto interno bruto (PIB) del Estado asciende a 989 mil millones de pesos mexicanos al 2013, lo que representa el 6.4% del PIB nacional. En éste, las actividades primarias sólo representan el 6 del PIB estatal. Para el año 2012, el índice de ingreso medio alcanza los 0.807, por encima del valor nacional que es de 0.794 (CONAGUA 2015).

Jalisco es considerado un Estado abastecedor de granos. Es el segundo productor nacional de maíz, pero primer lugar en maíz forrajero y sorgo. La actividad productiva se concentra especialmente en la zona de la costa y alrededor del lago Chapala. Para alcanzar tal producción, el Estado cuenta con tres distritos de riego y dos módulos. Éstos alcanzan 121189 ha regables, aunque en promedio anual se riegan 60196 ha. Por otro lado, se registran 1803 unidades de riego en el Estado las cuales alcanzan 156480 ha. Los cultivos principales de los distritos bajo riego son maíz grano, caña de azúcar, pastos y maíz forrajero (CONAGUA 2015).

2.2. Procedimientos metodológicos

El procedimiento incluye dos procesos paralelos que generan insumos para comparar dos escenarios posibles de cobertura y uso de suelo a futuro (ver Figura 21).

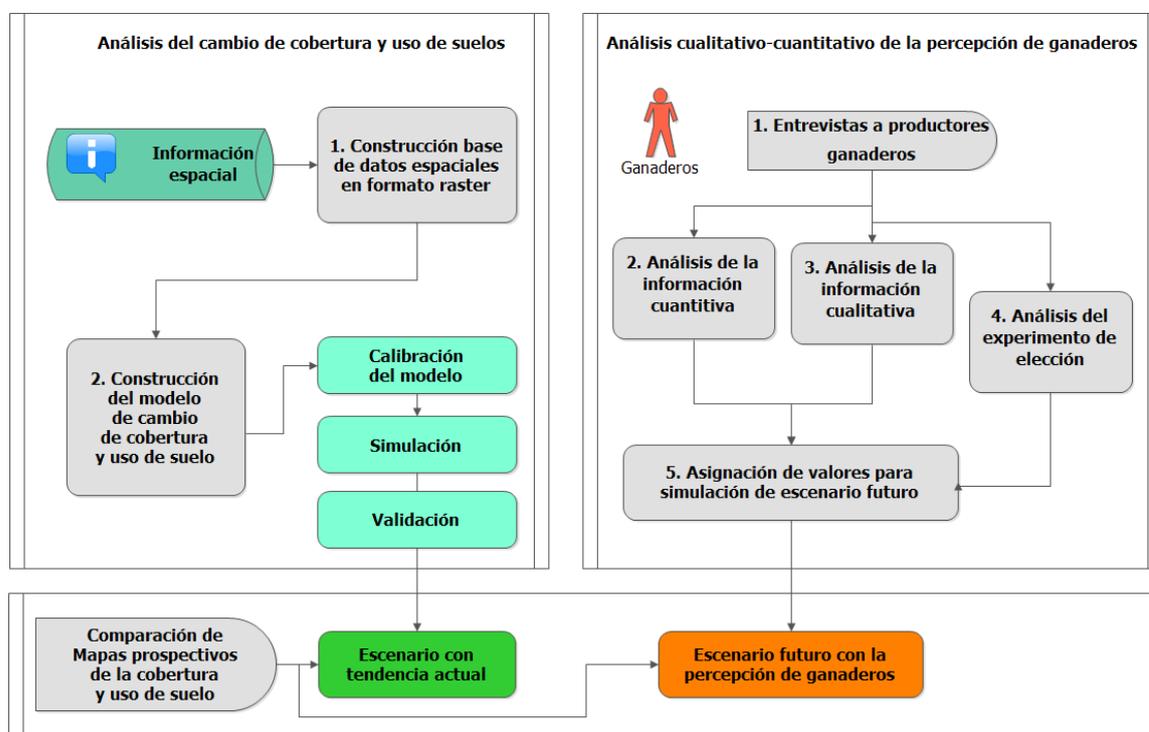


Figura 21. Procedimiento metodológico general

En el primer proceso se desarrolló un análisis del cambio de cobertura y uso de suelos en las subcuencas, mientras que en el segundo se desplegó un análisis cualitativo-cuantitativo de la percepción de productores ganaderos sobre los mecanismos de conservación que se desarrollan en la zona de estudio y el uso de suelo futuro en sus ranchos.

2.2.1. Análisis del cambio de cobertura y uso de suelos

2.2.1.1. Construcción de la base de datos espaciales en formato raster

Se gestionó información geoespacial oficial de la zona de estudio proveniente de instituciones nacionales y estatales como CONAFOR, SEMADET, CONANP, UdG; y descargada de las páginas oficiales de CONABIO e INEGI. La información e insumos cartográficos fueron seleccionados y sistematizados de acuerdo con su importancia en el análisis. Se homogenizaron la proyección y el *Datum* de las capas a NAD-27 UTM 13N. Posteriormente, se creó un marco rectangular que incluían la zona de estudio y zonas aledañas de influencia. Todas las capas shapefile y *raster* fueron recortadas de acuerdo con el tamaño del marco creado. En los procesos se utilizó ArcGis 10.3.

La información sistematizada fue transformada a formato *raster*. En el caso de las capas de "uso de suelo y vegetación", las clases identificadas en cada versión oficial fueron agrupadas de acuerdo con su similitud, usando la herramienta *dissolve* en el ArcGis 10.3; de esta manera, se redujo la cantidad de clases existentes en cada versión. En las siguientes capas se aplicó un criterio de "distancia a": centros poblados, ríos y cuerpos de agua (red hidrográfica) y áreas protegidas. Se mantuvo la capa del modelo digital de elevación de la zona de estudio.

2.2.1.2. Construcción del modelo de cambio de cobertura y uso de suelo

Se construyó el modelo de cambio de cobertura y uso de suelo para la zona de estudio en el software DINAMICA EGO. Para esto se utilizaron los primeros seis de diez pasos que proponen Soares-Filho *et al.* (2002) agrupados por Mas y Flamenco (2011) en tres etapas (ver Figura 22). Este modelo fue utilizado para construir el mapa de cobertura y uso de suelo para el 2025.

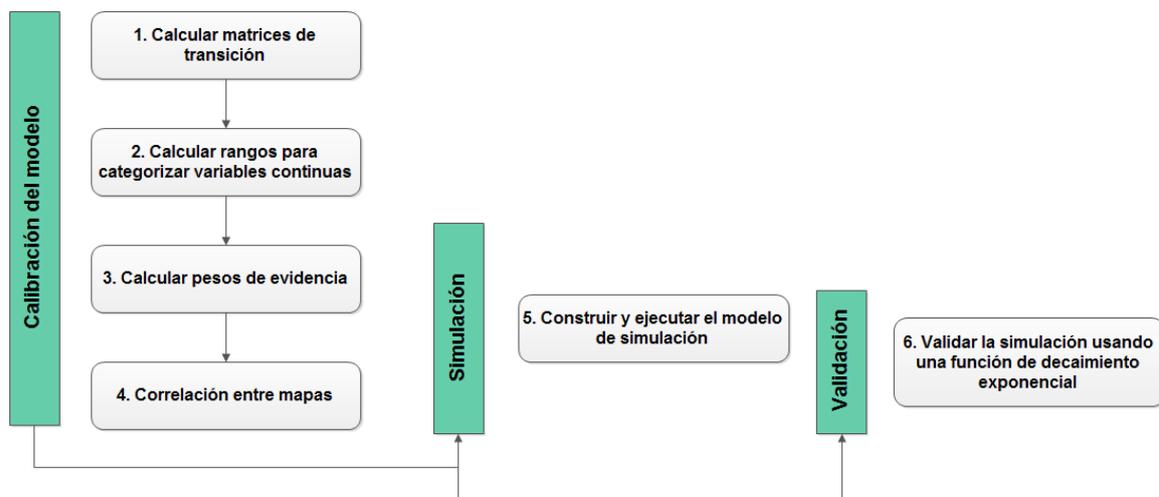


Figura 22. Procedimiento para la construcción del modelo de cambio de cobertura y uso de suelo en la zona de estudio

2.2.2. Análisis cualitativo-cuantitativo de la percepción de ganaderos sobre el uso de suelo y mecanismos de conservación

2.2.2.1. Entrevista a productores ganaderos

Se gestionaron bases de datos correspondientes a productores ganaderos de la zona de estudio, ante instituciones como JICOSUR, CONAFOR y proyectos como PROGAN. Un primer grupo correspondía a ganaderos que hubieran sido o son beneficiarios de alguno de los mecanismos de conservación que se implementan en la zona. Se consideraron como mecanismos a cuatro iniciativas priorizadas en la región por la estrategia REDD+ de México⁹. El segundo grupo correspondió a productores sin experiencia como beneficiarios en alguno de los mecanismos mencionados.

Posteriormente, se construyó una herramienta para la recolección de información. Ésta se dividió en dos partes complementarias, la primera con una entrevista semiestructurada (Sibelet *et al.* 2013), y la segunda, un experimento de elección (Espinal Monsalve y Gómez Zapata 2011). Ambas partes buscaron responder a las preguntas: ¿Qué características de los mecanismos de conservación inciden significativamente sobre el cambio de cobertura/uso de suelo?, y ¿Cuál es la tendencia del uso de suelo futuro en las fincas ganaderas? Ambas partes de la herramienta fueron construidas participativamente. Para esto se desarrollaron: Un grupo focal con participación de representantes, técnicos y ganaderos de la zona, y un taller con técnicos de JICOSUR¹⁰.

La entrevista semiestructurada es un método de investigación cualitativa que permite establecer un diálogo con la población objetivo para entender sus conocimientos, percepciones y estrategias respecto de su territorio (Sibelet *et al.* 2013), en este caso los ganaderos de la zona de estudio. Galletta (2013) menciona que esta herramienta puede ser lo suficientemente estructurada para apuntar a dimensiones específicas de la investigación, y al mismo tiempo, permite que los participantes puedan añadir nuevos temas al estudio. La entrevista constó de 28 preguntas, 9 generales y 11 para personas con y sin experiencia. Se siguieron los siguientes pasos:

- Definición de objetivos explícitos e implícitos de la entrevista.
- Retos y asuntos en juego por actor relacionado con la entrevista.
- Definición de preguntas principales, secundarias y sus respectivas hipótesis.

Cuadro 8. Partes de la entrevista semiestructurada aplicada

Parte	Características	
A) Entrevista semiestructurada	Preguntas generales	* 5 principales * 4 de seguimiento
	Preguntas para ganaderos con experiencia	* 8 principales * 11 de seguimiento
	Preguntas para ganaderos sin experiencia	* 8 principales * 11 de seguimiento

⁹ Pago por Servicios Ambientales (PSA), Plan de Manejo Forestal Sustentable (PMFS), Área Dedicada Voluntariamente a la Conservación (ADVC), y Unidad de Manejo Ambiental (UMA).

¹⁰ Junta Intermunicipal de Medio Ambiente de la Costa Sur

En cambio, el experimento de selección es un método empleado en varias áreas del saber (Burgess y Street 2005). Entre sus varias aplicaciones es posible usarlo para la determinación de preferencias de individuos, bajo escenarios alternativos hipotéticos relacionados por ejemplo con el CCUS y mecanismos de conservación (Rambonilaza y Dachary-Bernard 2007; Bateman *et al.* 2009; Mangham *et al.* 2009; Costedoat *et al.* 2016). Se siguieron los siguientes pasos para su elaboración:

- Selección de atributos.
- Asignación de niveles.
- Elección del diseño estadístico experimental ajustado al contexto.
- Construcción de conjuntos de elección.
- Medición de preferencias.
- Elaboración y aplicación de cuestionarios.
- Procedimiento de estimación.

Se definieron tres experimentos de elección por aplicar en la recolección de información. Éstos buscaron aportar a la investigación y responder lo siguiente: ¿Qué características de los mecanismos de conservación inciden más en la decisión de los ganaderos a participar?, ¿Qué cambios en el rancho y en las actividades productivas realizarían los ganaderos si ingresaran a un mecanismo de conservación que incluye prácticas silvopastoriles?, y ¿Qué cambios en los usos de suelo y las actividades productivas futuras anticipan los ganaderos? (Ver Cuadro 9).

Cuadro 9. Atributos y niveles utilizados en los tres experimentos de elección

Experi- mento	Atributos	Niveles			
		1	2	3	4
1	Tiempo de duración del apoyo	5 años	3 años	1 año	
	Área mínima del rancho por inscribir	100 ha	75 ha	50 ha	
	Cantidad de apoyo económico para recibir por hectárea inscrita	300 MXN/año	500 MXN/año	1000 MXN/año	
	Posibilidad de aprovechar el bosque en actividades secundarias	No se permiten	Si se permiten		
2	Proporción de bosque en el rancho por conservar	12,5%	50%	75%	
	Distribución espacial de los árboles en el rancho	Dispersos	En línea	Bloque	
	Capacidad de carga	1 animal/ha	2 animal/ha		
	Producción esperada del ganado en el rancho	Menor	Igual	Mayor	
3	Cambios en la cobertura forestal a futuro	Mantiene	Incrementa	Cambia a ganadería	Cambia a cultivo
	Cambios en la cantidad de áreas para ganadería	Mantiene	Incrementa	Cambia a forestal	Cambia a cultivo
	Cambios en la cantidad de áreas para cultivo	Mantiene	Incrementa	Cambia a ganadería	Cambia a forestal
	Enfoque o tipo de apoyo que se recibe del estado a futuro.	Conservación	Producción sustentable	Incrementar producción	

Para cada pregunta se definió un experimento de elección compuesto por cuatro atributos y hasta cuatro niveles por atributo. Los atributos y niveles de variación fueron construidos participativamente en actividades organizadas con informantes claves de la zona, y la elección final aplicada en el levantamiento de información se complementó con información secundaria y participación de informantes claves. Para cada uno de los tres experimentos se pidió al entrevistado imaginar escenarios hipotéticos. En el primero, debía suponer que tiene la posibilidad de elegir las principales características de un nuevo mecanismo de conservación. El "tiempo de duración del apoyo" hace referencia a la cantidad de años de duración que el ganadero preferiría que dure este mecanismo (5, 3 o 1 año). Se tomó como referencia la iniciativa PSA¹¹ y los cinco años que tiene de duración (CONAFOR 2016). El "área mínima del rancho por inscribir" representa la extensión básica que el productor debería inscribir al proyecto para ser elegible (100, 75 o 50 ha). La "cantidad de apoyo económico para recibir por hectárea inscrita" implica el pago anual que le gustaría recibir por cada hectárea anotada al proyecto (300, 500 o 1000 MXN¹²/Ha). La "posibilidad de aprovechar el bosque en actividades secundarias" establece si el productor preferiría que el mecanismo permita o restrinja la posibilidad de utilizar el área inscrita al mecanismo en alguna actividad secundaria (Sí o No). Los tres últimos atributos y sus niveles se definieron con base en el criterio de los actores claves y las reglas de operación del Programa de Desarrollo Forestal Sustentable de la CONAFOR (2017b).

Para el segundo experimento, el escenario hipotético consistía en imaginar que el entrevistado ingresa al mecanismo de conservación propuesto; por tanto, debía decidir cambios en las actividades productivas de su rancho (Conservación de bosque e inclusión de actividades silvopastoriles). El atributo "Proporción de bosque en el rancho por conservar" corresponde al porcentaje del área total del rancho que el productor estaría dispuesto a inscribir al mecanismo y que estaría bajo alguna medida de conservación (12.5, 50 o 75%). La "Distribución espacial de los árboles en el rancho" corresponde al tipo de arreglo que preferiría tengan los árboles (dispersos, en línea o bloque). La "Capacidad de carga" (1 o 2 animal/ha) hace referencia a preferencias del productor respecto de cantidad de cabezas de ganado por hectárea de pastizal. Por último, la "Producción esperada del ganado en el rancho" (Menor, Igual o Mayor) evoca una comparación con la productividad actual del productor. Los dos últimos atributos consideran la inclusión de arreglos silvopastoriles.

En el tercer experimento los entrevistados imaginaron cambios a futuro sobre los principales usos de suelo en sus ranchos (Cobertura forestal, Agricultura y/o Ganadería). Los tres primeros atributos "Cambios en la cobertura forestal a futuro", "Cambios en la cantidad de áreas para ganadería" y "Cambios en la cantidad de áreas para cultivo", hacen referencia a intervenciones que el productor estima aplicar a futuro en su predio (Mantiene, Incrementa, o cambia a ganadería, cultivo o bosque). El cuarto atributo "Enfoque o tipo de apoyo que se recibe del Estado a futuro" considera la preferencia del productor por alguno de los enfoques que tienen los incentivos existentes en la zona (Conservación, Producción sustentable o Incrementar producción).

¹¹ Pago por servicios ambientales

¹² Pesos mexicanos

Se aplicó un diseño factorial fraccionado sobre los atributos y niveles de cada experimento de elección. Este diseño permite reducir el número de combinaciones por utilizar en el experimento, pero con menor poder de cálculo (Espinal Monsalve y Gómez Zapata 2011). Se eligió este diseño como estrategia para agilizar la toma de información en campo. De las combinaciones posibles por experimento¹³, se presentaron las 9 más lógicas. Esta selección dirigida afectó la condición de aleatoriedad del experimento; sin embargo se aplicaron medidas estadísticas que corrigen esta condición (Holmes *et al.* 2017), en este caso, se usó el modelo de regresión *logit* condicional, y se expresó anidamiento entre las variables específicas en el modelo (Cerdeña 2011). De esta manera, se presentaron boletas en las que había 3 opciones de las 9 más la opción del *statu quo*. Luego de consensuar la herramienta, se validó la misma en dos pruebas de campo con entrevistas a productores. Finalmente, se procedió a entrevistar a ganaderos de la zona en estudio.

2.2.2.2. Análisis de la información cuantitativa

Se construyó una base de datos con la información cuantitativa recogida durante las entrevistas a productores ganaderos. La información fue centralizada en una tabla de datos en formato InfoStat, sobre la cual se realizaron inicialmente análisis estadísticos básicos (ver Cuadro 10). Se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson sobre las principales características de los productores y un análisis multivariado por conglomerados con el método *Ward* y distancia euclídea. El primer análisis se realizó para encontrar diferencias entre ambos grupos de entrevistados y compararlos, mientras que el segundo para definir grupos de productores.

Cuadro 10. Información cuantitativa recolectada en la entrevista

	Preguntas	Consideraciones
Información general	Nivel de educación	*Incompleta *Preparatoria completa *Técnico/ Universitario
	Edad	
	Extensión del Rancho (ha)	
	Cantidad de animales	
	Área de pastizales (ha)	
	Animales vendidos al año	
	Otras actividades productivas	*Sí *No
Información de productores con experiencia en mecanismos de conservación	Área inscrita a un mecanismo de conservación (ha)	
	Tipo de inscripción	*Ejidal/Comunal *Privada/Individual
	Continúa con actividades del mecanismo al finalizar el contrato	*Sí *No
	Tiene intención de incrementar su actividad ganadera a futuro	*Sí *No
	Opinión positiva sobre árboles en rancho	*Sí *No

¹³ Primero: $2^1 \cdot 3^3 = 54$; Segundo: $2^1 \cdot 3^3 = 54$; Tercero: $3^1 \cdot 4^3 = 192$

	Opinión positiva sobre incrementar árboles en el rancho	*Sí *No
	Cantidad ideal de árboles/ha en pradera	
	Opinión positiva sobre árboles como cerco	*Sí *No
	Longitud de cerco (m) que preferiría	
	Cantidad de especies para cerco vivo nombradas	*Sí *No
Información de productores sin experiencia en mecanismos de conservación	Opinión positiva sobre inscribirse a mecanismo	*Sí *No
	Área dispuesta por inscribir a un mecanismo de conservación (ha)	
	Opinión positiva sobre realizar actividades conservación en rancho	*Sí *No
	Tiene intención de incrementar su actividad ganadera a futuro	*Sí *No
	Opinión positiva sobre árboles en rancho	*Sí *No
	Opinión positiva sobre incrementar árboles en el rancho	*Sí *No
	Cantidad ideal de árboles/ha en pradera	
	Opinión positiva sobre árboles como cerco	*Sí *No
	Longitud de cerco (m) que preferiría	
	Cantidad de especies para cerco vivo nombradas	*Sí *No

2.2.2.3. Análisis de la información cualitativa

Las respuestas de cada productor a la entrevista semiestructurada fueron anotadas y sistematizadas en fichas individuales. El siguiente paso fue el procesamiento temático y subjetivo de las respuestas para constituir un corpus de datos. Este procedimiento incluyó lo siguiente: Ordenamiento de los datos, búsqueda de similitudes temáticas en el contenido de las respuestas, agrupado de elementos en categorías de análisis, estudio de las relaciones entre elementos, y descripción del tema de estudio (o noción central de la materia de estudio) (Sibelet *et al.* 2013).

2.2.2.4. Análisis del experimento de elección

Los resultados encontrados en el experimento de elección fueron sistematizados en una tabla de datos en InfoStat. Se utilizó un modelo de regresión *Logit* para poder determinar los coeficientes relacionados con cada variable, en los conjuntos de elección diseñados previamente. Espinal Monsalve y Gómez Zapata (2011) aclaran que para determinar tales coeficientes, se tiene como fundamento la Teoría de Utilidad Aleatoria que responde a:

$$V(S_i) = v(S_i) + \varepsilon_i$$

Donde V es función de utilidad desconocida de los entrevistados, v es la función observada, (S_i) es el vector de atributos o características que definen a la alternativa i .

Se determinó la importancia relativa de cada variable utilizando el siguiente modelo lineal:

$$v_i = \beta' S_{ij} + \gamma(y - P_i)$$

Donde v_i es la función observada por una alternativa específica, β es el vector de coeficientes de utilidad, asociado al vector S de atributos. γ es el coeficiente asociado al atributo precio P , mientras que y es la renta del individuo entrevistado.

2.2.2.5. Asignación de valores para simulación de escenario futuro

Se asignaron nuevos valores para las tasas de cambio individual en función de las principales categorías y transiciones de interés en el periodo de estudio. Para esto, se consideraron los análisis cualitativos y cuantitativos previos, sumados a los resultados del experimento de elección. En el caso de la percepción de los productores respecto de la cobertura y uso de suelo futuro, se incrementaron las tasas de cambio sobre los usos de suelo agricultura y pastizal encontrados en el análisis. En el caso de percepción de los productores respecto de la efectividad de los mecanismos de conservación, se modificaron las tasas de cambio sobre bosques, selva y vegetación secundaria.

2.2.3. Comparación de mapas prospectivos de la cobertura y uso de suelo

Una vez validado el modelo, se generó un escenario futuro al año 2025 con base en los nuevos valores de tasas de cambio definidos sobre la percepción de los productores ganaderos entrevistados. Se comparó la extensión de cada categoría de cobertura y uso de suelo, entre el modelo con las tendencias normales y el modelo con las tasas de cambio modificadas.

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis del cambio de cobertura y uso de suelos

3.1.1. Construcción de la base de datos espaciales en formato raster

Se construyó una base de datos con ocho insumos cartográficos para la construcción del modelo de cambio de cobertura y uso de suelo (ver Cuadro 11).

Cuadro 11. Insumos cartográficos usados en la construcción del modelo de cambio de cobertura y uso de suelo

Insumo	Aclaración	Fuente	Resolución
Cobertura y uso de suelo 2009	Con base en el Uso del suelo y vegetación, serie IV	INEGI (2009)	Escala 1:250000
Cobertura y uso de suelo 2013	Co base en el Uso del suelo y vegetación, serie V	INEGI (2013)	Escala 1:250000
Cobertura y uso de suelo 2016	Con base en Uso del suelo y vegetación, serie VI	INEGI (2016)	Escala 1:250000
Modelo Digital de Elevaciones	Con base en el Continuo de Elevaciones Mexicano	INEGI (2013)	
Mapa de Pendientes	Con base en el Continuo de Elevaciones Mexicano	INEGI (2013)	

Distancia euclídea a caminos	Con base en la Red Nacional de carreteras de México	IIEG (2012)	Escala 1:250000
Distancia euclídea a centros poblados y localidades rurales	Con base en capa Localidades Rurales y Polígonos Urbanos	INEGI (2018)	Escala 1:250000
Mapa de probabilidades de incendio	Con base en investigaciónn previa del documento	Conde et al. (2018) ¹⁴	

3.1.2. Construcción del modelo de cambio de cobertura y uso de suelo

La cantidad de categorías de cobertura y uso de suelo clasificadas oficialmente en la zona varían en cada versión del mapa de vegetación y uso de suelo (ver cuadro 12). Para fines prácticos, estas categorías fueron agrupadas de acuerdo con su similitud y referencias oficiales (INEGI 2015), y analizadas a un marco rectangular alrededor de 5 km por fuera del área de estudio (ventana).

Cuadro 12. Comparación de las versiones de uso de suelo, categorías por versión y número de categorías agrupadas

Código	Cantidad de categorías	Usos de suelo agrupados
Uso de Suelo y vegetación, serie IV - 2009	45	Agricultura (AGR) Bosque (BOS) Agua (AGU) Sin vegetación (SIN) Manglar (MAN) Selva (SEL) Pastizales (PAS) Vegetación secundaria (VSE) Urbano (URB)
Uso de Suelo y vegetación, serie V -2013	45	
Uso de Suelo y vegetación, serie VI -2016	52	

La matriz de transición sencilla muestra cambios importantes en algunas de las categorías de cobertura y uso de suelos agrupados y analizados para la ventana de trabajo (ver Cuadro 13).

Cuadro 13. Matriz de transición sencilla para el periodo 2009 – 2013

Uso	AGR	BOS	AGU	SIN	MAN	SEL	PAS	VSE	URB
AGR	-	0.0024	0.0003	-	-	0.0001	0.0152	0.0551	0.0211
BOS	0.0006	-	0.0001	-	-	-	0.0023	-	-
AGU	0.1091	0.0061		-	-	-	-	0.0184	0.0038
SIN	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAN	-	-	-	-	-	-	0.0073	-	-
SEL	-	-	-	-	-	-	0.0232	0.0313	-
PAS	0.0108	0.0053	0.0002	0.0007	-	0.0014	-	0.2983	0.0038
VSE	0.0011	0.0007	0.0005	-	-	0.0007	0.0573	-	0.0009
URB	0.0106	-	-	-	-	-	-	-	-

¹⁴ Desarrollado en el primer artículo del presente trabajo de investigación.

Ganancias (G)	0.1321	0.0145	0.0011	0.0007	0.0000	0.0022	0.1053	0.4031	0.0295
Pérdidas (P)	0.0943	0.0030	0.1374	0.0000	0.0073	0.0545	0.3204	0.0611	0.0106
G - P	0.0379	0.0115	-0.1362	0.0007	-0.0073	-0.0523	-0.2151	0.3420	0.0189
%	3.79%	1.15%	-13.62%	0.07%	-0.73%	-5.23%	-21.51%	34.20%	1.89%

AGR=Agricultura; BOS=Bosque; AGU=Agua; SIN=Sin vegetación; MAN=Manglar; SEL=Selva; PAS=Pastizales; VSE=Vegetación secundaria; URB=Urbano

Los principales cambios ocurren en la cobertura de vegetación secundaria (ver Figura 23). A pesar de registrar un 6% de pérdida, la ganancia total alcanza 34%; es decir, que incrementó de 287225 a 324623 ha. Cabe resaltar que el principal aportante a esta cobertura es la categoría de pasto. Así, la segunda cobertura con transiciones más altas es la extensión final de pastizales, que pasaron de 160223 ha en el 2009 a 128549 en el 2013. El principal aportante a esta cobertura son los pastizales (29%), muy por encima de agricultura (5%) y selva (3%).

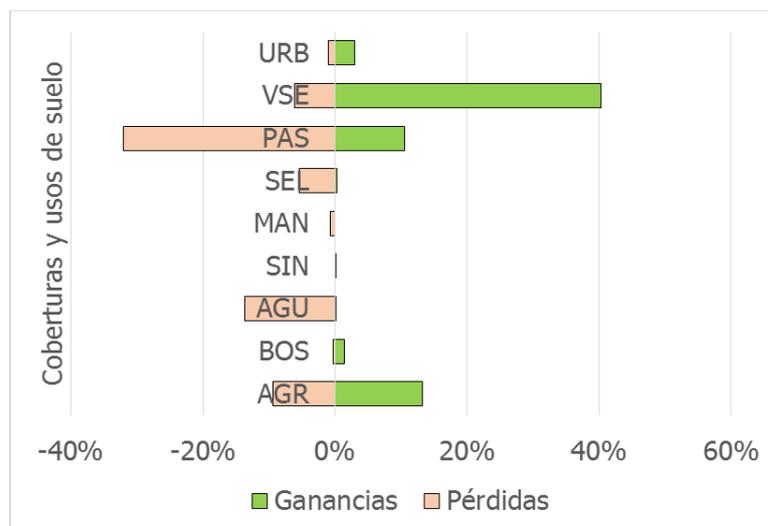


Figura 23. Ganancias y pérdidas por categoría 2009-2013

El incremento de la cobertura de vegetación secundaria tiene varias posibles explicaciones. Por un lado, la disminución en la cobertura de pastos puede relacionarse con el comportamiento del mercado interno y externo de carne, que habría influido en una mayor cantidad de ha destinadas a pasturas, si se considera que las exportaciones en ese periodo, tuvieron fases con mayor y menor demanda de carne mexicana en Estados Unidos (FIRA 2015). Por otro lado, durante el periodo, las diferentes iniciativas de conservación en la zona (CONAFOR 2015) podrían haber persuadido a productores a que amplíen la extensión de bosque, lo cual propició que pastizales sean paulatinamente destinados a descanso (barbecho) con fines de conservación. Finalmente, el paso de ciclones tropicales por la zona puede provocar inundaciones y deslaves cuando son prolongados e intensos (Sampablo *et al.* 2016). En la zona y el periodo de comparación, Jova en 2011 y Manuel en 2013 golpearon las costas y zonas montañosas aledañas, y podrían incidir en la pérdida de extensión de cultivo.

Respecto de las coberturas forestales, la dimensión de selva pierde cerca del 5.23% anual (616063 ha en 2016), frente a la recuperación de bosques con 1.15% anual (131258 ha en 2016). De esa manera, la tasa de deforestación para la zona alcanzó 4.08% anual. Este valor supera el promedio nacional y estatal (CONAFOR 2017a). Así mismo, marca una tendencia en la zona de

estudio, que explica un incremento de las actividades agrícolas hacia las zonas costeras, con la consiguiente afectación de selva y una recuperación de los bosques en la sierra. Si se consideran las tendencias por incrementar en la vegetación secundaria, se puede afirmar que existen indicios de una recuperación de la cobertura forestal en las cuencas altas, frente a un retroceso en la costa. Análisis similares en la zona y estado, coinciden en que la tasa de deforestación disminuye a partir de los noventas (ver Cuadro 14). Según Hennin y Moya (2001), desde la época de la Colonia, la pérdida de cobertura de bosque en la costa de Jalisco se debió especialmente al incremento de la ganadería extensiva. Con el tiempo, ésta pasó a ser la principal actividad de los colonos en las zonas selváticas, y desplazó a otros cultivos tropicales que incluso tenían fomento y apoyo.

Cuadro 14. Análisis de CUS realizados en México

Lugar	Periodo	CCUS	Tasa de deforestación	Autores
Jalisco	1981-1991	Tasa de deforestación con fines productivos	-2.09%	(Barrera Sánchez y Curiel Ballesteros 1998)
Jalisco /Cuzalapa	1980-1990 1990-2000	Hacia uso agropecuario	-1% -0.12%	(Cárdenas-Hernández y Gerritsen 2015)
Jalisco	1982-2007	Incremento en áreas agrícolas, bosques, urbanas y de agua	-6%	Bautista-Andalón y Rodríguez-Alcaraz (2017)

En el siguiente paso del proceso no se encontró correlación estadística significativa entre los pesos de evidencia de las transiciones registradas y las variables explicativas analizadas. Esto significa que cada una de las variables incluidas en el análisis actúa independientemente, por tanto, no fue necesario especificar en el modelo interacción de variables. De igual manera, el mapa simulado para validar el modelo generado muestra que el modelo es aceptable. La validación por medio de las ventanas de análisis muestra que a partir de una ventana de 10, es posible encontrar una mayor coincidencia entre lo simulado y lo visto. Por tanto, el modelo desarrollado permite simular coberturas de uso de suelo futuras.

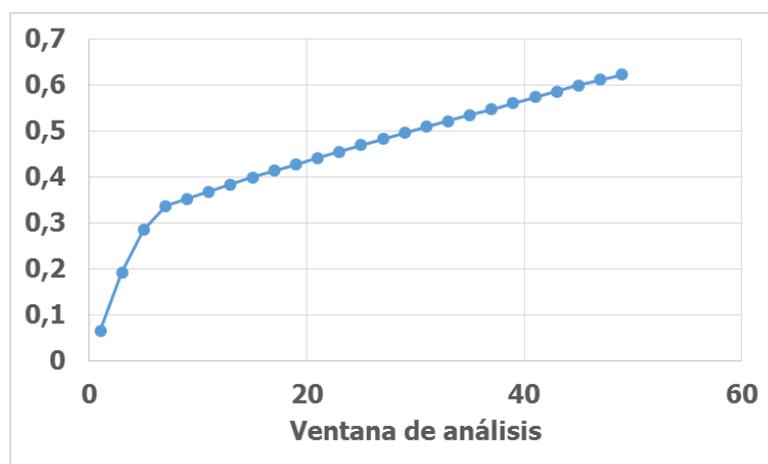


Figura 24. Validación del modelo simulado por medio de ventanas

Los resultados del mapa simulado para el 2025 sobre la ventana de trabajo (ver Figura 25), muestran que el mayor incremento se encontrará en la cobertura de vegetación secundaria, por encima de las categorías de pasto y agricultura. De igual forma, se registra una disminución extensión de bosque y selva comparada con el año 2016.

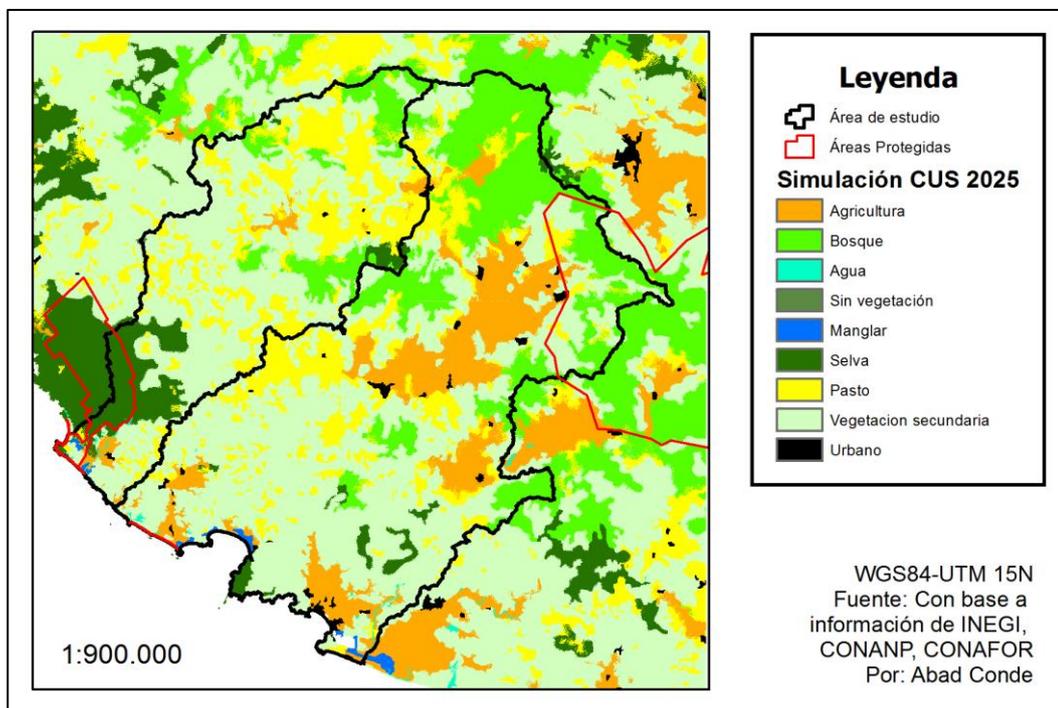


Figura 25. Mapa de cobertura y uso de suelo simulado al 2025

Dentro de las cuencas hidrográficas analizadas, fuera del área analizada en la ventana de trabajo, el principal cambio de extensión será el incremento de aproximadamente 12% en la vegetación secundaria. En el mismo periodo, las coberturas de bosque y selva también se ven afectadas y disminuyen en un 6.7 y 7.5% respectivamente. Estos datos coinciden con los encontrados para toda la ventana de trabajo. En ese mismo sentido, las coberturas agrícolas y pastizal disminuyen en 9 y 14% respectivamente. El incremento de la vegetación secundaria encontrado coincide con los datos analizados hasta el 2010 por Cárdenas-Hernández y Gerritsen (2015), que emplazaron su análisis en una comunidad dentro de la zona de estudio y de la RBSM. Para INEGI (2015), esta categoría ocupa áreas donde la vegetación fue eliminada o alterada por factores humanos o naturales, que resulta en una comunidad vegetal heterogénea y diferente a la original. En este caso, la relación entre la vegetación secundaria y las actividades agropecuarias sugiere que estas últimas están modificando su extensión y las zonas de desplazamiento. La agricultura y los pastos fueron los que más aportaron a la vegetación secundaria, pero los que más quitaron extensión a bosque y selva. De esta manera, los resultados muestran que existe un avance de la degradación forestal en la zona ocasionado por las actividades productivas; sin embargo, ésta no logra ser permanente y sostenible, por lo que cede terrenos a descanso y a vegetación secundaria. Por otro lado, el inicio de iniciativas de conservación puede estar influyendo en que las actividades productivas, especialmente ganadería, pasen a ser barbecho y vegetación secundaria.

Cuadro 15. Comparación de la extensión de cada categoría de cobertura y uso de suelo entre el mapa 2016 y el mapa simulado 2025

Categoría	CUS – 2016 (km²)	Tendencia 2025 (km²)	Diferencia 2016-2025 (km²)	% de cambio
AGR	415.66	377.91	-37.75	-9.08
BOS	602.84	562.38	-40.46	-6.71
AGU	5.54	5.56	0.02	0.36
SIN	0.38	0.38	0.00	0.00
MAN	10.33	10.33	0.00	0.00
SEL	169.29	156.66	-12.64	-7.46
PAS	747.23	641.71	-105.52	-14.12
VSE	1485.06	1677.88	192.82	12.98
URB	25.99	25.95	-0.04	-0.14

AGR=Agricultura; BOS=Bosque; AGU=Agua; SIN=Sin vegetación; MAN=Manglar; SEL=Selva; PAS=Pastizales; VSE=Vegetación secundaria; URB=Urbano

3.2. Análisis cualitativo-cuantitativo de la percepción de ganaderos sobre el uso de suelo y mecanismos de conservación

3.2.1. Entrevista a productores ganaderos

Con base en las listas de productores gestionadas y el análisis sobre el esfuerzo muestral posible, se alcanzó una muestra de 103 entrevistas, 43 del grupo de ganaderos con experiencia y 60 del grupo sin experiencia (ver Cuadro 16).

Cuadro 16. Diseño muestral para recolección de información, por grupo de ganaderos con y sin experiencia en mecanismos de conservación

	Ganadero con experiencia	Ganadero sin experiencia
Fuente	JICOSUR*	PROGAN*
Tamaño de la población	65	1983
Nivel de confianza	90%	90%
Error muestral	7%	10%
Tamaño de la muestra	43	60

Los componentes de la entrevista fueron contruidos participativamente con la participación de actores de la zona de estudio. La construcción y definición de atributos y niveles del experimento de elección requirieron también de respaldo con información bibliográfica.

3.2.2. Análisis de la información cuantitativa

Se encontraron diferencias entre el grupo de productores ganaderos con y sin experiencia de trabajo con mecanismos de conservación. Existen correlaciones positivas significativas entre todas las combinaciones generadas sobre la información general del grupo de ganaderos sin experiencia, mientras que para el grupo con experiencia, sólo presenta dos combinaciones con coeficiente

correlación de *Pearson* por encima de 0.5 (ver Cuadro 17). Con una diferencia de 12 puntos porcentuales, la correlación entre la extensión del rancho y el área de pasto es menor en el grupo con experiencia (0.86>0.74). Esto sugiere que estos últimos productores están menos condicionados a una relación entre la cantidad de áreas para pastura y la extensión del rancho. En promedio, los ganaderos con experiencia tienen más hectáreas de rancho (127±19.4 frente a 117±15.9 ha); sin embargo, tienen menos áreas de pasturas (68.2±10,7 frente a 76.6±14 ha). A pesar de esto, el análisis ANAVA¹⁵ muestra que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las variables.

Cuadro 17. Comparación de los coeficientes de correlación de *Pearson* de la información general de los grupos de ganaderos

Variables	Grupo sin experiencia	Grupo con experiencia
Cantidad animales * Animales vendidos año	0.86***	0.81***
Extensión rancho * Área pasto	0.86***	0.74***
Área pasto * Animales vendidos año	0.65***	0.45**
Cantidad animales * Área pasto	0.83***	0.39*
Extensión rancho * Cantidad animales	0.72***	0.21 ^{NS}
Extensión rancho * Animales vendidos año	0.56***	0.30 ^{NS}

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; ^{NS} = no significativo

El análisis de conglomerado aplicado al total de productores (sin considerar las experiencias en mecanismos de conservación), permitió reconocer 3 grupos de productores diferenciados por "Cantidad animales", "Animales vendidos al año", "Extensión del rancho", "Área de pasto" (ver Figura 26). El análisis es sobre 82 ganaderos, de los 103 entrevistados que completaron la información requerida. Los 3 grupos están compuestos por 39, 36 y 7 productores.

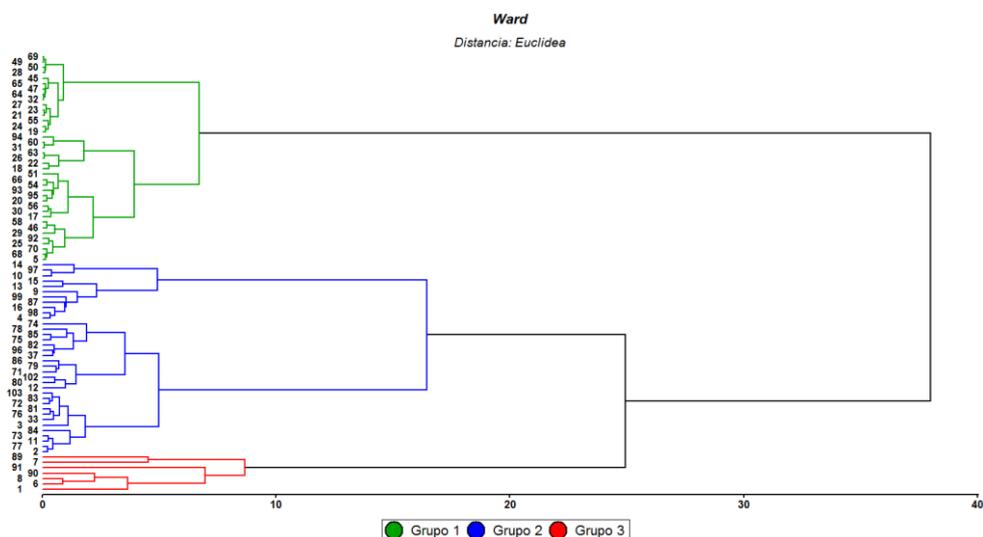


Figura 26. Análisis de conglomerado sobre los productores entrevistados

¹⁵ Análisis de varianza al 95% de confianza; Extensión de rancho ($p=0.69$), y Área Pasto ($p=0.65$)

Los 3 grupos encontrados se diferencian por la cantidad acumulada en cada variable medida, es así como el primer grupo correspondería a pequeños productores, seguido de medianos y finalmente grandes productores (ver Figura 27). De esta manera, la tenencia de tierras y áreas de pasto es superior en el grupo 3, por encima de los demás grupos.

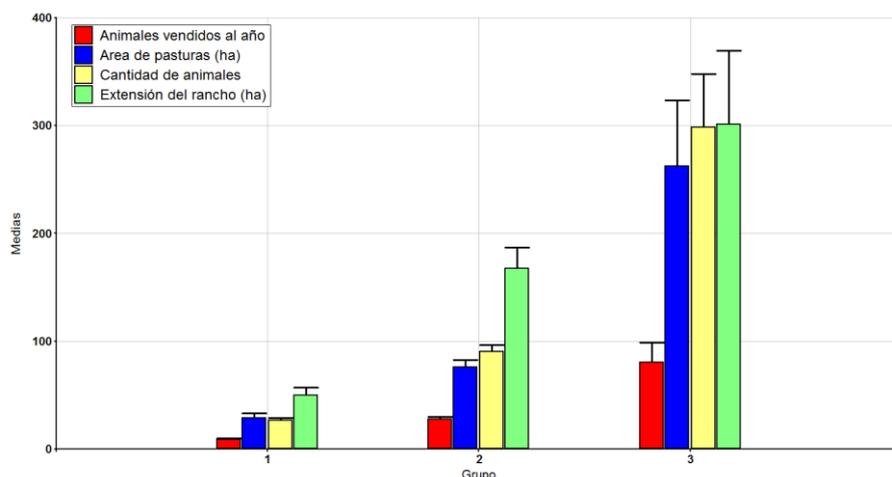


Figura 27. Diagrama de barras que compara las características de los 3 grupos de productores encontrados en la zona de estudio

Gerritsen *et al.* (2007), en un acercamiento a tipologías de ganaderos asentados dentro de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, también presentan 3 grupos divididos con base en tenencia de la tierra y número de cabezas de ganado. Detalla que los productores grandes poseen más de 50 cabezas de ganado y 40 hectáreas de pasto; los medianos entre 20 y 50, y los pequeños con pocos animales. Los resultados del presente estudio difieren, posiblemente porque la zona dentro del área protegida tiene restricciones al incremento de la actividad ganadera, control institucional (Cárdenas-Hernández y Gerritsen 2015) y tierras con menor capacidad de uso. En cambio, la mayoría de los ganaderos entrevistados en este estudio se asientan por fuera del área de influencia de la reserva bajo condiciones que les permiten intensificar su producción.

Se encontró diferencia estadísticamente significativa entre las medias encontradas para "Cantidad animales", "Animales vendidos al año", "Extensión del rancho" y "Área de pasto". De igual manera, se determinó que la relación entre área de pastoreo y extensión total del rancho es diferente entre el grupo de grandes ganaderos (87%), frente a los grupos de pequeños y medianos productores (58 y 45% respectivamente). Esto puede deberse a que el principal medio de vida de este grupo es la ganadería. Por otro lado, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas respecto de la carga animal estimada.

Cuadro 18. Comparación de características de los 3 grupos de productores identificados en el análisis de conglomerado

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Cantidad animales***	50.19 ± 7.15 ^A	167.53 ± 19.62 ^B	301.14 ± 68.25 ^C
Animales vendidos al año***	26.82 ± 2.06 ^A	90.69 ± 5.56 ^B	298.57 ± 49.35 ^C
Extensión del rancho***	29.09 ± 3.98 ^A	75.86 ± 6.85 ^B	262.57 ± 60.69 ^C

Área de pasto***	8.82 ± 0.98 ^A	27.64 ± 2.36 ^B	80.71 ± 18.01 ^C
% del total (n=82)	48%	44%	9%
% de pastizal respecto del área total*	58% ^A	45% ^A	87% ^B
Carga animal estimada ^{NS}	0.92	1.20	1.14

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; ^{NS} = no significativo

Posteriormente, se compararon las diferencias entre los intereses expresados por cada grupo de productores con y sin experiencia en mecanismos de conservación (ver Figura 28). De manera general, las opiniones e intereses positivos frente a la conservación e incremento de árboles en el rancho, acumulan mayores porcentajes a diferencia de las opciones negativas. Cerca del 80% de los entrevistados afirma estar interesados en poder incrementar la actividad ganadera en su rancho. Alrededor del 90% tiene una opinión positiva sobre mantener árboles en el rancho; sin embargo, sólo el 70% aproximadamente estaría dispuesto a incrementar la cobertura boscosa. No obstante, cerca del 100% tiene una opinión positiva sobre los árboles como cerco vivo, y similar proporción estaría dispuesto a implementar el arreglo silvopastoril. De igual forma, alrededor del 90% elegiría más de una especie en la cerca viva. En todas las preguntas relacionadas con la cobertura forestal, los productores con experiencia acumularon mayores porcentajes que los ganaderos sin experiencia. Éstos últimos registran mayor interés en incrementar la actividad ganadera hacia el futuro.

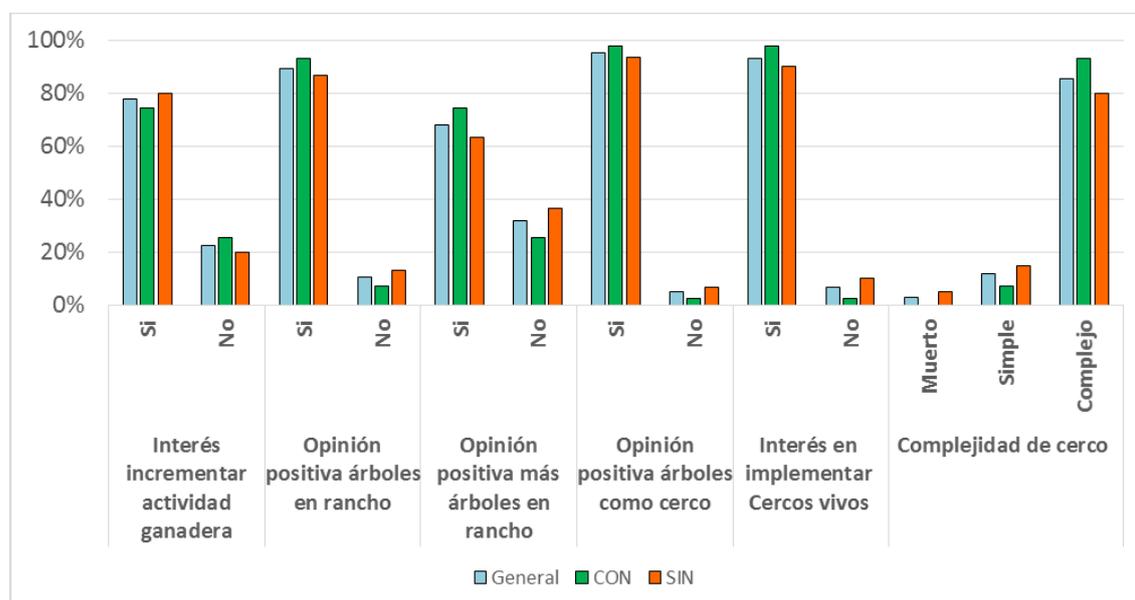


Figura 28. Comparación de los intereses expresados por los productores con y sin experiencia en mecanismos de conservación

La cantidad de ganaderos dispuestos a implementar cercos vivos se relaciona con la amplia diversidad de especies conocidas en la zona que son utilizadas como tales. Miranda *et al.* (2004) identificaron alrededor de 40 especies forrajeras en Tomatlán, colindante norte de la zona de estudio, de las cuales 15 son utilizadas como cerco vivo; de igual forma, Palma (2006) reporta cerca de 70 especies en el estado de Colima, colindante al sur con la zona de estudio.

3.2.3. Análisis de la información cualitativa

3.2.3.1. Factores que inciden en la decisión de ingresar a un mecanismo de conservación

Los mecanismos de conservación y el proceso de inscripción poseen ciertas características que, sumadas a factores individuales, inciden en la decisión de los productores ganaderos sobre ingresar en algún mecanismo de conservación. Las principales características que limitan son el "Suficiente acceso a la información", "Reglas que generan sensación de pérdida de control sobre el rancho", y "Pérdida de estatus como ganadero". Por otro lado, existen características que incentivan el ingreso, como "Subvención a áreas no productivas del rancho", "Reconocimiento de las ventajas de tener árboles en el rancho" y "Sensibilidad ambiental desarrollada". Características como el "Área mínima por inscribir al mecanismo, posibilidad de participar como ejido" y "Percepción acerca del rol de los árboles en el rancho" genera opiniones encontradas en los entrevistados (ver Figura 29).

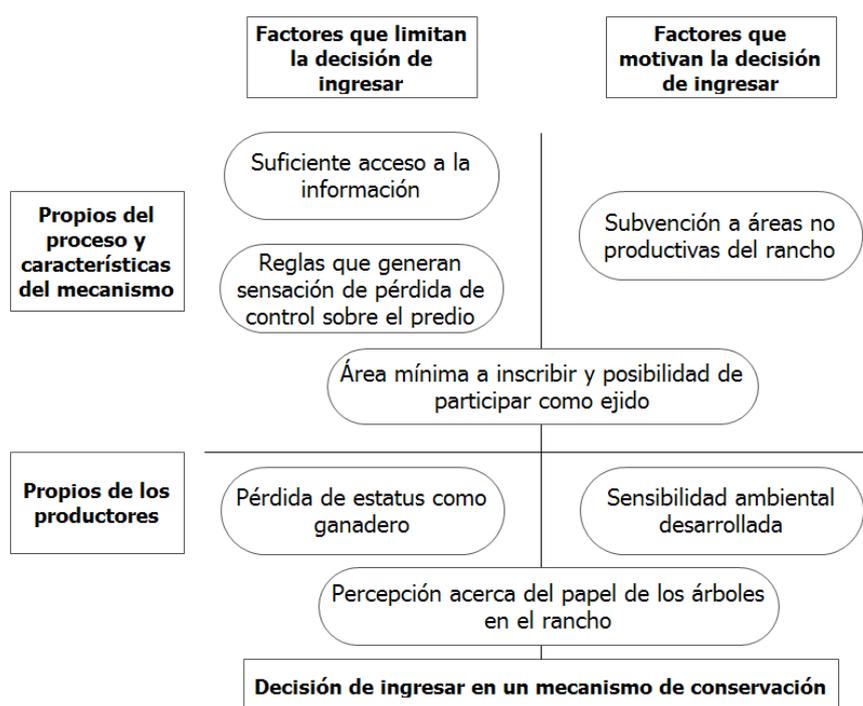


Figura 29. Factores que inciden sobre los productores en la decisión de ingresar o no a un mecanismo de conservación

Respecto de los factores limitantes, varios entrevistados consideran que no acceden adecuadamente a la información acerca de convocatorias oficiales de cada mecanismo "No escuché hablar de estos proyectos, no nos llega y no hay cómo difundirla". Esto puede deberse a que los plazos de los procesos son ajustados, y las municipalidades encargadas de difundir la información no logran comunicar la información a todos los ejidos y ganaderos. "Desconozco las características de estos programas, me imagino que están enfocados a conservación y no conozco a nadie que esté inscrito en ellos". Esta dificultad genera un malestar que repercute y se transforma en rechazo hacia instituciones públicas y sus iniciativas. "No alcanzo a dimensionar el

beneficio de estos programas”, “Si a uno le dan una ayudita está bueno, pero el gobierno sabe quitárselo por otros lados”. Cabe resaltar que, productores que iniciaron actividades de innovación en sus predios, tienen más probabilidades de acceder a información sobre nuevos proyectos. Por otro lado, varios ganaderos afirman que prefieren no ingresar a un mecanismo, pues el terreno que comprometen a conservación deja de estar bajo su completa tuición; es decir, que las regulaciones estrictas al uso de suelo y la imposibilidad de aprovechar el bosque conservado en actividades secundarias como el ramoneado de ganado, repercute en su decisión de participar o no. Otros motivos están en el estatus de ganadero y la decisión de no modificar sus medios de vida “Me enfoco en la ganadería, es de donde viene mi sustento, no veo otra opción diferente a lo mío”.

Respecto de los factores que motivan el ingreso, la posibilidad de recibir una subvención sobre partes del rancho que no son aptas para cultivo ni pasto, atrae a los ganaderos. Al mismo tiempo, muchos entrevistados mencionaron la ventaja de tener cobertura boscosa en el rancho, que puedan aportar con alimento para el ganado *“tengo la posibilidad de incluir arbustos como alimento del ganado”* y garantizar agua para las actividades productivas *“El rancho se beneficia con la humedad de los suelos, pues los árboles capturan agua”, “Soy el único en el ejido que tengo monte virgen. no lo voy a tumar, porque es para almacenar agua”*. Por otro lado, se pudo constatar que existe una creciente sensibilidad ambiental entre varios de los entrevistados, los cuales reconocen la importancia de la conservación de los recursos naturales: *“Si me inscribiera sería para poner mi granito de arena y que los demás imiten las cosas buenas”,* de la misma manera *“Si se puede conservar y producir a la vez”*.

La cantidad mínima de hectáreas por inscribir para ser elegible incide en la participación de productores. Como se pudo constatar en la entrevista, cerca del 90% de los entrevistados posee ranchos con menos de 80 ha y no serían candidatos elegibles por ejemplo para el PSA. La oportunidad de participar con el ejido es una alternativa con opiniones diferentes. Algunos productores rehúyen a la posibilidad de inscribirse en algún tipo de mecanismo como ejido y comentan que el esfuerzo individual no es similar *“Uno quisiera que todos apoyaran de la misma forma, muchos creen que es algo absurdo”*. De la misma manera, se limitan las decisiones individuales que puede tomar el ganadero, y dependiendo del mecanismo, los recursos y apoyos económicos no se reparten a los ejidatarios; sino que deben traducirse en acciones concretas. Por otro lado, la percepción que tenga el ganadero, respecto del rol que puede desempeñar la cobertura de bosque en el rancho, define también su participación. Así, se encontraron opiniones diversas a favor como *“Se trata de conservar y hacer el arbolado más grande, es lo que atrae el agua”,* y en contra *“A la fuerza uno tiene que hacer desmontes para que haya pasto, si no de dónde vas a alimentar a los animales”*.

3.2.3.2. Cambio en los usos de suelo y coberturas hacia el futuro

Se encontró en las entrevistas que la mayoría de los ganaderos avizora mantener o incrementar la cantidad de cobertura forestal hacia el futuro *“Soy el único en el ejido que tengo monte virgen. No lo voy a tumar”*. Si bien existe una diferencia de casi 20 puntos porcentuales entre las personas que tienen una opinión positiva sobre los árboles en el rancho y las que tienen intención de incrementar su extensión, el promedio general supera el 60% de los encuestados. La mayoría de los entrevistados afirman que la actividad ganadera en el futuro se intensificará *“El*

detalle ha sido que todo mundo quiere tener más bovinos y pastura y eso requiere deforestar los agostaderos”, entre varios factores, por las limitaciones de los terrenos en los que se emplazan los productores “Me gustaría tener granja de conejos, de ordeña de ganado, pero no hay fondos. También se puede cultivar Jamaica, naranjos, Limones, pero no se puede por falta de agua”. Respecto de las áreas dedicadas a la actividad agrícola, éstas seguirán siendo parte de la diversificación de los productores. Cultivos como maíz y caña seguirán siendo importantes en la región anexa a las llanuras y producción de frutales en las zonas cercanas a la costa.

Cabe resaltar que existen prácticas silvopastoriles que empiezan a cobrar fuerza, como los cercos vivos *“está bien, son buenos, ya no se tumbaría tanto árbol para hacer cerco y le dan fuerza al cerco”* y los árboles dispersos en potreros. En el último caso, productores de becerros y vacunos afirman estar experimentando con el pastado del ganado en medio de árboles frutales *“estoy pensando en meter borregos en los cultivos de mango”*.

3.2.4. Análisis del experimento de elección

En el caso del primer experimento de elección, se encontró que el principal atributo que incide en la decisión de participar o no en un mecanismo de conservación, es la “Posibilidad de aprovechar el bosque en alguna actividad secundaria” (ver Cuadro 19). Esto puede significar que los ganaderos prefieren no ingresar a un programa de conservación que limita su capacidad de utilizar sus tierras para otros fines. No obstante, a pesar de que existen iniciativas que permiten aprovechamiento de la zona inscrita en actividades secundarias, (UMA, ADVC, PFMS), la mayoría de los entrevistados están afiliados al PSA individual o en el nivel ejidatario que no permite tener otra actividad secundaria. Una de las causas posibles para que suceda esto puede ser que en la zona CONAFOR ha implementado más polígonos prioritarios de PSA. De igual forma, los siguientes atributos encontrados explican por qué a pesar de haber tales polígonos, los productores ganaderos no deciden participar de los mismos. De esa manera le siguen en menor medida el “Área mínima que se requiere para ingresar al programa”, y “Cantidad de apoyo económico que recibirá por hectárea inscrita”. Llama la atención que el atributo relacionado con la retribución económica “Tiempo de duración del apoyo” tiene un coeficiente importante, pero su *valor p*, indica que no es significativo.

Cuadro 19. Coeficientes de los atributos del primer experimento de elección, modelo logit anidado (n=100)

Atributos	Coficiente
<i>Alternativa específica constante</i>	4.620***
Tiempo de duración del apoyo económico	-0.147 ^{NS}
Área mínima del rancho que debe inscribir	-0.016*
Cantidad de apoyo económico que recibirá por hectárea inscrita	0.003**
Posibilidad de aprovechar el bosque en actividades secundarias	-1.910***
Anidamiento entre las cuatro anteriores variables	6.24e-07 ^{NS}

*p≤0.05; ** p≤0.01; *** p≤0.001; ^{NS} = no significativo; Verosimilitud de -415.88

Los resultados sugieren que los ganaderos prefieren mantener el control de sus actividades productivas dentro del rancho, por encima de los réditos económicos que podrían recibir si fueran

parte de un mecanismo de conservación. Esto puede depender también del tipo de terreno que se incluye a los mecanismos si tienen mayor o menor capacidad de uso. Por otro lado, influye también que el ganado representa una alternativa de ahorro en la economía campesina de la zona y de estatus en lo cultural (Gerritsen *et al.* 2007). Este tipo de consideraciones forman parte del proceso de adaptación de los mecanismos de conservación en México. Corbera *et al.* (2009), quien menciona que desde sus inicios, las reglas de operación del PSA en México, así como otras herramientas para la gobernanza de los recursos naturales, han sido objeto de continuos análisis y modificaciones hacia una adaptación constante a las dinámicas socio-ecológicas donde se implementan.

Respecto del segundo experimento, se encontró que la "Distribución espacial de los árboles en las demás áreas del rancho" forma parte de los principales cambios en las actividades productivas que realizarían los ganaderos si ingresaran a un mecanismo de conservación (ver Cuadro 20). Esto significa que la manera en cómo los árboles se distribuirían en el rancho, por fuera del área hipotética por conservar, es la primera condicionante en los productores respecto de los cambios los cuales tendría que realizar en sus actividades productivas y usos de suelo. Esta condicionante está por encima de "Producción esperada del ganado en el rancho", "Capacidad de carga", y "Proporción de bosque en el rancho por conservar", cuyos valores de p no son significativos estadísticamente.

Cuadro 20. Coeficientes de los atributos del segundo experimento de elección, modelo logit anidado (n=100)

Atributos	Coefficiente
<i>Alternativa específica constante</i>	1.351 ^{NS}
Proporción de bosque en el rancho por conservar	-0.010 ^{NS}
Distribución espacial de los árboles en las demás áreas del rancho	-0.431*
Capacidad de carga	0.138 ^{NS}
Producción esperada del ganado en el rancho	0.466 ^{NS}
Anidamiento entre las cuatro anteriores variables	0.001 ^{NS}

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; ^{NS} = no significativo; Verosimilitud de -415.88

Los ganaderos prefieren tener los árboles distribuidos en línea en sus ranchos a manera de cercos vivos. El 48% de los entrevistados eligió ese arreglo espacial para un sistema silvopastoril en sus predios, seguido de los árboles dispersos en potrero elegido en el 30% de los casos. Eso coincide con lo encontrado en el anterior acápite, donde cerca del 95% de los entrevistados tiene una actitud positiva e implementar cercos vivos complejos en sus predios. Gerritsen *et al.* (2007) explica que tanto los productores grandes como medianos tienen intenciones de poder incrementar su actividad agrícola (resultado que coincide con el presente estudio), de tal manera que el incremento de la cobertura forestal supone para ellos un posible escenario, no deseado, de reducción de la productividad de su rancho.

Los resultados del tercer experimento permiten un acercamiento a las decisiones de los ganaderos respecto del futuro de los usos de suelo y coberturas en sus ranchos. Los principales cambios que anticipan los entrevistados se relacionan con los "Cambios en la cobertura forestal". Esto sugiere que a futuro, los ganaderos anticipan que los principales cambios en sus ranchos

serán en la extensión de los árboles en el rancho. Esto coincide con el 39% de los entrevistados que eligió opciones las cuales mantenían o incrementaban la extensión de bosque en sus parcelas. Los resultados muestran que la extensión de los terrenos dedicados a la ganadería y cultivo no condicionan la elección futura de los ganaderos para implementar cambios en sus actividades productivas. El siguiente atributo que sí alcanza importancia y significado estadístico es la interacción entre cobertura forestal y áreas para cultivo; en ese sentido, se pudo observar que usualmente las opciones donde el área de bosque mantiene o incrementa son aquellas donde el área de cultivo se establece o disminuye (ver Cuadro 21).

Cuadro 21. Coeficientes de los atributos del tercer experimento de elección, modelo logit anidado (n=100)

Atributos	Coeficiente
<i>Alternativa específica constante</i>	-7.310 ^{NS}
Cambios en la cobertura forestal hacia el futuro	3.522*
Cambios en la cantidad de áreas para ganadería	0.314 ^{NS}
Cambios en la cantidad de áreas para cultivo	1.785 ^{NS}
Enfoque o tipo de apoyo que se recibe del Estado hacia el futuro	1.915 ^{NS}
Interacción entre la cobertura forestal y áreas para ganadería	0.035 ^{NS}
Interacción entre la cobertura forestal y áreas para cultivo	-0.576*
Interacción entre las áreas para cultivo y áreas para cultivo	-0.228 ^{NS}
Interacción entre la cobertura forestal y tipo de apoyo del Estado	-0.890 ^{NS}

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$; ^{NS} = no significativo; Verosimilitud de 415.88

Los resultados permiten afirmar que la percepción de los productores respecto de los bienes y servicios ecosistémicos de las coberturas forestales, está teniendo una evolución positiva, y que podría deberse a la implementación de mecanismos de conservación en la zona. Las dos cuencas estudiadas se caracterizan por un fuerte componente agrícola en las llanuras, y desplazamiento de la actividad ganadera hacia terrenos no aptos para agricultura y usualmente forestal o aledaño a áreas protegidas (Martínez Rivera *et al.* 2007). A pesar de los cambios vistos, existen productores que valoran la tierra y las coberturas de bosque solo por la posibilidad de convertirlas en actividades agrícolas, pecuarias o provisión de madera para postes (Castillo *et al.* 2009), y no se garantiza sostenibilidad en las prácticas promovidas luego de concluidos los periodos de apoyo y acompañamiento (Ruiz-Jiménez y Valtierra-Pacheco 2017).

3.2.5. Asignación de valores para simulación de escenario futuro

Se definieron nuevos valores de tasa de cambio individual para algunas de las transiciones de suelo encontradas, con base en el análisis de las percepciones de los productores respecto del futuro uso de suelos y el desarrollo de los mecanismos de conservación. Tales valores se incrementaron un 25% para todos los usos que se dirigen hacia agricultura y pastizales. Por otro lado, los cambios que se dirigían a valores de bosque, selva y vegetación secundaria, disminuyeron también en un 25% (ver Cuadro 22).

Cuadro 22. Tasas de cambio modificadas para la simulación al año 2022, con base en las perspectivas de los productores ganaderos

Transición		Tasa de cambio original	Tasa de cambio modificada
De	A		
Agricultura	Bosque	0.12%	0.09%
Agricultura	Selva	0.04%	0.03%
Agricultura	Pasto	0.43%	0.54%
Agricultura	Vegetación secundaria	0.92%	0.69%
Bosque	Agricultura	0.10%	0.13%
Bosque	Pasto	0.54%	0.67%
Bosque	Vegetación secundaria	0.69%	0.52%
Selva	Agricultura	0.06%	0.08%
Selva	Pasto	0.31%	0.39%
Selva	Vegetación secundaria	0.71%	0.53%
Pasto	Agricultura	0.18%	0.14%
Pasto	Bosque	0.47%	0.35%
Pasto	Selva	0.12%	0.09%
Pasto	Vegetación secundaria	1.90%	1.43%

3.3. Comparación de mapas prospectivos de la cobertura y uso de suelo

Existen diferencias entre los mapas simulados de cobertura y uso de suelo para el año 2025. El primer mapa con las tendencias registradas muestra un incremento importante en la vegetación secundaria como principal uso de suelo; mientras la actividad agrícola y pecuaria disminuye, igual que la extensión de bosque y selva (ver Figura 30).

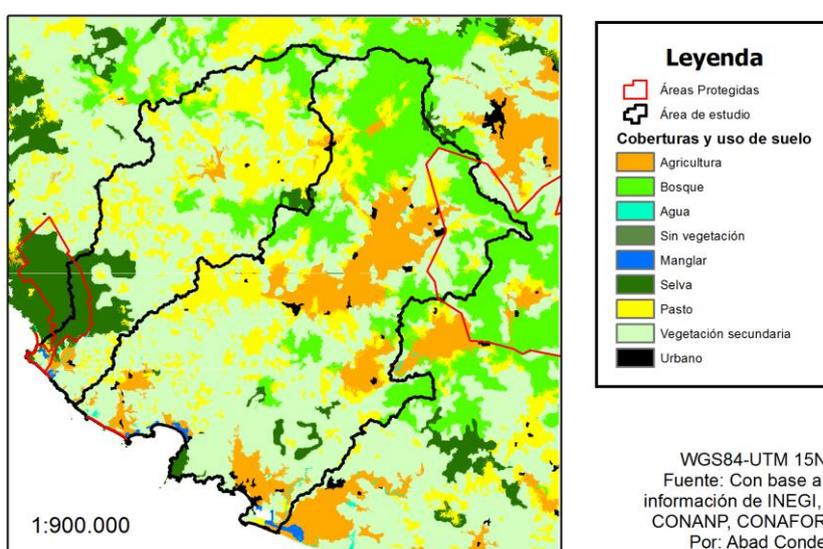


Figura 30. Mapa de simulación de las coberturas y uso de suelo para el año 2025, con base en la perspectiva de los productores ganaderos

Las tasas de cambio modificadas con base en las percepciones de los productores ganaderos generan un mapa simulado al 2025 donde la vegetación secundaria continúa ganando espacios importantes en la cuenca hidrográfica, hasta alcanzar 1637 km² de extensión (ver Cuadro 23). Esta categoría, igualmente que en el mapa generado con las tendencias, es la muestra una mayor extensión a futuro, y con más % de cambio. Tanto el bosque como la selva pierden un 5 y 7% de su extensión comparada con el 2016; sin embargo, las actividades agropecuarias también son fuertemente aminoradas, con el 13 y 10% de disminución.

Cuadro 23. Comparación de la extensión de cada categoría de cobertura y uso de suelo entre el mapa 2016 y el mapa simulado y modificado 2025

Categoría	CUS – 2016 (km ²)	Tendencia 2025 (km ²)	Percepción 2025 (km ²)	Diferencia 2016-2025* (km ²)	% de cambio
AGR	415.66	377.91	366.20	-49.46	-13.09%
BOS	602.84	562.38	572.83	-30.01	-5.34%
AGU	5.54	5.56	5.56	0.02	0.34%
SIN	0.38	0.38	0.38	0.00	0.00%
MAN	10.33	10.33	10.32	-0.01	-0.11%
SEL	169.29	156.66	158.11	-11.19	-7.14%
PAS	747.23	641.71	682.79	-64.44	-10.04%
VSE	1485.06	1677.88	1637.42	152.36	9.08%
URB	25.99	25.95	26.09	0.11	0.41%

*AGR=Agricultura; BOS=Bosque; AGU=Agua; SIN=Sin vegetación; MAN=Manglar; SEL=Selva; PAS=Pastizales; VSE=Vegetación secundaria; URB=Urbano; *Incluye percepción de los ganaderos.*

En el caso de las coberturas de agricultura y pasto, el mapa simulado con la percepción de los productores muestra que la cobertura de pasto disminuirá, pero no al nivel que resulta del modelo con las tendencias actuales (156<158km²); es decir, que la percepción de los productores respecto de los futuros usos de suelo en sus fincas podría recuperar parte de las pasturas que están con posibilidad de disminuir. No obstante, las áreas agrícolas continúan disminuyendo a pesar del incremento de las tasas de intercambio modificadas (377>366km²). Por otro lado, las tasas modificadas de cambio, con base en la percepción de los productores acerca de los mecanismos de conservación implementados en la zona, muestra que las coberturas de bosque y selva disminuirán, pero no al nivel que plantea el mapa de las tendencias (562<572, y 156<158 km²).

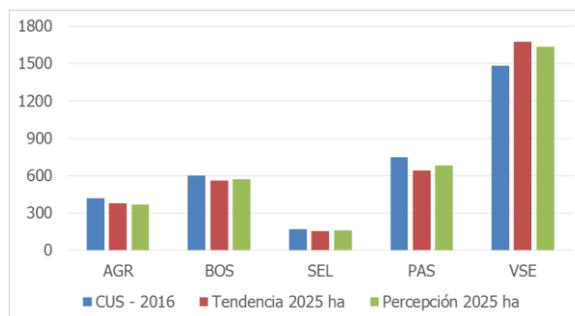


Figura 31. Comparación de la extensión de las principales categorías de cobertura y uso de suelo a futuro

4. Conclusiones

Con base en los resultados establecidos, se puede concluir lo siguiente:

- El análisis del CCUS muestra que los principales cambios ocurren en la cobertura de vegetación secundaria. Ésta obtiene aportes importantes de las coberturas de pasto especialmente y agricultura. La cobertura de pastizales disminuye en el periodo 2009-2013, y está relacionado con varios factores que pueden explicar su disminución, tales como los mecanismos de conservación y como la dinámica de los mercados agropecuarios. La cobertura forestal en el periodo pierde una importante extensión de bosque y selva, por encima del promedio nacional y estatal¹⁶. Estas coberturas se dirigen especialmente hacia coberturas de pasto y agricultura.
- El modelo de suelo generado fue validado y logra simular escenarios futuros de cambio de cobertura y uso de suelo en las cuencas estudiadas. El escenario simulado para el año 2025 muestra que el principal cambio sucede en la vegetación secundaria, que se incrementa mientras las coberturas de bosque y selva disminuyen.
- Existen características productivas que diferencian a los productores con experiencia de los de sin experiencia; por ejemplo, la correlación entre la extensión del rancho y el área de pasto es menor en el grupo con experiencia, lo que sugiere un menor condicionamiento a esta relación en los productores con experiencia.
- Se diferenciaron 3 nuevos grupos de productores con base en sus características productivas (Animales vendidos al año, área de pasturas, cantidad de animales y extensión del rancho), sin considerar las experiencias en mecanismos de conservación. La relación entre área de pastoreo y extensión total del rancho es diferente entre el grupo de grandes ganaderos frente a los grupos de pequeños y medianos productores. Así mismo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas respecto de la carga animal estimada.
- De manera general, las opiniones e intereses positivos frente a la conservación e incremento de árboles en el rancho, acumulan mayores porcentajes a diferencia de las opciones negativas. En todas las preguntas relacionadas con la cobertura forestal, los productores con experiencia acumularon mayores porcentajes que los ganaderos sin ella. Estos últimos registran mayor interés en incrementar la actividad ganadera hacia el futuro.
- Los ganaderos consideran incrementar e intensificar su actividad ganadera a futuro. Esto, a pesar de que se registra sensibilidad ambiental en muchos de los entrevistados, pone en riesgo la cobertura forestal de la zona puesto que las principales zonas de expansión son hacia zonas inapropiadas para cultivos agrícolas, especialmente bosques y selvas. Esta sensibilidad puede entenderse como reconocimiento y apreciación de los servicios ecosistémicos del bosque, en especial culturales y de provisión. De igual forma, ésta puede deberse a la participación de los productores en mecanismos de conservación. Los cercos vivos complejos son el arreglo silvopastoril más aceptado tanto en productores con como sin experiencia.

¹⁶ 30000ha/año de bosque

- La vegetación secundaria corresponde a terrenos en proceso de cambio de uso de suelo; es decir, que existe presión de actividades agropecuarias e ilícitas para que la cobertura no recupere biomasa y sea considerada a futuro como zona no forestal.
- Los mecanismos de conservación y sus procesos de inscripción poseen ciertas características, que sumadas a factores individuales, inciden en la decisión de los productores ganaderos sobre ingresar en algún mecanismo de conservación. Las principales características que limitan son el "Suficiente acceso a la información", "Reglas que generan sensación de pérdida de control sobre el rancho", y "Pérdida de estatus como ganadero". Por otro lado, existen características que incentivan el ingreso, como "Subvención a áreas no productivas del rancho", "Reconocimiento de las ventajas de tener árboles en el rancho" y "Sensibilidad ambiental desarrollada". Características como el "Área mínima por inscribir al mecanismo, posibilidad de participar como ejido" y "Percepción acerca del rol de los árboles en el rancho" genera opiniones encontradas en los entrevistados.
- La mayoría de los ganaderos avizora mantener o incrementar la cantidad de cobertura forestal hacia el futuro. Al mismo tiempo, la mayoría de los entrevistados afirma que la actividad ganadera a futuro continuará e incrementará.
- La "Posibilidad de aprovechar el bosque en alguna actividad secundaria" es el principal atributo que incide en la decisión de participar o no en un mecanismo de conservación en el primer experimento de elección.
- La "Distribución espacial de los árboles en las demás áreas del rancho" forma parte de los principales cambios en las actividades productivas que realizarían los ganaderos si ingresaran a un mecanismo de conservación.
- Los ganaderos anticipan que los principales cambios en sus ranchos a futuro serán en la extensión de árboles. Por otro lado, la extensión de los terrenos dedicados a ganadería y cultivo no condicionan la elección futura de los ganaderos para implementar cambios en sus actividades productivas. La interacción entre cobertura forestal y áreas para cultivo sí alcanza importancia y es estadísticamente significativa.
- Existen diferencias entre los mapas simulados de cobertura y uso de suelo para el año 2025. El primer mapa con las tendencias registradas muestra un incremento importante en la vegetación secundaria como principal uso de suelo; mientras la actividad agrícola y pecuaria disminuye, igual que la extensión de bosque y selva.
- El mapa simulado con la percepción de los productores evidencia que la cobertura de pasto disminuirá, pero no al nivel que resulta del modelo con las tendencias actuales. Por otra parte, las tasas modificadas de cambio infieren que las coberturas de bosque y selva disminuirán, pero no al nivel que plantea el mapa de las tendencias.

5. Agradecimientos

Se agradece al proyecto BioPaSOS por el importante apoyo económico y logístico.

A los miembros directivos y personal de JICOSUR, por el apoyo en la logística de trabajo. De igual manera, al apoyo fundamental de la Universidad de Guadalajara. A instituciones federales y estatales como CONANP, SEMADET, CONAFOR, CONABIO, y las asociaciones ganaderas.

A la unidad de Bioestadística del CATIE y de Modelado Ecosistémico.

6. Literatura citada

- Barrera Sánchez, CF; Curiel Ballesteros, A. 1998. La pérdida actual de selvas y bosques y su relación con los cambios globales (en línea). Gualadajara, MX, Consultado 15 Set. 2018. Disponible en <http://siga.jalisco.gob.mx/moet/SubsistemaNatural/OcupacionDelSuelo/perdida.htm>.
- Bateman, IJ; Day, BH; Jones, AP; Jude, S. 2009. Reducing gain-loss asymmetry: A virtual reality choice experiment valuing land use change *Journal of Environmental Economics and Management* 58(1):106-118. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069609000151> doi <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2008.05.003>.
- Bautista-Andalón, M; Rodríguez-Alcaraz, G. 2017. Cambio de uso del suelo y deforestación *In* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (ed.). La biodiversidad en Jalisco: Estudio de estado Volumen I. México. p. 263-267. Consultado 28 oct. 2017. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html>.
- Burgess, L; Street, DJ. 2005. Optimal designs for choice experiments with asymmetric attributes *Journal of Statistical Planning and Inference* 134(1):288-301.
- Cárdenas-Hernández, OG; Gerritsen, PR. 2015. Dinámica paisajística y cambio de cobertura en la comunidad indígena de Cuzalapa, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (1972 a 2000) *CienciaUAT* 9(2):30-40. Consultado 25 oct. 2017 Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78582015000100030&script=sci_arttext.
- Castillo, A; Godínez, C; Schroeder, N; Galicia, C; Pujadas-Botey, A; Martínez Hernández, L. 2009. El bosque tropical seco en riesgo: conflictos entre uso agropecuario, desarrollo turístico y provisión de servicios ecosistémicos en la costa de Jalisco, México *Interciencia* 34(12):844-850. Consultado 13 Oct. 2018 Disponible en http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009001200004.
- Cerda, C. 2011. Una aplicación de experimentos de elección para identificar preferencias locales por opciones de conservación y desarrollo en el extremo sur de Chile *Bosque (Valdivia)* 32:297-307. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002011000300011&nrm=iso.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Programa hídrico estatal 2014-2018 del Estado de Jalisco. 1 ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMADET) (ed.). México. 178 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2016. Atlas del agua en México 2016. México. 140 p. Consultado 2 nov. 2017. Disponible en <https://agua.org.mx/biblioteca/atlas-del-agua-en-mexico-2015-regiones-hidrologicas/>.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2015. Modelo de intervención en las áreas de acción temprana REDD+. 1 ed. Jalisco, México. 52 p. Consultado 15 feb 2018.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2016. Guía ilustrada para participar en el programa de pago por servicios ambientales: La naturaleza nos une para trabajar por México. 1 ed. Jalisco, México. 24 p. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/132371/Guia_ilustrada_para_participar_por_el_PSA.pdf.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2017a. Estrategia nacional para REDD+ 2017-2030. 1 ed. Jalisco, México. 124 p. Consultado 15 feb 2018. Disponible en <http://www.enaredd.gob.mx/wp-content/uploads/2017/09/Estrategia-Nacional-REDD+-2017-2030.pdf>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2017b. Reglas de operación, décima sección, Reglas de operación del programa apoyos para el desarrollo forestal sustentable 2018. Diario

- Oficial243 p. 30 diciembre 2017. Disponible en <https://www.gob.mx/conafor/es/documentos/reglas-de-operacion-2018>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET). 2017a. La biodiversidad en Jalisco: Estudio de estado Volumen I. México. 396 p. Consultado 29 oct. 2017. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET). 2017b. La biodiversidad en Jalisco: Estudio de estado Volumen II. México. 400 p. Consultado 29 oct. 2017. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html>.
- Corbera, E; Soberanis, CG; Brown, K. 2009. Institutional dimensions of Payments for Ecosystem Services: An analysis of Mexico's carbon forestry programme *Ecological economics* 68(3):743-761. Consultado 14 Oct. 2018 Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800908002632>.
- Costedoat, S; Koetse, M; Corbera, E; Ezzine-de-Blas, D. 2016. Cash only? Unveiling preferences for a PES contract through a choice experiment in Chiapas, Mexico *Land Use Policy* 58(Supplement C):302-317. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837715301277> doi <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.07.023>.
- Espinal Monsalve, NE; Gómez Zapata, JD. 2011. Experimentos de elección: una metodología para hacer valoración económica de bienes de no mercado (Bienes de no mercado; Valoración económica; Experimentos de elección; Disponibilidad a pagar; Bienestar.). 2011 21(38):32. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ede/article/view/27941/28202>.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2015. Panorama Agropecuario: Carne Bovina 2015. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. 36 p. (Journal of Hydrology). Disponible en [https://www.gob.mx/cms/.../Panorama Agroalimentario Carne de Bovino 2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/.../Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Bovino_2015.pdf).
- Galletta, A. 2013. Mastering the semi-structured interview and beyond: From research design to analysis and publication. NYU press.
- Gerritsen, PRW; Rosales Adame, JJ; moreno Hernández, A; Louette, D. 2007. Ganadería y sociedad: Los sistemas productivos ganaderos de la Sierra de Manantlán. *In* Estado actual y perspectivas de la ganadería extensiva en la Sierra de Manantlán, en el occidente de México (Físico). 1 ed. Autlán de Navarro, México, Petra Ediciones. p. 77-89. (1).
- Hamilton, L; Dudley, N; Greminger, G; Hassan, N; Lamb, D; Stolton, S; Tognetti, S. 2009. Los bosques y el agua. 1 ed. 101 p. (Estudio FAO: Montes). Consultado 1 Dic. 2018. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=zamocat.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mnfn=027903>.
- Hennin, MRK; Moya, EG. 2001. Producción animal en la Selva Mdianna de la costa de Jalisco. *In* Hernández, L (ed.). Historia ambiental de la ganadería en México. Veracruz, México, Instituto de Ecología A.C. p. 122-132. Consultado 17 oct. 2017.
- Holmes, TP; Adamowicz, WL; Carlsson, F. 2017. Choice experiments (Digital). *In* Champ, PA; Boyle, KJ; Brown, TC (eds.). A primer on nonmarket valuation. 2 ed., Springer. p. 133-186. Consultado 19 jul. 2018. Disponible en https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2017/ja_2017_holmes_003.pdf.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2000. Estudio hidrológico del Estado de Jalisco. 1 ed. México, INEGI. 105 p. Consultado 27 oct. 2017. Disponible en <https://www.google.com/search?q=estudio+hidrologico+jalisco&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Guía para la interpretación de cartografía: Uso de suelo y vegetación (Electrónico). Aguascalientes, MX, INEGI México.

- 200 p. (Serie V). Consultado 20 Dic. 2017. Disponible en http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/usosuelo/doc/guia_interusosuelov.pdf.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Anuario estadístico y geográfico de Jalisco 2016. 1 ed. Geografía), IINdEy (ed.). Aguascalientes, MX. 840 p. (1).
- Jiménez-Ferrer, G; Aguilar-Argüello, V; Soto-Pinto, L. 2008. Livestock and carbon sequestration in the Lacandon rainforest, Chiapas, Mexico. *In* Rowlinson, P; Steele, M; Nefzaoui, A (eds.). Livestock and global climate change. Livestock and global climate change 2008 International Conference Hammamet, Tunisia, Cambridge University Press. p. 195-197.
- MacDicken, K; Jonsson, Ö; Piña, L; Maulo, S; Contessa, V; Adikari, Y; Garzuglia, M; Lindquist, E; Reams, G; D'Annunzio, R. 2016. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015: cómo están cambiando los bosques del mundo? 2da ed. FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura) (ed.) Roma, Italia, 54 p.
- Mangham, LJ; Hanson, K; McPake, B. 2009. How to do (or not to do) ... Designing a discrete choice experiment for application in a low-income country *Health Policy and Planning* 24(2):151-158. Reimpreso de: 10.1093/heapol/czn047 Disponible en <http://dx.doi.org/10.1093/heapol/czn047> doi 10.1093/heapol/czn047.
- Martínez Rivera, LM; Sánchez Velásquez, LR; Cuevas Guzmán, R; Pineda López, MdR; Louette, D. 2007. Dinámica de la ganadería en los bosques tropicales de la Sierra de Manantlán. *In* Estado actual y perspectivas de la ganadería extensiva en la Sierra de Manantlán, en el occidente de México (Físico). 1 ed. Autlán de Navarro, México, Petra Ediciones. p. 77-89. (1).
- Mas, J-F; Kolb, M; Houet, T; Paegelow, M; Olmedo, MC. 2010. Una comparación de diferentes enfoques de modelación de cambios de cobertura/uso del suelo. *In*. XIV Simposio Internacional SELPER 2010. Curitiba, Brasil). p. CD. Consultado 23 sep. 2017. Disponible en <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01063482/>.
- Mas, J-F; Flamenco, A. 2011. Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México *GeoTrópico* 5(1):1-24.
- Mas, J-F; Lemoine Rodríguez, R; González, R; López Sánchez, J; Piña Garduño, A; Herrera Flores, E. 2017. Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT (actualización cartográfica; cartografía de cubierta/uso de suelo; evaluación de la fiabilidad; inventarios forestales; segmentación de imagen). 2017 23(2):14. Disponible en <http://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/1472/1652> doi 10.21829/myb.2017.2321472.
- Miranda, MLR; Santacruz, AM; Rodríguez, AG. 2004. Especies arbóreas de la costa de Jalisco, México, utilizadas como forraje en sistemas silvopastoriles *Scientia-CUCBA* 6(1-2):3-11. Consultado 14 oct. 2016 Disponible en http://www.floradejalisco.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/page_scientia_cucba/scientia_1.pdf#page=7.
- Newbold, T; Hudson, LN; Hill, SLL; Contu, S; Lysenko, I; Senior, RA; Borger, L; Bennett, DJ; Choimes, A; Collen, B; Day, J; De Palma, A; Diaz, S; Echeverria-Londono, S; Edgar, MJ; Feldman, A; Garon, M; Harrison, MLK; Alhusseini, T; Ingram, DJ; Itescu, Y; Kattge, J; Kemp, V; Kirkpatrick, L; Kleyer, M; Correia, DLP; Martin, CD; Meiri, S; Novosolov, M; Pan, Y; Phillips, HRP; Purves, DW; Robinson, A; Simpson, J; Tuck, SL; Weiher, E; White, HJ; Ewers, RM; Mace, GM; Scharlemann, JPW; Purvis, A. 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity (Article). *Nature* 520(7545):45-50. Disponible en <http://www.nature.com/nature/journal/v520/n7545/abs/nature14324.html#supplementary-information> doi 10.1038/nature14324.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2016. El estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades con

- el uso de la tierra. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), .
- Osuna-Osuna, AK; De Jesús Díaz-Torres, J; De Anda-Sánchez, J; Villegas-García, E; Gallardo-Valdez, J; Davila-Vazquez, G. 2015. Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010 *Ambiente & Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 10(2):
- Palma, JM. 2006. Silvopastoral system in the dry tropics of Mexico. *In* Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Tampico, MX, p. 95-104. Consultado 14 Oct. 2018. Disponible en http://www.alpa.org.ve/ojs/index.php/ojs_files/article/view/449.
- Perez-Vega, A; Álvarez, FR; García, HHR. 2017. Spatial distribution of land use/cover and forest degradation in Sierra Gorda of Guanajuato biosphere reserve *Acta Universitaria* 26:33-44. Consultado 28 oct. 2017 Disponible en <http://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/1500>.
- Rambonilaza, M; Dachary-Bernard, J. 2007. Land-use planning and public preferences: What can we learn from choice experiment method? *Landscape and urban planning* 83(4):318-326. Consultado 25 sep. 2017 Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204607001387>.
- Ramírez-Mejía, D; Cuevas, G; Meli, P; Mendoza, E. 2017. Land use and cover change scenarios in the Mesoamerican Biological Corridor-Chiapas, México *Botanical Sciences* 95(2):221-234.
- Ruiz-Jiménez, M; Valtierra-Pacheco, E. 2017. Impacto del pago por servicios ambientales hidrológicos en los bosques de tres ejidos de Texcoco, México *Agricultura, sociedad y desarrollo* 14(4):511-531. Consultado 12 Oct. 2018 Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-54722017000400511&script=sci_arttext.
- Sampablo, LMP; Robles, CLM; Molina, LMF; Tereshchenko, I. 2016. Pronóstico y precipitación de los ciclones Jova (2011), Manuel (2013) y Patricia (2015) que afectaron al Estado de Jalisco *Teoría y Praxis*:10-30. Consultado 14 feb. 2019 Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4561/456147940002.pdf>
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca (SAGARPA); Secretaria de Desarrollo Rural (SEDER). 2017. Sistemas agroforestales productivos bajos en emisiones de carbono: Proyecto estratégico SAGARPA - SEDER. 42 p.
- Secretaría de Desarrollo Rural (SEDER). 2017. Modelo de gobernanza para el desarrollo rural en Jalisco: Las tecnologías agroforestales como estrategia REDD+ (En línea). *In* Jalisco, Consultado 15 ago. 2018. Disponible en http://www.red-sam.enesmorelia.unam.mx/wp-content/uploads/1_MVZ_Seki_Cinco_Martinez.pdf.
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET); Comité de Asociaciones Intermunicipales del Estado de Jalisco (CAIEJ). 2017. Órganos de gobernanza local en Jalisco. 1 ed. Guadalajara. 43 p. (1).
- Sibelet, N; Mutel, M; Arragon, P; Luye, M. 2013. Métodos de investigación cualitativa aplicada al manejo de los recursos naturales. Montpellier, France, CIHEAM-IAMM /CIRAD/ SupAgro. Consultado 15 nov 2017. Disponible en entretiens.iamm.fr.
- Soares-Filho, BS; Cerqueira, GC; Pennachin, CL. 2002. DINAMICA—a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier *Ecological modelling* 154(3):217-235. Consultado 14 Jul. 2018 Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380002000595>
- Taubert, F; Fischer, R; Groeneveld, J; Lehmann, S; Müller, MS; Rödig, E; Wiegand, T; Huth, A. 2018. Global patterns of tropical forest fragmentation *Nature*: Consultado 20 ene. 2018 Disponible en <http://dx.doi.org/10.1038/nature25508> doi 10.1038/nature25508.

ARTÍCULO 3. Escenarios de cobertura y uso de suelo y sus posibles efectos sobre el comportamiento hidrológico y la biodiversidad, en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México

RESUMEN

Los ecosistemas brindan una serie de bienes y servicios, muchos de los cuales son esenciales para las actividades humanas y el medio ambiente. Sin embargo, las tendencias actuales en la degradación de ecosistemas y pérdida de biodiversidad, sumado a los posibles efectos del cambio climático y el incremento del consumo de recursos por la humanidad, ponen en riesgo la funcionalidad y resiliencia de los ecosistemas a futuro. En México, el Estado de Jalisco atraviesa una situación compleja. Se ubica entre los principales productores agropecuarios de carácter nacional; sin embargo, forma parte de los estados con mayor pérdida de masas forestales para el periodo 2002-2007. Ante esta situación, varias instituciones nacionales han alertado los retos que enfrenta Jalisco a futuro, con la provisión de agua en volúmenes aprovechables, mayores riesgos de origen hídrico y afectación a la biodiversidad ante la fragmentación del paisaje.

De tal manera, en la presente investigación se estimó el balance hídrico y se calcularon métricas de conectividad de paisaje para diferentes escenarios de cobertura y uso de suelo (CUS), en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México. Para lograr esto, se sistematizó información geoespacial respecto de la zona de estudio. Se calcularon y compararon 7 parámetros del balance hídrico del modelo SWAT, que incluye: Agua en suelo al inicio y al final del periodo, Precipitación, Escorrentía, Percolación, Evapotranspiración y Flujo de retorno. Estos valores fueron comparados para la CUS de 2016 y dos escenarios al 2025. En cuanto a las métricas de conectividad, se utilizó el programa Fragstats v4.2.1, para calcular el Índice de Dispersión y yuxtaposición (IJI) en el nivel de clase de parche, para 9 tipos diferentes de parche (Agricultura, Pasto, Selva, Bosque, Vegetación secundaria, Sin vegetación, Urbano, Manglar, y Agua), en el nivel de paisaje, se calcularon el Índice de Contagio y el IJI de paisaje. Ambas métricas fueron calculadas para las CUS del 2001, 2005, 2009, 2013, 2016 y 2 escenarios al 2025. Para el balance hídrico se utilizó el programa QSWAT 1.7, para el entorno QGIS 2.6.1, correspondientes a las CUS del 2016 y 2 escenarios al 2025.

Los valores del balance hídrico disminuyen para todos los parámetros modelados. Los cambios ocurren especialmente en la región central, donde se ubica la principal zona productiva y sus alrededores. De igual forma, se anticipan condiciones adversas para la recarga hídrica y el flujo de retorno, como contribuyente a caudales de los ríos principales. En cuanto a conectividad, CONTAG en el nivel de paisaje incrementa, lo cual indica que un tipo específico de cobertura empieza a agregar el paisaje desde el 2001. En cambio los parches pequeños, incluidos los de bosque y selva, se reducen, para dar paso a parches más grandes que tienen menos adyacencias con otros tipos de parches. De manera general, IJI en el nivel clase y paisaje disminuye, lo que significa un desequilibrio en las adyacencias entre parches; es decir, un tipo de parche empieza a tener protagonismo en el paisaje. Esta clase de parche es la vegetación secundaria que incrementó su extensión desde el 2001.

Palabras claves: Modelación hidrológica, Conectividad estructural, Biodiversidad, Mecanismos de conservación.

1. Introducción

Los ecosistemas brindan una serie de bienes y servicios, muchos de los cuales son esenciales para las actividades humanas y el medio ambiente (de Groot *et al.* 2012; Hilbrand *et al.* 2017). Sin embargo, las tendencias actuales en la degradación de ecosistemas y pérdida de biodiversidad, sumado a los posibles efectos del cambio climático y el incremento del consumo de recursos por la humanidad, ponen en riesgo la funcionalidad y resiliencia de los ecosistemas a futuro (de Groot *et al.* 2012; FAO 2015).

La provisión de agua es uno de los principales servicios ecosistémicos, tanto para consumo humano, como para el uso en actividades agropecuarias. El acceso y aprovechamiento de fuentes de agua en el mundo alcanza actualmente al 96% de la población en ciudades y 84% en el área rural (WHO 2015). Por el lado de la producción agrícola el panorama es más complejo. El agua dulce es aún en muchos lugares un recurso limitado que condiciona la productividad y rendimientos. De esta manera, el uso ineficiente, la contaminación (FAO 2015), y una mayor presión hacia las actividades agropecuarias (Bernacchi y VanLoocke 2015), provocan que la demanda actual de este recurso en el orden mundial sea insostenible.

Bajo ese escenario, la extensión de la cobertura forestal puede incrementar las probabilidades de conservación de la biodiversidad (Bailey 2007; Kehoe *et al.* 2017), mientras que para la provisión de agua, la cubierta arbórea influye sobre la velocidad de descarga, riesgo de inundaciones en época de lluvias y sequía en estación seca (Hamilton *et al.* 2009). Sin embargo, a pesar del conocimiento que se tiene acerca de esta relación y la importancia de los bosques, los análisis sobre la dinámica de cambio de cobertura y uso de suelo (CCUS) de carácter global, muestran que la cobertura boscosa es eliminada para incrementar tierras agrícolas con fines comerciales o de subsistencia (Lobovikov *et al.* 2010; Angelsen *et al.* 2013). De esta manera, el incremento de la deforestación y degradación forestal en el nivel mundial pueden tener un impacto negativo sobre la biodiversidad y la sostenibilidad en la provisión de agua dulce (FAO 2012; MacDicken *et al.* 2016).

En México, la tendencia en la dinámica de CCUS amenaza con modificar la cobertura forestal y su conectividad, con el riesgo de afectar a la biodiversidad (Sarukhán *et al.* 2012) y la provisión de agua dulce de calidad, como servicio ecosistémico (Hamilton *et al.* 2009). El país cuenta con 68 millones de hectáreas de bosque y selva (CONAFOR 2015), que lo convierte en el tercer país con mayor cobertura forestal de Latinoamérica y el Caribe (FAO 2006); no obstante, históricamente formó parte de los 10 países en el nivel mundial que más perdieron bosque primario en el periodo de 1990 al 2010 (FAO 2010). Si bien la tasa de deforestación disminuyó en los últimos años, aún representa un riesgo para la extensión de bosque.

Al respecto, la costa del Estado de Jalisco atraviesa una situación compleja. Las actividades agrícolas intensivas bajo riego en los llanos y ganadería de cría en la montaña representan para muchas personas el principal medio de vida (Gerritsen *et al.* 2007; UGRJ 2017). De esta manera, el Estado se ubica entre los principales productores agropecuarios de rango nacional (INEGI 2014; FIRA 2017); sin embargo, la intensificación agrícola, sumado a otros factores como las actividades ilícitas e incendios, ocasionan paralelamente que Jalisco forme parte de los estados con mayor pérdida de masas forestales para el periodo 2002-2007, al punto de contribuir con el 20% de la deforestación total del país (CONAFOR 2015; SAGARPA 2017).

Ante esta situación, varias instituciones nacionales han alertado los retos que enfrenta Jalisco a futuro con la provisión de agua en volúmenes aprovechables, mayores riesgos de origen hídrico, y afectación a la biodiversidad ante la fragmentación del paisaje (CONAGUA 2015; CONAFOR 2015; CONABIO y SEMADET 2017b). En ese entendido, y en seguimiento a los compromisos ambientales asumidos en el país, se desarrollan en la zona diferentes mecanismos de conservación y de fomento productivo con enfoque producción/conservación, donde están involucradas instituciones nacionales e internacionales (CONABIO y SEMADET 2017b). Todos estos esfuerzos para contribuir a evitar o revertir el deterioro de los servicios ecosistémicos.

En ese contexto, a pesar de los esfuerzos que se realizan con la implementación de mecanismos de conservación, se avizoran a futuro cambios en la cobertura y uso de suelo¹⁷. Por tanto, dada la importancia que tiene la cobertura boscosa para la conservación de la biodiversidad y la provisión de agua dulce, es necesario entender cuáles serán los principales cambios esperados en el comportamiento hidrológico en el nivel de cuenca, y cómo los previsibles procesos de deforestación y degradación forestal afectarán la integridad del hábitat para la biodiversidad. Para desarrollar estos análisis, la modelación hidrológica semidistribuida y el grado de conectividad de paisaje, son procesos que pueden ayudar a entender mejor los posibles cambios esperados.

La modelación hidrológica es un procedimiento que permite entender la dinámica y el estado del agua en el orden de la cuenca (Molina-Navarro *et al.* 2016). Los modelos construidos son simplificaciones de los sistemas del mundo real, que facilitan predecir el comportamiento de estos (Jayakrishnan *et al.* 2005; Devi *et al.* 2015). En este caso, el ciclo hidrológico se representa básicamente como $P = E + R + I$, donde P es la precipitación, E la evapotranspiración, R la escorrentía, finalmente I como la infiltración (Gray 2010). No obstante, esta representación del ciclo puede desarrollarse aún más de acuerdo con la profundidad del análisis, ubicación y objetivo de estudio. SWAT (Soil and Water Assessment Tool), es un modelo hidrológico ampliamente usado en el análisis y planificación de los recursos hídricos. Es un modelo de tiempo continuo, semi-distribuido, basado en procesos dentro de una cuenca, y diseñado para evaluar los efectos de decisiones sobre alternativas, manejo de los recursos hídricos y fuentes de contaminación no puntuales (Arnold *et al.* 2012; Dile *et al.* 2018). Es usada además para predecir el impacto del uso de suelo y manejo del agua, sedimentos y la producción agrícola con uso de agroquímicos (Monteiro 2012). SWAT ha sido utilizado en México para obtener el modelo hidrológico de cuencas hidrográficas (Molina-Navarro *et al.* 2016), y también para modelar variables específicas del balance hídrico (Jujnovsky *et al.* 2017).

Por otro lado, la conectividad es una medida para describir y cuantificar patrones espaciales en la ecología del paisaje (McGarigal 2015; Cardille y Turner 2017), así, permite medir el grado en que el paisaje facilita o impide el movimiento de la biodiversidad entre parches con recursos. La conectividad cumple una función importante en la sostenibilidad de procesos ecológicos a diferentes escalas espaciales – temporales, de igual forma, una mayor conectividad ayuda a contrarrestar los efectos negativos de la fragmentación del hábitat y el cambio climático (Bailey 2007; Saura y de la Fuente 2017). Una alternativa ampliamente usada para medir la conectividad

¹⁷ Escenarios generados en el segundo artículo del presente estudio.

en investigación, planificación y evaluación de la conservación, es el cálculo de métricas de paisaje (Baker *et al.* 2015; Cardille y Turner 2017; Saura y de la Fuente 2017).

Un mejor entendimiento de los posibles efectos del cambio de cobertura y uso de suelo sobre el comportamiento hidrológico y conectividad del paisaje, permite aplicar ajustes a las estrategias y mecanismos de conservación que se desarrollan en la región. De tal manera, la información generada puede aportar a los esfuerzos por conservar la biodiversidad de la zona y la provisión de agua dulce para consumo humano y uso en las actividades agropecuarias. Por tales motivos, la presente investigación modeló los posibles efectos de diferentes escenarios de cobertura y uso de suelo, sobre el comportamiento hidrológico y la biodiversidad en dos subcuencas de la costa de Jalisco, México.

2. Metodología

2.1. Descripción del área de estudio

La zona de estudio abarca 11 subcuencas en total, y las cuencas de los ríos Cuixmala y Purificación son las de mayor extensión, seguidas de 9 pequeñas microcuencas costeras. Todas pertenecen a la región hidrológica 15 - costa de Jalisco (RH15), ubicada sobre la costa pacífica del Estado de Jalisco, México. El área total de estudio alcanza 3342 km² entre 496316 y 573575 m en eje "x", y 2118845 y 2195707 m en el eje "Y", para zona UTM 15 norte (ver Cuadro 24).

Cuadro 24. Principales parámetros morfométricos de las subcuencas que componen el área de estudio

Nombre/número Subcuenca	Región Hidrológica	Área (km ²)	Elevación media (msnm)
Río Cuixmala	RH-15	1106.99	441
Río Purificación		1602.86	541
3		139.21	253
4		33.01	77
5		22.82	133
6		13.83	843
7		10.76	498
8		15.95	19
9		13.91	195
10		327.32	468
11		55.36	173
TOTAL		3342	469

* Para Datum WGS84 UTM 15N

Las 11 subcuencas coinciden en parte con 5 de las 6 municipalidades que conforman la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente de la Costa Sur (JICOSUR). Esta junta es una organización civil con respaldo del Estado para la representación y apoyo a la gestión de su territorio (SEMADET y CAIEJ 2017). La misma aglomera la extensión de las municipalidades de Casimiro Castillo, Cihuatlán, Cuautitlán de García Barragán, La Huerta, Villa Purificación y Tomatlán (ver Figura 32).

Dentro del área de estudio se encuentra parte de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (RBSM) como bosque de pino-encino, la Reserva de la Biósfera Chamela Cuixmala

(RBCC) como bosque tropical caducifolio. Ambas áreas son de interés para la seguridad alimentaria, relevancia cultural, conservación de la biodiversidad y los recursos naturales (CONABIO y SEMADET 2017a). De igual forma, hacia la costa está la playa El Tecuán, reconocida como sitio RAMSAR y santuario.

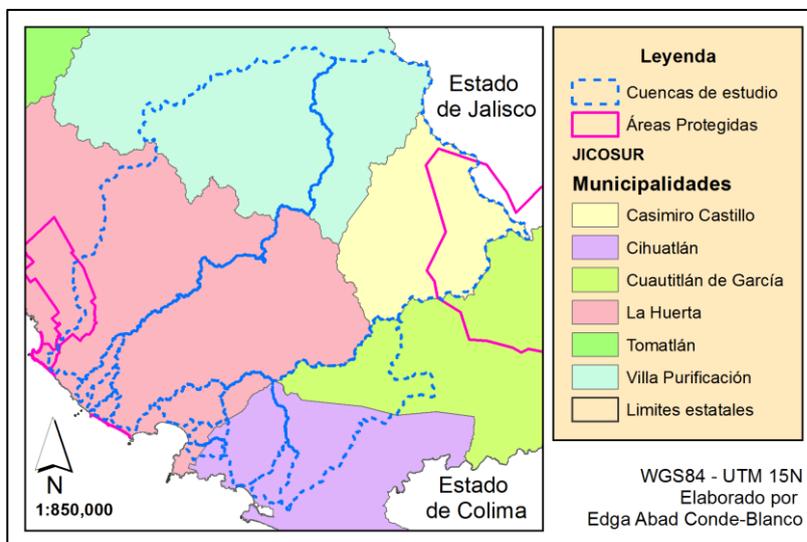


Figura 32. Ubicación de las subcuencas respecto de JICOSUR

Según CONABIO y SEMADET (2017b), todo el Estado de Jalisco está dominado por el clima templado, y en menor parte por el clima cálido y seco. La temperatura promedio es de 25°C. La precipitación anual estimada para la RH15 asciende a 1144 mm. La mayor parte de la lluvia se presenta entre julio y octubre (INEGI 2016) (ver Figura 33), y es superior al promedio de precipitación media anual del Estado (842.52 mm) (CONAGUA 2015). Cabe resaltar que sobre esta zona, particularmente se han reportado ciclones y tormentas tropicales (CONAGUA 2016).

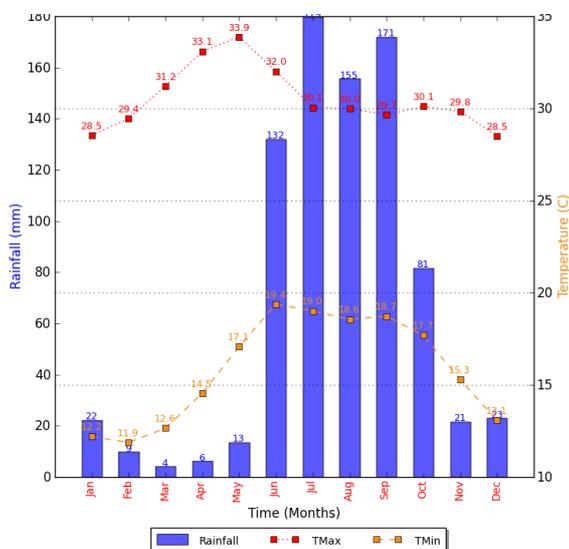


Figura 33. Climograma sobre comportamiento histórico anual de la precipitación, junto a temperaturas máximas y mínimas de la zona de estudio

Fuente: MarkSim DSSAT weather file generator (2017)

El relieve de la costa de Jalisco presenta una importante sierra formada por rocas ígneas intrusivas y extrusivas, donde la mitad es granito. Existen amplios valles intermontanos con poco relleno aluvial. Dentro de la sierra se localizan algunas topofomas como mesetas complejas, lomerías, cañones y llanuras (INEGI 2000). En relación con los suelos, se originaron por la meteorización de rocas y minerales en diferentes niveles y por zonas climáticas. Como resultado, se reconocen 20 grupos de suelos en todo el Estado, la mayoría con aptitud para las actividades agropecuarias (CONABIO y SEMADET 2017b).

Jalisco es considerado un Estado abastecedor de granos. Es el segundo productor nacional de maíz, pero primer lugar en maíz forrajero y sorgo. La actividad productiva se concentra especialmente en la zona de la costa y alrededor del lago Chapala. El Estado cuenta con 3 distritos de riego y 2 módulos. Éstos alcanzan 121189 ha regables, aunque en promedio anual se riegan 60196 ha. Por otro lado, se registran 1803 unidades de riego en el Estado, las cuales alcanzan 156480 ha. Los cultivos principales de los distritos bajo riego son maíz grano, caña de azúcar, pastos y maíz forrajero (CONAGUA 2015).

La población total de las 5 municipalidades que comparten el territorio de las subcuencas asciende a 116289 habitantes, que representa el 1.48% de la población del Estado de Jalisco. La tasa media anual de crecimiento poblacional del Estado alcanza 1.84%, mientras que el índice de desarrollo humano para el año 2012 fue de 0.751, por encima del valor registrado en el orden nacional, de 0.746. Los índices de educación y salud ascienden a 0.622 y 0.846, cercanos a los promedios nacionales de 0.625 y 0.835 respectivamente (CONAGUA 2015). De igual forma, se informan cambios importantes en los últimos años, en los rangos de mayor edad y tendencia al proceso de urbanización de las localidades rurales (CONABIO y SEMADET 2017b).

2.2. Procedimientos metodológicos

El primer paso fue la sistematización de información necesario para el análisis de 3 escenarios diferentes de cobertura y uso de suelo (CUS). Posteriormente, se simuló el ciclo hidrológico para cada escenario y se determinaron métricas de conectividad estructural del paisaje. Finalmente, se compararon los resultados encontrados para cada escenario de CUS (ver Figura 34).

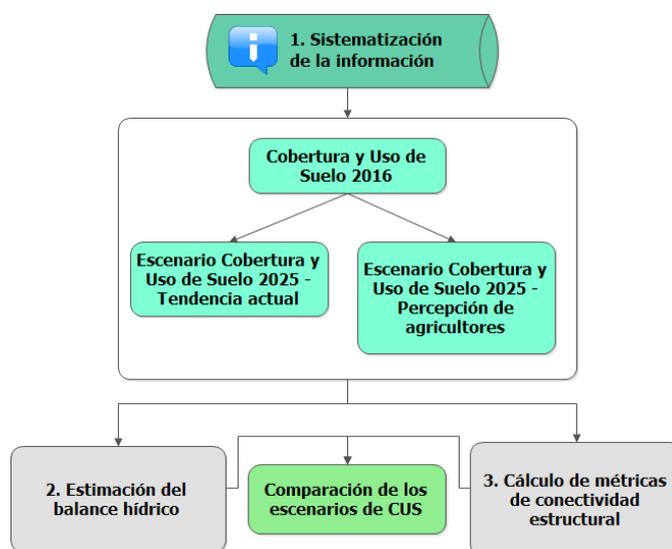


Figura 34. Procedimiento metodológico empleado

2.2.1. Sistematización de la información

Se gestionó y sistematizó la información requerida para la estimación del balance hídrico y el cálculo de las métricas de conectividad estructural del área de estudio. Esta información correspondía a la cobertura y uso de suelo (CUS) registrada en el año 2016, y 2 escenarios modelados al 2025; el primero que consideró la tendencia en la dinámica de cambio de cobertura y uso de suelo (CCUS), y el segundo que incluyó tal dinámica junto con la percepción de los productores ganaderos respecto de mecanismos de conservación que se implementan en la zona de estudio y futuros usos de suelo planificados en el orden de rancho. Todos los escenarios de CUS fueron generados en la primera parte de esta investigación donde se consideraron las probabilidades de incendio, las tasas de cambio por cada CUS, cercanías a centros poblados y cercanía a carreteras. Para el tratamiento de esta información se utilizó ArcGis 10.3, QGIS 2.6.1, y Microsoft Excel.

2.2.2. Estimación del balance hídrico para los escenarios

Para estimar el balance hídrico se utilizó el modelo hidrológico SWAT 1.7 (Soil and Water Assessment Tool), para el entorno de QGIS 2.6.1. Este modelo requiere de datos de entrada mínimos (temas y tablas), referentes a información de la cuenca de estudio (Uribe 2010). Se estimó el balance hídrico para 3 escenarios de CUS. En el primer ejercicio se considera la CUS registrada en el 2016; mientras que en la segunda y tercera se utilizaron 2 diferentes proyecciones de CUS al 2025. En cada CUS se identificaron nueve clases, mientras que en Suelo se establecieron 12 tipos según la Taxonomía de FAO. Se depuró e incluyó información meteorológica de 6 estaciones meteorológicas de la zona (4 dentro y 2 en alrededores), para un periodo de 30 años (ver Cuadro 25).

Cuadro 25. Insumos utilizados en la estimación del balance hídrico

Dato de entrada	Tipo / Formato	Consideraciones	Fuente
Temas de QSWAT	Modelo Digital de Elevación (DEM) /.tiff	Celdas de 30 m.	* CONABIO 2013
	Cobertura y uso de la tierra (CUS) * CUS 2016 * CUS 2025 con tasas de cambio calculadas * CUS 2025 considerando la percepción de productores /.tiff	1. AGRR = Tierras agrícolas/cultivo 2. FRST= Bosque mezclado 3. WATR = Cuerpos de agua 4. RNGE = Pastizales y vegetación secundaria 5. WETF = Humedales 6. FRSE = Bosque siempre verde 7. PAST = Pasturas 8. RNGB = Pastizales y arbustivas 9. URMD = Urbano semidenso	* CONABIO 2016 * Conde 2018
	Suelos /.tiff	1. AR = Arenosoles, 2. CM = Chernozems, 3. FL = Fluvisoles, 4. LP = Leptosoles, 5. LV = Luvisoles, 6. PH = Phaozem, 7. RG = Regosoles, 8. SC = Solonchak 9. UM = Umbisoles, 10. UR = Urbano 11. VR = Vertisoles, 12. WA = Agua	* INIFAP 2013
Archivos	Tabla de localización	6 estaciones meteorológicas	* CLICOM

de texto y tablas	estaciones meteorológicas /.csv	sistematizadas (4 dentro del área de estudio y 2 en zonas anexas)	2018
	Atributos de Uso de suelo /.csv		* CONABIO 2016
	Atributos de Suelos /.csv		* INIFAP 2013
	Tabla de datos de Precipitación diaria (mm) /.txt	Periodo de 30 años De 01/01/1965 a 12/31/1996	* CLICOM 2018
	Tabla de datos de Temperatura diaria (°C) /.txt	Periodo de 30 años De 01/01/1965 a 12/31/1996	* CLICOM 2018

Con los datos de entrada ordenados, se procedió a estimar los parámetros básicos del balance hídrico para el área de estudio. Tal balance es la fuerza impulsora detrás de todos los procesos que usa el modelo SWAT, y responde a:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (Rv - Qs - Wseepage - ET - Qgw)$$

Donde SW_t es la humedad del suelo, SW_o es la humedad base, Rv la precipitación en mm, Qs la escorrentía superficial, $Wseepage$ la filtración de agua del suelo a capas más profundas, ET es la evapotranspiración real, y Qgw la cantidad de flujo de retorno en un día (Jayakrishnan *et al.* 2005; Arnold *et al.* 2012; Devi *et al.* 2015). Para el cálculo, se siguieron los pasos sugeridos por Dile *et al.* (2018) (ver Figura 35).

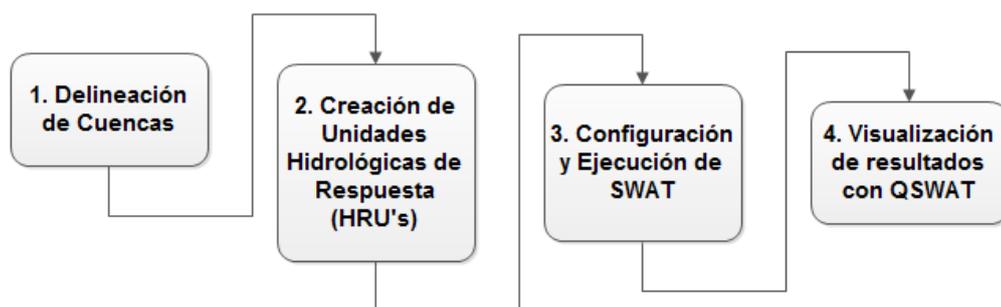


Figura 35. Pasos para la estimación del balance hídrico en QSWAT

Dentro el área de estudio, se identificaron 11 cursos de agua principales por encima de un umbral de escurrimiento de 1000 ha. Éstas corresponden a 11 subcuencas de interés para la generación de información. De éstas, fueron 2 principales: de los Ríos Cuixmala y Purificación, junto a 9 subcuencas costeras anexas. Posteriormente, el análisis identificó y subdividió a las cuencas en 564 HRU's para el 2016, 565 y 569 para los 2 escenarios al 2025 respectivamente. Cada HRU representa las mínimas partes del área que contienen combinaciones particulares de suelo, uso de suelo y pendiente (Arnold *et al.* 2012; Devi *et al.* 2015). Se utilizó el método Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración, y se declaró un contenido inicial de agua en el suelo (FCCB) de 0.5 por tratarse de cuencas costeras. Los resultados generales fueron analizados con SWATCheck, y los resultados por parámetro fueron visualizados en QGIS 2.6.1.

La información general de los principales parámetros del balance hídrico para los 2 escenarios del balance hídrico para el 2025 fueron comparados con los resultados modelados para el 2016. Se eligieron 7 parámetros principales del balance hídrico en los que se basa el modelo SWAT. Éstos fueron proyectados mensualmente para su análisis. Una parte de los resultados fue analizada en el nivel de HRU¹⁸, para comprender mejor la distribución espacial de las diferencias encontradas. De igual manera, parte de los parámetros fueron analizados al nivel de las 11 subcuencas, a fin de entender mejor el comportamiento en el orden de cuenca (ver Cuadro 26).

Cuadro 26. Parámetros del balance hídrico generados

Parámetro del balance hídrico		Estimado en el nivel subcuenca	Estimado a Nivel HRU
SWtv	Contenido final de agua diario (mm)	SW	SW_INIT
SW0	Contenido inicial de agua diaria (mm)		SW_END
Rday	Precipitación diaria (mm)	PRECIP	
Qsurf	Escorrentía superficial diaria (mm)	SURQ	SURQ_GEN
Ea	Evapotranspiración diaria (mm)	ET	ET
Wseep	Percolación en el perfil de suelo diaria (mm)	PERC	PERC
Qgw	Flujo de retorno diario (mm)	GW_Q	GW_Q

2.2.3. Cálculo de métricas de conectividad estructural

Se calcularon 2 métricas (a nivel paisaje y clase) para 3 escenarios de CUS (2016, 2025 con tendencia y 2025 con percepción de productores). Así mismo, se calcularon las métricas de 5 años anteriores: (1997, 2001, 2005, 2009, 2013) para entender la evolución de las métricas. Se utilizó la regla de 8 vecinos para el cálculo de las adyacencias. Las métricas calculadas fueron elegidas con base en otros estudios que validaron métricas para el análisis de conectividad del paisaje (Brenes Pérez 2009): Índice de dispersión y yuxtaposición (clase y paisaje) y el Índice de contagio. IJI fue calculado para ocho clases de parche: Agricultura, agua, bosque, manglar, pasto, selva, urbano y vegetación secundaria (ver Cuadro 27). Estas variables fueron calculadas utilizando el Software Fragstats v4.2.1.

Cuadro 27. Métricas calculadas para el área de estudio

Métrica	Tipo	Nivel
Índice de dispersión y yuxtaposición (IJI)	Agregación	Clase y Paisaje
Índice de contagio (CONTAG)	Contagio	Paisaje

La métrica IJI es el valor de dispersión observado sobre el máximo valor posible en el nivel de parche. Para IJI a nivel clase, los valores cercanos a 0 corresponden a parches adyacentes a un sólo tipo de parche diferente; en cambio, 100 indica que el parche es adyacente a todos los demás parches.

¹⁸ Unidad hidrológica de respuesta

$$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m-1)} \quad (100)$$

En cambio, para el valor IJI en el nivel de paisaje, el valor 0 se da cuando la distribución de las adyacencias para los parches es desigual, a diferencia del valor 100, cuando los diferentes tipos de parche son equitativamente adyacentes a los otros tipos de parches, donde se logra la máxima dispersión y yuxtaposición.

$$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \cdot \ln \left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\ln(0.5[m(m-1)])} \quad (100)$$

El Índice de contagio (CONTAG) se calcula para paisaje, y representa el porcentaje de contagio observado sobre el máximo posible para la cantidad de tipos de parche diferentes. CONTAG para clase resultan en 0, cuando los parches del paisaje están desagregados al máximo (cada pixel es un tipo de parche diferente) e interspersados (proporciones iguales para todos los pares adyacentes). Al contrario, 100 denota que todos los parches están agregados al máximo.

$$\text{CONTAG} = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[P_i \cdot \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] \cdot \left[\ln \left(P_i \cdot \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] \quad (100)$$

Posteriormente, se compararon las métricas de conectividad encontradas correspondientes a los años 2001, 2005, 2009, 2013, 2016, y los 2 escenarios simulados para el 2025. Las métricas de clase fueron comparadas para las 5 principales clases de parche en la zona de estudio (Agricultura, Pasto, Selva, Bosque, Vegetación secundaria). Tal análisis permitió conocer la evolución del estado de la conectividad en la zona de estudio. Para la comparación se utilizaron herramientas gráficas del Excel y los resultados encontrados con Fragstats.

3. Resultados y discusión

3.1. Sistematización de la información

Se gestionó y sistematizó la información requerida para los análisis de modelación hidrológica y conectividad estructural del área de estudio. Esta información correspondía especialmente a la CUS registrada en el año 2016, versus 2 escenarios modelados al 2025, el primero que consideró la tendencia en la dinámica de cambio de cobertura y uso de suelo (CCUS), y el segundo que incluyó tal dinámica con la percepción de los productores ganaderos respecto de los mecanismos de conservación que se implementan en la zona de estudio y los futuros usos de suelo planificados en el nivel de rancho. Todos los escenarios de CUS fueron generados en la primera parte de esta investigación, donde se consideraron especialmente las probabilidades de incendio, las tasas de cambio por cada CUS, cercanías a centros poblados y cercanía a carreteras.

3.2. Simulación del ciclo hidrológico para los escenarios

Los resultados del balance hídrico del modelo SWAT muestran que existen diferencias entre CUS 2016 y los 2 escenarios al 2025. Sin embargo, no se muestran diferencias entre los escenarios de CUS al 2025. La similitud de resultados entre los escenarios al 2025 puede deberse a que la cobertura vegetal entre los escenarios simulados es parecida (ver Cuadro 28.).

Cuadro 28. Resultados del balance hídrico por subcuenca para los escenarios

Año	Sub cuenca	Agua en suelo (mm)	Precipitación (mm)	Escurrentía (mm)	Evapotranspiración (mm)	Percolación (mm)	Flujo de retorno (mm)
2016	1	11.55	38.42	8.95	15.24	9.97	7.82
	2	12.13	43.11	15.24	15.69	9.61	7.47
	3	10.37	36.78	9.77	14.54	9.13	7.01
	4	8.74	36.78	8.97	13.51	8.31	6.23
	5	16.72	36.78	5.41	16.90	12.59	10.32
	6	13.99	36.78	7.75	15.95	10.55	8.37
	7	5.90	36.78	10.50	12.43	8.43	6.35
	8	10.35	43.11	12.86	15.03	10.65	8.46
	Cuixmala	8.92	885.23	829.46	18.23	27.14	23.92
	10	12.61	36.78	7.31	15.41	11.03	8.83
	Purificación	10.38	1036.76	994.73	15.50	19.40	16.64
2025 Tendencia	1	9.77	32.46	7.47	12.87	8.51	6.69
	2	10.25	36.42	12.42	13.27	8.51	6.68
	3	8.78	31.08	7.91	12.26	8.01	6.21
	4	7.40	31.08	7.49	11.40	7.11	5.35
	5	14.13	31.08	4.57	14.27	10.65	8.73
	6	11.82	31.08	6.25	13.47	9.19	7.34
	7	4.99	31.08	8.89	10.50	7.11	5.36
	8	8.75	36.42	10.72	12.69	9.13	7.27
	Cuixmala	7.54	747.86	700.42	15.38	23.21	20.48
	10	10.67	31.08	5.90	12.99	9.57	7.70
	Purificación	8.78	875.88	840.08	13.08	16.64	14.30
2025 Percepción	1	9.77	32.46	7.40	12.87	8.58	6.76
	2	10.25	36.42	12.52	13.27	8.43	6.60
	3	8.78	31.08	7.86	12.26	8.06	6.26
	4	7.39	31.08	7.52	11.41	7.07	5.32
	5	14.13	31.08	4.57	14.27	10.64	8.72
	6	11.82	31.08	6.38	13.47	9.06	7.21
	7	4.99	31.08	8.88	10.50	7.12	5.36
	8	8.74	36.42	10.68	12.70	9.16	7.30
	Cuixmala	7.54	747.86	700.49	15.38	23.15	20.42
	10	10.67	31.08	6.01	12.99	9.48	7.61
	Purificación	8.78	875.88	840.11	13.08	16.64	14.29

El primer parámetro comparado es el contenido promedio mensual de agua inicial en el suelo (mm), el cual varía de acuerdo con la subcuenca y escenario analizado. La subcuenca 5 registra los valores más altos (16.7) para el año 2016, mientras que la subcuenca 7 presenta los valores más pequeños (5.9). Este mismo comportamiento se repite en los escenarios al 2025; no obstante, los valores encontrados son menores a los modelados el 2016 (14.13, y 4.99) (ver Figura 36).

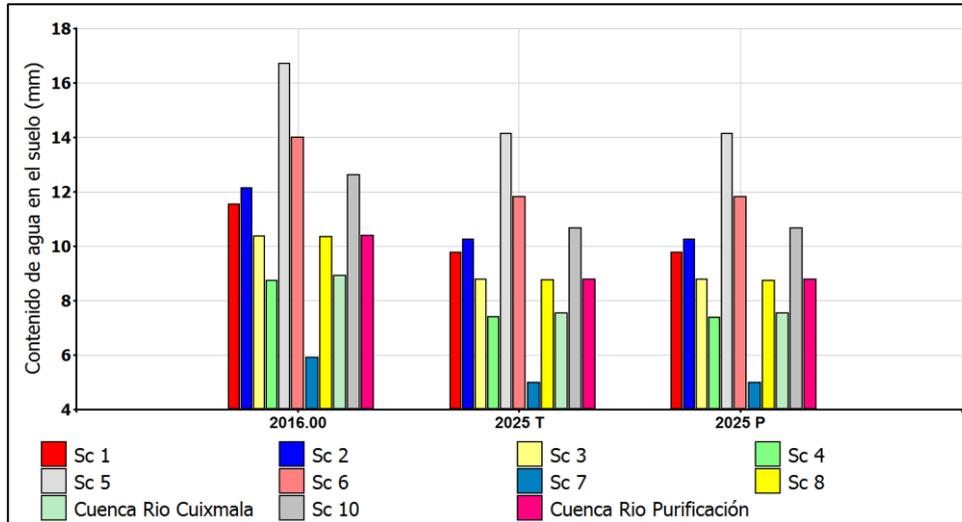


Figura 36. Comparación media mensual del contenido de agua en el nivel suelo (mm), en las 11 subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS

En las Unidades Hidrológicas de Respuesta (HRU), se aprecia cómo los valores de agua inicial en suelo descienden en toda la zona de estudio para ambos escenarios 2025. La reducción (2 mm aprox.) se concentra especialmente en la zona este, sobre la principal área ganadera de la zona.

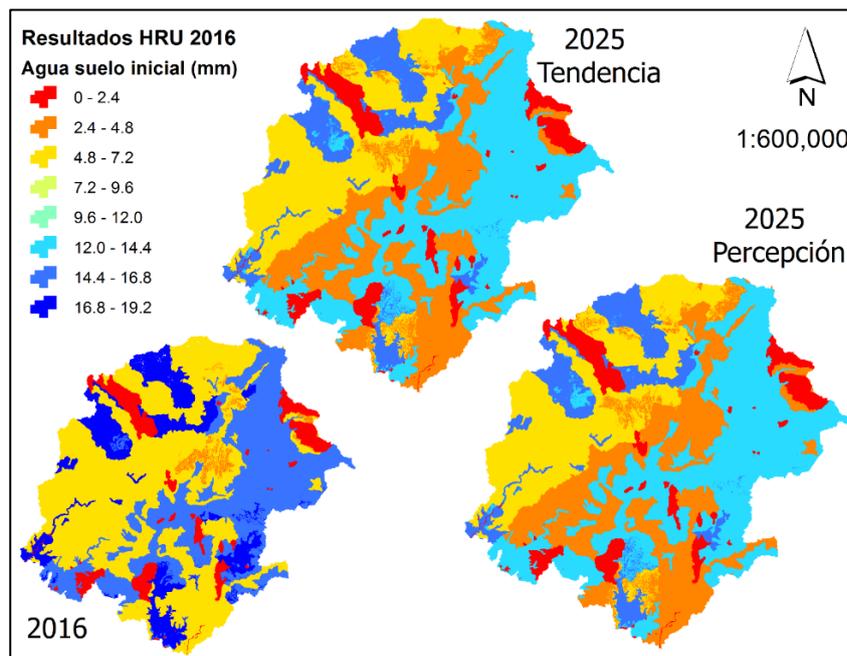


Figura 37. Comparación de la media mensual del contenido inicial de agua en suelo para Unidades Hidrológicas de Respuesta para los escenarios

En el caso del agua final en suelo, sucede algo similar, pues los valores al 2025 son menores al escenario 2016. El agua es determinante de la productividad agrícola (Bernacchi y VanLooke 2015), por tanto, el descenso (2 mm), que se ubica especialmente en el llano central, podría limitar la productividad agrícola de la zona y perjudicar a los productores.

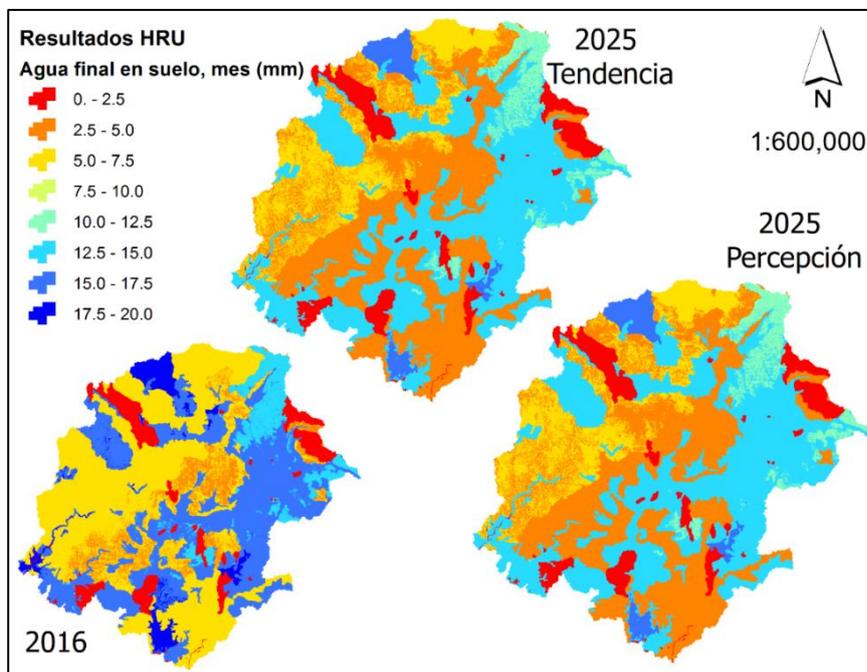


Figura 38. Comparación de la media mensual del contenido final de agua en suelo (mm), en Unidades Hidrológicas de Respuesta para los escenarios

La precipitación promedio se reduce en los escenarios modelados al 2025 en al menos 100 mm mensuales (ver Figura 39). Este principal cambio se identifica en todas las cuencas, especialmente en las cuencas de los ríos Cuixmala y Purificación, que son los más grandes de la zona de estudio.

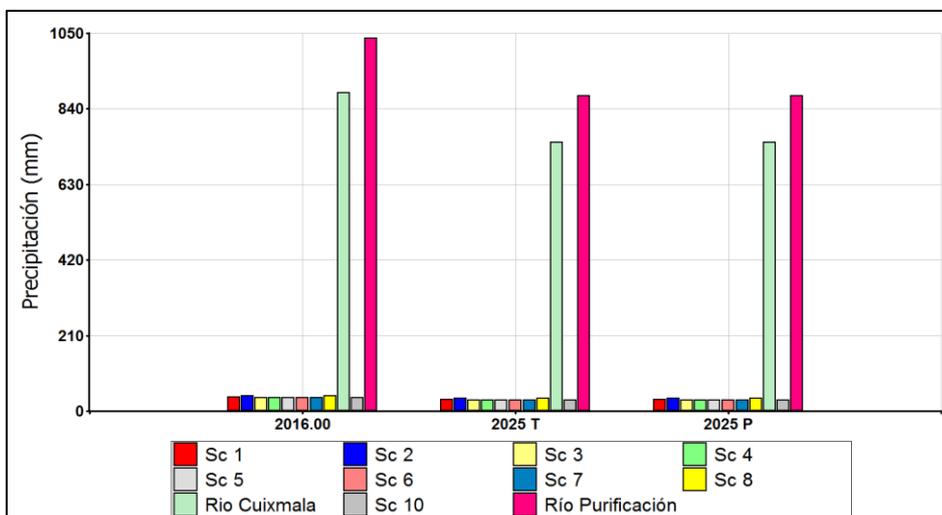


Figura 39. Comparación del contenido de agua en el nivel suelo (mm), en las 11 subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS

La simulación de la precipitación no asumió variabilidad que podría ser ocasionada por el cambio climático en términos de frecuencia e intensidad (Hagemann *et al.* 2013; Bernacchi y VanLoocke 2015), debido al corto periodo modelado a futuro (2025). No obstante, los resultados en el periodo simulado muestran cambios en la cantidad de precipitación por cuenca. Este cambio podría tener consecuencias negativas sobre la producción agrícola y ganadera que no cuenta con riego para la siembra y la renovación de pasturas (Kolb *et al.* 2018).

En el caso de la escorrentía mensual, los resultados muestran una reducción aproximada de 3 mm para las subcuencas, sin incluir Cuixmala y Purificación. En estas últimas, la reducción en la escorrentía alcanza los 150 mm aproximadamente¹⁹ (de 829 a 742, y de 995 a 840 respectivamente). La escorrentía se relaciona con la disminución en la precipitación que cae sobre la zona de estudio (Bernacchi y VanLoocke 2015) y con los procesos de interceptación por el tipo de cobertura vegetal (Krishnaswamy *et al.* 2013). Así también, la extensión y ubicación de las actividades agropecuarias y la expansión de la frontera de estas hacia bosque o selva, podría estar ejerciendo un efecto sobre la escorrentía acumulada mensual.

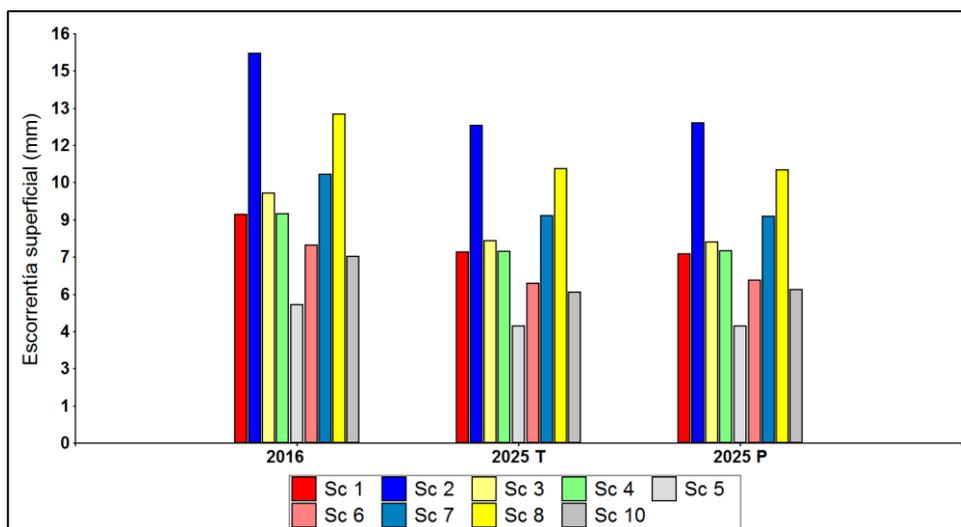


Figura 40. Comparación de la escorrentía superficial (mm), en 9 subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS

En cuanto a la distribución espacial de este valor, es la cuenca del río Purificación que presenta más variación hacia los escenarios al 2025. Las principales zonas donde ocurren cambios son en la zona central y sobre el distrito de riego en la explanada del municipio Casimiro Castillo. De igual forma, las HRUS ubicadas en la costa ven reducir este parámetro a futuro.

¹⁹ No se encuentran en el gráfico por la escala

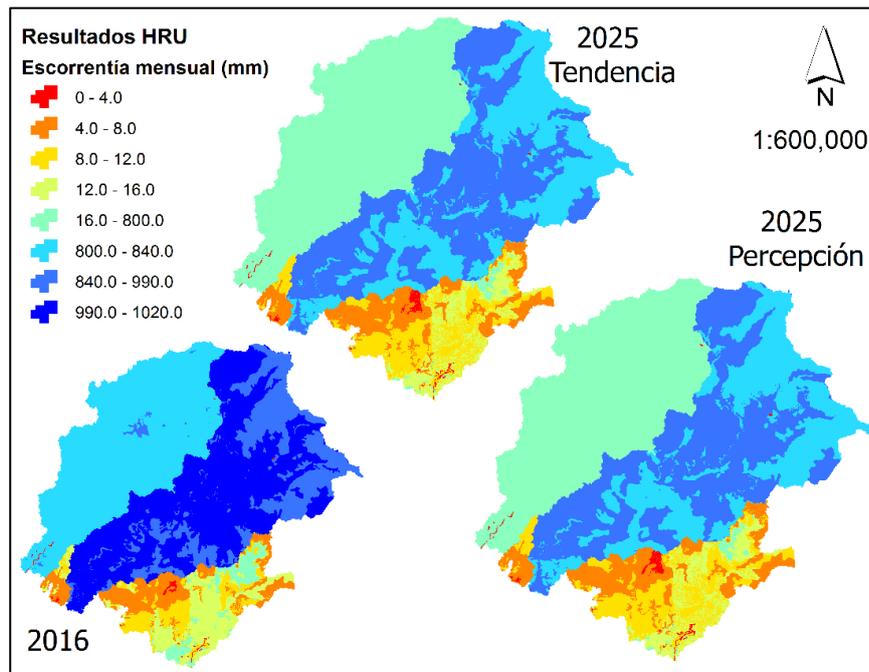


Figura 41. Comparación de la escorrentía mensual media (mm), en Unidades Hidrológicas de Respuesta del año 2016 y 2 escenarios al 2025

En cuanto a la evapotranspiración, ésta también se reduce comparando la CUS 2016 y los escenarios al 2025. El descenso ronda los 3 mm aproximadamente para cada subcuenca analizada. La cuenca del río Cuixmala registra los valores más altos en todos los escenarios (en 2016, 2018 y en 2025, 15 respectivamente). La cuenca del río Purificación, a pesar de tener una extensión mayor, registra valores alrededor de los 15 mm aproximadamente.

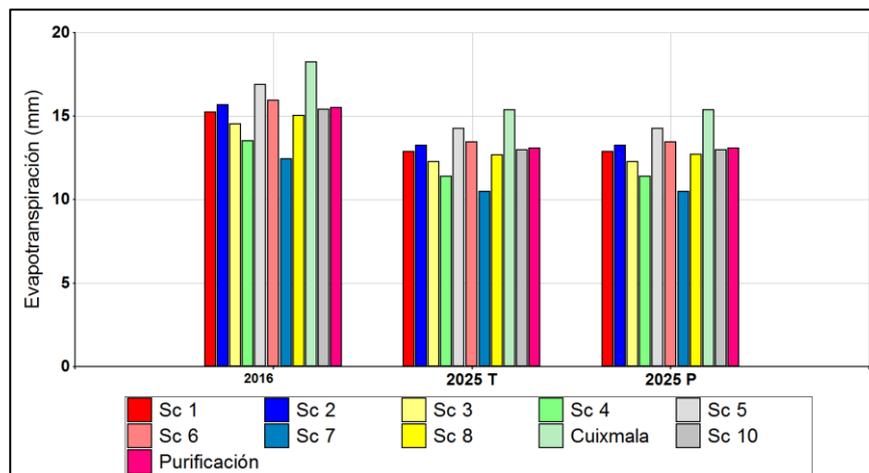


Figura 42. Comparación de la evapotranspiración real (mm) en las subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS

En cuanto a la distribución espacial de los cambios en la evapotranspiración, se puede apreciar (ver Figura 43), que los valores de evapotranspiración real descienden en toda la zona de estudio, especialmente alrededor de la principal zona productiva en el municipio Casimiro Castillo.

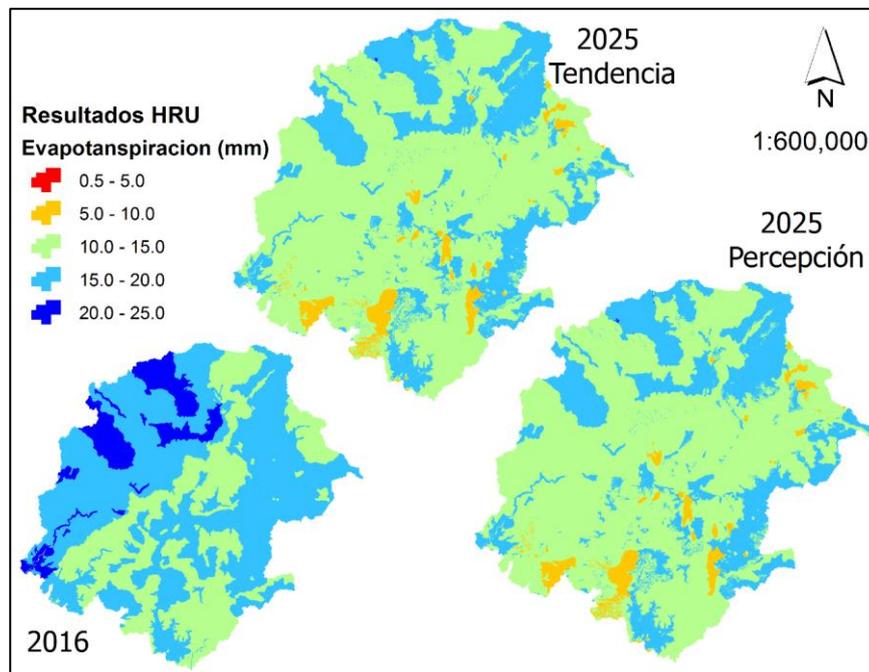


Figura 43. Comparación de la evapotranspiración real mensual media (mm), en Unidades Hidrológicas de Respuesta del año 2016 y 2 escenarios al 2025

El cambio en la evapotranspiración puede deberse a modificaciones en la cobertura (Bernacchi y VanLoocke 2015). Según los datos encontrados, la evapotranspiración disminuye en la zona, lo que podría relacionarse con el incremento de la cobertura de vegetación secundaria y la pérdida de cobertura de bosque y selva. De igual manera, el tipo de cultivo y la aplicación de riego merecen atención, pues podrían también estar influyendo con (de Kok *et al.* 2017).

En la siguiente figura se observa que la percolación, en el nivel de subcuencas, reduce su valor desde el 2016. Las cuencas de los ríos Cuixmala y Purificación son los que presentan mayor cantidad de agua percolada al mes (27 y 19 en 2016, a 23 y 16 en 2025 respectivamente)

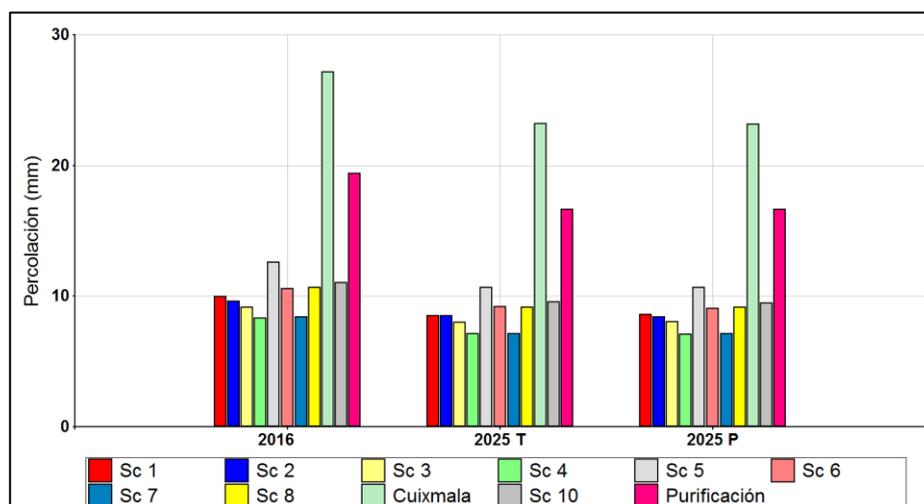


Figura 44. Comparación de la percolación (mm) en las subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS

Al observar la distribución espacial de los cambios en la percolación en el nivel de HRU (ver Figura 45), se puede identificar un descenso de hasta 10 mm en las zonas aledañas al distrito de riego en el llano central. De igual forma, se identifica una disminución en la extensión de partes en la cuenca central del río Cuixmala que alcanzaban 40 – 50 mm de percolación mensual. Esto implica que la recarga de los acuíferos de la zona podría verse afectada por el descenso en la percolación mensual. Esto tiene implicaciones de orden productivo, pues el aprovechamiento de agua es fundamental para las actividades agropecuarias en el llano. El descenso en los valores de percolación se relaciona con un cambio en el tipo de cobertura (Krishnaswamy *et al.* 2013; Ilstedt *et al.* 2016).

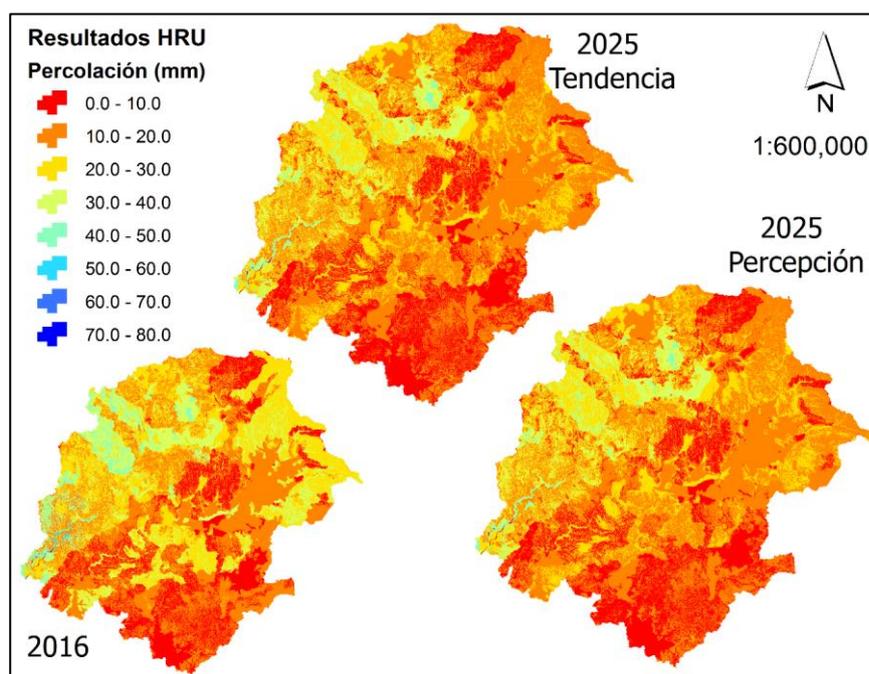


Figura 45. Comparación de la percolación mensual media (mm), en Unidades Hidrológicas de Respuesta del año 2016 y 2 escenarios al 2025

El último parámetro del balance hídrico es el flujo de retorno, mismo que, igual que los demás valores estimados, tiende a bajar en los escenarios simulados al 2025 (ver Figura 46). Las principales cuencas, Cuixmala y Purificación, registrarían un descenso de 5 mm aproximadamente en el flujo de agua que retorna del subsuelo a contribuir al caudal de los cursos de agua. Este valor se relaciona directamente con el tipo de cobertura y la densidad (Ilstedt *et al.* 2016). También es un indicio para visualizar que a futuro, la cantidad de agua subterránea que llegue como aporte al caudal de un río será menor. Esto tiene complicaciones negativas para los productores de la zona, puesto que los ríos son vitales para la cría de ganado bovino y la irrigación artesanal de parcelas.

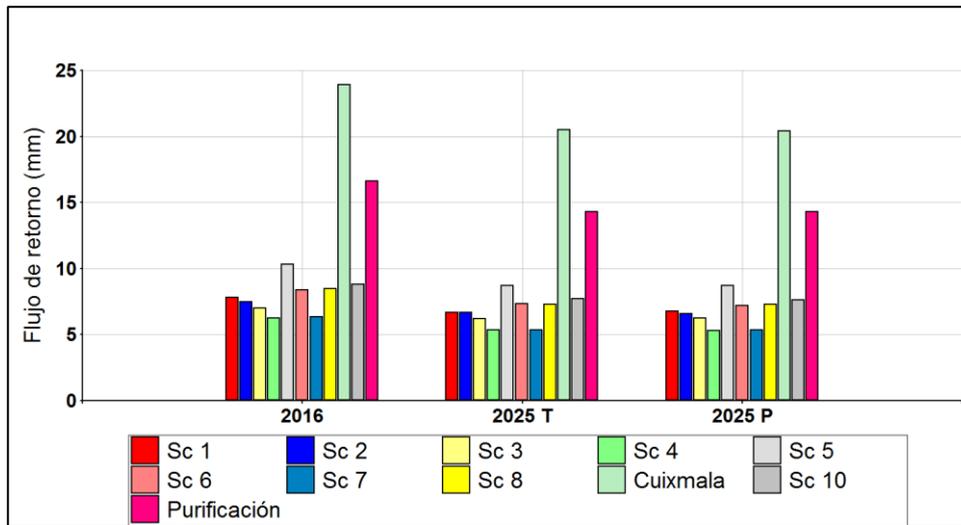


Figura 46. Comparación del flujo de retorno (mm), en las subcuencas de estudio y en los escenarios de CUS

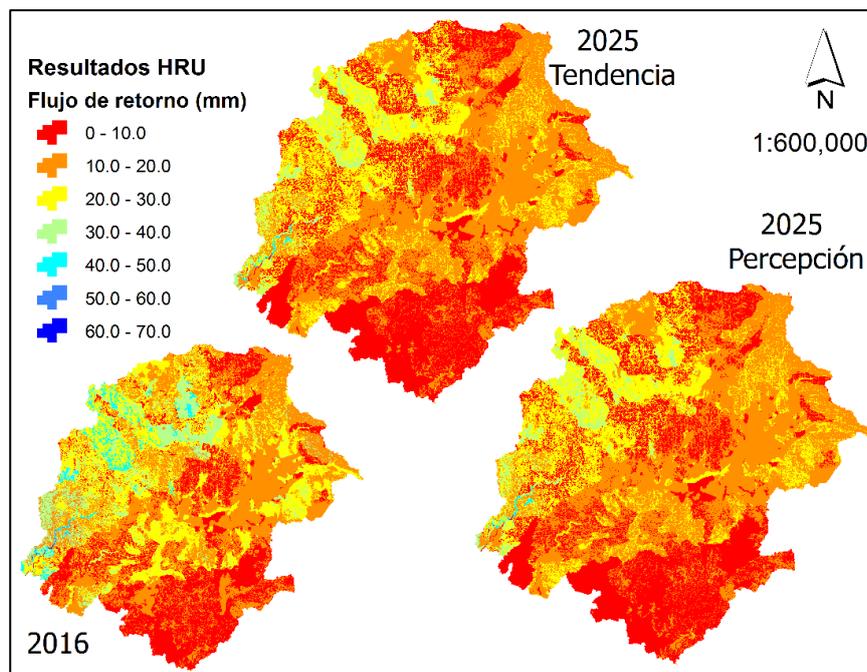


Figura 47. Comparación del flujo de retorno mensual medio (mm), en Unidades Hidrológicas de Respuesta del año 2016 y 2 escenarios al 2025

3.3. Cálculo de métricas de conectividad estructural

3.3.1. Métricas en el nivel de clase de parche

En el nivel de clase de parche, los valores del índice de dispersión y yuxtaposición (IJI) encontrados muestran que existen cambios importantes en el periodo analizado 2001-2016, y que existen diferencias entre los escenarios comparados al 2025. En los parches de agricultura y pasto, IJI rebaja de 81% y 64% en el 2011, a 64% y 35% en el 2016. Esta disminución de

aproximadamente 20 puntos porcentuales muestra que la distribución de las adyacencias disminuye, por tanto, estas clases de parches empiezan a tener menos contacto con los demás tipos de parches. Este mismo comportamiento se ve en los parches de Selva y Bosque, cuyo IJI rebaja de 70% a 51% y 61% a 42% respectivamente. En el caso de la vegetación secundaria, cuya ocupación del paisaje incrementa en cada versión de CUS, disminuye aproximadamente 15 puntos porcentuales, pasando de 70% a 55%. Esto indica que la vegetación secundaria también reduce el número de adyacencias con otras clases de parches, pero en menor medida que la agricultura y los pastos. En el caso de los parches urbanos y manglares ocurre lo contrario, pues IJI incrementa en aproximadamente 15 y 55 puntos porcentuales respectivamente, pasando de 34% a 50%, y de 66% a 69%. En el caso del agua, IJI se mantiene alrededor de 62% (ver Cuadro 29).

Cuadro 29. Índice de Dispersión y Yuxtaposición (IJI) para ocho clases de parche en la zona de estudio, en los años 2001, 2005, 2009, 2013, 2016 y 2 escenarios del 2025

Clase	2001	2005	2009	2013	2016	2025 Tendencia	2025 Percepción
Agricultura	81.73	70.85	70.75	70.67	64.36	57.92	59.94
Agua	61.29	66.97	64.59	64.16	61.39	62.26	59.76
Bosque	61.14	52.25	52.35	52.41	42.72	42.11	43.05
Manglar	66.16	65.64	64.99	64.84	69.64	70.80	71.82
Pasto	64.45	42.00	40.86	40.86	35.14	48.57	50.59
Selva	70.42	57.23	61.14	60.88	51.76	48.62	51.22
Urbano	34.26	44.63	49.62	49.82	50.18	50.82	52.33
Vegetación secundaria	69.46	59.48	57.29	57.47	56.12	55.95	54.31

Tendencia = Con base en cobertura y uso de suelo tendencial al 2025; Percepción = Con base en cobertura y uso de suelo al 2025 que incluye la percepción de productores de la zona

3.3.2. Métricas en el nivel de paisaje

En el nivel de paisaje, tanto el Índice de contagio (CONTAG) como el Dispersión y Yuxtaposición (IJI), muestran variación a lo largo del periodo. En el caso de CONTAG, los valores incrementan desde 57% en el 2001, 64% en el 2016. En el caso de los escenarios al 2025, ambos tienen valores reducidos en 2 puntos aproximadamente. El descenso en los valores encontrados indica que existe una clase de parche que empieza a incrementar su presencia en el paisaje. En este caso, con base en la información generada anteriormente, se identifica que la vegetación secundaria es la clase de parche que empezó a dominar el paisaje. En el caso de IJI sucede lo contrario, pues los valores decrecen en el periodo, de 69 en el 2001 a 50 en el 2016. Ambos escenarios al 2025 mantienen la tendencia. El descenso en la métrica muestra que la distribución de las adyacencias tiende a ser desigual; es decir, que una clase de parche (vegetación secundaria), empieza a concentrar las adyacencias en el paisaje.

Cuadro 30. Índice de contagio e Índice de dispersión y yuxtaposición (IJI) para la zona de estudio en los años 2001, 2005, 2009, 2013, 2016 y 2 escenarios del 2025

Año	2001	2005	2009	2013	2016	2025 Tendencia	2025 Percepción
Índice de Contagio (CONTAG)	57.90	62.40	61.98	61.96	64.19	62.18	62.01
Índice de Dispersión y Yuxtaposición (IJI)	69.00	55.89	54.70	54.75	50.67	51.03	51.31

3.3.3. Comparación entre escenarios

Los escenarios al 2025, que incluyen la tendencia de cobertura y uso de suelo al 2025, y el escenario que incluye también a la percepción de los ganaderos respecto de los mecanismos de conservación que se desarrollan en la zona y el uso de suelo futuro en sus ranchos, difieren en los valores CONTAG e IJI. En el nivel de clase, IJI disminuye para las 5 clases de parche principales (Agricultura, Pasto, Selva, Bosque, Vegetación secundaria), lo cual significa que el contacto entre las diferentes clases de parches empieza a disminuir posiblemente por el incremento del área de la vegetación secundaria. En los resultados encontrados previamente, se determinó que esta clase de uso de suelo empieza a dominar el paisaje en desmedro de los demás usos. Así, la reducción de los valores IJI pueden deberse a que las demás clases de parche tienen mayor probabilidad de estar rodeadas de vegetación secundaria (ver Figura 48).

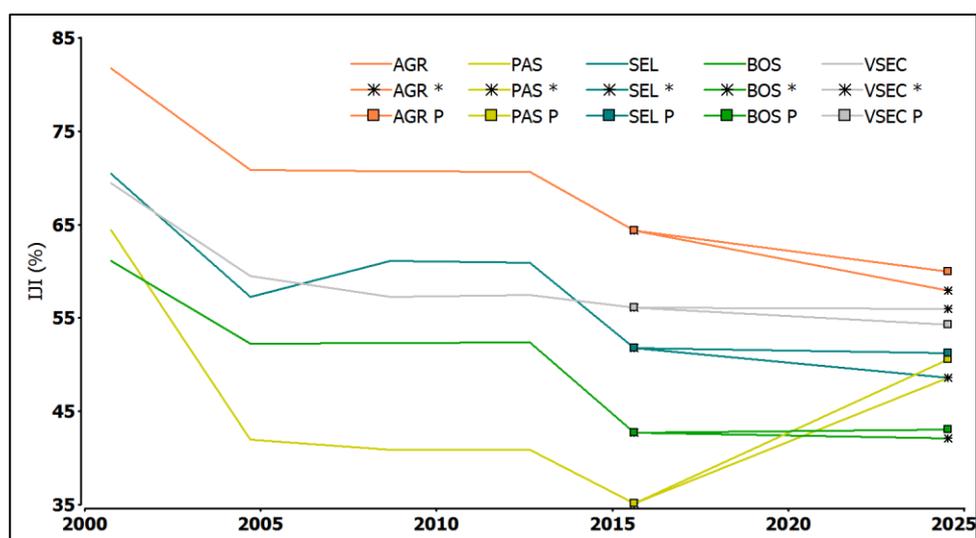


Figura 48. Comparación del Índice de Dispersión y Yuxtaposición (IJI) de los años 2001, 2005, 2009, 2013, 2016 y 2 escenarios en el 2025, para las principales clases de parche en la zona de estudio

* = Tendencia normal; P = Percepción de productores

En el comportamiento de IJI para las clases, se puede distinguir que a partir del 2005 hasta el 2013, los valores reducen la intensidad. Esto puede deberse al inicio de actividades de

mecanismos de conservación en la zona de estudio, los cuales amortiguaron la fragmentación del paisaje en ese periodo. No obstante, los valores IJI rebajan con intensidad en el siguiente periodo, hasta el 2016. Los escenarios al 2025 difieren levemente en los valores encontrados, por un lado, en el escenario con la percepción de productores, los valores IJI para agricultura y pasto disminuyen menos que en el escenario tendencial. Ocurre lo mismo con selva y bosque, cuyos valores son menores en tal escenario, a diferencia de vegetación secundaria, cuyo valor es superior en el escenario tendencial. Estos resultados muestran que el paisaje visto al 2025 con la percepción de los productores, es menos agregado, pues tiende a mantener la adyacencia de las clases de parches ligeramente más equilibrada que los resultados encontrados con los escenarios tendenciales.

Las métricas resultantes en el nivel de paisaje, CONTAG e IJI, muestran un comportamiento diferente entre sí. CONTAG tiende a incrementar desde el 2001 al 2016, y disminuye en los escenarios al 2025. En cambio, IJI disminuye en el mismo periodo y detiene su descenso en los escenarios 2025. Los resultados encontrados de IJI del 2001 al 2016, indican que en el nivel de paisaje las posibles adyacencias se vuelven desequilibradas, pues gana protagonismo un tipo específico de clase, en este caso, vegetación secundaria. De la misma manera, el incremento de CONTAG se relaciona con la consolidación de parches más grandes en el paisaje; es decir, que los parches tienden a agregarse y los parches pequeños reducen su cantidad (McGarigal 2015) (ver Figura 49).

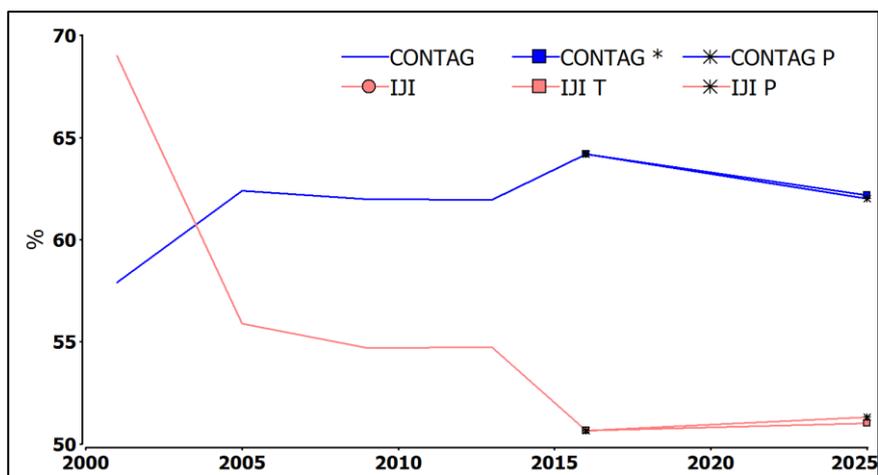


Figura 49. Comparación del Índice de Contagio (CONTAG) y el Índice de Dispersión y Yuxtaposición (IJI) de los años 2001, 2005, 2009, 2013, 2016 y 2025, en el nivel de paisaje

* = Tendencia normal; P = Percepción de productores

Ambos escenarios al 2025 tienen valores similares de CONTAG e IJI (62.18% a 62.01% y 51.03% a 51.31%), y coinciden con valores registrados en el periodo 2005 – 2013. Esto puede deberse a que en los escenarios modelados la influencia de los mecanismos de conservación y el uso futuro de suelos que planifican los productores tienen un impacto deseado sobre las métricas de conectividad del paisaje, pues los parches pequeños de selva y bosque se mantienen en el paisaje. Estos mismos mantienen contacto con otros tipos de parche. En tales escenarios, la biodiversidad

de la zona tiene mayores probabilidades de poder movilizarse entre parches, encontrar alimento y cobijo.

4. Conclusiones

Con base en los resultados encontrados, se concluye lo siguiente:

- Los escenarios de balance hídrico al 2025, que incluyen la tendencia en el cambio de cobertura/uso de suelo, y el que incluye la percepción de los productores respecto del uso de suelo futuro de las fincas, difieren de la CUS modelada al 2016. Todos los parámetros (agua en suelo antes y después del periodo, precipitación, evapotranspiración, percolación, escurrimiento y flujo de retorno) denotan un descenso en los valores simulados.
- Los parámetros del balance hídrico modelados para dos escenarios diferentes de cobertura y uso de suelo para el 2025 tienen diferencias mínimas entre sí.
- Los principales descenso y cambios en los valores del modelo hidrológico para la zona de estudio se ubican en la zona central, que coincide con los alrededores del principal distrito de riego.
- Los resultados anticipan una menor recarga acuífera en la explanada y condiciones desfavorables para el flujo de retorno a los principales ríos de la zona de estudio.
- El modelo encontrado permite una aproximación a los cambios que ocurren en el comportamiento hidrológico en la zona, no obstante, la inclusión más información y el calibrado del modelo con datos de campo, permitiría una mejor inferencia sobre los cambios que ocurren en el comportamiento hidrológico.
- Los parches de agricultura y pasto, tanto como los de Selva y Bosque, pierden más adyacencias frente a la vegetación secundaria. Por tanto, tienen menos probabilidad de ser adyacentes con otros tipos de parches, y la probabilidad que conecten con vegetación secundaria que tienen mayor cantidad de área en cada versión de CUS se incrementa.
- La vegetación secundaria domina el paisaje en el periodo 2001–2016. De tal manera, los valores de CONTAG encontrados confirman que la tendencia en el paisaje es encontrar parches agregados y de mayor tamaño, por encima de los pequeños parches. Los valores de IJI en el nivel de clase y paisaje también confirman que los demás tipos de parche tienen mayores probabilidades de tener adyacencia a parches de vegetación secundaria.
- Los escenarios al 2025 no difieren en los valores de CONTAG e IJI en el nivel de paisaje entre sí, pero sí difieren con los anteriores años. En ambos escenarios existe una disminución en la agregación del paisaje.
- De acuerdo con las tendencias en el periodo 2001-2016, el paisaje tiende a fragmentarse en parches grandes y alejados. Esto implica mayores condiciones adversas para la biodiversidad de la zona. A pesar de que los escenarios al 2025 son más amigables, no retornan a los niveles originales antes del 2001.

5. Agradecimientos

Se agradece al proyecto BioPaSOS por el importante apoyo económico y logístico.

A los miembros directivos y personal de JICOSUR, por el apoyo en la logística de trabajo. De igual manera, al apoyo fundamental de la Universidad de Guadalajara.

Al Dr. Manuel Martínez, de la Universidad de Guadalajara, por los consejos y la información.

A la unidad de Bioestadística del CATIE

6. Literatura citada

- Angelsen, A; Brockhaus, M; Sunderlin, W; Verchot, L. 2013. Análisis de REDD+: Retos y opciones. CIFOR.
- Arnold, JG; Moriasi, DN; Gassman, PW; Abbaspour, KC; White, MJ; Srinivasan, R; Santhi, C; Harmel, R; Van Griensven, A; Van Liew, MW. 2012. SWAT: Model use, calibration, and validation Transactions of the ASABE 55(4):1491-1508. Consultado 25 sep. 2017 Disponible en <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=42256>.
- Bailey, S. 2007. Increasing connectivity in fragmented landscapes: An investigation of evidence for biodiversity gain in woodlands Forest Ecology and Management 238:7-23. doi 10.1016/j.foreco.2006.09.049.
- Baker, CM; Hughes, BD; Landman, KA. 2015. Length-based connectivity metrics and their ecological interpretation Ecological Indicators 58(Supplement C):192-198. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15003064> doi <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.046>.
- Bernacchi, CJ; VanLoocke, A. 2015. Terrestrial ecosystems in a changing environment: a dominant role for water Annu Rev Plant Biol 66:599-622. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25621516> doi 10.1146/annurev-arplant-043014-114834.
- Brenes Pérez, CF. 2009. Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo y dinámica del paisaje en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica. Tesis Magister Scientiae. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 125 p. Consultado 5 nov. 2017.
- Cardille, J; Turner, M. 2017. Understanding Landscape Metrics. In Gergel, S; Turner, M (eds.). Learning Landscape Ecology. New York, USA, Springer. p. 45-63. Consultado 24 oct. 2017. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-6374-4_4#citeas.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Programa hídrico estatal 2014-2018 del Estado de Jalisco. 1 ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMADET) (ed.). México. 178 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2016. Atlas del agua en México 2016. México. 140 p. Consultado 2 nov. 2017. Disponible en <https://agua.org.mx/biblioteca/atlas-del-agua-en-mexico-2015-regiones-hidrologicas/>.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2015. Modelo de intervención en las áreas de acción temprana REDD+. 1 ed. Jalisco, México. 52 p. Consultado 15 feb 2018.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET). 2017a. La biodiversidad en Jalisco: Estudio de estado Volumen II. México. 400 p. Consultado 29 oct. 2017. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET). 2017b. La biodiversidad en Jalisco: Estudio de estado Volumen I. México. 396 p. Consultado 29 oct. 2017. Disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html>.
- de Groot, R; Brander, L; van der Ploeg, S; Costanza, R; Bernard, F; Braat, L; Christie, M; Crossman, N; Ghermandi, A; Hein, L; Hussain, S; Kumar, P; McVittie, A; Portela, R;

- Rodriguez, LC; ten Brink, P; van Beukering, P. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units *Ecosystem Services* 1(1):50-61. Consultado 2 Dic. 2018 Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041612000101> doi <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>.
- de Kok, RJ; Tuinenburg, OA; Bonekamp, PNJ; Immerzeel, WW. 2017. Irrigation as a Potential Driver for Anomalous Glacier Behavior in High Mountain Asia *Geophysical Research Letters*:n/a-n/a. Consultado 01 mar. 2018 Disponible en <http://dx.doi.org/10.1002/2017GL076158> doi 10.1002/2017GL076158.
- Devi, GK; Ganasri, B; Dwarakish, G. 2015. A review on hydrological models. *Aquatic Procedia* 4:1001-1007. Consultado 28 oct. 2017 Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214241X15001273> doi 10.1016/j.aqpro.2015.02.126.
- Dile, Y; Srinivasan, R; George, C. 2018. QGIS interface for SWAT (QSWAT) Version 1.7 (Electrónico). Consultado 6 Nov. 2018. Disponible en <https://swat.tamu.edu/>.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2017. Panorama Agroalimentario: Carne de bovino 2017. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. 27 p. (Journal of Hydrology). Disponible en https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjB-6exkIDXAhXEQCYKHri7BK4QFgg3MAM&url=https%3A%2F%2Fwww.gob.mx%2Fcms%2Fuploads%2Fattachment%2Ffile%2F200639%2FPanorama_Agroalimentario_Carne_de_bovino_2017_1_.pdf&usq=AOvVaw2D3h74tPklyerpydyfXz1Q.
- Gerritsen, PRW; Rosales Adame, JJ; moreno Hernández, A; Louette, D. 2007. Ganadería y sociedad: Los sistemas productivos ganaderos de la Sierra de Manantlán. *In* Estado actual y perspectivas de la ganadería extensiva en la Sierra de Manantlán, en el occidente de México (Físico). 1 ed. Autlán de Navarro, México, Petra Ediciones. p. 77-89. (1).
- Gray, NF. 2010. *Water technology: An introduction for environmental scientists and engineers*. 3 ed. London, UK, IWA Publishing. 747 p.
- Hagemann, S; Chen, C; Clark, DB; Folwell, S; Gosling, SN; Haddeland, I; Hanasaki, N; Heinke, J; Ludwig, F; Voss, F. 2013. Climate change impact on available water resources obtained using multiple global climate and hydrology models *Earth System Dynamics* 4(1):129-144. Consultado 12 feb. 2019 Disponible en <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/501803/>.
- Hamilton, L; Dudley, N; Greminger, G; Hassan, N; Lamb, D; Stolton, S; Tognetti, S. 2009. Los bosques y el agua. 1 ed. 101 p. (Estudio FAO: Montes). Consultado 1 Dic. 2018. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=zamocat.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mn=027903>.
- Hilbrand, A; Borelli, S; Conigliaro, M; Olivier, A. 2017. Agroforestería para la restauración del paisaje: explorando el potencial de la agroforestería para mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de los paisajes degradados (Electrónico). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (ed.). Roma. 28 p. Consultado 12 Sep. 2018.
- Ilstedt, U; Bargaés Tobella, A; Bazié, HR; Bayala, J; Verbeeten, E; Nyberg, G; Sanou, J; Benegas, L; Murdiyarso, D; Laudon, H; Sheil, D; Malmer, A. 2016. Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics (Article). *Scientific Reports* 6:21930. Consultado 23 mar. 2018 Disponible en <http://dx.doi.org/10.1038/srep21930> doi 10.1038/srep21930.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2000. Estudio hidrológico del estado de Jalisco. 1 ed. México, INEGI. 105 p. Consultado 27 oct. 2017. Disponible en <https://www.google.com/search?q=estudio+hidrologico+jalisco&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b>.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. Producción de ganado bovino (En línea). México, Consultado 20 may. 2017. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/agropecuarias/ena/ena2014/#Mas>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Anuario estadístico y geográfico de Jalisco 2016. 1 ed. Geografía), IINdEy (ed.). Aguascalientes, MX. 840 p. (1).
- Jayakrishnan, R; Srinivasan, R; Santhi, C; Arnold, JG. 2005. Advances in the application of the SWAT model for water resources management Hydrological Processes 19(3):749-762. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.5624> doi 10.1002/hyp.5624.
- Jujnovsky, J; Ramos, A; Caro-Borrero, Á; Mazari-Hiriart, M; Maass, M; Almeida-Leñero, L. 2017. Water assessment in a peri-urban watershed in Mexico City: A focus on an ecosystem services approach Ecosystem Services 24(Supplement C):91-100. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041616303461> doi <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.005>.
- Kehoe, L; Romero-Muñoz, A; Polaina, E; Estes, L; Kreft, H; Kuemmerle, T. 2017. Biodiversity at risk under future cropland expansion and intensification. Nature Ecology & Evolution 1(8):1129. Consultado 3 nov. 2017 Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0234-3>.
- Kolb, M; Gerritsen, PRW; Garduño, G; Lazos Chavero, E; Quijas, S; Balvanera, P; Álvarez, N; Solís, J. 2018. Land Use and Cover Change Modeling as an Integration Framework: A Mixed Methods Approach for the Southern Coast of Jalisco (Western Mexico). Cham, Springer International Publishing. 241-268 p. Consultado 14 feb. 2019. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-3-319-60801-3_12.
- Krishnaswamy, J; Bonell, M; Venkatesh, B; Purandara, BK; Rakesh, K; Lele, S; Kiran, M; Reddy, V; Badiger, S. 2013. The groundwater recharge response and hydrologic services of tropical humid forest ecosystems to use and reforestation: Support for the "infiltration-evapotranspiration trade-off hypothesis" Journal of Hydrology 498:191-209.
- Lobovikov, M; German, L; Jaeger, D; Kengen, S; Konijnendijk, C; Buttoud-Kouplevatskaya, I; Komarudin, H; McClain, KM; Nascimento, JR; Schoneveld, G. 2010. Extra-sectoral drivers of forest change. IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations) Secretariat.
- MacDicken, K; Jonsson, Ö; Piña, L; Maulo, S; Contessa, V; Adikari, Y; Garzuglia, M; Lindquist, E; Reams, G; D'Annunzio, R. 2016. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015: cómo están cambiando los bosques del mundo? 2da ed. FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura) (ed.) Roma, Italia, 54 p.
- McGarigal, K. 2015. FRAGSTATS help (Electrónico). (Documentation for FRAGSTATS). Consultado 24 sep. 2017. Disponible en <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf>.
- Molina-Navarro, E; Hallack-Alegría, M; Martínez-Pérez, S; Ramírez-Hernández, J; Mungaray-Moctezuma, A; Sastre-Merlín, A. 2016. Hydrological modeling and climate change impacts in an agricultural semiarid region. Case study: Guadalupe River basin, Mexico Agricultural Water Management 175:29-42. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377415301487> doi <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.029>.
- Monteiro, JA. 2012. Modelación de cuencas hidrológicas en SWAT. *In* Ciclo de Conferencias de las Ciencias de la Tierra p. 18 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2006. Tendencias y perspectivas del sector forestal en America Latina y El Caribe. 1 ed. Killmann, W (ed.). Roma, Italia, Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). 178 p. (Montes).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Informe principal. 1 ed. Roma, Italia: , 346 p p.

- (Estudio FAO montes). Consultado 15 ago 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/013/i1757s/i1757s.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2012. Ganadería mundial 2011 - La ganadería en la seguridad alimentaria. McLeod, A (ed.). Roma, FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2015. Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles: Principios y enfoques (Electrónico). Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), . 55 p. Consultado 4 Dic. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/sustainability/background/en/>.
- Sarukhán, J; Koleff, P; Carabias, J; Urquiza-Haas, T. 2012. Capital natural de México: Acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación. (Digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (ed.). México D.F. 95 p. (Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). Consultado 2 Dic. 2018.
- Saura, S; de la Fuente, B. 2017. Connectivity as the amount of reachable habitat: Conservation priorities and the roles of habitat patches in landscape networks. *In* Gergel, S; Turner, M (eds.). Learning Landscape Ecology. New York, USA, Springer. p. 229-254. Consultado 24 oct. 2017. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-6374-4_14#citeas.
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca (SAGARPA); Secretaria de Desarrollo Rural (SEDER). 2017. Sistemas agroforestales productivos bajos en emisiones de carbono: Proyecto estratégico SAGARPA - SEDER. 42 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET); Comité de Asociaciones Intermunicipales del Estado de Jalisco (CAIEJ). 2017. Órganos de gobernanza local en Jalisco. 1 ed. Guadalajara. 43 p. (1).
- Unión Ganadera Regional de Jalisco (UGRJ). 2017. UGRJ Producción (En línea). Consultado 21 oct. 2017. Disponible en http://www.ugrj.org.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=138&Itemid=228.
- Uribe, N. 2010. SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Conceptos básicos y guía rápida para el usuario. Consultado 14 Oct. 2018. Disponible en <https://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf>.
- World Health Organization (WHO). 2015. Progress on sanitation and drinking water: 2015 update and MDG assessment. World Health Organization. Consultado 5 Dic. 2018.

CAPÍTULO III

Información complementaria

1. Anexos

1.1. Script para creación de distribución normal en R

```
library(raster)
setwd('C:/Tesis')
r<-raster('Kernel.tif')
plot(r)
r1<-r
r1[]<-NA
Summary(r1)
getValues(r)
rr<-getValues(r)
pnorm(rr, mean (rr), sd = 380)
values(r1)<-pnorm(rr, mean( rr), sd = 380)
plot(r1)
setwd('C:/Tesis')
writeRaster(r1, file='Prob_sd380.tif')
```

1.2. Demanda de investigación para diseño de la entrevista semiestructurada

Objetivo explícito

* Determinar cuál es el cambio de cobertura y uso de suelo (CCUS) a futuro, dentro los ranchos ganaderos, y qué características de mecanismos formales de conservación, tienen más influencia.

Objetivos implícitos

- Caracterizar a los productores ganaderos entrevistados.
- Determinar el nivel de conocimiento que tienen los ganaderos sobre producción sostenible, conservación de recursos naturales e incendios provocados.
- Conocer la opinión de los ganaderos respecto a mecanismos de conservación promovidos por las instituciones de gobierno en la zona.
- Identificar características de los mecanismos de conservación que prefieren los ganaderos.
- Analizar la motivación de los ganaderos a adoptar mecanismos de conservación en su rancho.
- Determinar las posibilidades de continuidad de las prácticas de conservación en los ranchos, finalizado el mecanismo de conservación.
- Conocer la experiencia de los ganaderos, en la implementación de prácticas de conservación sin necesidad de un mecanismo formal.
- Analizar las dinámicas de CCUS futuro en los ranchos.
- Identificar impulsores de CCUS que influyen en las decisiones de los ganaderos.

1.3. Boleta usada en la recolección de información cualitativa-cuantitativa

Entrevista semiestructurada y experimento de elección

Saludos (buenos días o tardes), mi nombre es..... . A nombre de todo el equipo de trabajo, le agradezco por su tiempo y disponibilidad a participar en esta entrevista. Ésta es parte de un trabajo de investigación de maestría del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), con sede en Costa Rica. Su opinión es muy importante para nosotros, por eso, hemos preparado algunas preguntas sobre su rancho y el uso que le da a sus suelos. Debo mencionarle, que todas sus respuestas se mantendrán en completo anonimato, y serán usadas sólo para la investigación. Hacer esta entrevista no tiene ningún compromiso. Si se siente incómodo con alguna de las preguntas, siéntase libre de no responderla. Si tiene alguna duda sobre las preguntas o el trabajo, puede preguntar en cualquier momento de la entrevista. Antes de iniciar, le solicito su autorización para poder grabar el audio de esta entrevista y poder realizar fotografías, que serán usadas sólo para documentar la visita. Muchas gracias.

I. Preguntas generales:

1. ¿Coméntenos por favor cuál es su nombre y edad?
 - a. ¿Háblenos más de usted, cómo fue su educación y a qué se dedica actualmente?
2. ¿Cuéntenos ahora la historia del rancho y dónde se localiza?
 - a. ¿Cuál es la extensión o el área total de todo su rancho?
3. ¿Cuántos animales tiene actualmente y qué área está destinada para los pastizales?
 - a. ¿Cuántos animales aproximadamente, vende al año?
 - b. ¿Ahora coméntenos, qué otras actividades productivas tiene en su rancho?
4. ¿Qué opina acerca de los ranchos ganaderos que tienen actividades que conservan el medio ambiente, por ejemplo, cuidan el bosque, el agua, el suelo y los animales del monte? ¿Por qué?
5. ¿Está inscrito en alguno de los siguientes apoyos?, PSA, PMFS, UMA, AVC?

II. Preguntas para ganaderos que trabajan con mecanismos formales de conservación

Ahora, le haremos preguntas sobre programas de apoyo al productor, que existen en la zona:

6. ¿Qué opina acerca de los apoyos a ganaderos, que también ayudan a la conservación del medio ambiente?, por ejemplo: “Pago por Servicios Ambientales”, “Plan Manejo Forestal Sustentable”, “Unidad de Manejo ambiental” y “Áreas Voluntarias de Conservación¹”.
 - a. ¿Cuáles de los apoyos que le mencioné, son de su preferencia y por qué motivos?
7. ¿Qué lo motivó a intentar ingresar a ese tipo de programas que cuidan el medio ambiente?
 - a. ¿Qué área o superficie de su rancho se encuentra inscrita en el programa de apoyo?
 - b. ¿Qué opina acerca de inscribir a los apoyos de conservación, áreas de su rancho que no son aptas para ganadería ni cultivo?
 - c. ¿Qué cambios ha visto en su rancho desde que inició con el apoyo de conservación?
8. ¿Qué opina acerca de continuar con las actividades de conservación, después de finalizar el apoyo?
 - a. ¿Coméntenos, qué otras prácticas de conservación implementa en su rancho?
9. ¿Coméntenos ahora, qué actividades productivas le gusta tener en su rancho?
 - a. Pensando en el futuro, a 10 años ¿qué actividades productivas quisiera tener en su rancho?
 - b. ¿Qué lo motiva a decidir esos posibles cambios en las actividades futuras en su rancho?
 - c. ¿Qué tipo de actividades prefiere tener en las áreas del rancho con lomas y áreas que son difíciles para el ganado y los cultivos?
10. ¿Qué opina acerca de mantener y conservar espacios del rancho bajo bosque?
 - a. ¿Y qué opina acerca de aumentar las zonas de bosque en su propio rancho?
11. ¿Qué opina acerca de pastorear a los animales sólo en las partes que se recomiendan, y respetar las partes del rancho donde se sugiere conservar árboles?
12. ¿Cuántos árboles por hectárea, cree que son suficientes en el potrero?
13. ¿Qué opina acerca de usar árboles como cerco?
 - a. ¿Cuántos metros lineales de cerco con árboles establecería en su rancho?
 - b. ¿Qué especies de árbol usaría en el cerco?

III. Preguntas para ganaderos que NO trabajan con mecanismos formales de conservación

6. ¿Qué opina acerca de los programas de apoyo a ganaderos que existen en la región, y que también ayudan a la conservación del medio ambiente?, por ejemplo: “Pago por Servicios Ambientales”, “Plan de Manejo Forestal Sustentable”, “Unidad de Manejo ambiental” y “Áreas Voluntarias de Conservación”.
 - a. ¿Cuáles de los apoyos que le mencioné, son de su preferencia y por qué motivos?
7. ¿Qué opina acerca de inscribirse a este tipo de apoyos, que cuidan el medio ambiente?
 - a. ¿Si pudiera elegir, qué área o superficie de su rancho estaría dispuesto a inscribir a un apoyo por conservación y por qué?
 - b. ¿Qué opina acerca de inscribir a los apoyos de conservación, áreas de su rancho que no son aptas para ganadería ni cultivo?
 - c. ¿Qué cambios cree que podrían suceder en su rancho, si se inscribiera a algún apoyo?
8. ¿Qué opina acerca de implementar actividades de conservación de bosque, suelo y agua en su rancho?
 - a. ¿Coméntenos, qué prácticas de conservación implementa en su rancho?
9. ¿Coméntenos ahora, qué actividades productivas le gusta tener en su rancho?
 - a. Pensando en el futuro, a 10 años ¿qué actividades productivas quisiera tener en su rancho?
 - b. ¿Qué lo motiva a decidir esos posibles cambios en las actividades futuras en su rancho?
 - c. ¿Qué tipo de actividades prefiere tener en las áreas del rancho con lomas y áreas que son difíciles para el ganado y los cultivos?
10. ¿Qué opina acerca de mantener y conservar espacios del rancho bajo bosque?
 - a. ¿Y qué opina acerca de aumentar las zonas de bosque en su propio rancho?
11. ¿Qué opina acerca de pastorear a los animales sólo en las partes que se recomiendan, y respetar las partes del rancho donde se sugiere conservar árboles?
12. ¿Cuántos árboles por hectárea, cree que son suficientes en el potrero?
13. ¿Qué opina acerca de usar árboles como cerco?
 - a. ¿Cuántos metros lineales de cerco con árboles establecería en su rancho?
 - b. ¿Qué especies de árbol usaría en el cerco?

1.4. Boleta para el experimento de elección

SEGUNDA PARTE, EXPERIMENTO DE ELECCIÓN

En esta segunda parte, queremos conocer qué características de los apoyos prefieren los ganaderos. Así también, queremos saber qué actividades productivas y tipo de vegetación planean tener a futuro en sus ranchos. Consideramos que en la región, existen apoyos y subsidios para los ganaderos. Algunos de éstos promueven el cuidado del medio ambiente, Por ejemplo, entre los varios apoyos que hay, está CONAFOR que administra el apoyo Pago por Servicios Ambientales, SEMARNAT tiene el Plan de Manejo Forestal Sustentable y Unidad de Manejo Ambiental. Finalmente CONANP maneja el Área Voluntaria de Conservación. A continuación, y sólo con fines de investigación, sin ningún compromiso de por medio, le pedimos que imagine tres situaciones diferentes y elija entre posibles alternativas que le presentaremos:

*1. Imagine que una institución nacional, le pide que elija libremente las características que le gustaría tenga un nuevo tipo de apoyo al ganadero. Éste nuevo apoyo tiene como requisito, que usted cuide una parte de su rancho con bosque, y que las demás áreas de pastoreo de su potrero, estén manejadas en un sistema silvopastoril. Considere que en éste tipo de sistema, el ganado, los pastos y los árboles conviven bajo un manejo integrado. Si maneja así el potrero, puede mejorar su producción de carne y ayudar a cuidar su rancho, por ejemplo, cuidando las fuentes de agua en su rancho y los suelos, entre muchos otros beneficios. Ahora imagine que puede elegir: * Por cuanto tiempo recibirá el apoyo; * El área mínima del rancho que debe inscribir; * El apoyo económico que recibirá por hectárea inscrita; y la * Posibilidad de aprovechar el bosque en otras actividades que no afecten su conservación. Por ej. Ganadería en sistemas silvopastoriles, recolección de frutos, crianza de abejas, etc. (MOSTRAR LOS CONJUNTOS Y LAS IMÁGENES).*

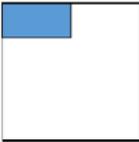
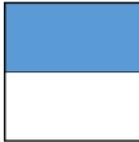
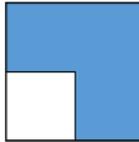
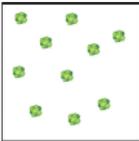
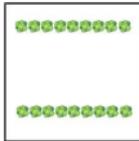
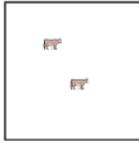
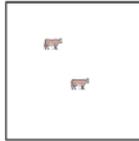
*2. Ahora Imagine que decidió ingresar a este nuevo apoyo. Por tanto, debe cumplir con los requisitos básicos, que son cuidar un área de bosque y manejar el potrero en sistemas silvopastoriles. Recuerde que recibirá un apoyo económico por cada hectárea de bosque que cuide, además su producción animal podría mejorar y se cuidarían los recursos naturales de su rancho. Usted puede elegir entre: * El área de bosque en su rancho que cuidará; La * Distribución o diseño principal de los árboles en las demás áreas del rancho, incluyendo el potrero; * Cantidad de animales por hectárea en el potrero, considerando un animal de 450 kg; y * Producción esperada del ganado en el rancho, comparada con la producción actual, considerando que el rancho tiene una parte de bosque bajo cuidado. (MOSTRAR LOS CONJUNTOS Y LAS IMÁGENES).*

*3. Por último, imagine una situación donde usted tiene la posibilidad de decidir ahora, el tipo de actividades productivas que tendrá a futuro en su rancho. Así también puede anticipar que tipos de apoyo le gustaría recibir. Usted puede elegir: Los * Cambios en la cantidad de bosque a futuro; * Cambios en la cantidad de áreas para pastoreo * Cambios en la cantidad de áreas para agricultura; y el * Enfoque o tipo de apoyo que se recibe del estado a futuro. (MOSTRAR LOS CONJUNTOS Y LAS IMÁGENES):*

Experimento de elección 1		Conjunto de elección 1	
Atributos	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Duración del apoyo	1 año	3 año	5 años
Área mínima del rancho por inscribir al apoyo.	50 ha	75 ha	100 ha
Apoyo económico por recibir por hectárea inscrita.	 300 MXN	 500 MXN	 1000 MXN
Aprovechamiento del bosque en otras actividades, mientras no afecten su conservación.	SI se permiten actividades secundarias	NO se permiten actividades secundarias	NO se permiten actividades secundarias

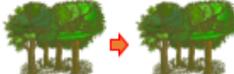
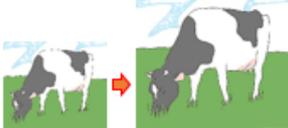
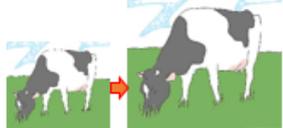
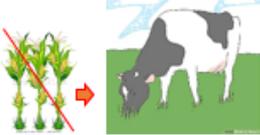
¿Cuál opción sería su preferida? 1 ___ 2 ___ 3 ___ ninguno ___

¿Si no hubiera esa opción, que otra opción elegiría? 1 ___ 2 ___ 3 ___ ninguno ___

Experimento de elección 2		Conjunto de elección 1	
Atributos	Opcion 1	Opcion 2	Opcion 3
Área de bosque del rancho inscrita al apoyo y que se cuidará	 Un octavo	 Mitad del rancho	 3/4 partes
Distribución o diseño principal de los árboles en las demás áreas del rancho, incluyendo el potrero.	 Dispersos	 En línea	 Bloque
Cantidad de animales por hectárea en el potrero.	 1 animal	 2 animales	 2 animales
Producción esperada del ganado en el rancho, comparada con la producción actual.	Igual	Mayor	Menor

¿Cuál opción sería su preferida? 1 ___ 2 ___ 3 ___ ninguno ___

¿Si no hubiera esa opción, que otra opción elegiría? 1 ___ 2 ___ 3 ___ ninguno ___

Experimento de elección 3		Conjunto de elección 1		
Atributos	Opción 1	Opción 2	Opción 3	
Áreas de bosque en su rancho, planificando a futuro.	 Incrementan	 Se mantienen	 Cambian a ganadería	
Áreas para pastoreo en su rancho, planificando a futuro.	 Se mantienen	 Incrementan	 Incrementan	
Áreas para agricultura en su rancho, planificando a futuro.	 Cambian a bosque	 Cambian a ganadería	 Se mantienen	
Enfoque o tipo de apoyo que se recibe del Estado a futuro.	Dirigido a conservación de recursos naturales (bosque)	Dirigido a producción ganadera sustentable. Ej. Sistemas. silvopastoriles	Enfocados a incrementar la producción. Por ej. PROGAN	
¿Cuál opción sería su preferida?	1__ 2__ 3__ ninguno__			
¿Si no hubiera esa opción, que otra opción elegiría?	1__ 2__ 3__ ninguno__			

1.5. Scripts utilizados en el experimento de elección

```

library(survival) #Experimento 1
summary(ChoExp)
clogout5<-
clogit(ANS~ASC+TDA+AMR+CAH+PAS+TDA%in%AMR%in%CAH%in%PAS+strata(STR),data=ChoExp)
clogout5$loglik
clogout5
Call:
clogit(ANS ~ ASC + TDA + AMR + CAH + PAS + TDA %in% AMR %in%
      CAH %in% PAS + strata(STR), data = ChoExp)

```

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	p
ASC	4.62e+00	1.02e+02	7.51e-01	6.15	7.5e-10
TDA	-1.47e-01	8.63e-01	8.96e-02	-1.64	0.101
AMR	-1.56e-02	9.85e-01	7.28e-03	-2.14	0.032
CAH	2.58e-03	1.00e+00	8.98e-04	2.88	0.004
PAS	-1.91e+00	1.48e-01	4.67e-01	-4.09	4.3e-05
TDA:AMR:CAH:PAS	6.24e-07	1.00e+00	9.40e-07	0.66	0.507

Likelihood ratio test=166 on 6 df, p=0

n= 1200, number of events= 300

>>>

Likelihood [1] -415.8883 -332.7374

clogoutB5<-clogit (ANS~ASC+PRA+DEA+CAH+PRD+PRA%in%DEA%in%CAH%in%PRD+strata(STR), data=ChoExpB) #Experimento 2

clogoutB5\$loglik

clogoutB5

Call:

clogit(ANS ~ ASC + PRA + DEA + CAH + PRD + PRA %in% DEA %in% CAH %in% PRD + strata(STR), data = ChoExpB)

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	p
ASC	1.35155	3.86343	1.10079	1.23	0.220
PRA	-0.01029	0.98977	0.01000	-1.03	0.304
DEA	-0.43180	0.64934	0.17341	-2.49	0.013
CAH	0.13806	1.14805	0.22784	0.61	0.545
PRD	0.46610	1.59377	0.26915	1.73	0.083
PRA:DEA:CAH:PRD	0.00113	1.00113	0.00152	0.74	0.458

Log likelihood[d1] -415.8883 -340.0765

clogoutC2 #Experimento 3

Call:

clogit(ANS ~ ASC + BOS * PAS * AGR * TAE + strata(STR), data = ChoExpC)

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	p
ASC	-7.310702	0.000668	5.159271	-1.42	0.156NS
BOS	3.522961	33.884614	1.524970	2.31	0.021*
PAS	0.314916	1.370145	1.502423	0.21	0.834NS
AGR	1.785804	5.964375	1.452413	1.23	0.219NS
TAE	1.915629	6.791208	1.312927	1.46	0.145NS
BOS:PAS	0.035242	1.035870	0.175320	0.20	0.841NS
BOS:AGR	-0.576583	0.561815	0.226899	-2.54	0.011*
PAS:AGR	-0.228690	0.795575	0.402256	-0.57	0.570NS
BOS:TAE	-0.890879	0.410295	0.521695	-1.71	0.088NS
PAS:TAE	NA	NA	0.000000	NA	NA
AGR:TAE	NA	NA	0.000000	NA	NA
BOS:PAS:AGR	NA	NA	0.000000	NA	NA
BOS:PAS:TAE	NA	NA	0.000000	NA	NA
BOS:AGR:TAE	NA	NA	0.000000	NA	NA
PAS:AGR:TAE	NA	NA	0.000000	NA	NA
BOS:PAS:AGR:TAE	NA	NA	0.000000	NA	NA

Likelihood [1] -415.8883 -387.6406