



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL RÉGIMEN DE PROPIEDAD  
DE LA TIERRA SOBRE LA CAPTURA DE CARBONO EN  
PASTIZALES NATURALES DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA  
JANOS, CHIHUAHUA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA

**LINDA MIRIAM DELGADO VARGAS**

ENSENADA B.C., NOVIEMBRE DEL 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL RÉGIMEN DE PROPIEDAD DE LA  
TIERRA SOBRE LA CAPTURA DE CARBONO EN PASTIZALES  
NATURALES DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA JANOS, CHIHUAHUA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA

**LINDA MIRIAM DELGADO VARGAS**

Aprobada por:



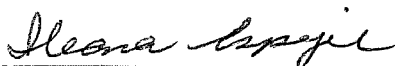
---

Dr. Alejandro García Gastelum  
Director



---

Dr. Antonio de la Mora Covarrubias  
Co-Director



---

Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal  
Sinodal

## Resumen general

Esta tesis consta de tres objetivos concatenados. El primer objetivo del trabajo fue evaluar el potencial de productividad primaria en pastizales templados mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El análisis se basó en una serie de datos de 20 años (1992-2011) del NDVI, estimado a partir de imágenes Landsat 5 en pastizales templados ubicados en Reserva de la Biosfera Janos (RBJ), localizada en el estado de Chihuahua, México. En la RBJ existen dos tipos de propiedad de la tierra, por lo cual, el análisis se centró en determinar si el tipo de propiedad influye en las condiciones de los pastizales. Se encontró que existen diferencias significativas de los pastizales en ambos tipos de propiedad, encontrándose en mejores condiciones en propiedad privada, sin embargo, el análisis de series de tiempo con una proyección a 10 años, indica que en ambos tipos de propiedad los pastizales tienden a degradarse.

Los pastizales representan un importante sumidero de carbono (C), que hasta la fecha no ha sido considerado por los mercados de cumplimiento del Protocolo de Kioto, solo existen iniciativas operadas en el mercado voluntario. El segundo objetivo muestra los resultados comparativos de tres escenarios de captura de C en pastizales naturales en la Reserva de la Biosfera Janos, para la cual se tomaron los valores del NDVI y se le asignaron montos de captura de C mediante transferencia de beneficios a través del programa InVEST así como su respectiva valoración económica. Posteriormente se realizó un análisis costo-beneficio y se calcularon los indicadores de rentabilidad financiera y finalmente se realizó un análisis de sensibilidad financiera ante aumentos porcentuales de los costos y disminución de los beneficios.

Se encontró que los pastizales tienen un potencial de captura de hasta 70 tC/ha (cifra comparable a la captura en bosques). Suponiendo una superficie de 2,088 ha de pastizales con captura de 70tC/ha se pueden obtener beneficios de hasta \$910 mil dólares anuales. De acuerdo al análisis de sensibilidad financiera, los costos pueden aumentar un 20% y los beneficios disminuir un 55% sin que la rentabilidad del proyecto sea afectada.

El pastoralismo es practicado por más de 100 millones de personas en 100 países, aporta beneficios tanto económicos como ecológicos, empero, la forma de manejo del pastoreo afecta significativamente en servicios como la captura de C, la captura y el almacenamiento de agua y el hábitat para especies. Como tercer objetivo se exponen los métodos de pastoreo continuo, rotativo y manejo holístico y se analiza su influencia en el potencial de captura de C en suelo. Se encontró que el pastoreo continuo tiene una media de captura de 30tC/ha mientras que en el pastoreo rotativo la captura es de 51tC/ha y pastizales con manejo holístico pueden capturar hasta 80tC/ha.

**Palabras clave:** Captura de carbono, valoración económica, manejo de pastizales y pastoralismo.

## **Abstract**

This thesis consists of three linked objectives. The first objective tries to evaluate the potential temperate grassland productivity according to the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The analysis uses data estimated from Landsat 5 pictures of temperate grasslands located on the Janos Biosphere Reserve (RBJ) on Chihuahua State. This data range is from 1992 to 2011. There are two types of land property (public and private) on the RBJ, therefore the analysis tries to establish if the property type has any influence on the grassland condition. The analysis finds that there are significant differences between both land property types, having better outcomes on private properties, but, on the long run, the time series analysis shows that in both types of properties the grassland tends to degrade.

Grasslands are an important sink for carbon (C), which to date has not been considered by the market to comply with the Kyoto Protocol, there are only initiatives operating in the voluntary market. The second objective shows the comparison between three Carbon capture scenarios on natural grasslands from the RBJ. The latter is composed using values from the NDVI by assigning Carbon capture data that was obtained (along with its economic valuation) by using the InVEST profit transfer feature. Later, a profit-cost analysis was developed and the return on equity indicators were calculated. Also, financial sensibility indicators were constructed to forecast for possible increases on costs or a decrease on profits.

Results show that grasslands have a capture potential as high as 70 tC/ha (similar as captures on woods). If there is a surface of 2088 ha with a capture rate of 70tC/ha, annual earnings of 910 thousand dollars could be obtained. According to financial sensitivity analysis, costs can increase by 20% and profits by 55% without reducing the profitability of the project is affected.

Pastoralism is practiced by over 100 million people in 100 countries, providing both economic and ecological benefits, nevertheless, the method of grazing management significantly affects ecosystem services such as C sequestration, the capture and storage of water and habitat for species. The third objective are discussed methods of continuous grazing, rotational and holistic management and its influence is analyzed in the potential of soil C sequestration. We found that continuous grazing catch average 30tC/ha while capturing rotational grazing is 51tC /ha and pastures with holistic management can capture up 80tC /ha.

**Keywords:** Carbon capture, economic valuation, grasslands management and pastoralism.

## Agradecimientos

- ✿ Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.
- ✿ A los docentes del programa de Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas por brindarme sus conocimientos durante mi formación multidisciplinaria, en especial al M.C. Ricardo Eaton González por su disposición a aclarar mis dudas aún en altas horas de la noche y a la M.C Patricia Aceves Calderón por sus enseñanzas que van más allá de temas académicos y por su valiosa amistad...te llevo para siempre tía Paty.
- ✿ Un agradecimiento especial a tres grandes personas involucradas en la elaboración de la presente tesis: a mi Director el Dr. Alejandro García Gastelum por la confianza depositada en mí y su disposición para trabajar juntos, a mi Codirector el Dr. Antonio de la Mora Covarrubias por su apoyo, dedicación y guía en el proceso de elaboración de tesis y a la Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal por sus enseñanzas durante mi formación académica y sus invaluable aportaciones durante la elaboración y conclusión de la tesis.
- ✿ A mis compañeros de la generación MEZA 2012-2, a los cuales les doy las gracias infinitas por su amistad y apoyo, en especial a Carlos, Claudia, Eunice, Hugo y Lluvia por todos los momentos vividos.
- ✿ Por su apoyo desde que decidí cursar la maestría y durante estos dos años a mis amigos y compañeros de trabajo en la UACJ: Sergio Chávez, Francisco Rodríguez, Guadalupe Valdivia y Nora Reyes.
- ✿ A mi familia, en especial a mis tías Cande y Esperanza por estar al pendiente de mí cuando estaba lejos de casa, a mis hermanos Claudia y Ernesto por estar cerca aún en la distancia, y por darme unos hermosos sobrinitos que son mi alegría y distracción en los momentos estresantes de escribir la tesis, a mis padres Santiago y Linda por apoyarme en cada una de mis metas y ser mi inspiración cada día y a Jaime por ser mi gran apoyo y motivación. A todos los amo más allá del largo plazo.

# Índice

Índice.....	VIII
Índice de figuras.....	X
Índice de cuadros .....	XI
Introducción .....	1
Antecedentes .....	3
Reserva de la Biosfera Janos: importancia y amenazas para la conservación .....	3
Servicios ecosistémicos en pastizales .....	4
Valoración económica de servicios ecosistémicos.....	9
Objetivo General .....	11
Objetivos específicos .....	11
Metodología .....	12
1. Productividad estacional de los pastizales de uso privado y ejidal mediante índice de vegetación de diferencia normalizada .....	13
1.1 Introducción .....	13
1.2 Metodología .....	18
1.2.1 Área de estudio.....	18
1.2.2 Obtención y procesamiento de imágenes de satélite.....	21
1.2.3 Índice de vegetación.....	21
1.2.4 Análisis estadístico.....	22
1.3 Resultados y discusión .....	23
1.4 Conclusiones .....	32
2. Valoración económica de captura de carbono en pastizales; una aproximación mediante Invest.....	34
2.1 Introducción .....	34

2.2 Metodología .....	36
2.2.1 Ciclo de carbono en pastizales .....	36
2.2.2 Captura de carbono en pastizales y NDVI.....	37
2.2.3 Mercados de carbono.....	39
2.2.4 Valoración Integrada de los Servicios de los Servicios y las Compensaciones Ecosistémicas, InVEST.....	40
2.2.5 Análisis costo-beneficio .....	40
2.3 Resultados y discusión.....	42
2.3.1 Valoración económica de captura de carbono en pastizales de la RBJ .....	42
2.3.2 Indicadores de rentabilidad .....	55
2.3.3 Análisis de sensibilidad financiera .....	57
2.4 Conclusiones .....	60
3. Efectos del manejo de pastoreo en la captura de carbono en pastizales naturales .....	62
3.1 Introducción .....	62
3.1.2 Manejo de pastizales .....	64
3.1.2.1 Pastoreo continuo .....	65
3.1.2.2 Manejo rotativo.....	66
3.1.2.3 Manejo holístico.....	68
3.2 Metodología .....	70
3.3 Resultados y discusión.....	72
3.4 Conclusiones .....	76
Consideraciones finales.....	78
Literatura citada .....	81
Anexos .....	95

## Índice de figuras

Figura 1-1. Localización del área de estudio, Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México. ....	20
Figura 1-2. Valor promedio del NDVI en julio y precipitación acumulada en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México. ....	23
Figura 1-3. Valor promedio del NDVI por tipo de propiedad en el mes de noviembre en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México. ....	24
Figura 1-4. Análisis de tendencia en propiedad ejidal en el mes de julio en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México.....	27
Figura 1-5. Análisis de tendencia en propiedad privada en el mes de julio en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México. ....	28
Figura 1-6. Análisis de tendencia en propiedad ejidal en el mes de noviembre en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México. ....	29
Figura 1-7. Análisis de tendencia en propiedad privada en el mes de noviembre en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México. ....	30
Figura 2-1. Ciclo de carbono en pastizales .....	37
Figura 2-2. NDVI año 2000, escenario alto .....	44
Figura 2-3. Captura de carbono por hectárea, escenario alto .....	45
Figura 2-4. Valoración económica de captura de carbono, escenario alto.....	46
Figura 2-5. NDVI año 2007, escenario medio .....	47
Figura 2-6. Captura de carbono por hectárea, escenario medio .....	48
Figura 2-7. Valoración económica de captura de carbono, escenario medio.....	49
Figura 2-8. NDVI año 2003, escenario bajo .....	50
Figura 2-9. Captura de carbono por hectárea, escenario bajo .....	51
Figura 2-10. Valoración económica de captura de carbono, escenario bajo.....	52
Figura 2-11. Comparación de beneficios económicos por ha de agricultura, ganadería y captura de C .....	54
Figura 3-1. Pastoreo continuo .....	65
Figura 3-2. Pastoreo rotacional .....	67
Figura 3-3. Modelo de manejo holístico .....	69

## Índice de cuadros

Cuadro 0-1. Resumen de servicios ecosistémicos en pastizales .....	6
Cuadro 0-2. Resumen de metodología establecida por objetivos .....	12
Cuadro 1-1. Valores de probabilidad para la prueba t de Student del NDVI en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México. ....	31
Cuadro 2-1. Relación entre NDVI y captura de C en pastizales .....	38
Cuadro 2-2. Resumen de indicadores de rentabilidad financiera en la Reserva de la Biosfera Janos .....	56
Cuadro 2-3. Análisis de sensibilidad financiera ante disminución porcentual de los beneficios. 57	
Cuadro 2-4. Análisis de sensibilidad financiera ante aumento porcentual en los costos .....	58
Cuadro 3-1. Régimen de manejo, condiciones ambientales y captura de C en pastizales, compilación de varios autores. ....	71

## Introducción

El creciente interés por los efectos del cambio climático ha llevado a buscar diferentes alternativas para la disminución del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera. Los ecosistemas terrestres actúan como reservorios de carbono (C) captando más del que liberan. En este contexto los pastizales cobran una gran importancia, ya que se estima que pueden almacenar hasta el 30% del C del suelo a nivel mundial y representan un sumidero con igual potencial que el de los bosques cuando son bien manejados (Jones, 2010).

En México el tema de C en pastizales ha sido poco estudiado, Jurado-Guerra *et al.* (2011) encontraron que dada la extensión de pastizales en Chihuahua (4.58 millones de ha) el potencial de captura de C fluctúa entre 25 y 39 t/ha, mientras que Segura-Castruita *et al.* (2005) mencionan que en la zona de Janos el promedio de captura oscila entre 25 y 50 tC/ha, lo cual equivale a las dos terceras partes de la captura de C en bosques.

Históricamente, los pastizales han sido uno de los tipos de vegetación más susceptibles para los asentamientos humanos y han provisto las necesidades de alimento desde tiempos evolutivos tempranos, no obstante, desde una perspectiva de conservación, dicha productividad ha tenido un costo significativo, los pastizales se han modificado a tal grado que hoy quedan muy pocos en su estado natural (Henwood, 2009). Los datos de Heidenreich (2009) dicen que es el tipo de vegetación más alterado de la tierra y el que tiene el hábitat en mayor peligro, la agricultura intensiva ha reemplazado el 41% de los pastizales y se estima que queda menos de la mitad de su distribución original.

En México los pastizales cubren el 10% del territorio nacional, las áreas cuya cubierta vegetal está dominada por gramíneas, revisten gran importancia desde el punto de vista de la economía humana ya que constituyen el medio natural propicio para el aprovechamiento pecuario (Rzedowski, 2006).

De acuerdo a Hoth (2012) en los últimos 50 años el estado de Chihuahua ha perdido el 70% de su capacidad forrajera debido al mal manejo ganadero, lo cual ha conducido a la disminución del 50% de la producción de ganado vacuno. Antiguos

exploradores describían los pastizales de Chihuahua como grandes dehesas de pastos excelentes para la ganadería. En la actualidad se encuentran amenazados por el sobrepastoreo, la invasión de especies arbustivas, el cambio de uso de suelo y la fragmentación (Valerio *et al.*, 2005).

A fin de proteger dicho ecosistema, en el año 2009 fue decretada la Reserva de la Biosfera Janos (RBJ), primera y más grande reserva en el país dedicada a la conservación de pastizales ubicada al noroeste del estado de Chihuahua en el municipio de Janos. La RBJ cuenta con una superficie de 526,483 ha, lo cual representa el 75% de la extensión territorial del municipio de Janos y se caracteriza por contener ecosistemas representativos del Desierto Chihuahuense tales como pastizal natural, bosques de pino-encino, vegetación halófila y riparia (DOF, 2009).

El presente documento se divide en tres capítulos; el primer capítulo expone las condiciones actuales y las tendencias de los pastizales (ejidales y privados) en la RBJ. El segundo capítulo, muestra la valoración económica de captura de C en pastizales y analiza la factibilidad de los propietarios en obtener beneficios económicos futuros de dicha actividad. El capítulo tres analiza los sistemas de pastoreo continuo, rotativo y manejo holístico y los relaciona con la eficiencia en captura de C en suelo.

Cabe señalar que la investigación desarrollada, responde a las necesidades planteadas por la Estrategia para la Conservación de los Pastizales del Desierto Chihuahuense (2007), y por el Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de los Pastizales del Desierto Chihuahuense (2011). Los cuales mencionan la importancia de promover investigación que considere los factores ambientales, sociales y económicos de los pastizales para asegurar su conservación y uso sustentable, ya que los vacíos de información acerca de la captura de C y servicios ecosistémicos en pastizales, limitan la toma de decisiones.

## **Antecedentes**

### **Reserva de la Biosfera Janos: importancia y amenazas para la conservación**

Las Reservas de la Biosfera se establecen en áreas biogeográficas relevantes a nivel nacional, las cuales representan uno o más ecosistemas no alterados significativamente por la acción del ser humano o que requieran ser preservados y restaurados (SEMARNAT, 2013). Los antecedentes de protección en Janos datan del año 1937 cuando se promulgó un acuerdo que declaraba a Janos, y al municipio de Ascensión como refugio natural para la fauna silvestre y decretaba un veda absoluta a la cacería. En 1979 se publicó un decreto que establecía la veda total e indefinida para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de los mantos acuíferos en dichos municipios (CONANP, 2006).

En los últimos 20 años, la región de Janos se ha convertido en un laboratorio de primer nivel para comprender la importancia de la unión de los sistemas ecológicos y los seres humanos en la conservación de pastizales. Además la experiencia de investigación demuestra la necesidad de entender, y mantener un conjunto completo de procesos ecosistémicos con el fin de lograr poblaciones humanas viables y sistemas ecológicos funcionales (Ceballos *et al.*, 2009).

En México, como en el mundo, los pastizales representa un tipo de vegetación gravemente amenazado, por lo cual era necesario la creación de la RBJ ya que mantiene 220,000 ha de pastizales nativos, y es la segunda área más importante para la protección de los mamíferos en México después de la Reserva de la Biosfera Montes Azules, en el estado de Chiapas (List *et al.*, 2010).

Los pastizales del estado de Chihuahua representan desde tiempos inmemorables el sustento de toda una cadena de consumidores y son destinados principalmente al pastoreo del ganado. Sin embargo, las deficientes prácticas ganaderas, la fragmentación del hábitat, el cambio de uso de suelo y la supresión del fuego los ha deteriorado (ECOPAD, 2007). La provisión de servicios ecosistémicos que brindan los pastizales en la RBJ se encuentra amenazada debido al sobrepastoreo, la excesiva extracción de agua

subterránea, la erosión hídrica y eólica, lo cual pone en peligro el refugio de especies de gran importancia (Valerio *et al.*, 2005).

### **Servicios ecosistémicos en pastizales**

De acuerdo al INEGI (2009), los pastizales se definen como una comunidad vegetal dominada por gramíneas (pastos o zacates) con altura entre 20 y 70 cm, de color amarillento y en ocasiones acompañada por hierbas y arbustos de diferentes familias. Según White *et al.*, (2000) es una comunidad vegetal que se mantiene por régimen de fuego y pastoreo.

Actualmente existen un sinnúmero de definiciones de servicios ecosistémicos, para el presente trabajo se tomará la definición de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM), la cual los define como los beneficios que las poblaciones humanas obtienen de los ecosistemas. La EEM fue iniciativa que reunió expertos alrededor del mundo para evaluar las consecuencias del cambio de los ecosistemas y para establecer las bases científicas y las acciones necesarias para mejorar la conservación (MEA, 2005).

A raíz de dicha iniciativa aumentó el interés por el estudio de los servicios ecosistémicos, y dos años más tarde se publicó el Informe sobre la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB por sus siglas en inglés), basado en la EEM en el cual se propusieron 17 tipos de servicios ecosistémicos agrupados en cuatro clases y se demostró la importancia económica de la pérdida de la biodiversidad y la degradación de los ecosistemas (TEEB, 2010).

De acuerdo al TEEB (2010), los pastizales son el sustento de una gran variedad de animales silvestres, sirven para la explotación ganadera, protegen contra la erosión del suelo y la degradación de la tierra, además de servir también para secuestrar C. Se ha identificado que la RBJ provee diversos servicios ecosistémicos como la captura y almacenamiento de agua en acuíferos, cuerpos de agua y ríos, estabilidad climática mediante la regulación de humedad y temperatura del aire, mantenimiento de suelos fértiles y control de deslaves por el efecto de lluvias (DOF, 2012).

Existen cuatro clases de servicios ecosistémicos: 1) servicios de aprovisionamiento, son aquellos productos materiales o energéticos procedentes de los ecosistemas, entre ellos se incluyen los alimentos, el agua y otros recursos. 2) servicios de regulación, son los servicios que los ecosistemas prestan al actuar como reguladores, por ejemplo, regulando la calidad del aire y del suelo o controlando las inundaciones y las enfermedades, 3) hábitat o los servicios de apoyo, son los servicios que sustentan casi todos los demás servicios y 4) servicios culturales, son los beneficios estéticos, espirituales y psicológicos que las personas obtienen del contacto con los ecosistemas (TEEB, 2010).

El cuadro 0-1 muestra una revisión bibliográfica de los servicios ecosistémicos provistos por los pastizales, a partir del marco conceptual propuesto por la EEM y ampliado por TEEB. Se encontró que los pastizales proporcionan 16 de los 17 tipos de servicios incluidos en el marco de estudio de TEEB (2010).

Cabe señalar que la mayor parte de la investigación publicada acerca de servicios ecosistémicos en pastizales proviene de Estados Unidos o de Europa, en América Latina aún es un tema con grandes vacíos de información. De los 16 artículos revisados siete provienen de Estados Unidos, seis corresponden a países europeos y solo dos a países Latinoamericanos (México y Chile).

**Cuadro 0-1.** Resumen de servicios ecosistémicos en pastizales

<b>Servicio</b>	<b>Definición</b>	<b>Autor</b>	<b>País</b>
<b><i>Aprovisionamiento</i></b>			
Alimentos	Los pastizales se utilizan para la producción de ganado vacuno, ovino y caprino, que se convierten en la fuente de carne, leche, lana y productos de cuero para los seres humanos	White <i>et al.</i> , 2000	Estados Unidos
Materias primas	Los biocombustibles derivados de mezclas de plantas perennes de pastizales nativos pueden proporcionar más energía utilizable, mayores reducciones de gases de efecto invernadero y la contaminación agroquímica menor por hectárea comparado con el etanol o biodiesel de soya.	Tilman <i>et al.</i> , 2006	Estados Unidos
Agua dulce	El suministro de agua es uno de los principales servicios ecosistémicos provistos por los pastizales ya que usualmente reciben las escorrentías y las aguas subterráneas de los sistemas de elevación superior.	Havstad <i>et al.</i> , 2007	Estados Unidos
Recursos medicinales	Los pastizales son fuente importante de muchas plantas medicinales, tales como la hierba de San Juan ( <i>Hypericum perforatum</i> ), la agrimonia ( <i>Agrimonia eupatoria</i> ) y el siete venas ( <i>Plantago lanceolata</i> ) que se utilizan comercialmente para la producción de tés, aceites y otros medicamentos	Hönigová <i>et al.</i> , 2012	República Checa
<b><i>Servicios de regulación</i></b>			
Regulación de la calidad del aire y el clima locales	El papel de los pastizales en los servicios de regulación de calidad del aire se basa en las emisiones evitadas de gases en lugar de los efectos directos sobre la calidad del aire, las praderas pueden ser una fuente importante de metano (CH <sub>4</sub> ) y óxido de nitrógeno (N <sub>2</sub> O), que están asociados con la ganadería y la gestión de los pastizales	Hönigová <i>et al.</i> , 2012	República Checa

Secuestro y almacenamiento de carbono	Los pastizales almacenan entre 200 y 420 Petagramos de carbono (PgC) en el ecosistema total, una gran parte del mismo debajo de la superficie y, por lo tanto, en un estado relativamente estable.	FAO, 2002	Italia
Moderación de las condiciones meteorológicas extremas	Los pastizales tienen la capacidad de regular perturbaciones como tormentas, control de inundaciones y recuperación de la sequía	Dodds <i>et al.</i> , 2008	Estados Unidos
Tratamiento de las aguas residuales	Los pastizales semi-naturales contribuyen a la eliminación de nitrógeno de los suelos y por lo tanto, a evitar la lixiviación de nitrógeno en las aguas subterráneas	Burke <i>et al.</i> , 2002	Estados Unidos
Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo	La cubierta de pastizales evita la pérdida del suelo por erosión hídrica o eólica, la erosión reduce la capacidad de prestar otros servicios ecosistémicos como el tratamiento de residuos y el control de inundaciones	Verheijen <i>et al.</i> , 2009	Inglaterra
Polinización	Los pastizales ofrecen una rica oferta de recursos florales desde principios de primavera hasta finales de otoño, y proveen un hábitat importante para varias especies de polinizadores silvestres, como los sírfidos, abejorros o abejas salvajes.	Duelli y Obrist, 2003	Suiza
Control biológico	En pastizales la prestación de servicios de control biológico se da con los artrópodos depredadores y parasitoides que habitan en pastizales ya que suprimen las poblaciones de plagas de los cultivos herbívoros	Werling <i>et al.</i> , 2011	Estados Unidos
<b><i>Hábitat o los servicios de apoyo</i></b>			
Hábitats para las especies	Los pastizales de la RBJ además de proveer una amplia gama de servicios para el ser humano, son el hábitat de 257 especies de aves, 79 de mamíferos, 34 de reptiles y 13 de reptiles	List <i>et al.</i> , 2010	México

Mantenimiento de la diversidad genética	Los pastizales semi-naturales contienen una diversidad excepcional de plantas, aves y hongos, sin embargo, la diversidad genética se encuentra amenazada debido a la fragmentación de los pastizales y al aumento de la densidad de población humana sobre dicho ecosistema	Helm <i>et al.</i> , 2009	Estonia
<b><i>Servicios culturales</i></b>			
Actividades recreativas y salud mental y física	Los parques nacionales o reservas que contienen ecosistemas de pastizal proveen condiciones óptimas para la relajación	Sustainable Rangelands Roundtable, 2008	Estados Unidos
Turismo	Los pastizales ofrecen el sitio ideal para el avistamiento de aves, la fotografía, el senderismo y la cabalgata	Nahuelhual <i>et al.</i> , 2013	Chile
Experiencia espiritual y sentido de pertenencia	Los pastizales proveen beneficios no materiales como el enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión y la apreciación estética	Paracchini <i>et al.</i> , 2014	Italia

Fuente: Elaboración propia basado en MEA (2005) y TEEB (2010).

## **Valoración económica de servicios ecosistémicos**

La actividad económica, entendida como un conjunto de procesos de trabajo de los humanos con el fin de asegurar la reproducción material de las sociedades, no se desarrolla en el vacío, sino que depende del marco natural en el que se inserta (Aguilera y Vicent, 2011). Los sistemas ecológicos desempeñan un papel fundamental para sustentar la vida sobre la Tierra en todas las escalas jerárquicas, forman el sistema sustentador de la vida sin el cual la actividad económica no sería posible (Costanza *et al.*, 1999).

La historia del pensamiento económico está repleta de luchas por establecer el significado del valor, qué es y cómo se mide (Farber *et al.*, 2002). Los fisiócratas, primera escuela de economía (siglo XVII) consideraba a la tierra como fuente de toda riqueza, posteriormente en 1776 Adam Smith postuló en *La Riqueza de las Naciones*, que la escasez le daba valor a las cosas utilizando la paradoja del agua y los diamantes, “nada es tan útil que el agua; pero con dificultad se hace con ella ningún contrato ni cambio; por el contrario, un diamante es poco útil, pero puede cambiarse por una gran cantidad de dinero” (Smith, 2007).

Se considera a la obra de Smith como el inicio de la escuela clásica, pensamiento económico que consideraba que el medio ambiente imponía límites a la actividad económica, lo cual acabaría frenando el crecimiento económico. A finales del siglo XIX surge la escuela de pensamiento neoclásica (dominante hasta nuestros días) quienes consideraban que la tierra y el trabajo eran sustituibles por el capital, cerrando así el razonamiento económico a la teoría del valor y planteando el divorcio entre la economía y la ecología (Naredo, 2007).

Los movimientos ambientalistas de 1960, la publicación del informe “Los límites del crecimiento” y la crisis del petróleo de 1973, despertaron la conciencia ecológica y pusieron en evidencia las carencias de la teoría económica para determinar los límites del crecimiento económico, e incorporar el deterioro ecológico dentro de su marco analítico (Balvanera y Cotler, 2007; Gómez-Baggethun y de Groot, 2007). A principios de la década de 1970, la teoría económica comenzó a demostrar un interés renovado en el medio

ambiente, del cual surgieron dos enfoques: la economía ambiental desde una visión crematística inserta en la economía neoclásica y la economía ecológica desde un enfoque transdisciplinario en donde la valoración monetaria no es el principal interés (Common y Stagl, 2008; Martínez-Alier y Roca-Jusmet, 2001).

Continuamente se utiliza el término de servicios ecosistémicos y servicios ambientales de forma indistinta, ciertamente no existe una clara diferencia conceptual entre ambos. De acuerdo a Mora-Vega *et al.* (2012), en 1970 se publica por primera vez el concepto de servicio ambiental en “Study of Critical Environmental Problem”, el cual estuvo vigente hasta la publicación de las obras de Costanza *et al.* (1997) y Daily (1997), las cuales introdujeron el concepto de servicio ecosistémico, finalmente en el año 2005, la EEM instituyó el concepto de forma global y se definieron los tipos de servicios ecosistémicos.

Actualmente, el estudio de los servicios ecosistémicos es visto desde cuatro perspectivas: la primera desde una visión inter y transdisciplinaria que busca nuevos marcos conceptuales y metodologías, la segunda radica en el análisis detallado de los componentes y procesos del ecosistema involucrados en la provisión de servicios, otro enfoque es la valoración económica de servicios ecosistémicos el cual es ampliamente aceptado por los tomadores de decisiones y el cuarto enfoque se realiza a través de modificar patrones actuales (Balvanera y Cotler, 2007).

Para el presente trabajo se abordará el enfoque de valoración económica, ya que de acuerdo al TEEB (2010), la valoración económica de los servicios ecosistémicos puede servir como una herramienta para la autorreflexión, que ayude a las personas a repensar sus relaciones con el entorno natural y aumentar el conocimiento sobre las consecuencias de las decisiones de consumo sobre el medio ambiente.

## **Objetivo General**

Evaluar el efecto del régimen de propiedad de la tierra sobre la captura de carbono en pastizales naturales de la Reserva de la Biosfera Janos, Chihuahua.

### **Objetivos específicos**

- 1) Calcular el potencial de productividad primaria en pastizales ejidales y privados en el periodo 1992-2011 mediante, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).
- 2) Valorar económicamente la captura de carbono en pastizales mediante el programa InVEST.
- 3) Comparar el impacto de los sistemas de pastoreo continuo, rotativo y manejo holístico en la captura de carbono en pastizales.

## Metodología

La presente tesis se desarrolló mediante una metodología por objetivos, de tal manera que cada capítulo responde a un objetivo específico.

**Cuadro 0-1.** Resumen de metodología establecida por objetivos

Objetivo específico	Objetivos particulares	Resultado
Calcular el potencial de productividad primaria en pastizales ejidales y privados en el periodo 1992-2011 mediante, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).	Estimar el NDVI en propiedad ejidal y privada para los meses de julio y noviembre del periodo 1992-2011 mediante imágenes Landsat 5	Productividad estacional de los pastizales de uso privado y ejidal mediante índice de vegetación de diferencia normalizada
	Evaluar las tendencias experimentadas por los pastizales durante 1992-2011 mediante análisis estadístico	
	Realizar un escenario tendencial del NDVI en pastizales ejidales y privados	
Valorar económicamente la captura de carbono en pastizales mediante el programa InVEST	Cuantificar el potencial de captura de carbono en pastizales naturales	Valoración económica de captura de carbono en pastizales; una aproximación mediante Invest
	Calcular los beneficios económicos de la captura de carbono en pastizales mediante el programa Invest	
	Determinar la tasa interna de retorno de los beneficios por captura de carbono	
Comparar el impacto de los sistemas de pastoreo continuo, rotativo y manejo holístico en la captura de carbono en pastizales	Analizar los métodos de pastoreo continuo, rotativo y manejo holístico	Evaluación de los efectos en el medio ambiente de los sistemas de manejo de pastizales
	Identificar las ventajas y desventajas de cada método de pastoreo	
	Evaluar la eficiencia de los métodos de pastoreo en la captura de carbono	

Fuente: Elaboración propia

# **1. Productividad estacional de los pastizales de uso privado y ejidal mediante índice de vegetación de diferencia normalizada**

## **Resumen**

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el potencial de productividad primaria en pastizales templados mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El análisis se basó en una serie de datos de 20 años (1992-2011) del NDVI, estimado a partir de imágenes Landsat 5 en pastizales templados ubicados en Reserva de la Biosfera Janos (RBJ), localizada en el estado de Chihuahua, México. En la RBJ existen dos tipos de propiedad de la tierra, por lo cual, el análisis se centró en determinar si el tipo de propiedad influye en las condiciones de los pastizales. Se encontró que existen diferencias significativas de los pastizales en ambos tipos de propiedad, encontrándose en mejores condiciones en propiedad privada, sin embargo, el análisis de series de tiempo con una proyección a 10 años, indica que en ambos tipos de propiedad los pastizales tienden a degradarse.

**Palabras clave:** Productividad, teledetección, pastizales, NDVI

## **1.1 Introducción**

Los sensores remotos a bordo de satélites registran energía electromagnética emitida o reflejada por un objeto o superficie en distintas bandas del espectro electromagnético (Paruelo, 2008) y brindan la posibilidad de monitorizar el desempeño de los ecosistemas en grandes áreas de vegetación a través del tiempo a un bajo costo. La percepción remota es una herramienta esencial para determinar cambios de cobertura de la tierra a pequeña escala y estudiar procesos de desertificación, ya que permite la valoración de un mismo espacio en momentos diferentes durante períodos relativamente prolongados (Demaría y Aguado-Suárez, 2013).

La percepción remota se ha utilizado para caracterizar el patrón y la dinámica de la Productividad Primaria Neta (PPN, por sus siglas en inglés) en los pastizales a diversas escalas y numerosos índices de vegetación han sido experimentados, pero el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) ha demostrado ser un método probado para caracterizar el verdor de la vegetación, la cantidad de biomasa verde, la PPN es decir, el balance entre el CO<sub>2</sub> capturado por la vegetación durante la fotosíntesis y el CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera durante todo el año y los flujos de C (Giner *et al.*, 2012; Paruelo, 2008 y Tucker, 1979). Los pastizales semiáridos plantean un desafío para estimar la PPN mediante técnicas de teledetección, el NDVI ha sido criticado por los efectos de las variaciones atmosféricas y la calibración del sensor, sin embargo, estudios que analizan las variaciones interanuales de los diferentes tipos de vegetación han demostrado la utilidad del NDVI en zonas áridas como el Desierto Chihuahuense (Weiss *et al.*, 2004).

La dinámica espacio-temporal de la PPN en pastizales y su respuesta a los cambios climáticos tienen implicaciones importantes para la evaluación de las funciones ecológicas y el desarrollo de una gestión sostenible de los pastizales. El agua y la energía juegan un papel importante en la circulación de sustancias y el intercambio de energía, determinando el patrón espacial y la dinámica temporal de la PPN en los pastizales (Mao *et al.*, 2014).

Los pastizales son ecosistemas altamente dinámicos, proporcionan bienes y servicios de apoyo para la flora, fauna y poblaciones humanas en todo el mundo, no obstante, también se considera el ecosistema más amenazado (White *et al.*, 2000). En los últimos 150 años la amplia cobertura de pastizales se ha reducido a menos del 15% de su distribución histórica, principalmente por el uso no sustentable de los pastizales y el cambio de uso de suelo (PACP-Ch, 2011).

Los pastizales se enfrentan a crecientes amenazas por parte de múltiples actividades antropogénicas, su futuro depende en gran medida del futuro de la agricultura y el pastoreo. Por ejemplo, se estima que en los próximos 30 años la presión por la demanda de alimentos sobre los pastizales a nivel mundial se incrementará un 75% (Ceballos *et al.*, 2010).

Durante 1930 y 1940 se entregaron tierras federales para satisfacer la demanda de tierras durante la reforma agraria y se subdividieron grandes ranchos ganaderos cubiertos de pastizales perennes. Dicho cambio en la estructura de propiedad, aunado al pastoreo excesivo y a las condiciones ambientales, trajo consigo problemas de erosión en lo que hoy se conoce como la RBJ (Villa 1955, citado en List *et al.*, 2010).

En Janos las unidades ejidales son a menudo demasiado pequeñas para la producción ganadera efectiva, en ocasiones a los ejidatarios se les dificulta ajustar la carga ganadera de acuerdo a las condiciones ambientales. Además, la creciente disponibilidad de alimento suplementario que permite mantener mayores cantidades de ganado, aún en periodo de sequía, se traduce en mayor erosión y aumento de especies arbustivas (Ceballos *et al.*, 2009).

De acuerdo a la FAO (2003) la tenencia de la tierra y las condiciones ambientales están estrechamente relacionadas, en el caso de los sistemas de pastoreo en zonas áridas o semiáridas, algunos pastizales considerados oficialmente como propiedad estatal se han transformado sustituyendo la producción pastoril tradicional por el cultivo y la ganadería comercial.

Aguirre-Calderón (2012) realizó una comparación entre pastizales de propiedad privada y ejidal en un total de 12 predios en cuatro estados representativos del Desierto Chihuahuense (Chihuahua, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas), y encontró que la cobertura basal, la cobertura aérea y el porcentaje de suelo desnudo, mostraron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ), entre ambos tipos de propiedad, los ejidos mostraron mayores indicadores de sobrepastoreo (especies invasoras) y mayor suelo desnudo.

Los resultados de Aguirre-Calderón (2012) coinciden Valerio *et al.* (2005) quienes encontraron que los pastizales ejidales de Janos mantienen un alto grado de deterioro, carecen de mantillo, presentan erosión eólica severa, invasión de arbustivas, gramíneas introducidas y bajos porcentajes de cobertura basal.

La diferencia observada entre los pastizales en propiedad ejidal y privada, no es exclusiva del estado de Chihuahua. Aguado-Santacruz y García-Moya (1998) realizaron un estudio en dos predios vecinos en la comunidad de Los Llanos de Ojuelos, en Jalisco, y encontraron que la presión continua y la excesiva carga ganadera en pastizales ejidales han provocado una disminución de pastizal natural y un aumento de matorrales, en cambio pastizales privados de la misma zona tienen mayor cobertura de pastizal natural.

Yeaton y Flores-Flores (2009) hicieron una evaluación del efecto de las diferentes intensidades de pastoreo en San Luis Potosí, encontraron que los pastizales ejidales que eran pastoreados de forma continua tenían una cobertura relativa de pastizales del 57.8%, mientras que en los pastizales privados con pastoreo rotativo la cobertura era de 72.4%.

En la RBJ se conoce poco de la historia de pastoreo en propiedad ejidal y en propiedad privada, pero datos del INEGI (2007) indican que en el municipio de Janos existían 38,134 cabezas de ganado bovino, de las cuales el 81% eran manejadas mediante pastoreo continuo, el 11% eran estabuladas, el 5% semi estabuladas y el 3% eran manejadas de forma rotativa. Por lo tanto, ya que la RBJ representa el 75% de la superficie del municipio de Janos, se puede asumir que casi la totalidad de los pastizales en la RBJ son manejados de forma continua.

Además del manejo continuo otro de los problemas de los agostaderos en Janos es que no se ha respetado la capacidad de carga, lo cual junto con la sequía han provocado que la mayor parte de los pastizales de Chihuahua se encuentren en una condición pobre y de baja producción de forraje (Jurado-Guerra *et al.*, 2006).

Hardin (1968) postuló en la tragedia de los recursos comunes, que en un pastizal abierto para todos, es de esperarse que cada pastor intente mantener en los recursos comunes tantas cabezas de ganado como sea posible. Por eso, cada pastor busca maximizar su ganancia (como ser racional) y se pregunta sobre el beneficio que puede obtener al aumentar una unidad de ganado a su rebaño. Dicho postulado tiene dos componentes, uno positivo y uno negativo, el positivo radica en la utilidad de la venta del ganado que es cercana a +1, mientras que el componente negativo es el sobrepastoreo. Sin embargo, los efectos del sobrepastoreo

son compartidos con los demás usuarios del pastizal por lo que la utilidad negativa es sólo una fracción de -1.

Ostrom (2011) en respuesta a Hardin, planteó un nuevo enfoque a la idea fundamental de la tragedia de los bienes comunes y la inexorable destrucción de sus propios recursos, demostró mediante estudios de caso que la intervención del Estado o la privatización de tierras no son la única respuesta para evitar la tragedia de los comunes. Sino que la comunicación para mantener acuerdos sociales (confianza) y la reciprocidad, entendida como la capacidad de reaccionar de manera positiva a las conductas igualmente positivas de otros, pueden lograr que los individuos resuelvan los problemas distributivos por sí mismos y eviten la sobreexplotación de los recursos naturales. En este sentido, la “tragedia de los comunes” puede no ocurrir en la propiedad ejidal cuando existen las variables comunicación y reciprocidad

Además de Ostrom (2011), autores como Li *et al.* (2007) encontraron que ni la privatización de la tierra ni la intervención del gobierno son la respuesta a la degradación de los pastizales, dichos autores observaron que a partir de la reforma sobre los derechos de propiedad, que se tradujo en la privatización de la tierra se inició un proceso de degradación de los pastizales en Xilingol, China. Ocasionado principalmente por la reparcelación de las tierras comunales que redujo las áreas de pastoreo y por los impuestos del gobierno.

Dado que en la RBJ existen ambos tipos de propiedad (privada y ejidal), y esta última está en crisis por falta de apoyo institucional (los nuevos gobiernos favorecen la privatización de las tierras comunales) es importante identificar los patrones de comportamiento del NDVI y su asociación con la PPN para determinar si el tipo de propiedad es un factor clave en las condiciones de los pastizales de la RBJ, es decir, si la degradación de los pastizales es exclusiva de la propiedad ejidal como lo indica Hardin (1968).

## 1.2 Metodología

### 1.2.1 Área de estudio

El área de estudio (Fig. 1-1) se encuentra en la parte noroeste del estado de Chihuahua, al sur de la frontera con Estados Unidos y al este de Sonora. La Reserva de la Biosfera Janos (RBJ) cuenta con una extensión de 526,482 ha de las cuales 220 mil corresponden a pastizales nativos y representa la única zona de protección de pastizales en México (DOF, 2012). Tiene un clima árido templado con veranos calientes, lluvias invernales, con un promedio anual de 15.7°C, la media del mes de enero es de 6°C y 26.1°C en junio, la precipitación media anual es de 381 mm y el 77% de las lluvias ocurre entre los meses de abril y agosto (SEMARNAT, 2013).

En la RBJ se ubica la colonia de mayor tamaño en Norteamérica de perritos llaneros (*Cynomys ludovicianus*), lo que a su vez permite la presencia de especies en riesgo como el águila real (*Aquila chrysaetos*); también se encuentra la única población silvestre de bisontes (*Bison bison*) en México y suroeste de los Estados Unidos, y mantiene la mayor población reproductiva de tecolote llanero (*Athene cunicularia*) en pastizales nativos de Norteamérica y es considerada como uno de los diez sitios más importantes para la conservación de mamíferos y aves en México (CONANP, 2006).

La RBJ se compone de 52 localidades rurales, de las cuales 16 se encuentran en ejidos y 36 localidades en propiedad privada, los ejidos representan el 26% de la superficie de la Reserva, mientras el 74% de la superficie corresponde a propiedad privada. De las 220 mil ha de pastizales en la RBJ la propiedad privada concentra el 80% de los pastizales, mientras que los ejidos el 20% restante. En el año 2010 la población que vivía en ejidos era de 3,134 personas y 277 personas en propiedad privada (INEGI, 2010). Es decir, una densidad de un habitante por cada 46 ha en propiedad ejidal y de un habitante por cada 146 ha en propiedad privada.

Respecto a la actividad económica, el 62.4% de la población económicamente activa se encontraba ocupada en el sector primario, el 10.9% en el sector secundario y el 26.7% en comercio y servicios (INEGI, 2010).

Los principales productos ganaderos en Janos son la carne de bovino y la producción de leche, durante 2006 y 2013 la producción promedio anual de carne fue de 6,831 toneladas, mientras que la producción de leche fue de 21 millones de litros, lo cual representa el 2.7% de la producción pecuaria del estado. La producción agrícola en Janos se basa principalmente en cultivos de algodón, trigo, chile y frijol, y representa el 2.8% de la producción estatal, en los últimos siete años la superficie sembrada promedio ha rondado las 27,675 ha (SIAP, 2013).

En el año 2013 el valor de la producción ganadera ascendió a 181.7 mdp, mientras que la producción agrícola fue de 905.3 mdp (SIAP, 2013). En la RBJ el 41% de la superficie son pastizales y el 7% tierras de cultivo, por lo tanto, era de esperarse que el motor de la economía fuera la ganadería, sin embargo, los datos de producción indican que la agricultura es casi cinco veces superior al valor de la producción ganadera, lo cual puede deberse a la alta rentabilidad agrícola.

Desde 1980 se ha observado que los altos beneficios económicos de la agricultura han provocado la venta de predios ganaderos y la privatización de tierras ejidales, además de la erradicación de especies como el perrito llanero considerado plaga por los agricultores (SEMARNAT, 2013). La expansión agrícola sobre pastizales naturales no es un problema exclusivo de México, Santa *et al.* (2013) observaron en Argentina que las ventajas competitivas de la agricultura en comparación con la ganadería, favorecían el crecimiento de la agricultura.

De acuerdo a la CONANP (2008) la expansión agrícola constituye la amenaza más importante para los pastizales y matorrales de la RBJ tanto por la demanda de agua, como por el cambio de uso del suelo el cual se estima en 20 mil ha. Los datos del Consejo de Cuenca Río Bravo (2014), indican que en el acuífero de Janos en el año 2013 la recarga anual era de 141.9 millones de m<sup>3</sup>, pero las salidas totales eran de 181.27, lo que significa una sobre explotación de 39.37 millones de m<sup>3</sup> al año. Se estima que el 95.1% de la extracción de agua subterránea se destina a la agricultura, mientras que el 4.9% restante al uso doméstico, ganadero e industrial.

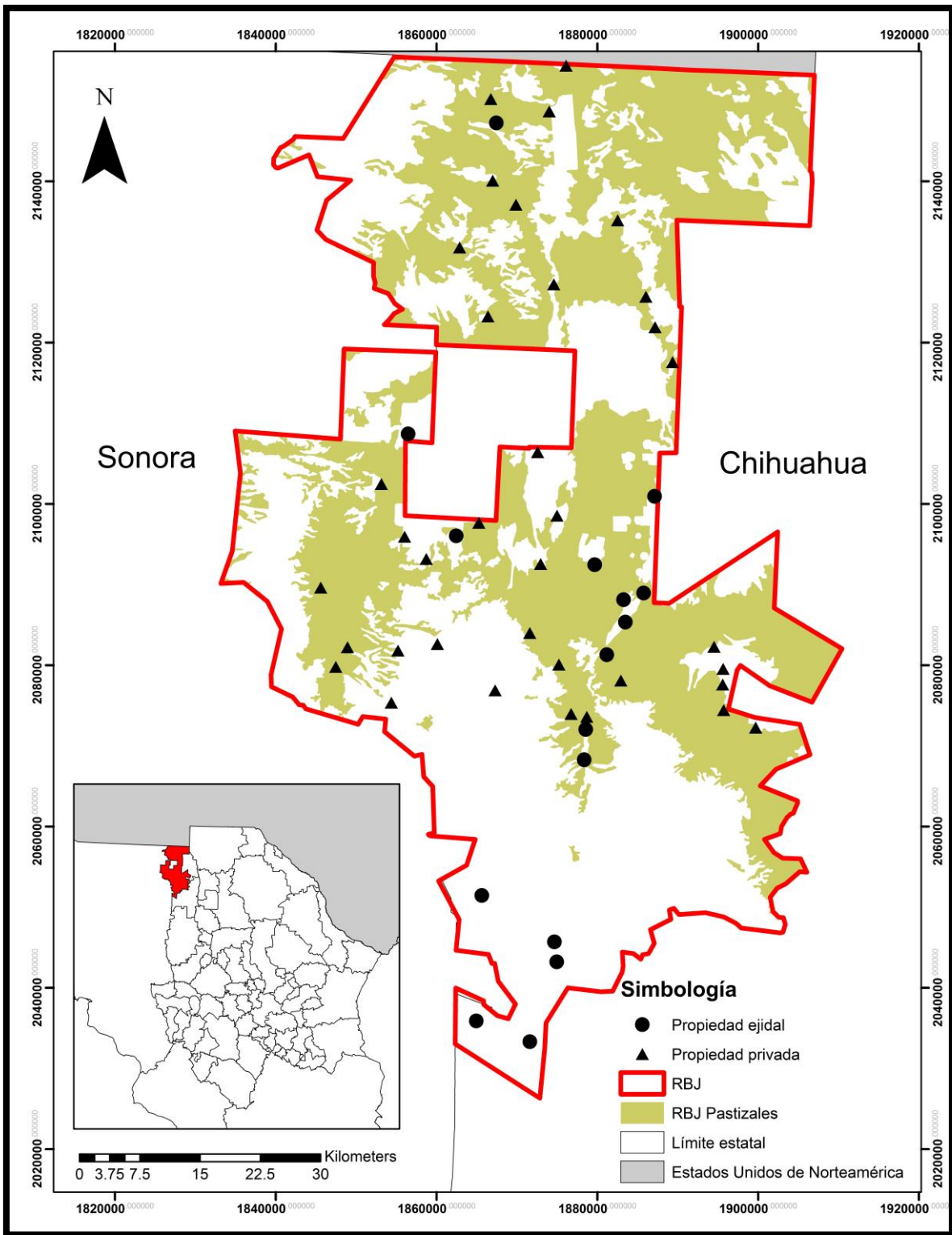


Figura 1-1. Localización del área de estudio, Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México.

Fuente: Elaboración propia

### 1.2.2 Obtención y procesamiento de imágenes de satélite

Para el análisis de la vegetación se utilizó un mosaico de imágenes Landsat 5 TM creado a partir de las imágenes columna 34, fila 38 y columna 34, fila 39. Dicho análisis se realizó seleccionando imágenes con cobertura de nubes menor al 10% para las estaciones de verano (julio) e invierno (noviembre) del periodo 1992-2011, es decir, se trabajó con un total de 80 imágenes descargadas de manera gratuita del sitio <http://glovis.usgs.gov>.

Las imágenes fueron corregidas atmosféricamente con el método de sustracción de objetos oscuros (DOS), el cual asume que si en una imagen de satélite existen características que tienen reflectancia casi cero como los cuerpos de agua y el bosque denso, cualquier reflectancia aparente puede ser debido a los efectos de la dispersión atmosférica, por lo tanto, dicha información se puede utilizar para calibrar el resto de las bandas de la imagen (Chavez, 1996). La DOS se realizó mediante el programa ENVI versión 4.4. Finalmente el NDVI fue calculado a través de la herramienta Vegetation Index Calculation y posteriormente exportado en formato Raster a ArcGis 9.3 para la creación de mapas de vegetación.

### 1.2.3 Índice de vegetación

El NDVI es un índice usado para medir la diferencia normalizada entre las reflectancias del infrarrojo cercano y del rojo, proporcionando una medida sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la cobertura vegetal y vigorosidad en áreas extensas (Rouse *et al.*, 1973). El NDVI presenta una positiva y estrecha relación con la fracción de Radiación Fotosintéticamente Activa Absorbida (fRFAA) por la vegetación verde y por lo tanto con la productividad (Baeza *et al.*, 2011).

El NDVI se basa en la absorción máxima de pigmentos de clorofila en la longitud de onda roja (R) que oscila entre 0.63 y 0.69  $\mu\text{m}$  y en la reflectancia del infrarrojo cercano (IRC) que oscila entre 0.76 y 0.90  $\mu\text{m}$  y se representa de la siguiente forma:

$$NDVI = \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R}$$

Los valores de dicho índice van de -1 a 1, pero sólo los valores positivos se refieren a la vegetación ( $IRC > R$ ), y los valores más altos sugieren una mayor vigorosidad en la vegetación.

#### 1.2.4 Análisis estadístico

Mediante la extensión HawthTools de ArcGis 9.3 se crearon 100 puntos aleatorios por tipo de propiedad y periodo estacional, posteriormente se extrajeron los datos del NDVI en cada punto, resultando una base de datos de 8,000 valores, mismos que fueron procesados mediante el software Minitab 16 para obtener la media del NDVI por tipo de propiedad y estación.

Se calculó mediante series de tiempo un escenario de tendencia a 10 años utilizando el método aditivo de Holt- Winters, el cual tiene como objetivo eliminar los efectos de los datos atípicos y extraer una trayectoria probable en los datos mediante un suavizamiento exponencial.

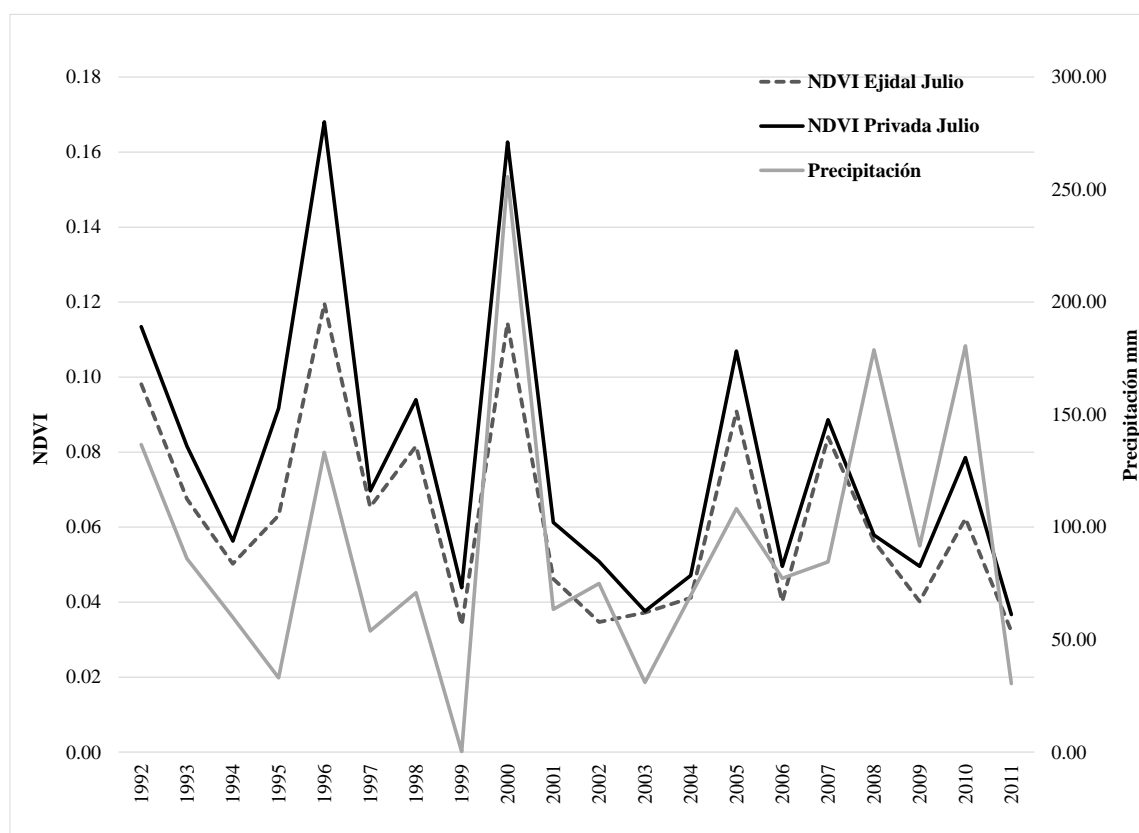
El método de suavizamiento exponencial calcula la serie suavizada mediante el siguiente esquema recursivo  $\hat{y}_t = \lambda y_t + (1 - \lambda)\hat{y}_{t-1}$  donde  $\lambda$  es un parámetro de suavizado que puede tomar valores entre cero y uno (Gelper *et al.*, 2010). El parámetro utilizado en las ecuaciones de nivel, tendencia y estacionalidad fue de 0.2, mientras que el porcentaje medio absoluto de error (MAPE), fue menor a 23% en los cuatro escenarios proyectados.

Finalmente con la media del NDVI de los meses de julio y noviembre se realizó la prueba t de Student de dos colas asumiendo igual varianza, con el fin de determinar si existen diferencias significativas entre los pastizales de propiedad ejidal y privada.

### 1.3 Resultados y discusión

El análisis estadístico indica que en los 20 años de estudio la media del NDVI del mes de julio (Fig.1-2) fue siempre mayor en propiedad privada que en ejidal. Ambos tipos de propiedad presentan una correlación de Pearson  $R= 0.97$  con  $p<0.000$ . La fuerte correlación y la misma tendencia en el patrón de cambios erráticos anuales, indican que los aspectos climatológicos como la lluvia y la temperatura, influyen considerablemente en la vegetación como es de esperarse en estudios de análisis vegetacional.

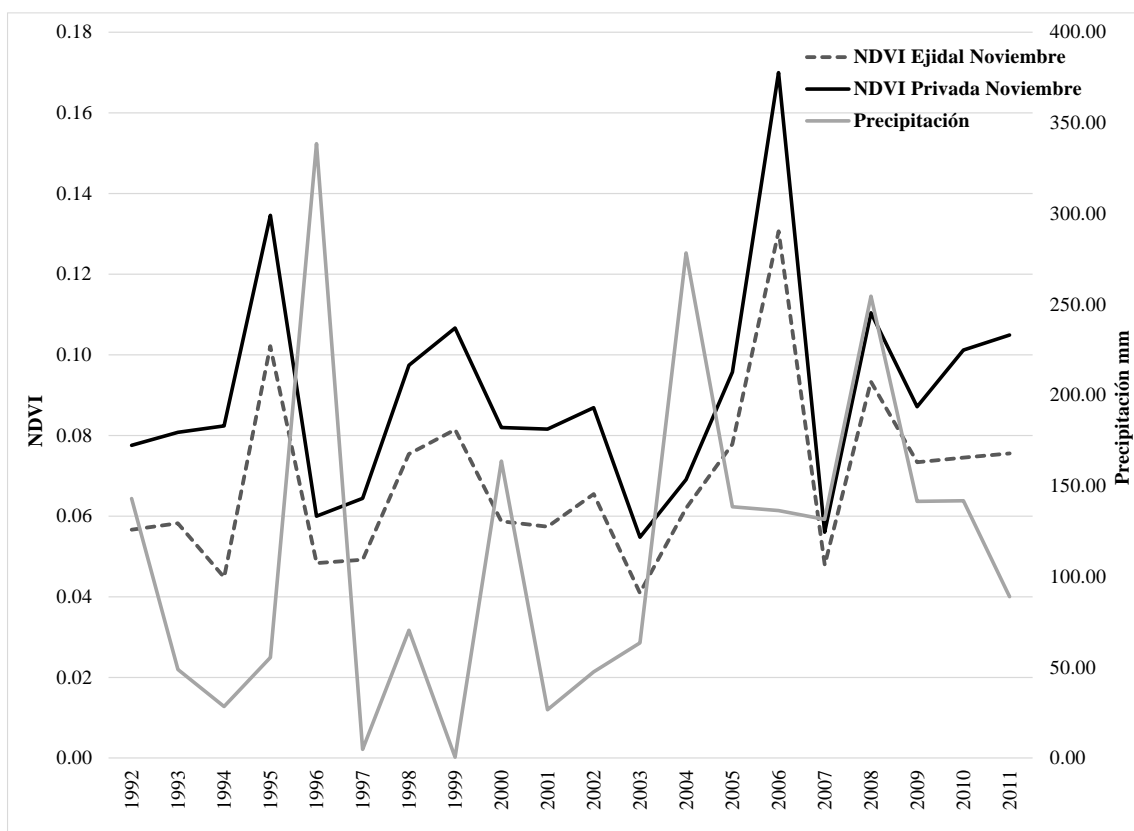
En el mes de julio, los años de 1992, 1996 y 2000 fueron los que tuvieron mayor promedio del NDVI en ambos tipos de propiedad, en dichos años las precipitaciones acumuladas de abril a julio fueron de 136.62 mm, 133.22 mm y 255.77 mm respectivamente, la temperatura en los tres años osciló entre los 24 y 26 °C (CONAGUA, 2013).



**Figura 1-2.** Valor promedio del NDVI en julio y precipitación acumulada en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México.

Fuente: Elaboración propia

En el análisis del NDVI del mes de noviembre (Fig. 1-3) el NDVI en propiedad privada fue mayor que en propiedad ejidal (al igual que en el mes de julio). Ambos tipos de propiedad mostraron el mismo patrón de datos con una correlación de  $R= 0.96$  y  $p< 0.000$ , sin embargo, los cambios anuales fueron menos pronunciados que en el mes de julio. Destacan los años 1995, 2006 y 2008 con mayor promedio de NDVI los cuales registraron lluvias acumuladas de agosto a noviembre de 55.38 mm, 136.38 mm y 254.50 mm y una temperatura promedio de 20°C.



**Figura 1-3.** Valor promedio del NDVI por tipo de propiedad en el mes de noviembre en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México.

Fuente: Elaboración propia

La diferencia entre el promedio del NDVI en propiedad ejidal y privada, responde a dos cuestiones fundamentales: (1) los pastizales en propiedad ejidal se encuentran severamente degradados debido al pastoreo continuo, al cambio de uso de suelo y la invasión de especies arbustivas, situación que mencionan Aguirre-Calderón (2012) y Valerio *et al.*

(2005) y (2) además la propiedad privada prácticamente ha acaparado la totalidad de los pastizales en la RBJ, dejando a la propiedad ejidal sólo el 20% de los pastizales, los cuales tienen mayor presión demográfica y se encuentran prácticamente en los límites de la RBJ alejados en su mayoría de las zonas naturales de recarga de agua.

En este contexto, Polanyi (2007) menciona que el proceso de empobrecimiento masivo que generaron los cercamientos de las tierras comunales por parte de propietarios privados y el desplazamiento de la población rural a las ciudades, fueron justificadas por la ineficacia económica, es decir, desde el punto de vista de la ganancia que genera el mercado autorregulado.

Lo anterior, es evidente en la RBJ ya que la privatización de la propiedad ejidal y el cambio de uso de suelo de pastizal a agrícola (a una tasa alrededor del 10% de los pastizales), son una constante sustentada en la baja rentabilidad de la industria ganadera, la cual a su vez ha sido afectada por la sobreexplotación de los acuíferos producto de la agricultura de riego.

En Chihuahua, la mayoría del ganado se produce en pastizales nativos que son totalmente dependientes de las lluvias (Ortega-Ochoa *et al.*, 2008), no así la agricultura en Janos donde el 94% depende del riego (SIAP, 2013). De acuerdo a la CONANP (2008) originalmente la agricultura en Janos era forraje para el ganado pero se ha expandido a otros cultivos como algodón, frijol y papa, principalmente en tierras de propiedad privada, además se han incrementado las perforaciones ilegales de pozos con fines agrícolas.

Las figuras 1-2 y 1-3 muestran una tendencia errática del NDVI con grandes variaciones anuales, algo a destacar es que los valores más altos en el mes de julio no coinciden con los del mes de noviembre y viceversa, lo cual puede ser resultado de la cantidad de lluvia ocurrida no sólo ese año sino hasta dos años anteriores, tal como lo encontraron Oosterheld *et al.* (2001).

De acuerdo a Vetter (2005), una de las razones por lo que los pastizales de zonas áridas suelen ser resilientes al pastoreo intensivo se debe a que algunos pastos son anuales y crecen a partir de un banco de semillas de años húmedos anteriores, razón por la cual existe

pasto en época de sequía. Esto se puede apreciar en las figuras 1-2 y 1-3 las cuales muestran valores del NDVI altos en la década de 1990 marcada por una fuerte sequía, a excepción del año 1996 el cual tuvo lluvias extraordinarias (Ortega-Ochoa *et al.*, 2008).

Si bien las variaciones interanuales del NDVI están relacionadas con factores climáticos, también se pueden deber a la extracción de agua subterránea, el acuífero de Janos se encuentra con una sobre explotación de 39.37 millones de m<sup>3</sup> al año (Consejo de Cuenca Río Bravo, 2014) y al incremento de la población, la tasa de crecimiento de la población en el municipio de Janos fue del 6.3% anual entre 2005 y 2010, mientras que en el estado de Chihuahua fue de 1.05% anual, es decir, Janos creció seis veces más que el promedio estatal.

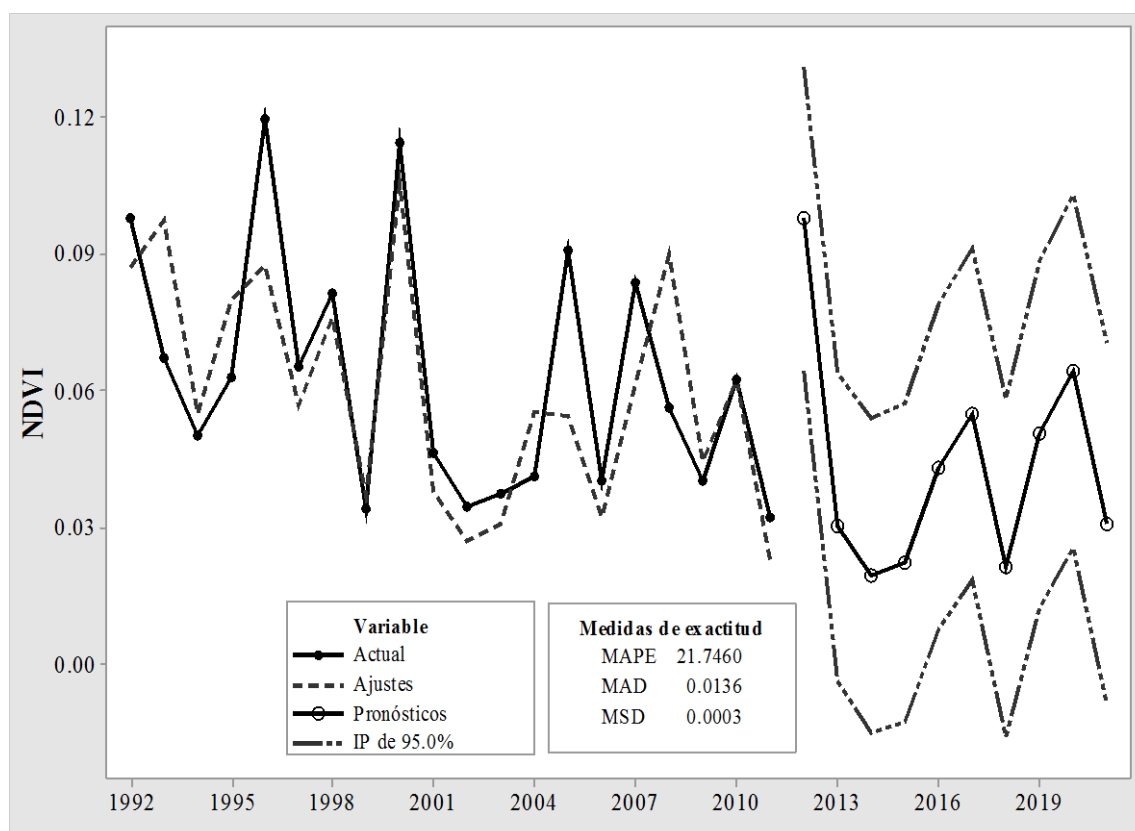
Para conocer la relación entre la cantidad de lluvia y la temperatura se realizó una correlación de Pearson para los 20 años de estudio, se encontró que la precipitación acumulada de abril a julio y el promedio del NDVI del mes de julio en propiedad ejidal tienen una correlación de  $R=0.632$  con  $p=0.003$  y en propiedad privada de  $R=0.640$  y  $p=0.002$ . La correlación entre el NDVI y la temperatura fue de  $R=-0.131$  y  $p=0.583$  en propiedad ejidal y de  $R=-0.051$  y  $p=0.830$  en propiedad privada.

Dichos resultados indican que la precipitación está directamente relacionada con los cambios anuales en el NDVI, es decir, el NDVI aumenta cuando existe una mayor acumulación de lluvia, por el contrario de lo que ocurre con la temperatura, a medida que aumenta la temperatura disminuye el NDVI.

La precipitación acumulada de agosto a noviembre y el promedio del NDVI de noviembre en propiedad ejidal presentan una correlación de Pearson de  $R=0.055$  con  $p=0.819$ , y en propiedad privada de  $R=-0.103$  con  $p=0.665$ , esto indica que cuando la precipitación es menor el NDVI tiende a aumentar, caso contrario de lo que ocurre con la precipitación y el NDVI en los meses de abril a julio. En el caso de la temperatura, se encontró que en propiedad ejidal tiene una correlación  $R=0.006$  con  $p=0.981$  y en propiedad privada de  $R=0.113$  y  $p=0.636$ , es decir, tiene una correlación tan baja que prácticamente un cambio en la temperatura no implica cambios en el NDVI.

Chimner y Welker (2011) encontraron que las tasas de cambio de CO<sub>2</sub> en el ecosistema están fuertemente influenciadas por los cambios en las precipitaciones de verano, asimismo la disminución de la precipitación, reduce alrededor de un 45% las tasas de captura de C. Además, la intensidad de pastoreo y la precipitación interactúan para influir en el ciclo del C en pastizales, ya que la intensidad de pastoreo afecta los procesos ecológicos y bioquímicos como la composición de la comunidad vegetal y las propiedades físicas del suelo, afectando con ello la acumulación de C.

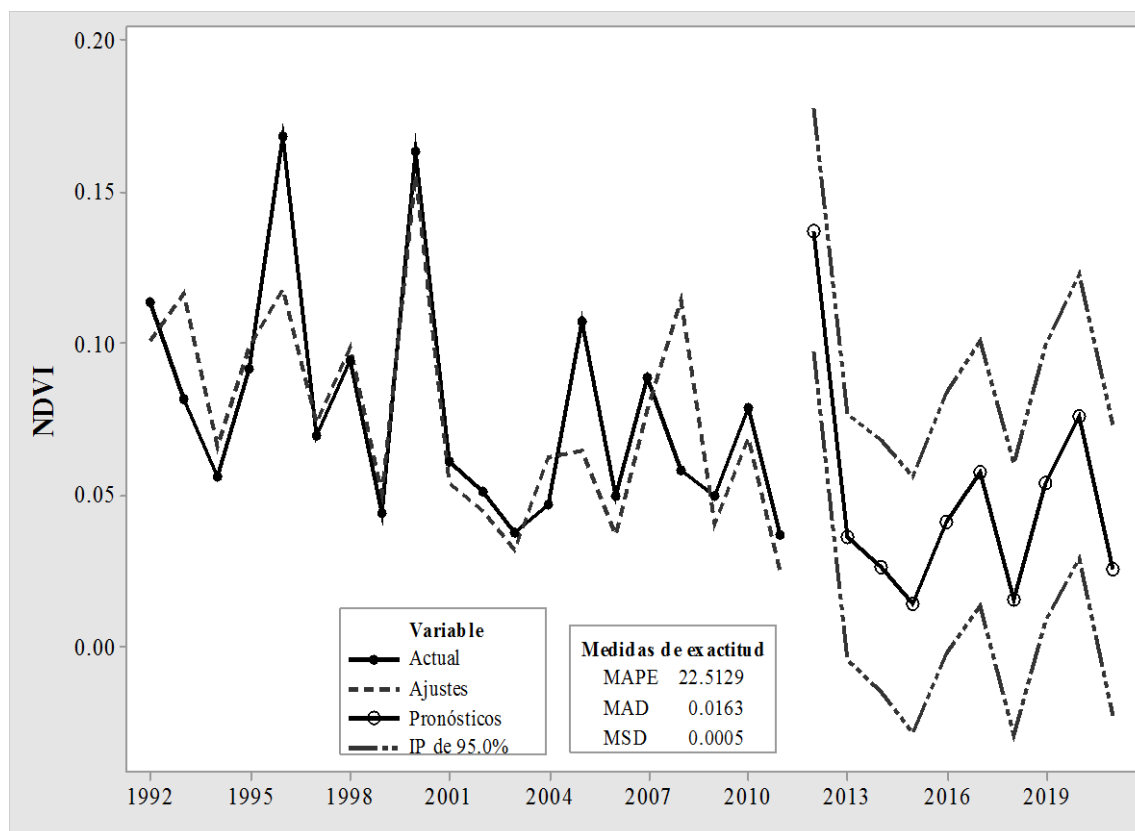
El análisis de Holt-Winters para el mes de julio indica que entre 2012 y 2021, los valores promedio del NDVI en propiedad ejidal oscilarán entre 0.019 y 0.098 (Fig. 1-4), mientras que en propiedad privada serán entre 0.014 y 0.137 (Fig. 1.-5), en ambos tipos de propiedad continuarán los cambios erráticos.



**Figura 1-4.** Análisis de tendencia en propiedad ejidal en el mes de julio en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México.

Fuente: Elaboración propia

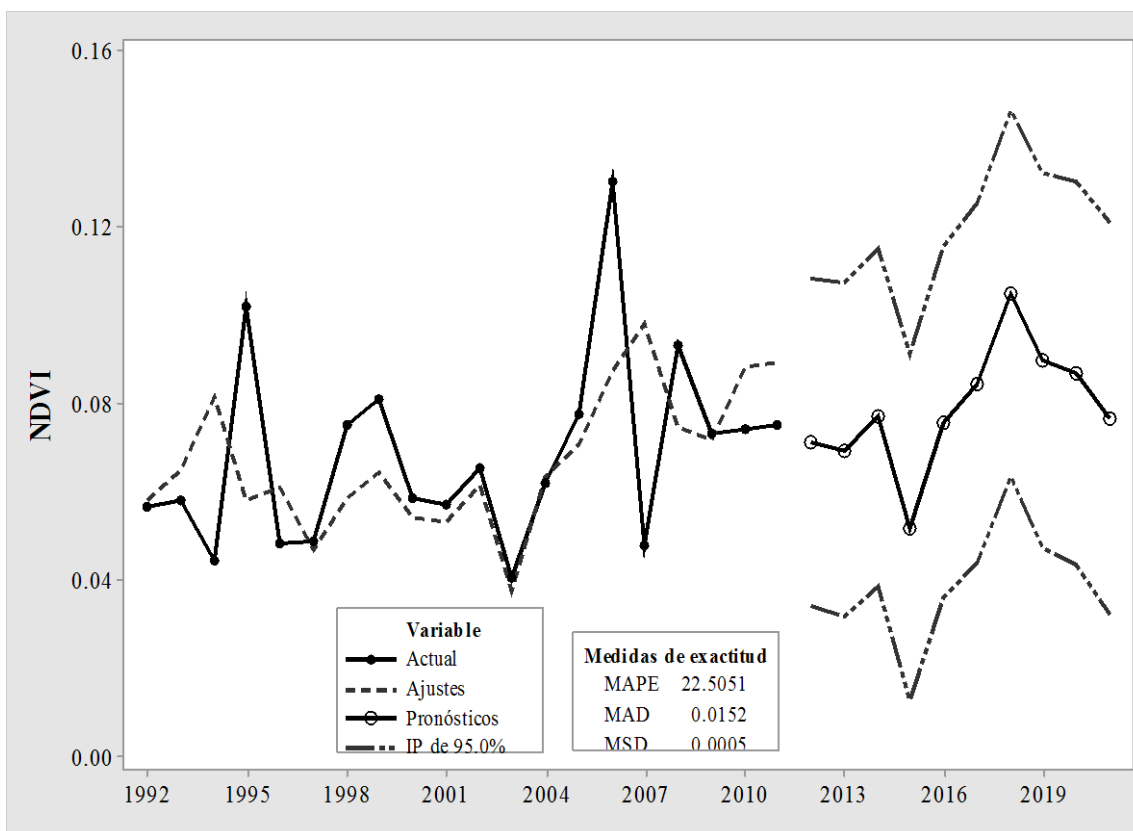
Los bajos valores esperados en el mes de julio demuestran un deterioro en la productividad del pastizal en ambos tipos de propiedad, probablemente debido al cambio climático, así como su efecto en la variabilidad y disminución de la precipitación anual. El cambio climático, de acuerdo a Martin *et al.* (2014), tiene serias consecuencias para la productividad de los pastizales y la seguridad de subsistencia del pastoralismo. Sin embargo, menciona que la movilidad del ganado (trashumancia) en función de la productividad cambiante de los pastizales puede ayudar a aminorar los efectos de la escasa precipitación en climas áridos.



**Figura 1-5.** Análisis de tendencia en propiedad privada en el mes de julio en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México.

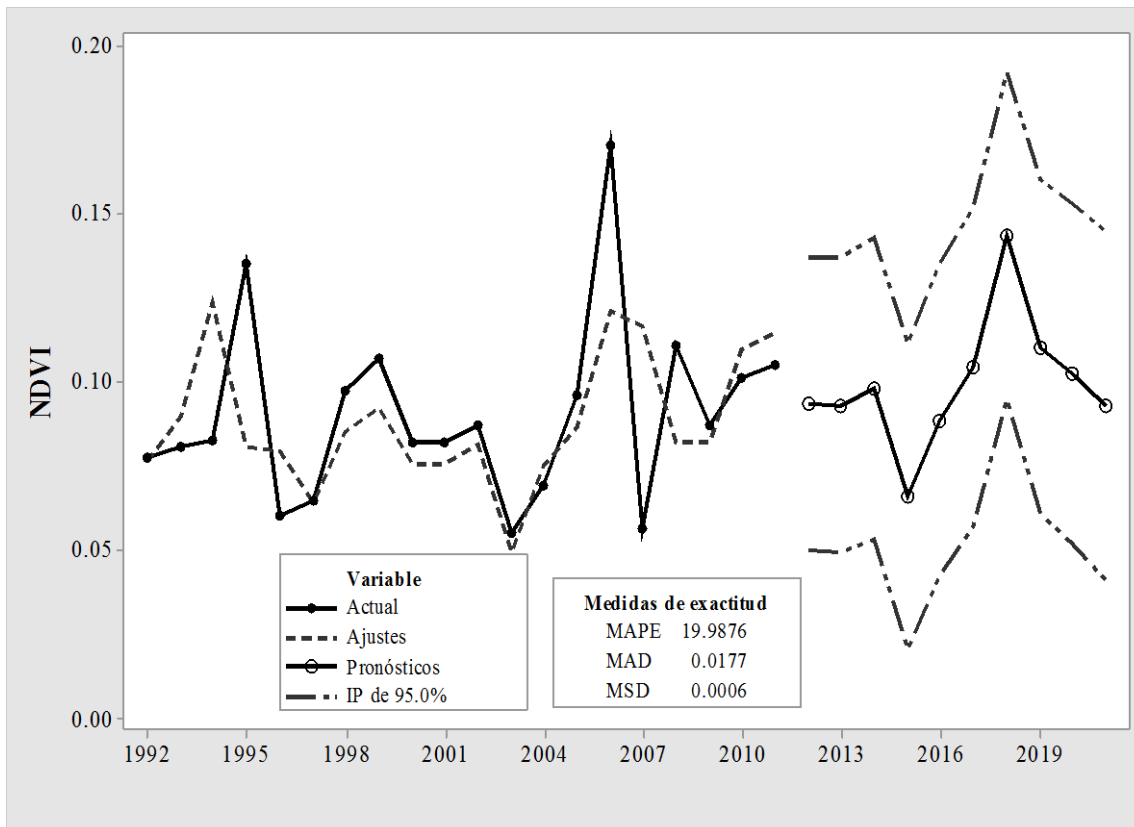
Fuente: Elaboración propia

El análisis de tendencia del mes de noviembre muestra un escenario muy distinto al ocurrido en el mes de julio, mientras en la época de verano el NDVI tiende a decrecer, en noviembre la tendencia es creciente en ambos tipos de propiedad. Los valores promedio del NDVI en propiedad ejidal oscilarán entre 0.052 y 0.105 (Fig. 1-6), mientras que en propiedad privada los valores serán de 0.066 y 0.143 (Fig. 1-7).



**Figura 1-6.** Análisis de tendencia en propiedad ejidal en el mes de noviembre en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 1-7.** Análisis de tendencia en propiedad privada en el mes de noviembre en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México.

Fuente: Elaboración propia

Los bajos valores del NDVI en ambos tipos de propiedad demuestran que las decisiones de manejo del pastoreo, aunadas a la poca precipitación, son determinantes en las condiciones de los pastizales. La sequía en el estado de Chihuahua es común debido a su posición geográfica, sin embargo, el efecto acumulado de la sequía que ocurrió en el año de 1990 y que se extendió por casi toda la década, afectó la productividad de los pastizales y con ello a la industria ganadera (Ortega-Ochoa *et al.*, 2008).

Los resultados de la prueba t, indican que en el mes de julio las diferencias fueron significativas ( $p < 0.05$ ) en 10 de los 20 años de estudio, es decir, el valor medio del NDVI fue muy similar en ambos tipos de propiedad (Cuadro 1-1), y en los últimos 10 años fueron

significativas en sólo tres años. Sin embargo, en el mes de noviembre, 17 de los 20 años de estudio tuvieron diferencias significativas por tipo de propiedad.

**Cuadro 1-1.** Valores de probabilidad para la prueba t de Student del NDVI en la Reserva de la Biosfera Janos en Chihuahua, México.

<b>Año</b>	<b>Julio</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Año</b>	<b>Julio</b>	<b>Noviembre</b>
1992	0.02*	0.00*	2002	0.00*	0.00*
1993	0.05*	0.00*	2003	0.95	0.02*
1994	0.26	0.00*	2004	0.26	0.23
1995	0.00*	0.00*	2005	0.01*	0.00*
1996	0.00*	0.07	2006	0.07	0.00*
1997	0.52	0.01*	2007	0.42	0.14
1998	0.12	0.00*	2008	0.76	0.01*
1999	0.03*	0.00*	2009	0.07	0.04*
2000	0.00*	0.00*	2010	0.01*	0.00*
2001	0.01*	0.00*	2011	0.26	0.00*

\*Representa significancia al 0.05. Fuente: Elaboración propia

Los resultados del NDVI así como el análisis de tendencia, para el caso de la RBJ ponen en duda la aseveración de Hardin (1968), quien postulaba que los propietarios de recursos compartidos se encontraban atrapados en un dilema y sus acciones los llevarían a la inevitable tragedia de los comunes. Aseveración que fue tomada como base para políticas públicas que llevaron a la centralización de los recursos naturales, y numerosos estudios académicos que popularizaron dicho postulado.

Lo anterior coincide con los resultados encontrados en China por Li *et al.* (2007), quien encontró que la propiedad privada no es ajena a las malas condiciones de los pastizales. Además en el caso de México, Rzedowski (2006) menciona sobre el inadecuado aprovechamiento de los pastizales naturales debido al sobrepastoreo, la desorganización o el uso de técnica inadecuadas que impide un máximo rendimiento.

En este sentido, sigue vigente la idea de que los pastores de tierras comunales tienen pocas habilidades técnicas, y que sus acciones provocarán la destrucción de los recursos de los cuales dependen (Allsopp *et al.*, 2007). Sin embargo, cada vez existen más ejemplos de

la acción colectiva para lograr la sostenibilidad de los recursos comunes a largo plazo, actualmente en Sudáfrica se está promoviendo el manejo holístico por parte de los propietarios de recursos comunes.

De acuerdo a Ostrom *et al.* (1999) si bien en los recursos comunes han sucedido tragedias, también es obvio que durante miles de años las personas se han organizado para la autogestión de recursos. Actualmente en la RBJ se están iniciando talleres de manejo holístico en pastizales con el fin de regenerar los suelos, promovidos por la estación ecológica de la UNAM en Janos, los ejidatarios y la Asociación Civil Sierra Gorda (Sierra, 2014).

#### **1.4 Conclusiones**

Los resultados anteriores indican que usando el NDVI como proxy de la PPN se puede concluir que los pastizales de la RBJ se encuentran en grave deterioro y las tendencias son preocupantes, la PPN puede llegar a un punto que sea tan baja que posiblemente la actividad económica (principalmente la ganadería) entorno a los pastizales ya no sea rentable.

La idea de la tragedia de los comunes a menudo es un argumento para reforzar las relaciones de poder de los propietarios privados, lo cual podría incentivar el cambio de uso de suelo a agricultura, ya que las ganancias de esta última sólo en el año 2013 superaban en 723.6 millones de pesos los de la ganadería, siendo una ventaja comparativa difícil de igualar.

Si bien es cierto que existe una marcada diferencia entre los pastizales en propiedad privada y los ejidales, ambos mostraron que en las últimas dos décadas se han ido degradando, posiblemente debido a que encuentran manejados de forma continua. Además cabe señalar que los propietarios privados impulsaron la agricultura de riego y el cambio de uso de suelo, es decir, la degradación en que se encuentran los pastizales son provocados en gran parte por sus propias acciones.

En este sentido, la tragedia de los comunes que planteó Hardin (1968) no ocurrió sólo en los pastizales ejidales, sino que la inexorable explotación de sus propios recursos fue en

gran parte resultado de las acciones de los propietarios privados. Lo cual rompe con la idea de que la degradación es exclusiva de los recursos compartidos. Además sugiere que el empobrecimiento masivo que menciona Polanyi (2007) puede alcanzar también a los propietarios privados.

Los pastizales ejidales representan sólo el 20% del total de los pastizales de la RBJ, la mayor parte está en manos de propietarios privados, por lo cual era de esperarse bajo un la hipótesis de Hardin (1968) que el NDVI en propiedad ejidal se encontrara en condiciones cercanas a 1, lo cual tampoco ocurrió.

Corregir o revertir la tendencia de deterioro de los pastizales de Janos es un proceso que lleva tiempo e implica el cambio de sistema de manejo de pastizales, también implica no aumentar la frontera agrícola y evitar la extracción de agua en el ya sobreexplotado acuífero de Janos. En la investigación se encontró que la degradación de pastizales no es exclusiva de la RBJ, gran parte de los pastizales del mundo se encuentran degradados debido a factores como el cambio climático, el cambio de uso de suelo, la agricultura intensiva y sobre todo las técnicas de pastoreo.

La movilidad del ganado es un factor determinante en las condiciones de los pastizales, en la RBJ el pastoreo continuo y los bajos niveles del NDVI han alcanzado tanto a la propiedad privada como ejidal, de seguir con ese método de manejo las tendencias indican que el máximo posible será menor a 0.20.

La primarización de la economía en Janos, resalta la importancia de mantener los servicios ecosistémicos provistos por los pastizales, sin pastizales no existe ganadería y sin captura de agua no hay ni agricultura ni ganadería, las cuales son el motor económico de la RBJ y además al ser un ANP, coincide con el objetivo de conservación de un tipo de vegetación importante para México que en especial en este lugar es una vegetación que para existir debe ser manejada. La alternativa que tienen tanto los propietarios ejidales como privados, radica en cambiar la forma de manejo de pastoreo, ya que la movilidad del ganado atenúa los efectos del cambio climático.

## **2. Valoración económica de captura de carbono en pastizales; una aproximación mediante Invest**

### **Resumen**

Los pastizales representan un importante sumidero de carbono (C), que hasta la fecha no ha sido considerado por los mercados de cumplimiento del Protocolo de Kioto, solo existen iniciativas operadas en el mercado voluntario. La presente investigación muestra los resultados comparativos de tres escenarios de captura de C en pastizales naturales en la Reserva de la Biosfera Janos, para la cual se tomaron los valores del NDVI y se le asignaron montos de captura de C mediante transferencia de beneficios a través del programa InVEST así como su respectiva valoración económica. Posteriormente se realizó un análisis costo-beneficio y se calcularon los indicadores de rentabilidad financiera y finalmente se realizó un análisis de sensibilidad financiera ante aumentos porcentuales de los costos y disminución de los beneficios. Se encontró que los pastizales tienen un potencial de captura de hasta 70 tC/ha (cifra comparable a la captura en bosques). Suponiendo una superficie de 2,088 ha de pastizales con captura de 70tC/ha se pueden obtener beneficios de hasta \$910 mil dólares anuales, lo cual indica una alta rentabilidad económica. De acuerdo al análisis de sensibilidad financiera, los costos pueden aumentar un 20% y los beneficios disminuir un 55% sin que la rentabilidad del proyecto sea afectada.

### **2.1 Introducción**

Los pastizales son el sustento de más de 800 millones de personas y representan el bioma más extenso de la tierra, ocupan entre el 26% y el 43% de la superficie terrestre (dependiendo de su definición) y alrededor del 70% de las tierras de cultivo (Berlijn, 2013; Booker *et al.*, 2013; White *et al.*, 2000). Los pastizales son ecosistemas altamente dinámicos, mantienen el ciclo del agua y los nutrientes, estabilizan el suelo y sirven como grandes almacenes de C, las tierras de pastoreo almacenan entre 200 y 420 Petagramos de C (PgC) en el ecosistema

total, una gran parte del mismo debajo de la superficie y, por lo tanto, en un estado relativamente estable (FAO, 2002).

Además tienen un papel fundamental en la mitigación y adaptación al cambio climático, ya que el secuestro de C en suelo puede mitigar los crecientes niveles de dióxido de C atmosférico (CO<sub>2</sub>). Se estima que la retención de C en los pastizales puede contrarrestar considerablemente las emisiones, con estimaciones globales de alrededor de 0.6 gigatoneladas (Gt) de dióxido de C equivalente (CO<sub>2</sub> eq) por año (Gerber *et al.*, 2013).

Se espera que el cambio climático tenga efectos perjudiciales en los seres humanos y en el medio ambiente como aumento en las temperaturas, sequías e inundaciones. La mitigación es un enfoque para hacer frente al cambio climático mediante la reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y la mejora de los sumideros de C (IPCC, 2007).

Para el año 2050 se estima que el costo de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> represente hasta el 3.76% del PIB en México (Galindo, 2010), en términos económicos el cambio climático es una externalidad negativa asociada a los GEI, que implica costos que no son asumidos por quienes los generan y los efectos padecidos por el total de la población, ya que son globales y de largo plazo (Stern, 2007).

Generalmente los instrumentos para hacer frente al cambio climático se basan en normas, sin llegar a políticas económicas trascendentales como la creación de impuestos específicos y eliminación de subsidios a los combustibles, o la eliminación de las cuotas especiales de extracción de agua para la agricultura, que en zonas áridas como el Desierto Chihuahuense es rentable a un alto costo ambiental, ya que la frontera agrícola se ha extendido sobre los pastizales naturales. Sala y Paruelo (1997) mencionan que el cambio de uso de suelo de pastizal a agricultura contribuye significativamente al aumento de la CO<sub>2</sub> en la atmósfera y al cambio climático.

Actualmente los bonos de captura de C en pastizales sólo existen en el mercado voluntario. Sin embargo, el principio fundamental de la valoración no comercial es que a pesar de que no exista un mercado propiamente dicho, el flujo de los servicios ecosistémicos

afecta a nuestro bienestar de muchas maneras distintas. Entonces, el principal motivo para valorar estos servicios (en este caso la captura de C en pastizales) es que, de lo contrario, los sistemas económicos de los que dependemos continuarán con su predisposición a degradar los ecosistemas y con sus usos abusivos (TEEB, 2010).

La valoración económica, es una respuesta y una alternativa para el reconocimiento de los servicios ecosistémicos provistos en los pastizales, y un primer paso en las medidas de mitigación del cambio climático. Para el presente estudio se tomaron los datos del NDVI del capítulo I y se relacionaron con la capacidad de captura de C mediante transferencia de beneficios. Posteriormente se elaboraron tres posibles escenarios de captura de C que representan los valores promedio de los años 2000 (alto), 2007 (medio), y 2003 (bajo), para la valoración económica de captura de C se utilizaron los precios del mercado. Además se realizó un análisis costo-beneficio y un estudio de sensibilidad financiera para determinar la elasticidad de los indicadores de rentabilidad ante disminuciones porcentuales de los costos y beneficios.

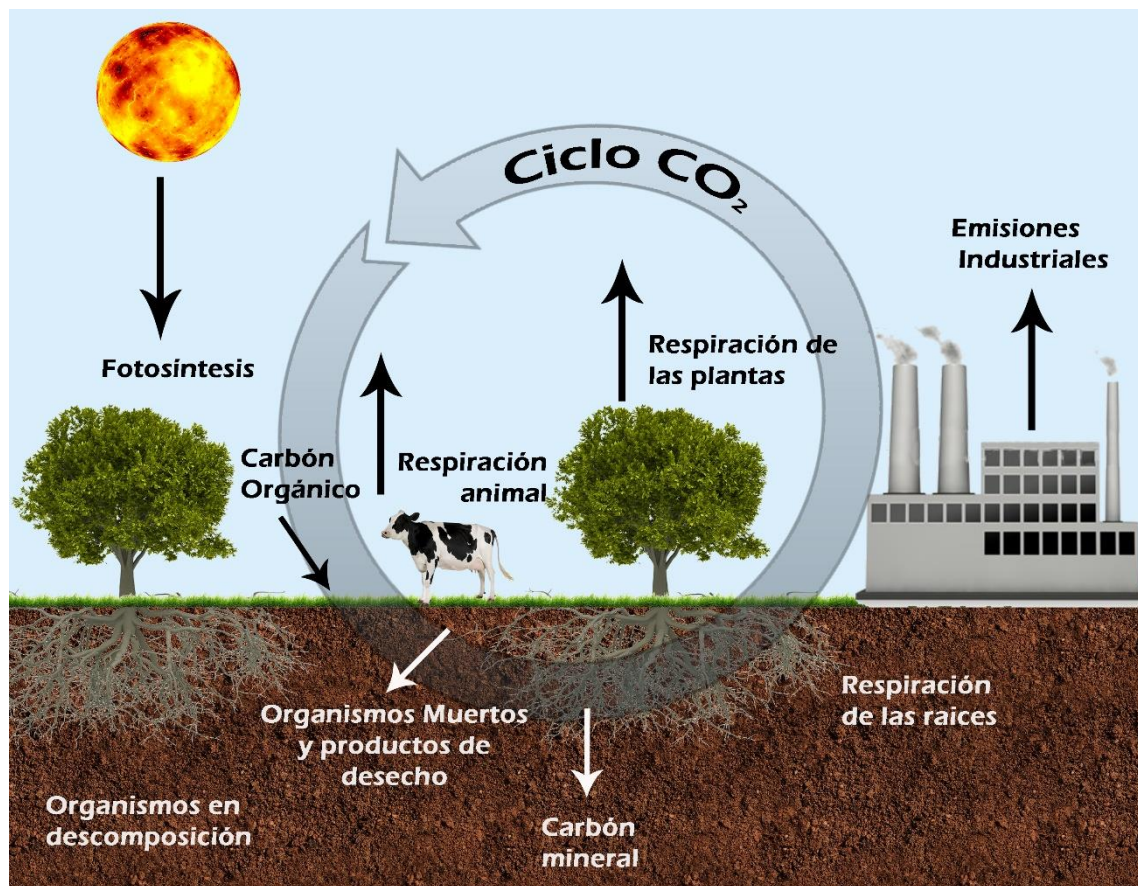
## **2.2 Metodología**

### *2.2.1 Ciclo de carbono en pastizales*

El ciclo del C terrestre está dominado por dos flujos importantes, la fotosíntesis (absorción neta de los ecosistemas de CO<sub>2</sub> de la atmósfera) y la respiración (liberación de C de nuevo a la atmósfera a través de plantas, animales y microbios respiración del suelo). Las transformaciones bioquímicas tienen lugar en numerosas etapas del ciclo de C, los animales consumen plantas crean proteínas bioactivas, la exposición de los restos de plantas y animales a los microorganismos del suelo y diversas condiciones ambientales crean complejos de materia orgánica del suelo humificados (Franzluebbers, 2009).

Los flujos entre el C orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO<sub>2</sub>, en los

ecosistemas de pastizales hasta el 98% del C se almacena bajo el suelo (Tennigkeit y Wilkes, 2008).



**Figura 2-1.** Ciclo de carbono en pastizales

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2 Captura de carbono en pastizales y NDVI

Los pastizales son el bioma natural en las tierras áridas, porque la lluvia es insuficiente para mantener árboles y porque prevalece la cría de ganado. Las estimaciones de C almacenado en las praderas son de alrededor de 70 t/ha, comparable a los valores registrados en suelos forestales (FAO, 2007).

Jurado-Guerra *et al.* (2011), encontraron que el pastizal amacollado abierto de Chihuahua tiene un potencial de captura de C entre 25 y 39 t/ha. Mientras que Segura-Castruita *et al.* (2005) mencionan que en la zona de Janos el promedio de captura oscila entre 25 y 50 tC/ha, mientras que el promedio nacional en pastizales es de 21.4 tC/ha. En las praderas al norte de Estados Unidos, la asociación Ducks Unlimited reporta que los pastizales pueden llegar a capturar entre 67 y 97 tC/ha (Almack, 2010), la diferencia en las tasas de captura de C depende tanto de la metodología utilizada para medir el C, como de la historia de pastoreo en el lugar, de lo cual se hablará a detalle en el capítulo III.

Los ecosistemas terrestres influyen en el cambio climático debido a su capacidad de captura de C, actualmente se sabe que los pastizales son fuente de captura y que el NDVI es un indicador de los flujos de C (Paruelo, 2008) y que existe una estrecha correlación ( $R=0.85$ ) entre el NDVI y la biomasa en pastizales (Wylie *et al.*, 2002).

Para determinar la cantidad de captura de C se tomaron los datos del NDVI del capítulo I, se agruparon en cinco de acuerdo al método de intervalos naturales y se les asignó un monto posible de captura de C (Cuadro 2-1) conforme a resultados que reporta la FAO (2007); Jurado-Guerra *et al.* (2011) y Segura-Castruita *et al.* (2005).

**Cuadro 2-1.** Relación entre NDVI y captura de C en pastizales

Categoría	NDVI	Captura de C
I	0.001 - 0.042	00.01 - 12.00
II	0.043 - 0.085	12.01 - 21.00
III	0.086 - 0.152	12.01 - 28.00
IV	0.153 - 0.314	28.01 - 56.00
V	0.315 - 0.740	56.01 - 70.00

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron tres escenarios posibles de captura de C; uno alto que corresponde al año 2000 en donde la media del NDVI en propiedad ejidal fue de 0.114 y en propiedad privada de 0.163, un escenario medio que corresponde al año 2007 que tuvo una media ejidal de 0.084 y la media en propiedad privada de 0.089 y finalmente un escenario bajo con los

datos del NDVI del año 2003 en donde la media en propiedad ejidal fue de 0.037 y en propiedad privada de 0.038.

### *2.2.3 Mercados de carbono*

Los mercados de C son ámbitos en donde se intercambian contratos de compra-venta, en donde la parte compradora paga una cantidad determinada por la reducción de los gases de efecto invernadero. El mercado de C comprende tres segmentos principales: (1) el mercado de cumplimiento de Kioto, que incluye el Mecanismo para un desarrollo limpio (MDL), (2) otros mercados de cumplimiento o pre-cumplimiento, tales como las plataformas para el comercio de emisiones creadas por legislación estatal en Australia y EE.UU.; y (3) un mercado voluntario de C cuyo principal comercio es la reducción de emisiones que no pueden ser negociadas en los mercados de cumplimiento (Tennigkeit y Wilkes, 2008).

El año 2011 marcó un nuevo récord en el mercado de C, alcanzando un volumen transado de 10.3 miles de millones de toneladas de CO<sub>2</sub> eq con un valor de \$176 mil millones de dólares. A partir del año 2008, los precios de C disminuyeron considerablemente producto de la volatilidad económica y del exceso de oferta a largo plazo en el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea, columna vertebral de la política climática de la UE y motor del mercado mundial de C (Kosoy y Guigon, 2012).

Dentro del mercado voluntario se encuentra Chicago Climate Exchange (CCX) en donde los créditos de C en pastizales operaron de 2003 a 2010, el proyecto consistía en un plan de cinco años en el que se adoptaban prácticas de manejo de pastoreo para mejorar el contenido de C en suelo, sin embargo, el CCX colapsó en el año 2010 debido la reducción de demanda de bonos, la inestabilidad financiera y la disminución de precios del petróleo, situación que causó que los precios pasaran de \$7 dólares a \$0.10.

No obstante, han surgido proyectos como “Three Rivers Sustainable Grazing Project” el cual inició en 2008 en Qinghai, China en colaboración con la FAO y la academia de

ciencias de China con el fin de hacer frente al cambio climático a través de la restauración de pastizales degradados (Gerber *et al.*, 2012). Ese mismo año la asociación civil estadounidense Ducks Unlimited inició un programa de créditos de C que busca ayudar a propietarios a entrar al mercado de C y así contribuir a la conservación de pastizales. Dichas iniciativas demuestran el interés en la conservación de pastizales en diferentes partes del mundo.

#### *2.2.4 Valoración Integrada de los Servicios de los Servicios y las Compensaciones Ecosistémicas, InVEST*

InVEST es una herramienta de sistemas de información geográfica (SIG), desarrollada por The Natural Capital Project con la finalidad de ayudar a los responsables locales, regionales y nacionales de la toma de decisiones a incorporar los servicios ecosistémicos a un abanico de contextos políticos y de planificación para los ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce (TEEB, 2010).

Murdoch *et al.* (2010) utilizaron InVEST para comparar tres estrategias de gestión de pastizales en Argentina: (1) protección de tierras baratas para minimizar costos, (2) la maximización de beneficios para la conservación independientemente del costo de la tierra y (3) la maximización de beneficios de acuerdo a la Tasa Interna de Retorno (TIR). En el presente capítulo se utilizará InVEST para determinar tanto la capacidad de captura de C, como su valoración económica y la TIR será calculada y evaluada en distintos escenarios.

#### *2.2.5 Análisis costo-beneficio*

El análisis costo-beneficio, es una evaluación socioeconómica de un proyecto a nivel de prefactibilidad, lo componen el Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) los cuales son los indicadores de rentabilidad más precisos en un proyecto (DOF, 2013).

El VPN es la suma de los flujos netos anuales, descontados por la tasa social, para su cálculo, tanto los costos como los beneficios futuros del programa o proyecto de inversión

son descontados, utilizando la tasa social para su comparación en un punto en el tiempo, es decir:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

Donde  $B_t$  son los beneficios totales en el año  $t$ ,  $C_t$  son los costos totales en el año  $t$ ,  $B_t - C_t$  es el flujo neto en el año  $t$ ,  $n$  el número de años del horizonte de evaluación,  $r$  es la tasa social de descuento,  $t$  año calendario, en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones.

La TIR representa la tasa de interés más alta que el proyecto podría pagar (sin perder dinero) durante el horizonte de evaluación, esto es equivalente a encontrar el punto de equilibrio de un programa o proyecto de inversión y se representa como:

$$\sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1 + \alpha)^t} = 0$$

En donde  $\alpha$  es la TIR y  $BN_t$  es el Beneficio Neto en el año  $t$ . El criterio de aceptación es cuando la TIR es igual o mayor que la tasa social de descuento utilizada, la cual en este estudio es del 12% de acuerdo a los lineamientos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). Los criterios de aceptación de los indicadores de rentabilidad es que el VPN sea mayor que cero y la TIR mayor a la tasa de descuento social.

En análisis costo-beneficio se proyectaron tres posibles escenarios (todos con un horizonte de evaluación de 30 años). En el primer escenario, se consideró que los costos de mantenimiento y los precios de  $C$  se mantendrían constantes a lo largo del horizonte de evaluación.

En el segundo escenario, los costos de mantenimiento incrementarían un 2.38% anual, dicho cálculo corresponde a la inflación media anual ocurrida entre 2003 y 2013 en Estados Unidos (U.S. Bureau of Labor Statistics, 2014), mientras que el precio de la  $tC$  incrementaría un 1.90% anual, dicho incremento fue el observado entre 2011 y 2014.

Para el último escenario, se consideró un incremento en los costos de mantenimiento del 1.58% hasta el año 2020 y después un incremento sostenido del 1.83% anual, dichos cálculos corresponden a las metas de inflación de los Estados Unidos (Byun y Frey, 2012), finalmente el precio de la tC fue calculado mediante la metodología Holt-Winters con las variaciones semanales desde Octubre de 2009 hasta julio de 2014.

El análisis de sensibilidad es un ejercicio en cual se identifican los efectos que ocasionaría la modificación de las variables relevantes sobre los indicadores de rentabilidad del programa o proyecto de inversión (DOF, 2013). Para dicho análisis, se consideró el efecto de las variaciones porcentuales en los costos iniciales y de mantenimiento sobre el VPN y la TIR, así como la disminución paulatina de la capacidad de captura de C y del precio de la tC.

## **2.3 Resultados y discusión**

### *2.3.1 Valoración económica de captura de carbono en pastizales de la RBJ*

El escenario alto se calculó con los valores del NDVI del mes de julio del año 2000 (Fig. 2-2) en el cual se aprecia que la mayor parte del territorio muestra valores del NDVI superiores a 0.15, sin embargo, los valores menores a 0.15 se encuentran principalmente en propiedad ejidal, en el escenario alto el monto máximo de captura es de 70tC/ha con una media de captura de 24tC/ha (Fig. 2-3), lo cual implica ingresos de \$436.10 y \$149.52 dólares anuales respectivamente (Fig. 2-4), considerando un precio de \$6.23 dólares por tC/ha.

El escenario medio se calculó tomando como base el NDVI del mes de julio del año 2007 (Fig. 2-5) en el cual prácticamente todo el territorio tiene un NDVI menor a 0.15, en dicho escenario el monto máximo de captura ascendió a 68tC/ha con una media de captura de 14tC/ha (Fig. 2-6), es decir, 10 tC/ha menos que en el escenario alto, los ingresos en el escenario medio ascienden a \$423.64 dólares con capturas cercanas a 68tC/ha y a \$87.22 dólares anuales con capturas de 14tC/ha (Fig. 2-7).

El escenario bajo se calculó con el NDVI del mes de julio del año 2003 (Fig. 2-8), el cual prácticamente todo el territorio tiene un NDVI menor a 0.4 lo que significa un pastizal severamente degradado, el monto máximo de captura es de 61tC/ha, con una media de captura de 8tC/ha (Fig. 2-9), lo que equivale a \$380.03 y \$49.84 dólares anuales respectivamente (Fig. 2.10).

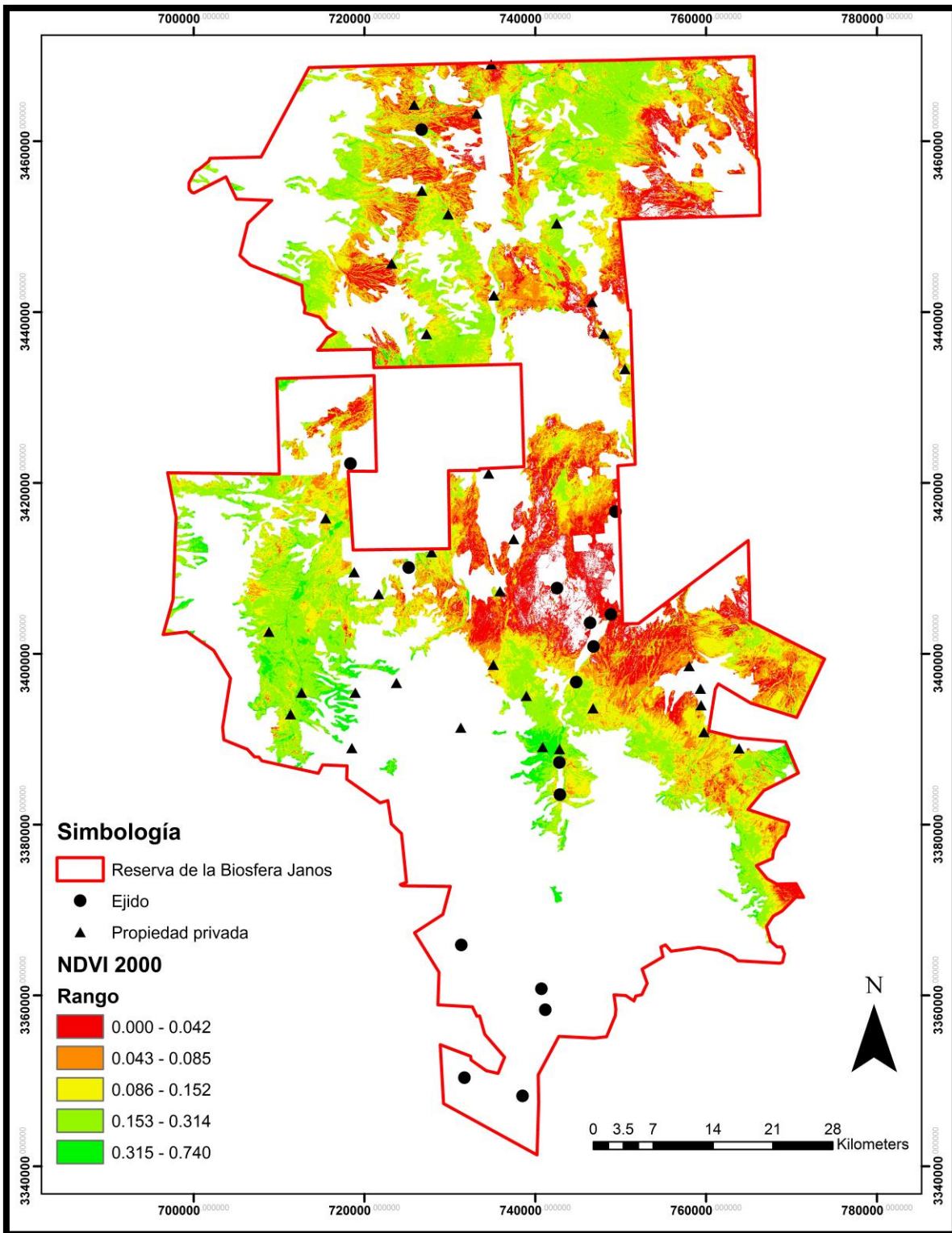
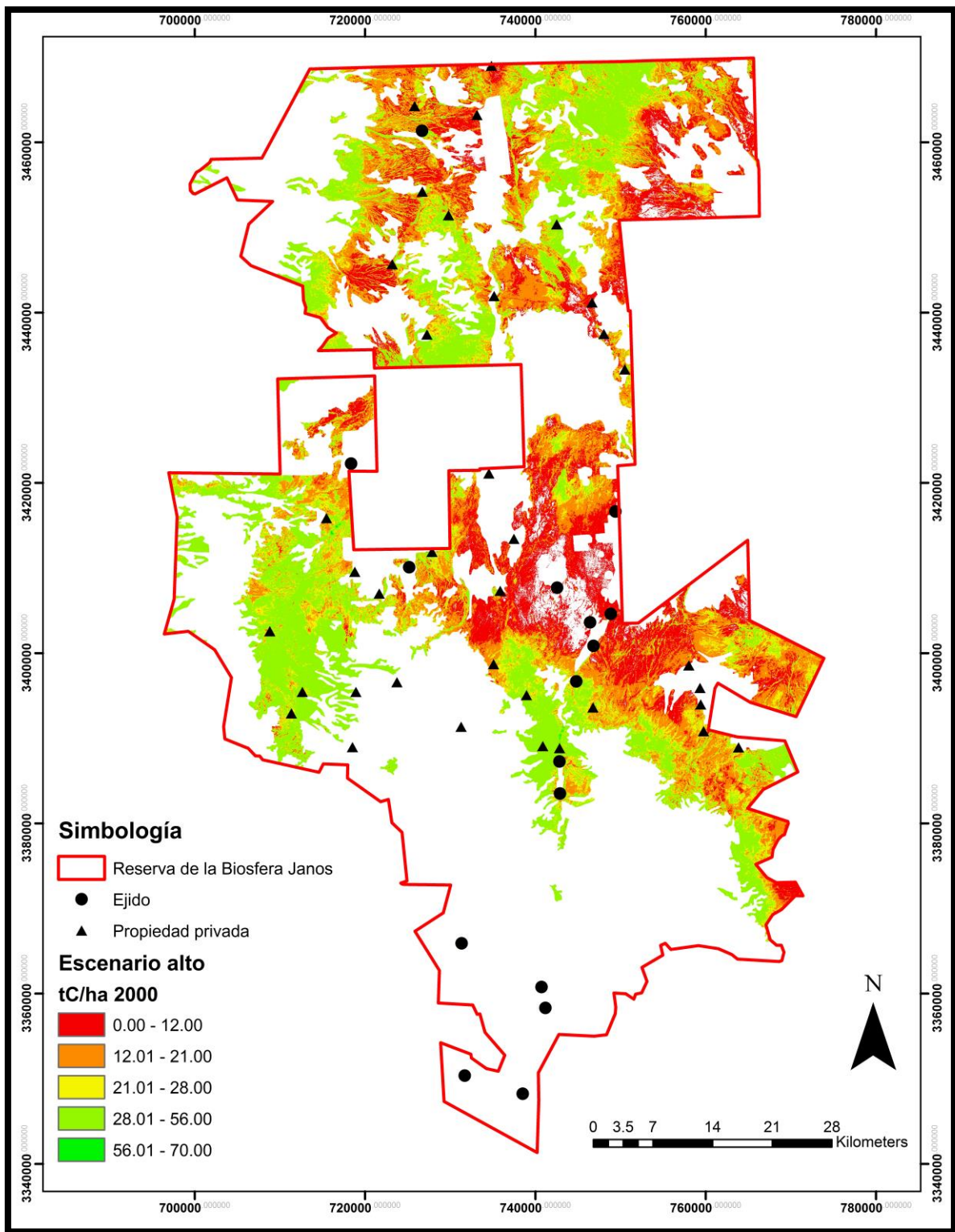
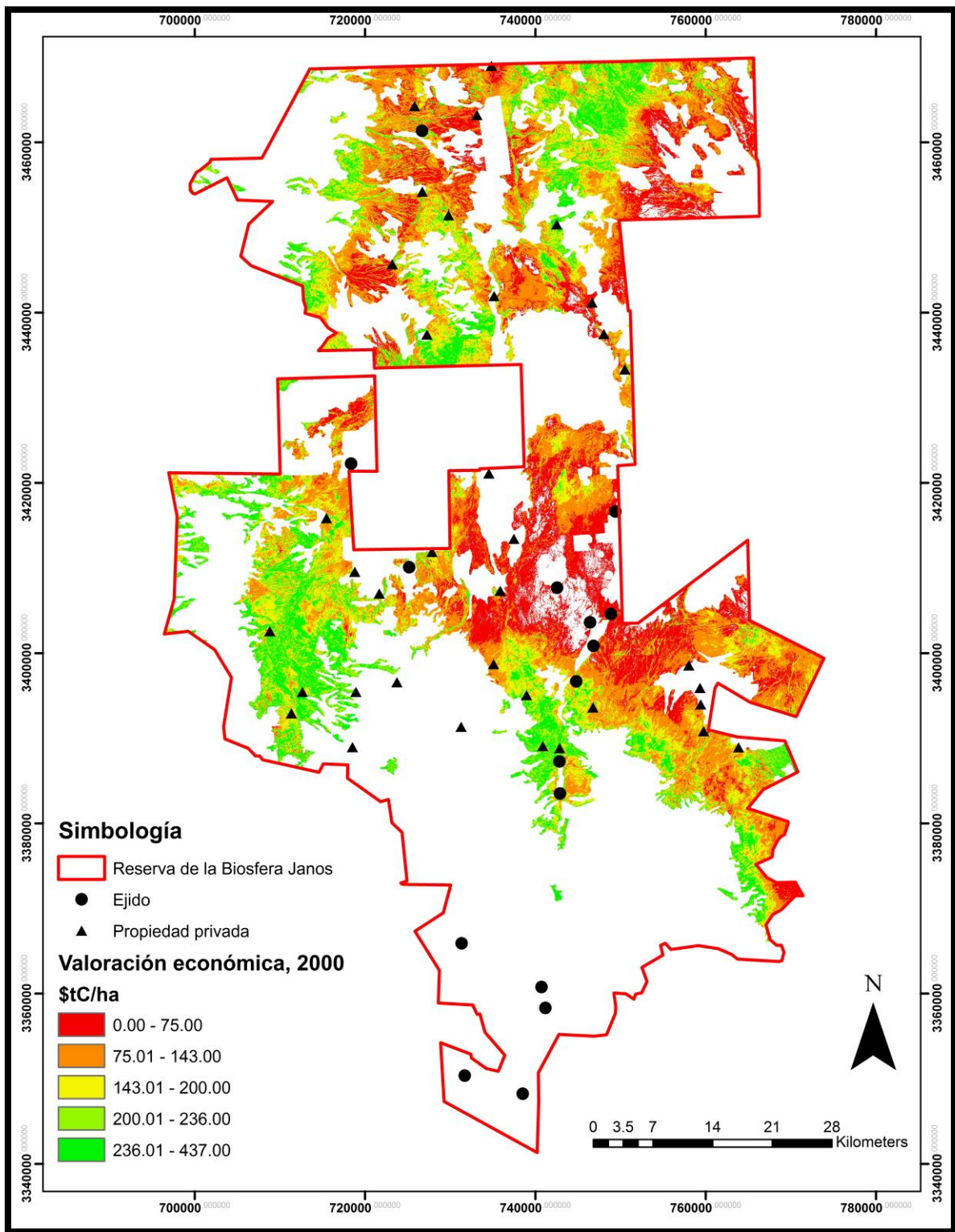


Figura 2-2. NDVI año 2000, escenario alto

Fuente: Elaboración propia

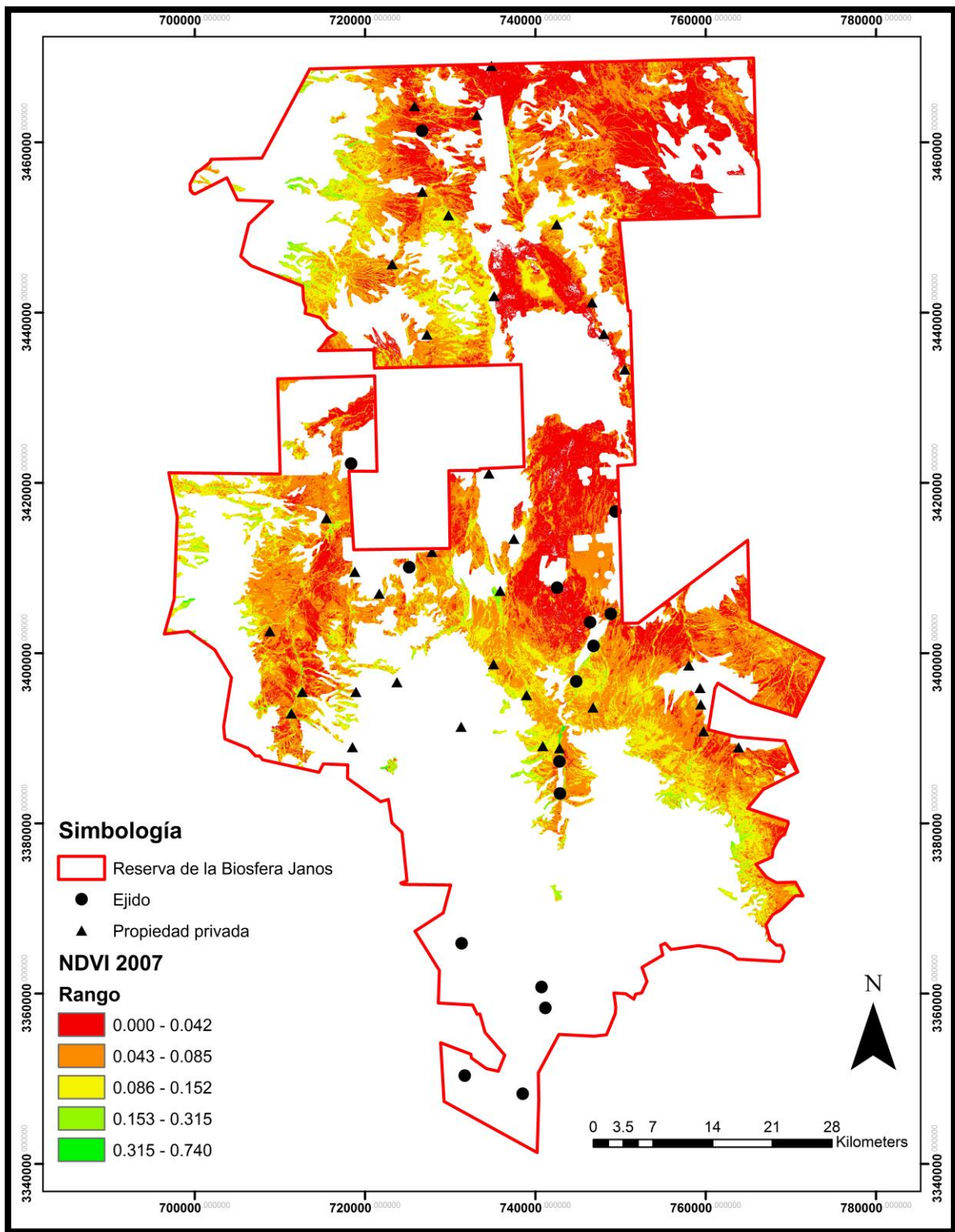


**Figura 2-3.** Captura de carbono por hectárea, escenario alto  
Fuente: Elaboración propia



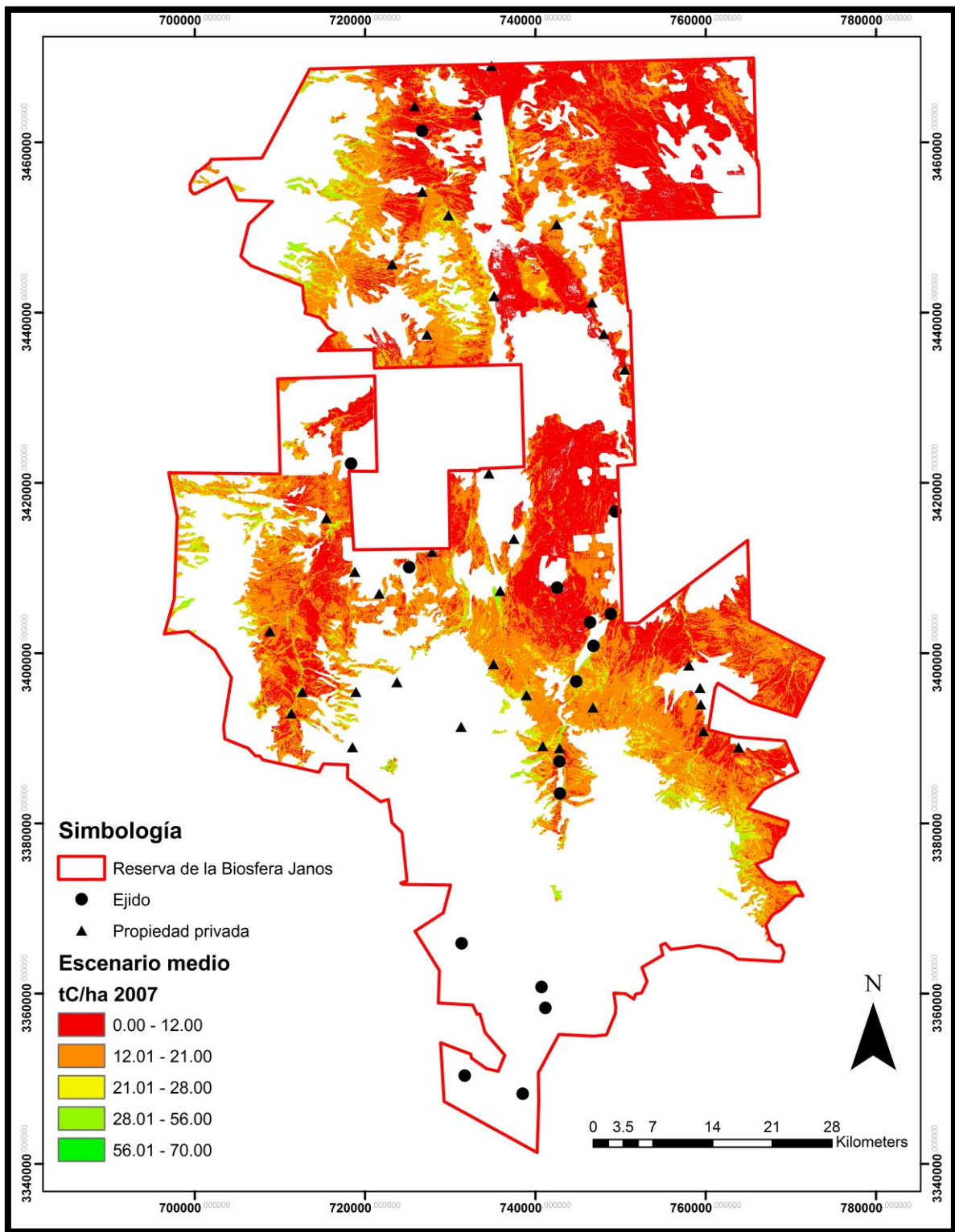
**Figura 2-4.** Valoración económica de captura de carbono, escenario alto

Fuente: Elaboración propia



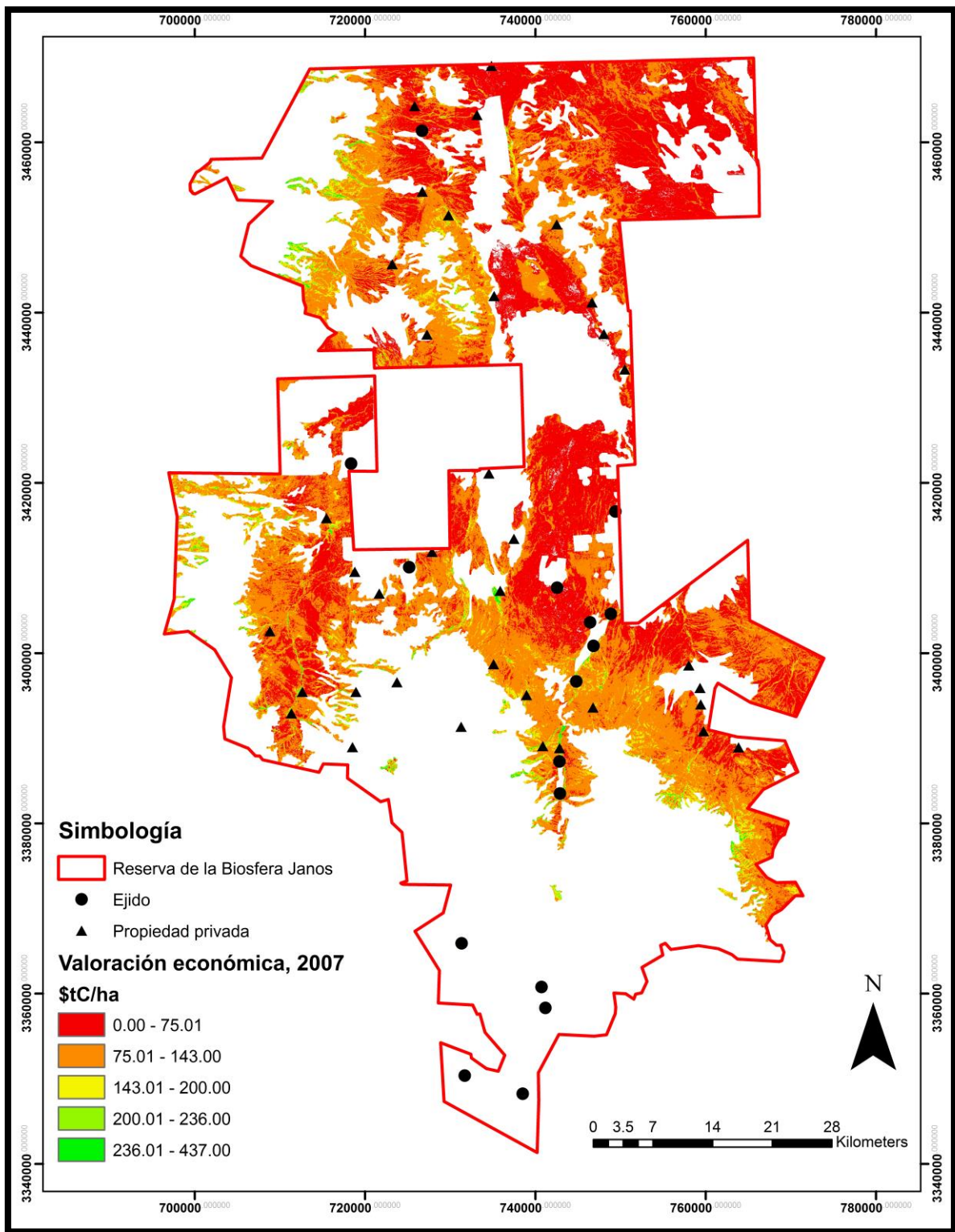
**Figura 2-5.** NDVI año 2007, escenario medio

Fuente: Elaboración propia



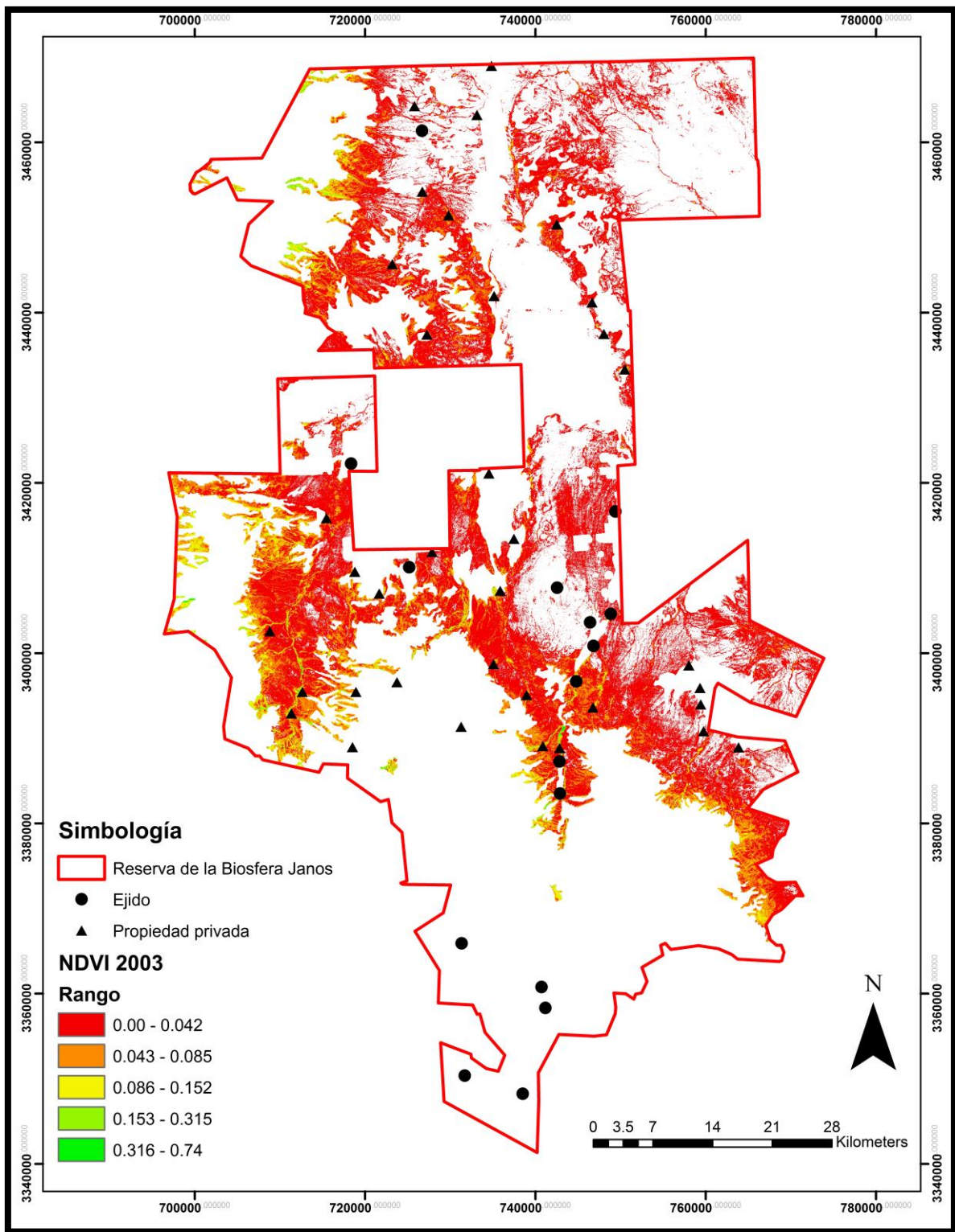
**Figura 2-6.** Captura de carbono por hectárea, escenario medio

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2-7.** Valoración económica de captura de carbono, escenario medio

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2-8.** NDVI año 2003, escenario bajo  
 Fuente: Elaboración propia

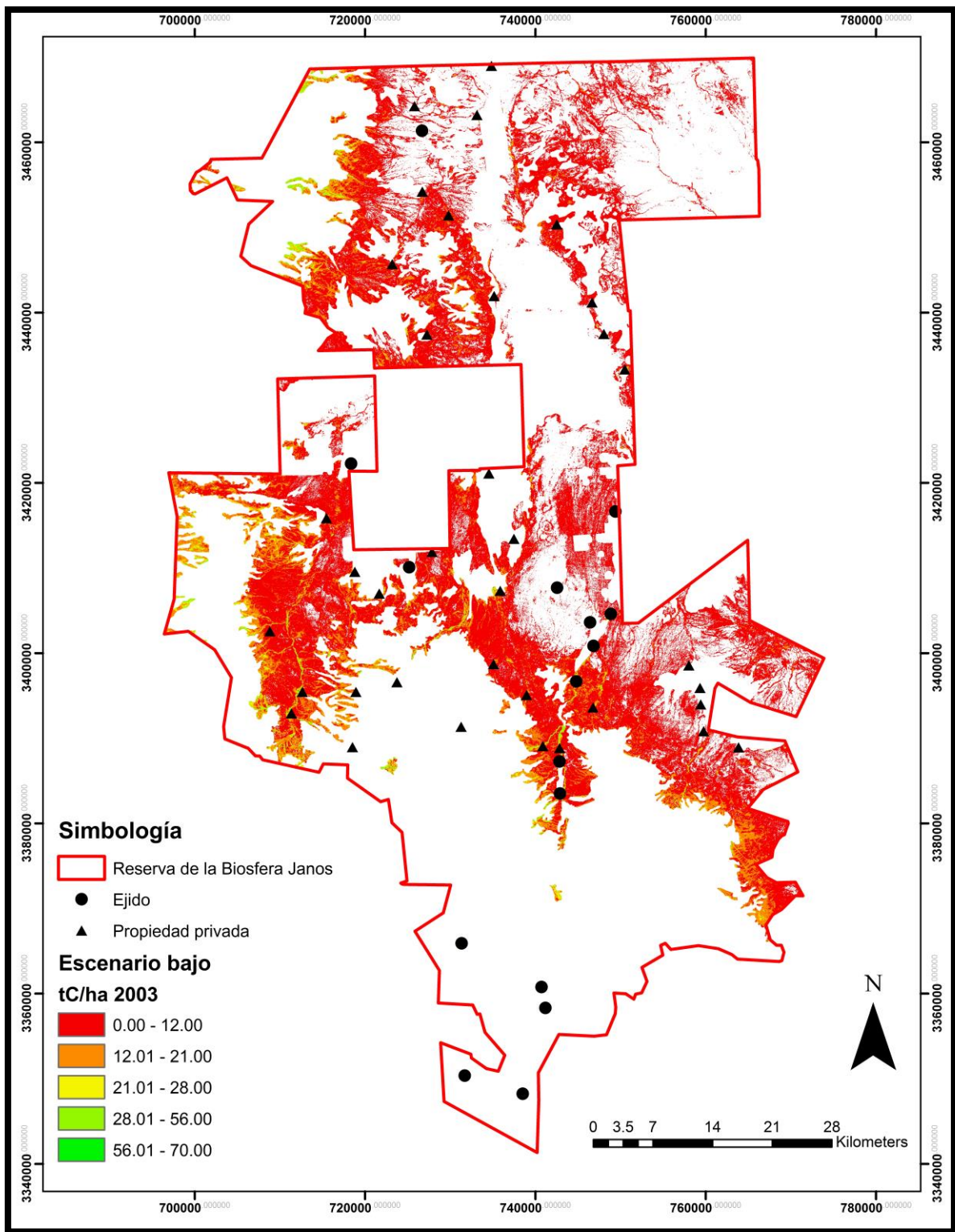
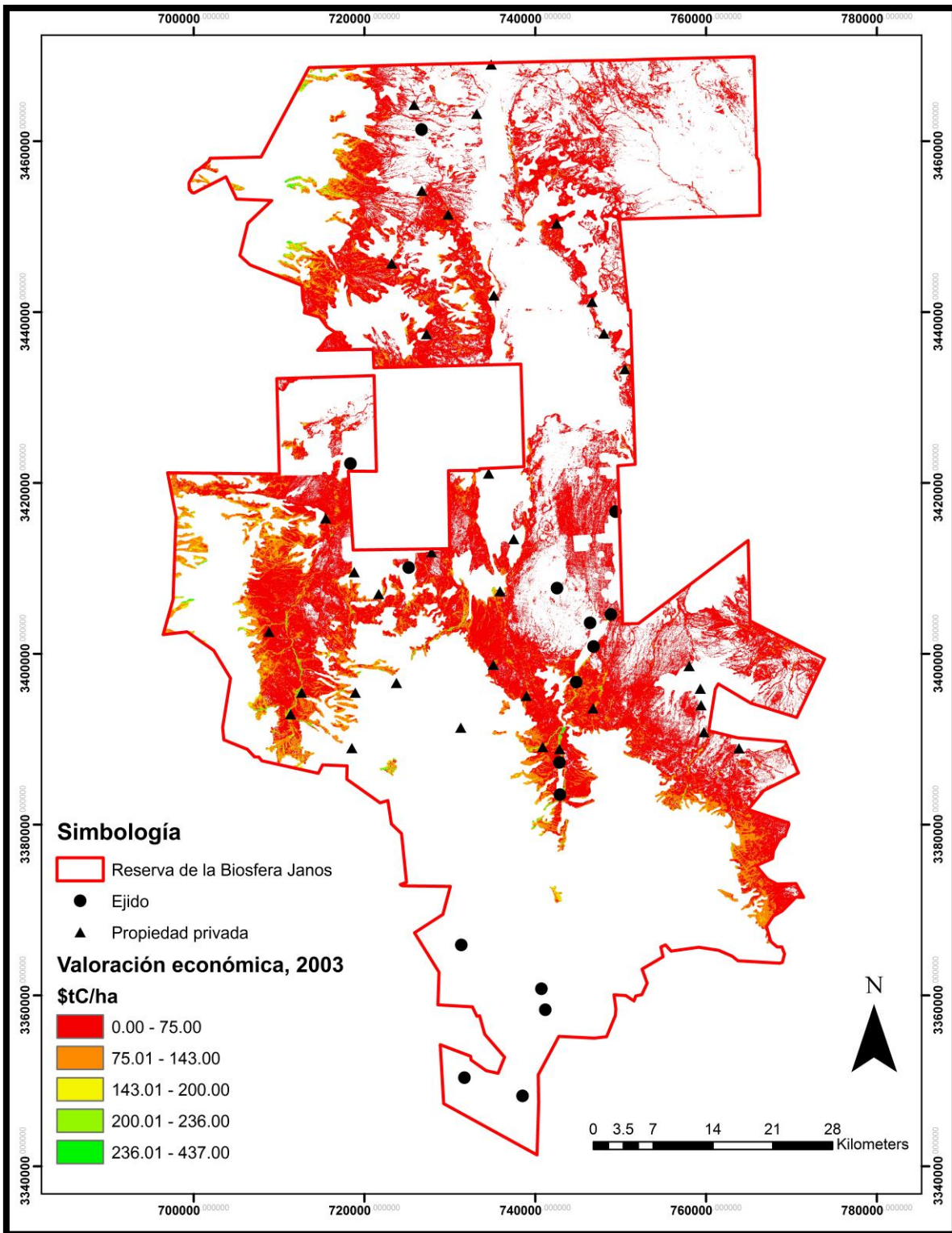


Figura 2-9. Captura de carbono por hectárea, escenario bajo

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2-10.** Valoración económica de captura de carbono, escenario bajo

Fuente: Elaboración propia

En el año 2012 el Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO), apoyó en el municipio de Janos a 787 personas para la producción de cultivos agrícolas entre los que destacan frijol, algodón y sorgo forrajero. La suma de la superficie apoyada fue de 15,391 ha con un importe que ascendió a \$14,975,040 pesos. Mientras que para la ganadería el apoyo del Programa de Estímulos a la Productividad Ganadera (PROGAN) ascendió a \$1,661,468 de pesos, es decir, nueve veces más apoyo para la agricultura que para la ganadería (SAGARPA, 2012).

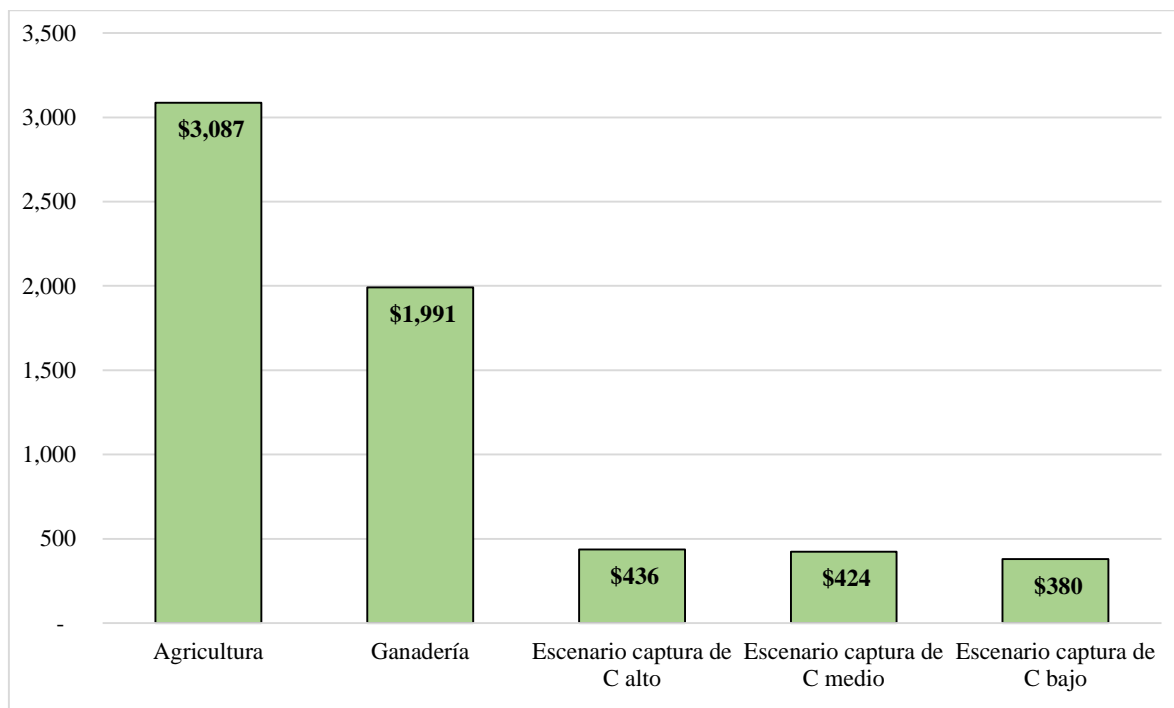
Ese mismo año se sembraron en Janos un total de 24,845 ha con un valor de 997.05 mdp, es decir, un beneficio de \$40,130 pesos o \$3,087 dólares por ha sembrada, mientras que el valor de la producción pecuaria fue de 284.66 mdp con un beneficio estimado de \$25,878 pesos por ha o \$1,991 dólares (SIAP, 2012).

La figura 2-11 muestra una comparación entre los beneficios económicos por ha de la agricultura, la ganadería y de los tres escenarios de captura de C. Los beneficios económicos por ha de la agricultura son 1.6 veces mayores que los de la ganadería, 7.1 veces superiores a la captura de C en el escenario alto, 7.3 veces superiores a los del escenario medio y 8.1 veces superiores a los del escenario bajo, incluso la suma de los beneficios de la ganadería y el escenario de captura de C alto son menores a los beneficios por la agricultura.

Es decir, el costo de oportunidad que plantea a los propietarios no hacer cambio de uso de suelo de pastizal a agricultura, o dejar de pastorear ganado para conseguir bonos de C es muy alto. Vázquez-González (2012) encontró que el costo de oportunidad de la agricultura de caña de azúcar en Veracruz era más alto que el de la ganadería, debido en parte a los enormes subsidios que tenía la caña de azúcar, situación que también ocurre en Janos, ya que la superficie subsidiada por PROCAMPO representa el 62% del total de la superficie sembrada.

El Censo de General de Población de 1950 se refería al estado de Chihuahua como un lugar de extensas llanuras de abundantes pastos, además de ser el mayor productor de ganado con más de un millón de cabezas de ganado bovino (Secretaría de Economía, 1950). Todo eso ha cambiado, en los últimos 40 años se ha impulsado la industria manufacturera, el

comercio y los servicios. Actualmente Chihuahua es el séptimo productor de carne de bovino del país (SIAP, 2013).



**Figura 2-11.** Comparación de beneficios económicos por ha de agricultura, ganadería y captura de C

Fuente: Elaboración propia

En Argentina, Rodríguez y Jacobo (2012) utilizaron el pastoreo controlado para revertir el deterioro de los pastizales y maximizar la eficiencia de producción, dicho método de pastoreo implica: división de potreros, descanso de pastoreo, minimización de la selectividad del pastoreo animal, control de tiempo de pastoreo y concentración de animales en rodeos numerosos.

Gerber *et al.* (2013), plantean que la inversión en la producción eficaz y la compensación a los pastores y criadores de ganado por la prestación de servicios ecosistémicos, puede producir beneficios sociales y ambientales en el caso de que se encuentren mecanismos de incentivos adecuados.

Además de las subvenciones de gobierno, el manejo de pastoreo y las compensaciones por prestación de servicios ecosistémicos, otra alternativa para mejorar los ingresos de los ganaderos es el creciente mercado en Estados Unidos de carne orgánica o grass-fed beef un mercado de carne de exportación ya consolidado en Argentina, Australia, Brasil, Nueva Zelanda y Uruguay (Xue *et al.*, 2010). Otra de las iniciativas que han tenido eco en Estados Unidos es Polyface Farm o granjas polifacéticas, que consiste en un sistema de producción sin pesticidas químicos y fertilizantes, y son un ejemplo de restauración de pastizales y agricultura sin dañar el medio ambiente (Simpson, 2014).

### 2.3.2 Indicadores de rentabilidad

En el estudio costo-beneficio, se estimaron dos tipos de costos: (1) iniciales que consisten en el establecimiento del programa, limpieza del área y seguro de gastos e inspección, los cuales ascienden a \$2,500 dólares por ha y (2) el costo de mantenimiento de los sumideros de C, el cual se estimó en \$5 dólares por ha anuales, esto de acuerdo O'Donnell *et al.* (2013). Considerando que en la RBJ la superficie promedio de pastizales en una propiedad es de 2,088 ha en pastizales, el costo inicial ascenderá a \$5'220,000 dólares y el costo de mantenimiento a \$10,440 dólares anuales.

Los beneficios consisten en el pago por captura de C a lo largo del horizonte de evaluación, para lo cual se tomó la cantidad estimada al mes de diciembre que corresponde a \$6.23 dólares por ha (Point Carbon, 2014), considerando una captura de 70tC/ha se tendrían beneficios anuales por \$910,577 dólares.

Los resultados (Cuadro 2-2) indican que en el escenario uno, el cual supone costos y beneficios constantes a lo largo de los 30 años los beneficios son 4.9 veces superiores a los costos, la TIR es cinco puntos porcentuales mayor que la tasa de descuento, en este escenario los beneficios empezarán 11 años después de iniciado el proyecto con un VPN de \$124,741.50 dólares y una TIR del 12.54%, al cabo de los 30 años la inversión se recuperaría en 4.2 veces (Anexo 1.1).

En el escenario dos los beneficios son 6.4 veces mayores que los costos y la TIR es cerca de siete puntos porcentuales mayor a la tasa de descuento, en este escenario que supone incrementos porcentuales sostenidos en los costos y beneficios, los beneficios comenzarían a partir del año diez de haber iniciado el proyecto en donde el VPN ascendería a \$227,378.03 dólares con una TIR del 13.02%, la inversión en dicho escenario se multiplicaría 5.9 veces (Anexo 1.2).

El escenario tres supone beneficios 5.7 mayores que los costos y una TIR superior seis puntos porcentuales a la tasa de descuento, y unos beneficios que comenzarían en el año 11 años después de iniciado el proyecto, en el cual el flujo de efectivo comenzaría con un VPN de \$280,256.77 y una TIR del 13.20%, al final del horizonte de evaluación la inversión se habría recuperado en 5.1 veces (Anexo 1.3).

Los resultados indican que el escenario dos es el más rentable, sin embargo, es más probable que suceda el tercer escenario, ya que se ajusta a las metas de inflación establecidas y al comportamiento errático del precio de la tC/ha

**Cuadro 2-2.** Resumen de indicadores de rentabilidad financiera en la Reserva de la Biosfera Janos

Indicadores de rentabilidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Valor Actual de los Beneficios (VAB)	\$27,317,304	\$36,367,990	\$32,171,544
Valor Actual de los Costos (VAC)	5,533,200	5,669,681	5,627,790
Valor Presente Neto (VPN)	21,784,104	30,698,309	26,543,754
Tasa Interna de Retorno (TIR)	17.09%	18.97%	18.05%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a Tennigkeit y Wilkes (2008), los pocos estudios existentes acerca de la viabilidad económica de la captura de C en pastizales, sugieren que los altos costos iniciales podrían requerir subsidios y que los cambios en los precios de la tC pueden mermar seriamente la rentabilidad del proyecto. Sin embargo, a pesar de los altos costos iniciales que supone el proyecto el hecho de poder cuadruplicar o quintuplicar la inversión es un fuerte incentivo ya que si se compara con el rendimiento que podría obtener en una inversión a 30

años con tasa de CETES del 3.48% anual (INBURSA, 2014), al cabo de 30 años una inversión de \$5,220,000 dólares se convertirían en \$14,076,889, es decir, se multiplicaría la inversión en 2.7 veces.

### 2.3.3 Análisis de sensibilidad financiera

Los resultados (Cuadro 2-3) indican que el escenario uno es el más sensible a la disminución de beneficios, soportando solamente una disminución del 10% en los beneficios, es decir, que el monto de captura de C sea de 63tC/ha con un precio de 5.61 dólares a lo largo del horizonte de evaluación, en este punto los beneficios comenzarían 18 años después de haber iniciado la inversión, sin embargo, al final del horizonte de evaluación la inversión se multiplicaría 3.2 veces (Anexo 1.4).

**Cuadro 2-3.** Análisis de sensibilidad financiera ante disminución porcentual de los beneficios

Disminución de los beneficios	Escenario 1, VPN	Escenario 1, TIR	Escenario 2, VPN	Escenario 2, TIR	Escenario 3, VPN	Escenario 3, TIR
-10%	\$16,593,816	13.63%	\$23,788,391	15.50%	\$20,431,161	14.60%
-15%	14,203,552	11.99	20,606,192	13.85	17,616,151	12.97
-20%	11,949,875	10.40	17,605,833	12.26	14,961,998	11.39
-25%	9,832,783	8.86	14,787,314	10.70	12,468,704	9.85

Fuente: Elaboración propia

El escenario dos puede soportar una disminución en los beneficios hasta del 20% sin que la rentabilidad del proyecto sea afectada, en este punto la captura de C es de 56t/ha y los precios varían entre 4.98 y 8.60 dólares por tC, en dicho escenario los beneficios comenzarían 27 años después de iniciado el proyecto y el VPN final es 3.4 veces mayor que el costo inicial (Anexo 1.5).

Finalmente el escenario tres puede soportar cambios de hasta el 15% en los beneficios, es decir, la captura de C pasaría de 63 t/ha a 59.50t/ha y los precios oscilarían entre 5.20 y 7.36 dólares por tC anuales, mientras que la recuperación de la inversión tardaría 22 años y la inversión se multiplicaría 3.4 veces (Anexo 1.6).

El análisis de sensibilidad financiera indica que ante el aumento de los costos iniciales y de mantenimiento (Cuadro 2-4), el primer escenario puede soportar variaciones hasta del 35% en los costos, es decir, una TIR del 12.33%, en dicho escenario el costo inicial pasa de \$2,500 a \$3,375 dólares por ha y el costo de mantenimiento asciende a \$6.75 dólares y se mantiene así a lo largo del horizonte de evaluación. La recuperación de la inversión tardaría 26 años y al final de los 30 años la inversión se multiplicaría en 2.8 veces (Anexo 1.7)

**Cuadro 2-4.** Análisis de sensibilidad financiera ante aumento porcentual en los costos

Aumento de los costos	Escenario 1, VPN	Escenario 1, TIR	Escenario 2, VPN	Escenario 2, TIR	Escenario 3, VPN	Escenario 3, TIR
35%	\$19,847,484	12.33%	\$28,713,921	14.20%	\$24,574,028	13.31%
40%	19,294,164	11.83	28,430,437	13.69	24,292,638	12.81
45%	19,294,164	11.36	28,146,953	13.22	24,011,249	12.34
50%	19,017,504	10.92	27,863,469	12.78	23,729,859	11.90
55%	18,740,844	10.50	27,579,985	12.36	23,448,470	11.49
60%	18,464,184	10.11	27,318,985	11.97	23,167,080	11.09

Fuente: Elaboración propia

En el escenario dos implica beneficios crecientes del 1.9% en el precio de la tC/ha, la cual al inicio del horizonte de evaluación sería de \$6.23 dólares y al final de \$10.75 dólares por tC/ha, y aumentos paulatinos en los costos de inversión y mantenimiento. El análisis de sensibilidad indica que la recuperación de la inversión tardaría 26 años y que los costos pueden aumentar en un 55% y el proyecto aún seguiría siendo rentable con una TIR del 12.36%. En dicho escenario la inversión se multiplica 3.4 veces (Anexo 1.8).

El escenario tres, soporta un aumento hasta del 45% en los costos, es decir, que los costos iniciales pasen de \$2,500 a \$3,625 dólares por ha y los costos de mantenimiento lleguen hasta \$12.12 dólares por ha anuales, en este punto la recuperación de la inversión al igual que en el escenario dos, llegaría hasta el año 26 después de haber iniciado el proyecto, pero la inversión se multiplicaría 3.2 veces (Anexo 1.9).

Dentro del estudio del mercado de C en pastizales, una cuestión comúnmente ignorada es la disponibilidad de los propietarios de pastizales en participar en pagos por secuestro de C. En una serie de entrevistas realizado por Cook y Ma (2014) a propietarios

privados de pastizales en el estado de Utah, Estados Unidos, encontraron que sólo el 37% de los propietarios estarían dispuestos a participar en dichos programas. Concluyeron que, aunque la educación y la divulgación se consideran importantes herramientas para la promoción de la conservación, se requieren esfuerzos especiales para desarrollar estrategias innovadoras que permitan comunicar el concepto de captura de C. En el caso de México no se ha explorado la disponibilidad de los propietarios de pastizales para participar en proyectos de captura de C.

De acuerdo a Ritten *et al.* (2012) la existencia de intercambios voluntarios proporciona a los administradores de grandes pastizales, una oportunidad de mercado potencial para secuestrar C. Sin embargo, para propietarios de tierras comunales sin claros derechos de propiedad o de acceso, la tenencia de la tierra puede plantear serios problemas a las prácticas de retención del C en los pastizales (Gerber *et al.*, 2013).

Puede suceder que los grandes propietarios de tierra sean los beneficiados en programas de captura de C debido a su solvencia económica o su capacidad de obtener créditos que puedan financiar el costo inicial. Empero, si los costos aumentan un 55% o los beneficios disminuyen 20% el proyecto en el mejor de los escenarios no es rentable. Cabe señalar que un aumento de tal magnitud en los costos es poco probable, pero un escenario en que la captura de C disminuya un 20%, es decir, que pase de 70tC/ha a 56tC/ha es bastante factible debido a los cambios en la precipitación.

## 2.4 Conclusiones

Existen varias cuestiones que afectan la viabilidad económica de la captura de C en pastizales: (1) El costo de gestión de pastizales que consiste en el ajuste de carga animal, resiembra de pastizales y restauración de pastizales degradados, mismo que puede representar un alto porcentaje en los ingresos potenciales por captura de C. (2) La variabilidad del precio de tC/ha, lo cual se puede traducir en pérdidas económicas si el precio llegara a ser más bajo que el costo de gestión o si ocurre otro colapso del mercado como en el año 2010 cuando el precio de tC disminuyó un 93%. (3) La estructura volátil del mercado voluntario y (4) Los aspectos meteorológicos, quizás la variable más importante ya que es lo que determina la vigorosidad de la vegetación, y por ende, la capacidad de captura de C.

Los resultados del análisis costo- beneficio indican que se pueden obtener hasta \$436 dólares tC/ha, suponiendo una superficie promedio 2,088 ha el ingreso anual por concepto de captura de C puede ascender hasta \$910,577 dólares anualmente, considerando una inversión inicial de \$5,220,000 dólares y una tasa de descuento del 12% anual, la inversión se recuperaría en 11 años y al final de 30 años se tendrían beneficios por más de 30 millones de dólares, es decir, casi seis veces la inversión inicial.

En el análisis de sensibilidad se encontró una menor elasticidad de los beneficios respecto a los costos, es decir, si la captura de C y el precio de la tonelada de C disminuyen un 20%, el proyecto no es económicamente rentable, mientras que los costos pueden incrementarse un 55% y aún conservar rentabilidad económica.

Esto implica que si los dueños de pastizales no alcanzan una meta de captura mínima de 56 tC/ha anuales no tendrían oportunidad de participar en los mercados de C. Considerando que el promedio de captura en la RBJ oscila entre las 14 y 24 tC/ha anuales, muy pocos propietarios podrían beneficiarse de este mercado, aunado a esto se sabe que los pastizales en mejores condiciones son los privados, entonces cabe la posibilidad de que los únicos que puedan alcanzar dichos montos de captura y solventar fuertes inversiones iniciales sean los propietarios privados.

Sin embargo, los ejidatarios podrían manejar sus pastizales de forma eficiente, obtener subsidios para enfrentar los costos iniciales o como indican Gerber *et al.* (2013), obtener una compensación por la prestación de servicios ecosistémicos en pastizales, los cuales se pueden traducir tanto en beneficios económicos como sociales. En este caso, resalta la importancia de los servicios ecosistémicos prestados en la RBJ, como la captura y almacenamiento de agua, captura de C y el servicio de hábitat para especies como el perrito llanero (*Cynomys ludovicianus*), el águila real (*Aquila chrysaetos*) el bison americano (*Bison bison*) entre otras especies (CONANP, 2006).

Los programas de apoyo de la SAGARPA sugieren que el estado ha impulsado la agricultura por encima de la ganadería fomentando así el cambio de uso de suelo y la explotación del acuífero de Janos, favoreciendo además a los propietarios privados ya que son dueños de la mayor parte de la RBJ y de tierras de cultivo. Lo anterior abre una interrogante, ¿por qué subsidiar la principal actividad económica relacionada al deterioro de los acuíferos?

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, menciona el fomento e impulso de tres sectores estratégicos para la economía: minería, agricultura y turismo (Gobierno de la República, 2013). Por lo tanto, el impulso a la agricultura por encima de la ganadería en un estado eminentemente ganadero, puede ser resultado de las políticas federales uniformes y no diferenciadas.

### **3. Efectos del manejo de pastoreo en la captura de carbono en pastizales naturales**

#### **Resumen**

El pastoralismo es practicado por más de 100 millones de personas en 100 países, aporta beneficios tanto económicos como ecológicos, empero, la forma de manejo del pastoreo afecta significativamente en servicios como la captura de C, la captura y el almacenamiento de agua y el hábitat para especies. En el presente capítulo se exponen los métodos de pastoreo continuo, rotativo y manejo holístico y se analiza su influencia en el potencial de captura de C en suelo. Se encontró que el pastoreo continuo tiene una media de captura de 30t/Cha mientras que en el pastoreo rotativo la captura es de 51tC/ha y pastizales con manejo holístico pueden capturar hasta 80tC/ha.

#### **3.1 Introducción**

El sistema de uso del suelo más extendido en las tierras áridas es el pastoralismo, el cual se define como la producción extensiva de ganado en pastizales y que depende de una diversidad de hierbas y arbustos como principales insumos productivos (Blench, 2001). Es practicado en más de 100 países por más de 100 millones de personas, los sistemas pastoriles son muy heterogéneos, pero tienen una particularidad en común; la movilidad del ganado como un instrumento de adaptación a las condiciones ecológicas que los rodean (UICN, 2011).

El pastoralismo recibe cada vez más atención por los beneficios ambientales que genera para los pastizales y los ecosistemas de montaña. Un número cada vez mayor de países está asignando recursos para compensar a los pastores por los servicios ecosistémicos del pastoralismo (Rodríguez, 2008).

A pesar de la subsistencia del pastoralismo a lo largo del tiempo, hoy en día se enfrenta a grandes dificultades debido al deterioro de los pastizales alrededor del mundo, tanto por efectos climáticos como antrópicos. Recientemente se ha puesto énfasis a los efectos de la sedentarización del ganado, sin embargo, aún faltan por debatir los efectos de las decisiones sobre la tenencia de la tierra (Weber y Hotst, 2011).

La investigación sobre los métodos de pastoreo se ha centrado principalmente en la comparación de los métodos de pastoreo continuo y pastoreo rotativo (Laca, 2009), mientras que los efectos de dichos métodos en la emisión de GEI o captura de CO<sub>2</sub> son poco estudiados.

Existe una relación directa entre las intensidades de emisión de GEI y la eficacia con que los productores utilizan los recursos naturales. Para los sistemas de producción pecuarios, las emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los tres principales GEI emitidos por el sector, son pérdidas de nitrógeno (N), energía y materia orgánica que merman la eficacia y productividad. De ahí que las posibles intervenciones para reducir las emisiones se basen, en gran medida, en tecnologías y prácticas que mejoran la eficacia de la producción a nivel de los animales y el hato (Gerber *et al.*, 2013).

Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión de combustibles fósiles se considera la solución definitiva para la mitigación del cambio climático. Lo cual puede ser un proceso lento y difícil, debido al patrón de consumo de energía cambiante de la sociedad. Se necesitan estrategias alternativas para proteger los sumideros de C existentes y explorar nuevas oportunidades para aumentar la captura de C más allá de los niveles actuales. Uno de los medios para lograr estos objetivos es a través de una mejor gestión de los pastizales (Ma y Coppock, 2012).

Chan y Bowman (1995) demostraron que aunque los pastizales se encuentren deteriorados, o sean sujetos a pastoreo controlado, tienen niveles de C más alto que las tierras de cultivo. Smith *et al.* (2007) encontraron que la gestión mejorada de los pastizales tiene potencial biofísico para secuestrar entre 1,300 y 2,000 Mt CO<sub>2</sub> eq hasta el año 2030.

Debido a que el secuestro de C en pastizales es un campo de estudio relativamente nuevo, los científicos han comenzado a evaluar las prácticas de manejo de pastizales y sus efectos sobre el C, sin embargo, la poca información existente sobre los efectos a largo plazo de las prácticas de manejo, limita la toma de decisiones (Diaz *et al.*, 2009).

Los resultados del Capítulo I y II demostraron que la capacidad de captura de C depende de las condiciones de los pastizales, las cuales a su vez dependen en gran medida del sistema de pastoreo. Por lo tanto, el objetivo del presente capítulo es exponer los métodos de pastoreo continuo, rotativo y holístico y relacionarlos con la eficacia en la captura de C en pastizales. Esto es porque, si en un futuro se abren mercados C en México, es importante determinar cuáles métodos de manejo son más apropiados para la captura.

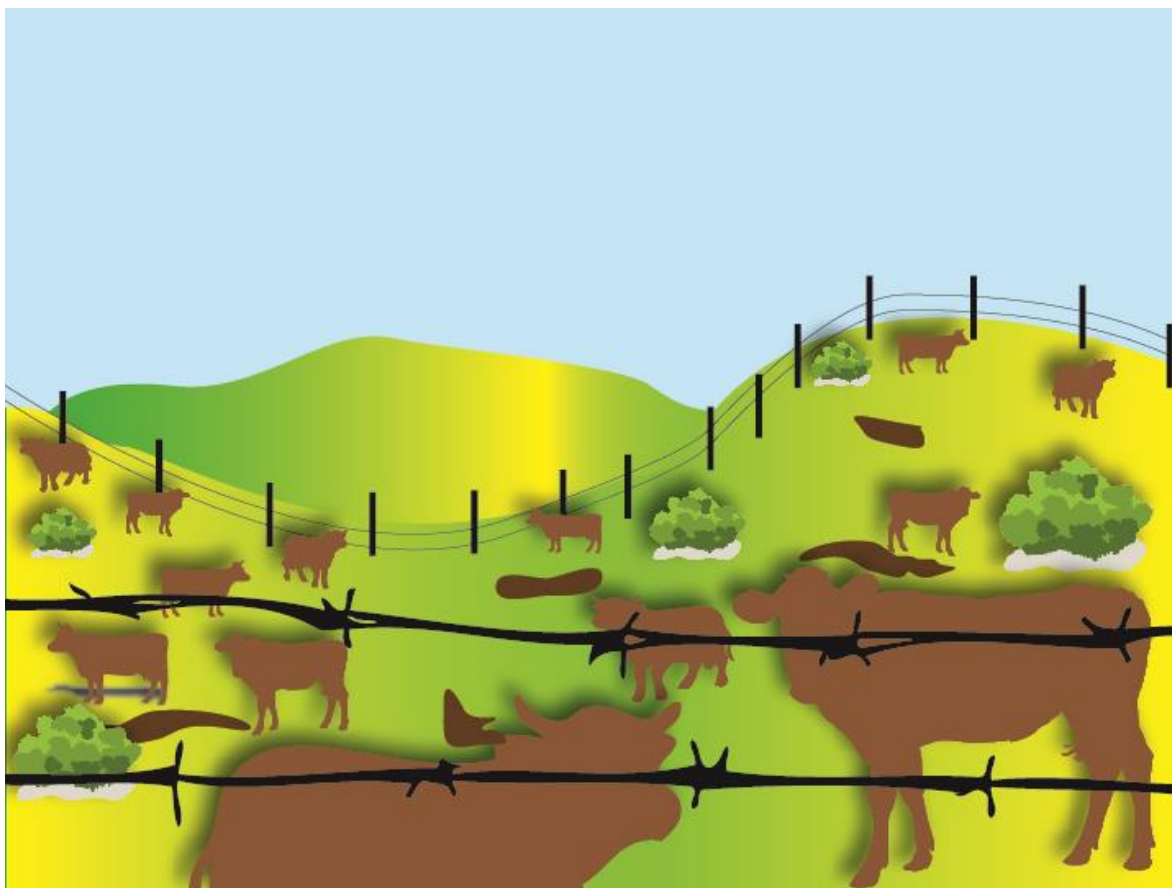
### **3.1.2 Manejo de pastizales**

La ciencia de manejo de pastizales surgió a principios del siglo XX en Estados Unidos, con la creación de campos experimentales para el estudio de pastizales y la primera licenciatura en manejo de pastizales en 1916. En México el primer curso formal sobre manejo de pastizales se dictó en 1952, y en 1957 fue creado el rancho experimental La Campana con el fin de desarrollar investigación acerca de la capacidad de carga ganadera, la alimentación suplementaria y el control de plagas (Luna *et al.*, 1985).

De acuerdo a Jones (2010), las prácticas de manejo de pastizal influyen directamente en el potencial de captura de C. Además el manejo de los pastizales tiene implicaciones tanto ecológicas, como económicas, políticas y sociales, ya que a medida que la población crece y los recursos naturales disminuyen, incrementan las presiones sobre el manejo de los recursos. En años recientes los pastizales han tenido un renovado interés como aliados ante el cambio climático. A continuación se describen tres métodos de manejo de pastizales, así como sus principales ventajas y desventajas.

### 3.1.2.1 Pastoreo continuo

En este sistema, el ganado es colocado en una unidad de pastizal y permanece en ella durante todo el año, de tal manera que la carga animal determina la intensidad de uso del pastizal (Fig. 3-1). La principal desventaja de este método es que el ganado selecciona las especies más palatables, lo cual trae como consecuencia un sobrepastoreo localizado en manchones (Berlijn, 2013).



**Figura 3-1.** Pastoreo continuo

Fuente: Elaboración propia

Los científicos y manejadores de pastizales coinciden en que la carga animal es la variable más crítica el manejo del pastoreo continuo. La ventaja de este método es la facilidad de su aplicación ya que exige insumos mínimos, sin embargo, la incapacidad de los gestores

para proyectar la producción de forraje anual y relacionarla con la capacidad de carga ha sido una limitación importante de gestión (Kothmann *et al.*, 2009).

El sobrepastoreo y el pisoteo excesivo impiden muchas veces el buen desarrollo y la reproducción de las especies más nutritivas y apetecidas por el ganado, propiciando el establecimiento de plantas que los animales no comen y que a menudo son venenosas y con frecuencia reducen también la cobertura del suelo, exponiéndolo a los efectos de la erosión (Rzedowski, 2006).

El pastoreo continuo conduce a cambios en la vegetación, como sustitución de pastos palatables por especies leñosas, menor biomasa y reducción de cobertura basal. Lo que a su vez provoca disminución de cantidad y calidad de forraje, aceleración de la erosión del suelo y a un declive irreversible de la producción animal (Vetter, 2005).

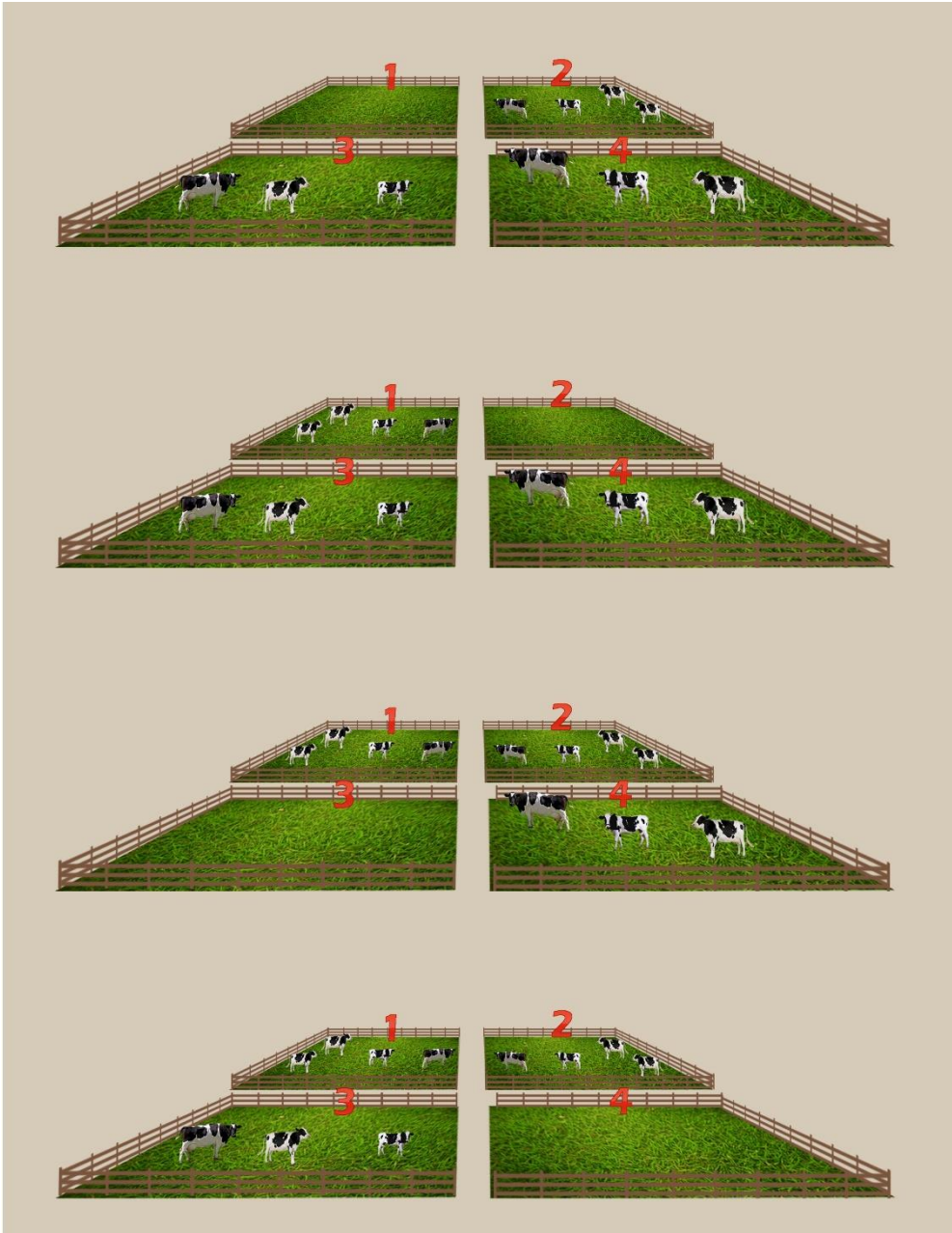
De acuerdo a Rodríguez y Jacobo (2012) el pastoreo continuo causa el deterioro de pastizales, tanto en la distribución estacional, en la accesibilidad y en la calidad de la oferta de forraje como en la diversidad de su flora y fauna autóctona y en las propiedades físicas y químicas de los suelos.

#### *3.1.2.2 Manejo rotativo*

El manejo rotativo o rotacional es un esquema de pastoreo en donde existe un movimiento animal entre dos o más sub unidades de pastizal, de tal manera que se alternan los periodos de pastoreo y de descanso (Society for Range Management, 1998). Para ello es necesario efectuar una rotación de los animales, de tal manera que el tiempo y la época de descanso coincidan con el periodo de crecimiento fisiológico de la vegetación. Teague *et al.* (2008), mencionan que el manejo rotativo puede reducir costos, aumentar la disponibilidad de forraje, permitir la recuperación de la vegetación y reducir el pastoreo en parches

Un ejemplo de pastoreo rotativo es el pastoreo de cuatro pasturas (Fig. 3-2) en donde se divide el pastizal en cuatro potreros de similar capacidad de producción de forraje y la

carga ganadera se coloca en tres de las cuatro unidades por cuatro meses y va rotando de tal manera que siempre exista una unidad en descanso (Berlijn, 2013).



**Figura 3-2.** Pastoreo rotacional

Fuente: Elaboración propia

El pastoreo rotativo fue un componente de la respuesta institucional y científica a la severa degradación de pastizales que ocurrió a comienzos del siglo XX, y desde entonces se ha transformado en la norma profesional para el manejo del pastoreo. Quienes manejan el pastoreo han encontrado que los sistemas rotativos pueden facilitar el logro de objetivos de manejo diversos, pero los experimentos científicos han demostrado que los sistemas de pastoreo no necesariamente contribuyen al logro de objetivos ecológicos específicos debido a las distintas métricas que se utilizan para definir el éxito de dicho método (Briske *et al.*, 2011).

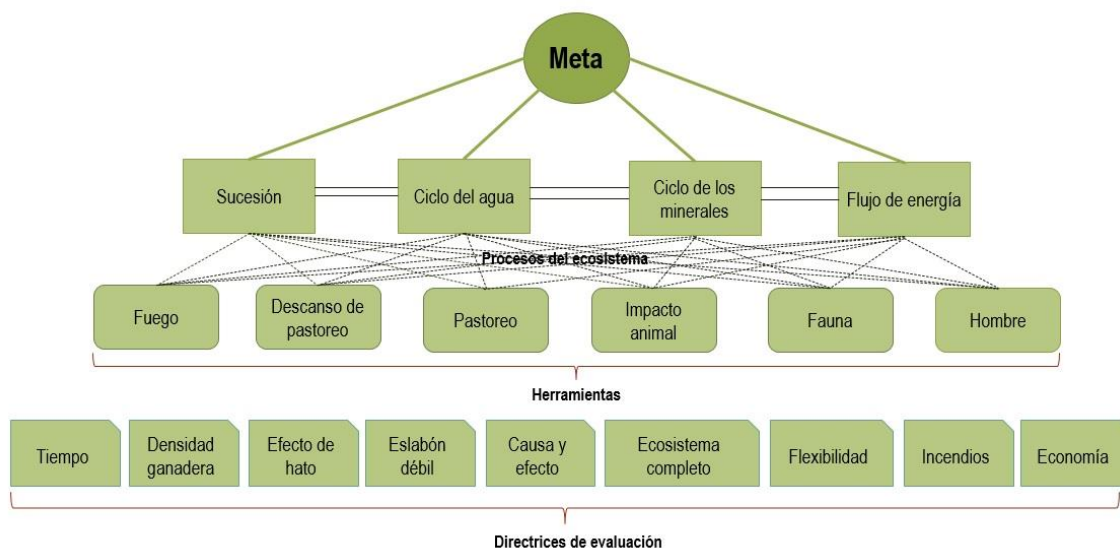
La principal crítica al manejo rotativo es que hace falta evidencia experimental que demuestre que el manejo rotativo es un medio para mejorar sustancialmente la producción de forraje, ya que existen cuestiones como el suelo, el clima y la historia de pastoreo que intervienen en la misma (Brown y Kothmann, 2009).

### 3.1.2.3 Manejo holístico

El manejo holístico consiste en restaurar los pastizales mediante la imitación de la naturaleza, el proceso implica el restablecimiento de las relaciones evolutivas entre el pastoreo de animales y sus hábitats, mejorando así la salud de los ecosistemas y aumentando su rentabilidad, Allan Savory (creador del manejo holístico) observó en Zimbabue, África que las manadas de herbívoros a lo largo de su trayecto jamás degradaron el ambiente, esto porque existían depredadores que los mantenían en movimiento, mientras que el pastoreo continuo mantiene a los animales relajados permitiendo seleccionar los pastos más palatables (Savory Institute, 2013).

El manejo holístico es un método para hacer las técnicas de manejo de pastizales convencionales económicamente sanas donde estaban económicamente erróneas. Un plan de manejo holístico (Fig. 3-3), consiste en fomentar prácticas agrícolas sostenibles, mejorar la condición de los animales y las tasas de crecimiento del ganado, reducir el extravío de los animales y los robos, contar con un suministro adecuado de carne y leche, promover los

intereses económicos y sociales de los miembros e intercambiar información entre la comunidad (Savory, 1983).



**Figura 3-3.** Modelo de manejo holístico

Fuente: Savory (1983)

El método Savory descansa en tres premisas fundamentales: (1) lograr un pastizal económicamente rentable, (2) ecológicamente sostenible y (3) familiarmente aceptable. De acuerdo a McLachlan y Yestrau (2009) el pastoreo holístico es llevado a cabo en 12 millones de ha alrededor del mundo, y representa un marco para la toma de decisiones que hace hincapié en la interdependencia del bienestar ambiental, económico y social.

Dentro de los beneficios del manejo holístico se pueden distinguir principalmente cinco de ellos: (1) beneficios sociales, consiste en la reducción de conflictos en la comunidad y la mejora de la cohesión social, (2) beneficios económicos, derivados del incremento en la productividad del ganado, (3) beneficios ambientales, incremento en la conservación de árboles y de otras formas de biodiversidad, menor erosión del suelo, mayor cobertura vegetal y conservación de agua, (4) beneficios institucionales, que consiste en aplicar esquemas de ordenamiento territorial con el objetivo de planificar el sistema de pastoreo, en el cual se

involucra toda la comunidad y (5) seguridad alimentaria, las comunidades que aplican el sistema holístico, generalmente tienen una producción sostenible de sus cultivos y mayor diversificación (Gadzirayi *et al.*, 2007).

La crítica al método holístico radica básicamente en la excesiva carga animal y en la generalización de las prácticas, de acuerdo a Briske *et al.* (2013), los pastizales se están desertificando no sólo por ser mal gestionados, ya que existen pastizales bien manejados que presentan degradación y desertificación como una consecuencia de factores que están cambiando como son el clima y el suelo.

### **3.2 Metodología**

Para determinar cómo influyen los métodos de manejo en la captura de C en pastizales, se realizó una consulta de artículos publicados a partir del año 2000 a través de las bases de datos de BioOne, Elsevier y Springer. La búsqueda utilizó las palabras clave: rangeland management, continuous grazing, rotational grazing, holistic management y carbon sequester.

Los artículos seleccionados fueron aquellos que cumplieran con los siguientes criterios: que fueran resultados de un experimento en un sitio específico bajo un modelo de manejo, que tuvieran resultados de captura en suelo a una profundidad mayor de 15 cm y que incluyeran datos sobre precipitación.

Se encontraron 17 artículos con los criterios definidos, de los cuales cuatro corresponden a comparaciones de un mismo sitio entre el manejo continuo y el rotativo, y un artículo que compara el manejo rotativo y el holístico (Cuadro 3-1). De estos, siete corresponden a pastizales de Estados Unidos, la mayor parte en zonas de reserva, dos a pastizales de China y para el resto de los países del mundo, solo se encontró un artículo.

**Cuadro 3-1.** Régimen de manejo, condiciones ambientales y captura de C en pastizales, compilación de varios autores.

Lugar	Elevación msnm	Precipitación mm	Temperatura media anual	Profundidad cm	Régimen de manejo	tC/ha anuales	Condición de pastizal	Autor
Maitén, Argentina	780	424	6	15	Continuo	45		Nosetto et al.,2006
High Plains Grasslands Research Station (Wyoming), Estados Unidos	1950	425		30	Continuo	43		Ingram et al., 2008
Alberta, Canadá	1370	480	14.7	30	Continuo	40	Buena	Henderson et al., 2004
High Plains Grasslands Research Station (Wyoming), Estados Unidos	1930	380	18	40	Continuo	35		Chimner y Welker, 2011
Thaba Nchu, Sudáfrica	1500	553		20	Continuo	35		Kotzé et al., 2013
Água Boa (Mato Grosso), Brasil		1950	25.2	30	Continuo	33	Degradado	Maia et al., 2009
Naiman County of Inner Mongolia, China	385	366	6.8	20	Continuo	27		Chen et al., 2012
Franbrook Farm (Wisconsin), Estados Unidos	320	583	22	15	Continuo	24		Oates y Jackson, 2014
Los llanos de Ojuelos (Jalisco), México	2200	380	18	15	Continuo	12	Degradado	Medina-Roldán et al., 2008
Kordofán, Sudán		200		20	Continuo	8	Degradado	Olsson y Ardö, 2002
O'Neal Ecological Reserve (Idaho), Estados Unidos	1427	380		24	Holístico	80	Buena	Weber y Gokhale, 2011
Xilin Gol, China	1200	345	1.1	20	Rotativo	72	Excelente	He et al., 2008
O'Neal Ecological Reserve (Idaho), Estados Unidos	1427	380		24	Rotativo	69	Buena	Weber y Gokhale, 2011
Tallgrass Praire National Reserve (Kansas), Estados Unidos	324	520	20	30	Rotativo	60	Buena	Owensby et al., 2006
High Plains Grasslands Research Station (Wyoming), Estados Unidos	1950	425		30	Rotativo	54		Ingram et al., 2008
Deiraman, Irán	1300	1173	12.17	20	Rotativo	51	Buena	Falahatkar et al.,2014
The Great Basin Experimental Range (Utah), Estados Unidos		637	13.2	15	Rotativo	50		Gill, 2007
High Plains Grasslands Research Station (Wyoming), Estados Unidos	1930	380	18	40	Rotativo	50		Chimner y Welker, 2011
Thaba Nchu, Sudáfrica	1500	553		20	Rotativo	48		Kotzé et al., 2013
Gainesville (Florida), Estados Unidos		1238		20	Rotativo	41		Silveira et al., 2013
Jutlandia, Dinamarca		770	7.7	20	Rotativo	12	Degradado	Acharya et al., 2012

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Resultados y discusión

Los pastizales cobran importancia en el estudio sobre el cambio climático debido su gran extensión y capacidad de retención de C en suelo, sin embargo, gran parte de las tierras de pastizales se encuentran degradados por lo cual el manejo de los mismos es de suma importancia. Dentro de las principales soluciones utilizadas en el manejo de pastizales destacan el ajuste de intensidad, frecuencia y estacionalidad en el pastoreo, así como el uso del fuego para el control de las especies leñosas (FAO, 2002).

Oats y Jackson (2014) mencionan que el manejo del pastoreo puede tener impactos significativamente distintos en acumulación de C, mientras que en pastizales con manejo continuo la Productividad Primaria Neta (PPN) oscila entre 700 y 900 g/m<sup>2</sup> al año y en pastizales con manejo rotacional oscila entre 1,100 y 1,300.

La movilidad del ganado se ha reemplazado con el confinamiento, lo cual ha sido perjudicial, tanto en términos económicos como ambientales. Al cambiar de un modelo de desarrollo móvil, de mucho trabajo a un modelo sedentario, de alta inversión de capital, los gobiernos han debilitado la aplicación de los conocimientos locales que tradicionalmente han posibilitado la gestión sostenible de los pastizales (Davies *et al.*, 2012).

Lo anterior resalta la importancia de rescatar las prácticas ancestrales que no dañaban el ambiente, en este sentido el Savory Institute (2013) menciona que el manejo holístico puede revertir la tendencia de los pastizales gravemente degradados mediante el manejo del ganado, y así contribuir a que sigan brindando servicios ecosistémicos como captación de agua, el hábitat para especies y como reservorios de C.

Mientras que Krausman *et al.* (2009) encontraron que el pastoreo continuo no es universalmente “malo o bueno” sino que tiene efectos positivos y negativos en función del tiempo e intensidad de pastoreo, el suelo y las condiciones climáticas.

Los resultados que se concentran en el cuadro 3-1 muestran que en diferentes partes del mundo el pastoreo rotativo es más eficaz en la captura de C que el pastoreo continuo. Curiosamente en los sitios con menor precipitación predomina el manejo continuo, lo cual puede agravar el problema ya que dicho método conduce en mayor medida a la deforestación, debido al pastoreo selectivo del ganado.

La media de captura de C en suelo con manejo rotativo fue de 51 tC/ha mientras que el dato mínimo fue de 12 tC/ha que corresponden a un pastizal degradado, y el dato máximo de 72 tC/ha corresponde a un pastizal en excelentes condiciones en China. En los pastizales con una precipitación mayor a 600 mm anuales la captura promedio es de 38.5 tC/ha, mientras que en sitios con precipitación menor a 600 mm el promedio fue de 59 tC/ha.

De acuerdo a la literatura revisada, la diferencia en la captura se debe a que los pastizales con temperaturas >600 mm se encontraban en condiciones que iban de degradados a buenos, mientras que los <600 mm se refieren a pastizales en buenas y excelentes condiciones.

Los sitios con pastoreo continuo mostraron una captura mínima de 8 tC/ha una máxima de 45 tC/ha con una media de 30 tC/ha, nueve de los diez sitios con este sistema de pastoreo tuvieron una precipitación media anual menor a 600 mm en los sitios con pastoreo continuo.

Ingram *et al.* (2008) realizaron una comparación del efecto que tiene el régimen de pastoreo en la captura de C en la estación de investigación High Plains, en el estado de Wyoming y encontraron que una profundidad de 30 cm el pastoreo rotativo captura 11 tC/ha más que el continuo. Tres años más tarde, Chimner y Welker (2011) realizaron esa misma comparación pero a 40 cm de profundidad y encontraron una captura de 35 tC/ha en pastizales con manejo continuo y 50 tC/ha con manejo rotativo.

En pastizales de Thaba Nchu, Sudáfrica, Kotzé *et al* (2013) compararon la captura en suelo a 20 cm de profundidad entre el manejo rotativo y el continuo, encontraron que el primero es más eficiente con una diferencia de captura por ha de 13 tC.

Respecto al manejo holístico la mayor parte de la información encontrada es cualitativa, a excepción de una comparación que hicieron Weber y Gokhale (2011), entre la captura de C en suelo a 24 cm de profundidad. Estos autores encontraron que el manejo holístico puede llegar a capturar hasta 80 tC/ha (monto comparable a la captura en suelo en bosques) y el rotativo alrededor de 69 tC/ha.

La mayor parte de la investigación publicada acerca del manejo holístico, se trata de entrevistas con personas de comunidades que han aplicado dicho método y como ha sido la dinámica en la comunidad, la mejora en los procesos de planeación así como su percepción en el incremento de biodiversidad (Gadzirayi *et al.*, 2007 y Stinner *et al.*, 1997).

Aunque también se encontraron estudios no tradicionales, como el uso entrevistas semiestructuradas a partir de resultados de la foto-elicitación como herramienta para analizar los cambios significativos en el paisaje después de la aplicación de técnicas de manejo holístico (Sherren *et al.*, 2012). Asimismo se encontraron una publicación sobre el uso de herramientas de la economía ecológica como es el análisis de emergía para comparar el uso de recursos, la productividad y el impacto en medio ambiente (Alfaro-Arguello, et al., 2010).

Actualmente existe una seria discusión académica acerca del manejo holístico, Briske *et al.* (2013) consideran que el video titulado “How to green the world's deserts and reverse climate change” en el cual Savory explica las bondades de dicho método tiene serias incongruencias, consideran que los pastizales tienen una baja y muy variada productividad y que plantear que se puede revertir el cambio climático y la desertificación con el manejo de pastizales es arriesgado, lo único que hace es debilitar la credibilidad de la ciencia de manejo de pastizales.

Mientras que Teague (2014) menciona que la evidencia indica que la supresión de ganado en pastizales, lejos de arreglar el problema de degradación lo ha empeorado, y que la visión de Briske *et al.* (2013) acerca del manejo holístico es reduccionista, considerando al manejo de pastizales como el aumento de productividad sin tomar en cuenta el impacto significativo en el medio ambiente.

Sin duda, la visión del manejo holístico es una discusión académica interesante que muestra dos opiniones totalmente contrarias acerca de la eficacia de dicho método, que se opone a la creencia tradicional de que el ganado es la principal causa de degradación de los pastizales. Debido a la naturaleza del manejo holístico, no resulta sorprendente que los artículos publicados acerca del método no sean tradicionales, es decir, mediciones de C en suelo, cobertura vegetal mediante el uso de transectos, análisis de especies invasoras, entre otras.

El manejo holístico tiene varias similitudes con la economía solidaria que es una forma alternativa de hacer economía la cual se enfoca en las personas, el medio ambiente, en el desarrollo sostenible y la auto gestión (REAS, 2014), y que demanda una reorganización democrática y emancipadora de la economía neoliberal (Bauhardt, 2014). Es decir, una visión alejada a la economía de mercado y contraria a la de grandes corporaciones insertas en la economía neoliberal.

Por lo tanto, puede ser que los pocos estudios publicados acerca del método Savory se deban a las restricciones de las revistas académicas, el poco interés de los investigadores por romper paradigmas e investigar alternativas innovadoras.

Existen posturas académicas que reconocen que en el manejo de pastizales, el desafío urgente es desarrollar enfoques amplios que se pueden implementar en múltiples niveles de organización social, para minimizar los problemas generalizados y complejos que enfrenta la sostenibilidad de los pastizales (Booker *et al.*, 2013).

La producción animal responde a condiciones inmediatas, sin embargo, la restauración de pastizales puede tomar muchos años o décadas, dependiendo del clima,

los suelos y el grado de degradación. Por ejemplo, Kothmann (2009) menciona que en pastizales áridos y semiáridos severamente degradados, la recuperación de los procesos ecológicos que restauran la salud de los pastizales puede tardar décadas.

Si bien existen diversos métodos que se han empleado con éxito en varias partes del mundo, replicar una técnica sin tener en cuenta las condiciones locales y saber la historia del sitio de pastoreo es muy arriesgado si se aplica en grandes superficies, pero hacer experimentos en parcelas pequeñas podría ser una alternativa para innovar. La evaluación de las estrategias de pastoreo debe tener en cuenta las respuestas de todo el sistema en relación con los objetivos de gestión, no sólo de plantas y de producción animal en respuesta a las prácticas de pastoreo aisladas. Finalmente, las escalas temporal y espacial deben ser consideradas en la evaluación de métodos de pastoreo.

### **3.4 Conclusiones**

En el debate sobre el uso sostenible de los recursos naturales, Hardin (1968) planteó un escenario de un pastizal abierto para todos, el cual se convirtió en una de las metáforas fundamentales en las ciencias naturales y en las ciencias sociales (Haller *et al.*, 2013). De acuerdo a Ostrom (2011), la paradoja de que las estrategias individualmente racionales conduzcan a resultados colectivamente irracionales, parece plantear un reto a la fe fundamental en que los seres humanos racionales pueden alcanzar resultados racionales.

La teoría económica convencional caracteriza la racionalidad mediante dos métodos predominantes. El primero, la considera como la consistencia interna en la elección. El segundo identifica la racionalidad con la maximización del interés individual y es una de las características fundamentales del razonamiento económico (Burriel, 2005).

En este contexto, cobran importancia tanto el enfoque de la investigación acerca del manejo de pastizales como los métodos de manejo. En la literatura revisada se encontró que el paradigma utilitario sobresale en la investigación publicada, de hecho, la propia ciencia de manejo de pastizales se definió en el concepto de maximización de utilidad. Por lo tanto, no resulta sorprendente que el manejo holístico sea un tanto demeritado por

la ciencia tradicional, ya que contradice a la metáfora de la organización de los recursos de propiedad común.

El manejo holístico, tiene grandes semejanzas con los resultados encontrados por Ostrom (2011), quien en sus investigaciones descubrió que cuando se permite a los usuarios comunicarse, obtienen beneficios conjuntos sustancialmente mayores. Mientras que el manejo holístico permite que los usuarios de un recurso común se organicen y obtengan mayores recursos económicos, producto de una mejor gestión de los pastizales. Además que las prácticas planificadas con periodos de rotación y menor periodo de pastoreo, reducen el impacto animal lo cual se traduce en mejores condiciones de los pastizales.

El manejo holístico y el rotativo, coinciden en que el movimiento del ganado mejora la calidad del pastizal y en que la biodiversidad es un indicador de los pastizales, sin embargo, el segundo no toma en cuenta los factores sociales y económicos ligados al proceso de manejo.

En el manejo continuo, las ganancias económicas pueden ser generalmente a corto plazo, cuando las condiciones de los pastizales aún son buenas, ya que en el largo plazo los pastizales generalmente se encuentran degradados, producto del pastoreo selectivo y la movilidad del ganado. Lo anterior puede inducir a gastos de remediación o al uso de alimento suplementario, afectando directamente en los ingresos netos.

El pastoralismo ha subsistido a lo largo de los años, sin embargo, la degradación de las tierras de pastoreo sobre todo en zonas áridas lo hacen cada día más difícil. Debido a que el pastoreo modifica la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, alterando las reservas de C en suelo, por lo tanto, es imperativo comprender los efectos de los métodos de manejo de pastizales para la conservación de los mismos y para mantener los servicios ecosistémicos que brindan.

## Consideraciones finales

En el capítulo I se encontró que los pastizales de la RBJ se encuentran en grave deterioro, situación causada principalmente por el pastoreo continuo, el cambio de uso de suelo y la sequía. Lo cual se ve reflejado en los bajos valores del NDVI, además las ventajas económicas que plantea la agricultura sobre la ganadería fomentan el cambio de uso de suelo de pastizal a agricultura, aunado a esto, los subsidios a la agricultura en el año 2012 fueron nueve veces superiores a los apoyos a la ganadería.

Cuando se habla del manejo de recursos naturales en propiedad ejidal usualmente se le relaciona con la tragedia de los comunes (Hardin, 1968), en la RBJ se encontró que los pastizales en propiedad privada presentan valores más altos del NDVI que en propiedad ejidal, sin embargo, los pastizales en ambos tipos de propiedad se han ido degradando en las últimas dos décadas.

Además del manejo continuo, uno de los grandes problemas en la RBJ es la explotación del acuífero de Janos, el cual rebasa su capacidad anualmente en 42.2 millones de m<sup>3</sup> al año (Consejo de Cuenca Río Bravo, 2014) dicha sobreexplotación se debe principalmente a la agricultura de riego, impulsada por los propietarios privados.

El cambio de uso de suelo, la sequía y el pastoreo continuo plantean un gran desafío a los ganaderos, sin embargo, prácticas de manejo holístico y manejo rotativo pueden lograr revertir el deterioro de los pastizales. Además, si los programas de gobierno se enfocaran en mejorar los agostaderos mediante talleres de capacitación de pastoreo controlado, manejo holístico o incluso programas de agricultura biodinámica la cual tiene menos externalidades negativas que la agricultura mecanizada, altamente industrializada e intensa, las condiciones de los pastizales mejorarían considerablemente.

Respecto al beneficio económico existen dos cuestiones importantes a considerar: (1) en el análisis de sensibilidad se encontró que para que existan beneficios económicos la captura de C en pastizales deberá ser mayor a 56tC anuales y (2) los altos costos iniciales considerados hasta en \$2,500 dólares por ha, constituyen una enorme barrera de entrada

al mercado. Sin embargo, los bonos de C pueden funcionar con aportación estatal como pago por la generación de servicios ecosistémicos (Rodríguez, 2008; Gerber et al., 2013). Además el cambio en el sistema de pastoreo y la alternativa a otros mercados que demandan carne de calidad, con pastoreo libre son una alternativa real para los ganaderos en la RBJ.

Por otra parte, el escenario de valoración económica de captura de C en pastizales sugiere que, si en la RBJ existen montos de 70 tC/ha anuales y los precios en el mercado de la tC oscilan entre \$4.98 y \$8.60 dólares, es muy probable considerar beneficios económicos por captura de C. Sin embargo, debido al comportamiento errático del mercado de C, el escenario puede cambiar si existe una gran crisis como la ocurrida en 2010, que lleve los precios por debajo del costo de mantenimiento.

En un escenario donde no existan variaciones en los precios de C más allá del 20%, los beneficios económicos por captura de C pueden llegar a \$910,577 dólares anualmente, considerando una inversión inicial de \$5,220,000 dólares y una tasa de descuento del 12% anual, la inversión se recuperaría en 11 años y al final de 30 años se tendrían beneficios por más de \$ 30 millones de dólares, es decir, casi seis veces la inversión inicial.

Respecto a los efectos del régimen de pastoreo, se encontró que en promedio pastizales con manejo continuo tienen una captura de 30 tC/ha y con manejo rotativo de 50 tC/ha, y que estudios en el mismo sitio indican que el pastoreo rotativo es superior al continuo en más de 11 tC/ha. La investigación sobre los efectos del manejo holístico en la captura de C en suelo es escasa, sin embargo, el uso de técnicas de la antropología visual y el análisis de emergía aportan un nuevo enfoque a la ciencia del manejo de pastizales.

Es importante puntualizar que el secuestro de C es sólo uno de los muchos servicios ecosistémicos que brinda el bioma pastizal y aunque el secuestro sea bajo en comparación con los bosques. Si consideramos que los pastizales cubren un tercio de la superficie terrestre, que contribuyen a la supervivencia de más de 800 millones de personas y que tienen un papel fundamental en la mitigación del cambio climático, se

transforman en un tipo de vegetación clave, por lo tanto, es imperativo valorarlos no sólo en el aspecto económico.

## Literatura citada

- Acharya, B., Rasmussen, J., & Eriksen, J. (2012). Grassland carbon sequestration and emissions following cultivation in a mixed crop rotation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 153, 33-39.
- Aguado-Santacruz, G., & Garcia-Moya, E. (1998). Environmental factors and community dynamics at the southernmost part of the North American Graminetum. *Plant Ecology*, 135, 13-29.
- Aguilera, F., & Vicent, A. (2011). *De la economía ambiental a la economía ecológica* (1 electrónica ed.). Barcelona: ICARIA.
- Aguirre-Calderón, C. (2012). *Estado Actual de los Pastizales del Desierto Chihuahuense y Estrategias para su Conservación y Uso Sustentable*. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua.
- Alfaro-Arguello, R., Diemont, S., Ferguson, B., Martin, J., Nahed-Toral, J., Álvarez-Solís, J., & Pinto-Ruíz, R. (2010). Steps toward sustainable ranching: An emergy evaluation of conventional and holistic management in Chiapas, Mexico. *Agricultural Systems*, 103, 639-646.
- Allsopp, N., Laurent, C., Debeaudoin, L., & Samuels, I. (2007). Environmental perceptions and practices of livestock keepers on the Namaqualand Commons challenge conventional rangeland management. *Journal of Arid Environments*, 70, 740-754.
- Almack, K. (2010). *Carbon finance for conservation of native prairie, USA*. TEEB.
- Baeza, S., Paruelo, J., & Ayala, W. (2011). Eficiencia en el uso de la radiación y productividad primaria en recursos forrajeros del este de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15(2), 48-59.
- Balvanera, P., & Cotler, H. (2007). Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica*(84-85), 8-15.
- Bauhardt, C. (2014). Solutions to the crisis? The Green NewDeal, Degrowth, and the Solidarity Economy: Alternatives to the capitalist growth economy from an ecofeminist economics perspective. *Ecological Economics*, 102, 60-68.
- Berlijn, J. (2013). *Pastizales Naturales* (3 ed.). México: SEP-Trillas.

- Blench, R. (2001). *"You can't go home again" Pastoralism in the new millennium*. Londres: Overseas Development Institute.
- Booker, K., Huntsinger, L., Bartolome, J., Sayre, N., & Stewart, W. (2013). What can ecological science tell us about opportunities for carbon sequestration on arid rangelands in the United States? *Global Environmental Change*(23), 240-251.
- Briske, D., Bestelmeyer, B., Brown, J., & Fuhlendorf, S. (2013). The Savory Method Can Not Green Deserts or Reverse Climate Change. *Rangelands*, 35(5), 72-74.
- Briske, D., Sayre, N., Huntsinger, L., Fernandez-Gimenez, M., Budd, B., & Derner, J. (2011). Origin, Persistence, and Resolution of the Rotational Grazing Debate: Integrating Human Dimensions Into Rangeland Research. *Rangeland Ecology & Management*, 64(4), 325-334.
- Brown, J., & Kothmann, M. (2009). Rotational Grazing on Rangelands: Synthesis and Recommendations. *Rangelands*, 31(5), 37-38.
- Burke, I., Lauenroth, W., Cunfer, G., Barrett, J., Mosier, A., & Lowe, P. (2002). Nitrogen in the Central Grasslands Region of the United States. *BioScience*, 52(9), 813-823.
- Burriel, Ó. (2005). Ética y conflicto en el medio ambiente. *Ética y Economía*(823), 99-109.
- Byun, K., & Frey, C. (2012). *The U.S. economy in 2020: recovery in uncertain times*. U.S. Bureau of Labor Statistics.
- Ceballos, G., Davidson, A., List, R., Pacheco, J., Manzano-Fischer, P., Santos-Barrera, G., & Cruzado, J. (2010). Rapid Decline of a Grassland System and Its Ecological and Conservation Implications. *Plos One*, 5(1), 1-12.
- Ceballos, G., List, R., Davidson, A. D., Frederickson, E. L., Sierra Corona, R., Martínez, L., . . . Pacheco, J. (2009). Grassland in the Borderlands. Understanding coupled natural-human systems and transboundary conservation. En L. Lopez-Hoffman, E. McGovern, R. Varady, K. Flessa, & editors, *Conservation of Shared Environments. Learning from the United States and Mexico* (págs. 188-203). Tucson, AZ.: University of Arizona Press.
- Chan, K., & Bowman, A. (1995). Degradation of Australian vertisols after conversion from native grassland (*Astrelba lappacea*) to continuous cropping in a semi-arid subtropical environment. *Tropical Grasslands*, 29, 210-217.

- Chavez, P. (1996). Image-based atmospheric correction. Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9), 1025–1036.
- Chimner, R., & Welker, J. (2011). Influence of grazing and precipitation on ecosystem carbon cycling in a mixed-grass prairie. *Pastoralism*, 1(20), 1-15.
- Common, M., & Stagl, S. (2008). *Introducción a la Economía Ecológica*. Barcelona: Editorial Reverté.
- CONAGUA. (2013). *Servicio Meteorológico Nacional*. Obtenido de <http://smn.cna.gob.mx/emas/>
- CONANP. (2006). *Estudio previo justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida: "Reserva de la Biosfera Janos"*. Chihuahua, México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- CONANP. (2008). *Memoria técnica de la consulta pública para el establecimiento del ANP Reserva de la Biosfera de Janos, en el estado de Chihuahua*. México, D.F.: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Consejo de Cuenca Río Bravo. (2014). *Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía*. México, D.F.: CONAGUA .
- Cook, S., & Ma, Z. (2014). Carbon sequestration and private rangelands: Insights from Utah landowners and implications for policy development. *Land Use Policy*(36), 522-532.
- Costanza, R., Cumberland, J., Daly, H., Goodland, R., & Norgaard, R. (1999). *Una introducción a la economía ecológica* (1 ed.). México: CESCA .
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farberk, S., Grosso, M., Hannon, B., . . . Shahid Naeem, R. V. (1997). The value of the world's ecosystem seervices and capial natural. *Nature*(387), 253-260.
- Davies, J., Poulsen, L., Schulte-Herbrüggen, B., Mackinnon, K., Crawhall, N., Henwood, W., . . . Gudka, M. (2012). *Conservación de la biodiversidad de las tierras áridas* (1 ed.). Nairobi, Kenia: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).
- Demaría, M., & Aguado-Suárez, I. (2013). Dinámica espacio-temporal del porcentaje de suelo desnudo en pastizales semiáridos de Argentina. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 133-157.

- Diaz, D., Charnley, S., & Gosnell, H. (2009). *Engaging Western Landowners in Climate Change Mitigation: A Guide to Carbon-Oriented Forest and Range Management*. United States Department of Agriculture.
- Dodds, W., Wilson, K. ..., Rehmeier, R., Knight, G., Wiggam, S., Falke, J., . . . Bertrand, K. (2008). Comparing Ecosystem Goods and Services Provided by Restored and Native Lands. *BioScience*, 58(9), 837-845.
- DOF. (8 de Diciembre de 2009). DECRETO por el que se declara como área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la zona conocida como Janos, localizada en el Municipio de Janos, en el Estado de Chihuahua. *Diario Oficial de la Federación*, págs. 9-19.
- DOF. (22 de Noviembre de 2012). Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Area Natural Protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera Janos. *Diario Oficial de la Federación*, págs. 1-46.
- DOF. (30 de Diciembre de 2013). Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión. *Diario Oficial de la Federación*, pág. Segunda sección.
- Duelli, P., & Obrist, M. (2003). Regional biodiversity in an agricultural landscape: the contribution of seminatural habitat islands. *Basic and Applied Ecology*, 129-138.
- ECOPAD. (2007). *Estrategia para la Conservación de Pastizales del Desierto Chihuahuense*. (C. Aguirre, J. Hoth, & A. Lafón, Edits.) Chihuahua, México.
- Falahatkar, S., Hosseini, S., Salman, A., Ayoubi, S., & Shao-Qiang, W. (2014). Soil Organic Carbon Stock as Affected by Land Use/Cover Changes in the Humid Region of Northern Iran. *Journal of Mountain Science*, 11(2), 507-518.
- FAO. (2002). *Captura de Carbono en suelos para un mejor manejo de la tierra*. Roma: FAO.
- FAO. (2003). *Tenencia de la tierra y desarrollo rural*. Roma: FAO.
- FAO. (2007). *Secuestro de Carbono en tierras áridas*. Roma: FAO.
- FAO. (2009). *Grassland carbon sequestration: management, policy and economics* (Vol. 11). (M. Abberton, R. Conant, & C. Batello, Edits.) Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

- Farber, S., Costanza, R., & Wilson, M. (2002). Economic and ecological concepts for valuing ecosystem Economic and ecological concepts for valuing ecosystem. *Ecological Economics*(41), 375-392.
- Franzluebbbers, A. (2009). Soil organic carbon in managed pastures of the southeastern United States of America. En FAO, *Grassland carbon sequestration: management, policy and economics* (págs. 163-176). Rome: FAO.
- Fuhlendorf, S., Engle, D., Elmore, D., Limb, R., & Bidwell, T. (2012). Conservation of Pattern and Process: Developing an Alternative Paradigm of Rangeland Management. *Rangeland Ecology & Management*, 65(6), 579-589.
- Gadzirayi, C., Mutandwa, E., & Mupangwa, J. (2007). Holistic Environmental Management in a Communal Grazing Scheme. *Rangelands*, 29(1), 22-25.
- Galindo, L. (2010). *La economía del cambio climático en México*. México: SEMARNAT.
- Gelper, S., Fried, R., & Croux, C. (2010). Robust Forecasting with Exponential and Holt–Winters Smoothing. *Journal of Forecasting*(29), 285-300.
- Gerber, P., Henderson, B., & Lipper, L. (2012). *The potential of carbon crediting to support restoration of degraded grasslands*. Brasilia: FAO.
- Gerber, P., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., . . . Tempio, G. (2013). *Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería – Evaluación global de las emisiones y las*. Roma: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO).
- Gill, R. (2007). Influence of 90 Years of Protection From Grazing on Plant and Soil Processes in the Subalpine of the Wasatch Plateau, USA. *Rangeland Ecology & Management*, 60(1), 88-98.
- Giner, G., Martínez, B., Gilabert, M., & Alcaraz-Segura, D. (2012). Tendencias en el verdor de la vegetación y en la producción primaria bruta de las áreas forestales en la España peninsular (2000-2009). *Revista de Teledetección*(35), 51-64.
- Gobierno de la República. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. Ciudad de México: Gobierno de la República.

- Gómez-Baggethun, E., & de Groot, R. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*, XVI(3), 4-14.
- Haller, T., Fokou, G., Mbeyale, G., & Meroka, P. (2013). How fit turns into misfit and back: Institutional Transformations of Pastoral Commons in African Floodplains. *Ecology and Society*, 18(1).
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162, 1243-1248.
- Havstad, K., Peters, D., Skaggs, B., Bestelmeyer, F., Herrick, J., & Wright, J. (2007). Ecological services to and from rangelands of the United States. *Ecological Economics*, 261-268.
- He, N., Yu, Q., Wu, L., Wang, Y., & Han, X. (2008). Carbon and nitrogen store and storage potential as affected by land-use in a *Leymus chinensis* grassland of northern China. *Soil Biology & Biochemistry*, 40, 2952-2959.
- Heidenreich, B. (2009). *What are global temperature grassland worth? A case for their protection*. World temperature grasslands conservation initiative. Vancouver: IUCN.
- Helm, A., Oja, T., Saar, L., Takkis, K., Talve, T., & Partel, M. (2009). Human influence lowers plant genetic diversity in communities with extinction debt. *Journal of Ecology*, 97, 1329–1336.
- Henderson, D., Ellert, B., & Naeth, M. (2004). Grazing and soil carbon along a gradient of Alberta rangelands. *Journal of Range Management*, 57(4), 402-410.
- Henwood, B. (2009). *Temperate Grasslands of the World*. British Columbia: Grasslands Conservation Council of British Columbia.
- Henwood, W. (1998). The world's temperate grasslands: a beleaguered biome. *Grassland Protected Areas*, 8(3), 1-3.
- Hönigová, I., Vačkář, D., Lorencová, E., Melichar, J., Götzl, M., Sonderegger, G., . . . Chobot, K. (2012). *Survey on grassland ecosystem services*. Prague: Nature Conservation Agency of the Czech Republic.
- Hoth, J. (2012). Pastizales del Desierto Chihuahuense: Réquiem por un ecosistema. *Pronatura. Por la gente por la tierra*, 22, 1-4.
- INBURSA. (4 de Octubre de 2014). *INBURPLAN*. Recuperado el 4 de Octubre de 2014, de <http://www.inbursa.com/PrInMo/PrinMoInBuRpLaN.html>

- INEGI. (2007). *Censo agrícola, ganadero y forestal*. México: INEGI.
- INEGI. (2009). *Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie III*. México: INEGI.
- INEGI. (2010). *Censo de Población y Vivienda*. México: INEGI.
- INEGI. (2011). *Anuario Estadístico del Estado de Chihuahua*. México: INEGI.
- Ingram, L., Schuman, G., Buyer, J., Vance, G., Ganjegunte, G., Welker, J., & Derner, J. (Julio-Agosto de 2008). Grazing Impacts on Soil Carbon and Microbial Communities in a Mixed-Grass Ecosystem. *Soil Biology & Biochemistry*, 72(4), 939-948.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de*. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Jones, M. B. (2010). Potential for carbon sequestration in temperate grassland soils. En FAO, *Grassland carbon sequestration: management, policy and economics* (págs. 1-18). Roma.
- Jurado-Guerra, P. M.-C., Royo-Márquez, M., Sierra-Tristán, J., & Carrillo-Romo, C. (2006). *Impactos del pastoreo controlado y tradicional en ranchos ganaderos de Chihuahua*. Chihuahua: INIFAP.
- Jurado-Guerra, P., Saucedo-Terán, R., Morales-Nieto, C., Martínez-Salvador, M., & Alvidrez-Vitolas, S. (2011). *Almacén de Carbono en Suelos de Pastizales y Matorrales de Chihuahua*. INIFAP, Rancho Experimental La Campana. Aldama, Chihuahua: SAGARPA.
- Kossoy, A., & Guigon, P. (2012). *State and Trends of the Carbon Market 2012*. Washington DC: World Bank.
- Kothmann, M., Teague, R., Díaz-Solís, H., & Grant, W. (2009). Viewpoint: New Approaches and Protocols for Grazing Management Research. *Rangelands*, 31(5), 31-36.
- Kotzé, E., Sandhage-Hofmann, A., Meinel, J., du Preez, C., & Amelung, W. (2013). Rangeland management impacts on the properties of clayey soils along grazing gradients in the semi-arid grassland biome of South Africa. *Journal of Arid Environments*(97), 220-229.
- Krausman, P., Naugle, D., Frisina, M., Northrup, R., Bleich, V., Block, W., . . . Wright, J. (2009). Livestock Grazing, Wildlife Habitat, and Rangeland Values. *Rangelands*, 31(5), 15-19.

- Laca, E. A. (2009). New Approaches and Tools for Grazing Management. *Rangeland Ecology & Management*(62), 407-417.
- Lal, R. (2004). Carbon Sequestration in Dryland Ecosystems. *Environmental Management*, 33(4), 528-544.
- Li, W., Ali, S., & Zhang, Q. (2007). Property rights and grassland degradation: A study of the Xilingol Pasture, Inner Mongolia, China. *Journal of Environmental Management*, 85, 461-470.
- List, R., Pacheco, J., Ponce, E., Sierra-Corona, R., & Ceballos, G. (2010). The Janos Biosphere Reserve, Northern Mexico. *International Journal of Wilderness*, 16(2), 35-41.
- Luna, R., Medina, J., & Fierro, C. (1985). *Manejo y transformación de pastizales*. Saltillo, Coahuila: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
- Ma, Z., & Coppock, L. (2012). Perceptions of Utah ranchers toward carbon sequestration: Policy implications for US rangelands. *Journal of Environmental Management*(111), 78-86.
- Maia, S, Ogle, S., Cerri, C., & Cerri, C. C. (2009). Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. *Geoderma*, 149, 84-91.
- Mao, D., Wang, Z., Li, L., & Ma, W. (2014). Spatiotemporal dynamics of grassland aboveground net primary productivity and its association with climatic pattern and changes in Northern China. *Ecological Indicators*, 41, 40-48.
- Martin, R., Müller, B., Linstädter, A., & Frank, K. (2014). How much climate change can pastoral livelihoods tolerate? Modelling rangeland use and evaluating risk. *Global Environmental Change*, 24, 183-192.
- Martínez Alier, J., & Roca Jusmet, J. (2001). *Economía Ecológica y Política Ambiental*. México: Fondo de Cultura Económica.
- McLachlan, S., & Yestrau, M. (2009). From the ground up: holistic management and grassroots rural adaptation to bovine spongiform encephalopathy across western Canada. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 14, 299-316.
- MEA. (2005). *Ecosystem and Human Well-being: Synthesis*. Washington, D.C.: Island Press.

- Medina-Roldán, E., Arredondo, J., Huber-Sannwald, E., Chapa-Vargas, L., & Olalde-Portugal, V. (2008). Grazing effects on fungal root symbionts and carbon and nitrogen storage in a shortgrass steppe in Central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 72, 546-556.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystem and Human Well-being: Synthesis*. Washington, D.C.: Island Press.
- Mora-Vega, R., Sáenz-Segura, F., & Le Coq, J. (2012). Servicios ambientales y ecosistémicos: conceptos y aplicaciones en Costa Rica. *Puentes*, 13(2), 20-23.
- Nahuelhual, L., Carmona, A., Lozada, P., Jaramillo, A., & Aguayo, M. (2013). Mapping recreation and ecotourism as a cultural ecosystem service: An application at the local level in Southern Chile. *Applied Geography*, 71-82.
- Naredo, J. (2007). *Raíces económicas del deterioro ecológico y social. Más allá de los dogmas* (2 ed.). Madrid: Siglo XXI.
- Nosetto, M., Jobbágy, E., & Paruelo, J. (2006). Carbon sequestration in semi-arid rangelands: Comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing exclusion in NW Patagonia. *Journal of Arid Environments*, 67, 142-156.
- O'Donnell, A., Cummins, M., & Byrne, K. (2013). Forestry in the Republic of Ireland: Government policy, grant incentives and carbon sequestration value. *Land Use Policy*(35), 16-23.
- Oates, L., & Jackson, R. (2014). Livestock Management Strategy Affects Net Ecosystem Carbon Balance of Subhumid Pasture. *Society for Range Management*, 67(1), 19-29.
- Oesterheld, M., Loreti, J., Semmartin, M., & Sala, O. (2001). Inter-annual variation in primary production of a semi-arid grassland related to previous-year production. *Journal of Vegetation Science*, 12, 137-142.
- Olsson, L., & Ardö, J. (2002). Soil Carbon Sequestration in Degraded Semiarid Agroecosystems—Perils and Potentials. *A Journal of the Human Environment*, 31(6), 471-477.
- Ortega-Ochoa, C., Villalobos, C., Martínez-Nevárez, J., Britton, C., & Sosebee, R. (2008). Chihuahua's Cattle Industry and a Decade of Drought: Economical and Ecological Implications. *Rangelands*, 30(6), 2-7.

- Ostrom, E. (2011). *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva* (2 ed.). (L. M. Pérez, Trad.) México: Fondo de Cultura Económica.
- Owensby, C., Ham, J., & Auen, L. (2006). Fluxes of CO<sub>2</sub> From Grazed and Ungrazed Tallgrass Prairie. *Rangeland Ecology & Management*, 59(2), 111-127.
- PACP-Ch. (2011). *Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de los Pastizales del Desierto Chihuahuense en*. (J. Guzmán-Aranda, J. Hoth, & E. Blanco, Edits.) Chihuahua, México: Gobierno del Estado de Chihuahua.
- Paracchini, M., Zulian, G., Kopperoinen, L., Maes, J., Schägner, J., Termansen, M., . . . Bidoglio, G. (2014). Mapping cultural ecosystem services: A framework to assess the potential for outdoor recreation across the EU. *Ecological Indicators*(45), 371–385.
- Paruelo, J. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas*, 17(3), 4-22.
- Point Carbon. (7 de Agosto de 2014). *Thompson Reuters*. Obtenido de <http://www.pointcarbon.com/>
- Polanyi, K. (2007). *La gran transformación. Crítica del liberalismo económico*. Madrid: Quipu Editorial.
- REAS. (7 de Octubre de 2014). *Carta de la Economía Solidaria*. Obtenido de Portal de economía solidaria:  
[http://www.economiasolidaria.org/files/CARTA\\_ECONOMIA\\_SOLIDARIA\\_REAS.pdf](http://www.economiasolidaria.org/files/CARTA_ECONOMIA_SOLIDARIA_REAS.pdf)
- Ritten, J., Bastian, C., & Rashford, B. (2012). Profitability of Carbon Sequestration in Western Rangelands of the United States. *Rangeland Ecology & Management*(65), 340-350.
- Rodríguez, A., & Jacobo, E. (2012). *Manejo de pastizales naturales para una ganadería sustentable en la pampa deprimida* (1 ed.). Buenos Aires, Argentina : Fundación Vida Silvestre Argentina.
- Rodríguez, L. (2008). *Una perspectiva mundial sobre el valor económico total del pastoralismo: Informe de síntesis global basado*. Nairobi: Iniciativa Mundial para un Pastoralismo Sostenible, IMPS.

- Rouse, J., Haas, R., Schell, J., & Deering, D. (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. Remote Sensing Center, Texas A&M Univ.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1ra. digital ed.). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- SAGARPA. (2012). *Padrón de beneficiarios*. Ciudad de México: SAGARPA.
- Sala, O., & Paruelo, J. (1997). Ecosystem services in grassland. En G. Daily (Ed.), *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (págs. 237-252). Washington, D.C.: Island Press.
- Santa, V., Rosa, M., Mónaco, N., & Heguiabehere, A. (2013). Determinación de la correlación entre datos de biomasa obtenidos en campo y NDVI obtenidos por sensores remotos a lo largo del arroyo Chucul. *Revista de la Facultad de Agronomía UNL*, 22(2), 157-162.
- Savory Institute. (2013). *Restoring the Climate Through Capture and Storage of Soil Carbon Using Holistic Planned Grazing is adapted from*.
- Savory, A. (1983). The Savory Grazing Method or Holistic Resource Management. *Rangeland*, 5(4), 155-159.
- Secretaría de Economía. (1950). *Séptimo Censo General de Población 6 de Junio de 1950*. Secretaría de Economía, Dirección General de Estadística.
- Segura-Castruita, M., Sánchez-Guzmán, P., Ortiz-Solorio, C., & Gutiérrez-Castorena, M. (2005). Carbono orgánico en suelos de México. *TERRA Latinoamericana*, 23(1), 21-28.
- SEMARNAT. (2013). *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Janos*. México: SEMARNAT; CONANP.
- Sherren, K., Fischer, J., & Fazey, I. (2012). Managing the grazing landscape: Insights for agricultural adaptation from a mid-drought photo-elicitation study in the Australian sheep-wheat belt. *Agricultural Systems*, 106, 72-83.
- SIAP. (2012). *Estadística de producción agropecuaria*. Ciudad de México: SIAP-SAGARPA.
- SIAP. (2013). *Estadística de producción agropecuaria*. SIAP-SAGARPA.
- Sierra, R. (2 de Septiembre de 2014). Manejo holístico en Janos. (L. Delgado, Entrevistador)

- Silveira, M., Kesi, L., Sollenberger, L., Follet, R., & Vendramibi, J. (2013). Short-term effects of grazing intensity and nitrogen fertilization on soil organic carbon pools under perennial grass pastures in the southeastern USA. *Soil Biology & Biochemistry*, 58, 42-49.
- Simpson, D. (2014). Ecosystem services as substitute inputs: Basic results and important implications for conservation policy. *Ecological Economics*, 98, 102-108.
- Smith, A. (2007). *The Wealth of Nations*. Hampshire: Harriman House.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., . . . Sirotenko, O. (2007). Agriculture. En B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave, & L. Meyer (Edits.), *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the* (págs. 497-540). United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Society for Range Management. (1998). *A glossary of terms used in range management*. Lakewood, CO. : SRM.
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press.
- Stinner, D., Stinner, B., & Martsolf, E. (1997). Biodiversity as an organizing principle in agroecosystem management: Case studies of holistic resource management practitioners in the USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 62, 199-213.
- Sustainable Rangelands Roundtable. (2008). *Sustainable Rangelands Ecosystem Goods and Services*. SRR.
- Teague, R. (2014). Deficiencies in the Briske et al. Rebuttal of the Savory Method. *Rangelands*, 36(1), 37-38.
- Teague, R., Provenza, F., Norton, B., Steffens, T., Matthew Barnes, K. M., & Roath, R. (2008). Benefits of Multi-Paddock Grazing Management on Rangelands. En H. G. Schroder, *Grasslands: Ecology, Management and Restoration* (págs. 1-40). Nova Science Publishers.
- TEEB. (2010). *La economía de los ecosistemas y la biodiversidad para las autoridades regionales y locales*. Londres: PNUMA.

- Tennigkeit, T., & Wilkes, A. (2008). *Las Finanzas del Carbono de los Pastizales: Una evaluación del potencial en los pastizales comunales*. Kunming, China: UICN.
- Tilman, D., Hill, J., & Lehman, C. (2006). Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. *Science*(314), 1598-1600.
- Tucker, C. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
- U.S. Bureau of Labor Statistics. (7 de Agosto de 2014). *U.S. Bureau of Labor Statistics*. Obtenido de <http://www.bls.gov/bls/inflation.htm>
- UICN. (2011). *La tierra que pacemos. Una síntesis de casos de estudio sobre cómo defienden las organizaciones de pastores sus derechos sobre la tierra*. UICN Oficina Regional para África Oriental y Austral, Nairobi, Kenia.
- Valerio, A., Carreón, E., Lafón, A., Ochoa, J., Calderón, P., Soto, D., . . . Favela, E. (2005). *Distribución, extensión espacial y condición de los pastizales en el estado de Chihuahua*. Chihuahua: Protección de la Fauna Mexicana A.C. en Colaboración con The Nature Conservancy.
- Vázquez-González, C. (2012). *Diagnóstico y perspectivas para el manejo de los humedales costeros en el sistema lagunal de Alvarado, Veracruz, México*. Ensenada : Universidad Autónoma de Baja California .
- Verheijen, F., Jones, R., Rickson, R., & Smith, C. (2009). Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94(1-4), 23-38.
- Vetter, S. (2005). Rangelands at equilibrium and non-equilibrium: recent developments in the debate. *Journal of Arid Environments*, 62, 321-341.
- Weber, K., & Gokhale, B. (2011). Effect of grazing on soil-water content in semiarid rangelands of southeast Idaho. *Journal of Arid Environments*, 75, 464-470.
- Weber, K., & Horst, S. (2011). Desertification and livestock grazing: The roles of sedentarization, mobility and rest. *Pastoralism*, 1-19.
- Weiss, J., Gutzler, D., Allred Coonrod, J., & Dahm, C. (2004). Long-term vegetation monitoring with NDVI in a diverse semi-arid setting, central New Mexico, USA. *Journal of Arid Environments*, 58, 249-272.

- Werling, B., Meehan, T., Gratton, C., & Landis, D. (2011). Influence of habitat and landscape perenniality on insect natural enemies in three candidate biofuel crops. *Biological Control*, 59, 304-312.
- White, R., Murray, S., & Mark, R. (2000). *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Grassland Ecosystems*. Washington D.C.: World Resources Institute.
- Wylie, B., Meyer, D., Tieszen, L., & Mannel, S. (2002). Satellite mapping of surface biophysical parameters at the biome scale over the North American grasslands: a case study. *Remote Sensing of Environment*, 79, 266-278.
- Xue, H., Mainville, D., You, W., & Nayga, R. (2010). Consumer preferences and willingness to pay for grass-fed beef: Empirical evidence from in-store experiments. *Food Quality and Preference*, 21, 857-866.
- Yeaton, R., & Flores-Flores, J. (2009). Community structure of a southern Chihuahuan Desert grassland under different grazing pressures. *South African Journal of Botany*, 75, 510-517.

## Anexos

### Anexo 1.1 Análisis costo-beneficio escenario 1

Consideraciones para el análisis

Tasa social de descuento anual	12%
Superficie de pastizales (ha)	2,088.00
Captura de C por ha	70.00
Costo inicial (ha)	2,500.00

Horizonte de evaluación	Beneficio por captura de C por ha	Beneficio total	Inversión inicial	Costo de operación y mantenimiento ha	Costo total de operación y mantenimiento	Beneficio neto	Valor Presente Neto	Tasa Interna de Retorno
2014			5,220,000.00			- 5,220,000		
2015	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	- 4,416,306.43	-82.76%
2016	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	- 3,698,722.88	-48.97%
2017	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	- 3,058,023.29	-26.90%
2018	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	- 2,485,970.08	-13.36%
2019	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	- 1,975,208.28	-4.75%
2020	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	- 1,519,170.97	0.98%
2021	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	- 1,111,994.79	4.94%
2022	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	- 748,444.64	7.76%
2023	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	- 423,846.28	9.83%
2024	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	- 134,026.32	11.37%
2025	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	124,741.50	12.54%
2026	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	355,784.19	13.45%
2027	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	562,072.32	14.16%
2028	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	746,258.14	14.72%
2029	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	910,709.77	15.17%
2030	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,057,541.58	15.53%
2031	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,188,641.41	15.82%
2032	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,305,694.83	16.06%
2033	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,410,206.81	16.26%
2034	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,503,521.08	16.42%
2035	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,586,837.39	16.55%
2036	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,661,226.96	16.66%
2037	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,727,646.21	16.76%
2038	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,786,949.12	16.83%
2039	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,839,898.14	16.90%
2040	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,887,174.06	16.95%
2041	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,929,384.69	17.00%
2042	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	1,967,072.76	17.03%
2043	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	2,000,722.82	17.07%
2044	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	2,030,767.52	17.09%

Valor Actual de los Beneficios	\$27,317,304
Valor Actual de los Costos	\$5,533,200
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>\$21,784,104</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>17.09%</b>

## Anexo 1.2 Análisis costo-beneficio escenario 2

Consideraciones para el análisis

Tasa social de descuento anual	12%
Superficie de pastizales (ha)	2,088.00
Captura de C por ha	70.00
Costo inicial (ha)	2,500.00

Horizonte de evaluación	Beneficio por captura de C por ha	Beneficio total	Inversión inicial	Costo de operación y mantenimiento ha	Costo total de operación y mantenimiento	Beneficio neto	Valor Presente Neto	Tasa Interna de Retorno
2014			5,220,000.00			- 5,220,000		
2015	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	-4,416,306.43	-82.76%
2016	6.35	927,878.83		5.12	10,688.47	917,190.36	-3,685,127.89	-48.58%
2017	6.47	945,509.62		5.24	10,942.86	934,566.77	-3,019,921.72	-26.14%
2018	6.59	963,475.42		5.37	11,203.30	952,272.12	-2,414,735.57	-12.34%
2019	6.72	981,782.59		5.49	11,469.94	970,312.66	-1,864,154.11	-3.53%
2020	6.84	1,000,437.62		5.62	11,742.92	988,694.70	-1,363,250.61	2.34%
2021	6.97	1,019,447.11		5.76	12,022.40	1,007,424.71	- 907,542.83	6.40%
2022	7.11	1,038,817.81		5.89	12,308.54	1,026,509.27	- 492,952.95	9.30%
2023	7.24	1,058,556.57		6.04	12,601.48	1,045,955.09	- 115,771.06	11.43%
2024	7.38	1,078,670.40		6.18	12,901.39	1,065,769.00	227,378.03	13.02%
2025	7.52	1,099,166.40		6.33	13,208.45	1,085,957.96	539,565.00	14.24%
2026	7.66	1,120,051.86		6.48	13,522.81	1,106,529.05	823,583.44	15.17%
2027	7.81	1,141,334.17		6.63	13,844.65	1,127,489.52	1,081,974.94	15.91%
2028	7.96	1,163,020.86		6.79	14,174.15	1,148,846.71	1,317,051.74	16.49%
2029	8.11	1,185,119.63		6.95	14,511.50	1,170,608.13	1,530,917.47	16.96%
2030	8.26	1,207,638.30		7.12	14,856.87	1,192,781.43	1,725,485.96	17.33%
2031	8.42	1,230,584.85		7.28	15,210.47	1,215,374.39	1,902,498.36	17.64%
2032	8.58	1,253,967.42		7.46	15,572.47	1,238,394.94	2,063,538.73	17.89%
2033	8.74	1,277,794.27		7.64	15,943.10	1,261,851.18	2,210,048.20	18.09%
2034	8.91	1,302,073.87		7.82	16,322.55	1,285,751.33	2,343,337.88	18.26%
2035	9.08	1,326,814.81		8.00	16,711.02	1,310,103.79	2,464,600.58	18.40%
2036	9.25	1,352,025.86		8.19	17,108.74	1,334,917.11	2,574,921.48	18.52%
2037	9.43	1,377,715.94		8.39	17,515.93	1,360,200.01	2,675,287.86	18.61%
2038	9.61	1,403,894.17		8.59	17,932.81	1,385,961.36	2,766,597.91	18.70%
2039	9.79	1,430,569.81		8.79	18,359.61	1,412,210.20	2,849,668.78	18.76%
2040	9.97	1,457,752.33		9.00	18,796.57	1,438,955.76	2,925,243.90	18.82%
2041	10.16	1,485,451.34		9.22	19,243.93	1,466,207.41	2,993,999.62	18.87%
2042	10.36	1,513,676.67		9.44	19,701.93	1,493,974.73	3,056,551.25	18.91%
2043	10.55	1,542,438.31		9.66	20,170.84	1,522,267.47	3,113,458.59	18.94%
2044	10.75	1,571,746.45		9.89	20,650.91	1,551,095.55	3,165,230.94	18.97%

Valor Actual de los Beneficios	\$36,367,990
Valor Actual de los Costos	\$5,669,681
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>\$30,698,309</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>18.97%</b>

### Anexo 1.3 Análisis costo-beneficio escenario 3

Consideraciones para el análisis

Tasa social de descuento anual	12%
Superficie de pastizales (ha)	2,088.00
Captura de C por ha	70.00
Costo inicial (ha)	2,500.00

Horizonte de evaluación	Beneficio por captura de C por ha	Beneficio total	Inversión inicial	Costo de operación y mantenimiento ha	Costo total de operación y mantenimiento	Beneficio neto	Valor Presente Neto	Tasa Interna de Retorno
2014			5,220,000.00			- 5,220,000		
2015	6.23	910,576.80		5.00	10,440.00	900,136.80	-4,416,306.43	-82.76%
2016	6.35	927,803.22		5.08	10,604.95	917,198.27	-3,685,121.59	-48.58%
2017	6.50	950,715.26		5.16	10,772.51	939,942.75	-3,016,088.90	-26.06%
2018	6.49	948,987.65		5.24	10,942.72	938,044.93	-2,419,944.39	-12.44%
2019	6.48	946,589.16		5.32	11,115.61	935,473.55	-1,889,131.58	-3.84%
2020	6.34	926,772.79		5.41	11,291.24	915,481.55	-1,425,320.13	1.75%
2021	6.12	894,718.44		5.51	11,497.87	883,220.57	-1,025,796.00	5.51%
2022	6.32	924,133.14		5.61	11,708.28	912,424.86	- 657,282.90	8.29%
2023	6.54	956,015.02		5.71	11,922.54	944,092.48	- 316,833.69	10.38%
2024	6.72	982,442.21		5.81	12,140.72	970,301.49	- 4,422.57	11.98%
2025	6.86	1,002,634.21		5.92	12,362.90	990,271.32	280,256.77	13.20%
2026	7.11	1,039,231.22		6.03	12,589.14	1,026,642.08	543,770.22	14.17%
2027	7.16	1,046,584.53		6.14	12,819.52	1,033,765.01	780,682.47	14.93%
2028	7.43	1,085,387.08		6.25	13,054.12	1,072,332.97	1,000,103.05	15.54%
2029	7.58	1,108,299.12		6.37	13,293.01	1,095,006.12	1,200,156.57	16.03%
2030	7.57	1,106,571.51		6.48	13,536.27	1,093,035.24	1,378,454.29	16.42%
2031	7.55	1,104,173.03		6.60	13,783.98	1,090,389.05	1,537,263.29	16.73%
2032	7.42	1,084,356.66		6.72	14,036.23	1,070,320.43	1,676,447.32	16.97%
2033	7.20	1,052,302.31		6.85	14,293.09	1,038,009.21	1,796,967.22	17.17%
2034	7.40	1,081,717.01		6.97	14,554.66	1,067,162.35	1,907,596.49	17.33%
2035	7.62	1,113,598.89		7.10	14,821.01	1,098,777.88	2,009,298.94	17.47%
2036	7.80	1,140,026.08		7.23	15,092.23	1,124,933.85	2,102,266.30	17.59%
2037	7.94	1,160,218.08		7.36	15,368.42	1,144,849.66	2,186,742.42	17.68%
2038	8.19	1,196,815.08		7.50	15,649.66	1,181,165.42	2,264,560.08	17.77%
2039	8.24	1,204,168.39		7.63	15,936.05	1,188,232.34	2,334,455.84	17.84%
2040	8.50	1,242,970.95		7.77	16,227.68	1,226,743.27	2,398,885.39	17.89%
2041	8.66	1,265,882.99		7.91	16,524.65	1,249,358.34	2,457,472.27	17.95%
2042	8.65	1,264,155.38		8.06	16,827.05	1,247,328.33	2,509,696.99	17.99%
2043	8.63	1,261,756.89		8.21	17,134.98	1,244,621.91	2,556,225.04	18.02%
2044	8.50	1,241,940.52		8.36	17,448.55	1,224,491.97	2,597,096.04	18.05%

Valor Actual de los Beneficios	\$32,171,544
Valor Actual de los Costos	\$5,627,790
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>\$26,543,754</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>18.05%</b>

**Anexo 1.4 Análisis de sensibilidad escenario 1, disminución 10% beneficios**

Consideraciones para el análisis

Tasa social de descuento anual	12%
Superficie de pastizales (ha)	2,088.00
Captura de C por ha	63.00
Costo inicial (ha)	2,500.00

Horizonte de evaluación	Beneficio por captura de C por ha	Beneficio total	Inversión inicial	Costo de operación y mantenimiento ha	Costo total de operación y mantenimiento	Beneficio neto	Valor Presente Neto	Tasa Interna de Retorno
2014			5,220,000.00			- 5,220,000		
2015	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	-4,570,779.28	-86.07%
2016	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	-3,991,117.92	-55.07%
2017	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	-3,473,563.14	-33.56%
2018	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	-3,011,460.65	-19.89%
2019	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	-2,598,869.14	-10.96%
2020	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	-2,230,483.87	-4.90%
2021	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	-1,901,568.45	-0.63%
2022	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	-1,607,893.97	2.47%
2023	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	-1,345,684.61	4.78%
2024	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	-1,111,569.10	6.53%
2025	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	- 902,537.41	7.89%
2026	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	- 715,901.96	8.95%
2027	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	- 549,263.18	9.80%
2028	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	- 400,478.54	10.48%
2029	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	- 267,635.12	11.03%
2030	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	- 149,024.92	11.48%
2031	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	- 43,122.96	11.86%
2032	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	51,432.37	12.17%
2033	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	135,856.76	12.42%
2034	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	211,235.69	12.64%
2035	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	278,538.30	12.82%
2036	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	338,629.92	12.98%
2037	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	392,283.15	13.11%
2038	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	440,187.82	13.22%
2039	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	482,959.84	13.32%
2040	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	521,149.15	13.40%
2041	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	555,246.75	13.47%
2042	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	585,691.04	13.53%
2043	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	612,873.43	13.58%
2044	5.61	737,567.21		5.00	10,440.00	727,127.21	637,143.43	13.63%

Valor Actual de los Beneficios	\$22,127,016
Valor Actual de los Costos	\$5,533,200
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>\$16,593,816</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>13.63%</b>

**Anexo 1.5 Análisis de sensibilidad escenario 2, disminución 20% beneficios**

Consideraciones para el análisis

Tasa social de descuento anual	12%
Superficie de pastizales (ha)	2,088.00
Captura de C por ha	56.00
Costo inicial (ha)	2,500.00

Horizonte de evaluación	Beneficio por captura de C por ha	Beneficio total	Inversión inicial	Costo de operación y mantenimiento ha	Costo total de operación y mantenimiento	Beneficio neto	Valor Presente Neto	Tasa Interna de Retorno
2014			5,220,000.00			- 5,220,000		
2015	4.98	582,769.15		5.00	10,440.00	572,329.15	-4,708,991.83	-89.04%
2016	5.08	593,842.45		5.12	10,688.47	583,153.98	-4,244,105.05	-60.65%
2017	5.18	605,126.16		5.24	10,942.86	594,183.30	-3,821,177.11	-39.49%
2018	5.27	616,624.27		5.37	11,203.30	605,420.97	-3,436,421.13	-25.49%
2019	5.37	628,340.86		5.49	11,469.94	616,870.92	-3,086,392.01	-16.09%
2020	5.48	640,280.08		5.62	11,742.92	628,537.15	-2,767,955.52	-9.55%
2021	5.58	652,446.15		5.76	12,022.40	640,423.75	-2,478,260.34	-4.85%
2022	5.69	664,843.40		5.89	12,308.54	652,534.86	-2,214,712.46	-1.38%
2023	5.79	677,476.21		6.04	12,601.48	664,874.73	-1,974,951.96	1.24%
2024	5.90	690,349.05		6.18	12,901.39	677,447.66	-1,756,831.95	3.27%
2025	6.02	703,466.50		6.33	13,208.45	690,258.05	-1,558,399.25	4.87%
2026	6.13	716,833.19		6.48	13,522.81	703,310.38	-1,377,876.99	6.14%
2027	6.25	730,453.87		6.63	13,844.65	716,609.22	-1,213,648.66	7.17%
2028	6.37	744,333.35		6.79	14,174.15	730,159.20	-1,064,243.62	8.01%
2029	6.49	758,476.56		6.95	14,511.50	743,965.07	- 928,323.98	8.70%
2030	6.61	772,888.51		7.12	14,856.87	758,031.64	- 804,672.60	9.28%
2031	6.74	787,574.31		7.28	15,210.47	772,363.84	- 692,182.18	9.76%
2032	6.86	802,539.15		7.46	15,572.47	786,966.67	- 589,845.36	10.17%
2033	6.99	817,788.34		7.64	15,943.10	801,845.24	- 496,745.69	10.51%
2034	7.13	833,327.28		7.82	16,322.55	817,004.73	- 412,049.45	10.81%
2035	7.26	849,161.48		8.00	16,711.02	832,450.46	- 334,998.16	11.06%
2036	7.40	865,296.55		8.19	17,108.74	848,187.80	- 264,901.79	11.28%
2037	7.54	881,738.20		8.39	17,515.93	864,222.27	- 201,132.60	11.47%
2038	7.68	898,492.27		8.59	17,932.81	880,559.46	- 143,119.49	11.63%
2039	7.83	915,564.68		8.79	18,359.61	897,205.07	- 90,342.92	11.77%
2040	7.98	932,961.49		9.00	18,796.57	914,164.92	- 42,330.24	11.89%
2041	8.13	950,688.86		9.22	19,243.93	931,444.93	1,348.55	12.00%
2042	8.29	968,753.07		9.44	19,701.93	949,051.13	41,084.63	12.10%
2043	8.44	987,160.52		9.66	20,170.84	966,989.68	77,233.87	12.18%
2044	8.60	1,005,917.73		9.89	20,650.91	985,266.82	110,120.03	12.26%

Valor Actual de los Beneficios	\$23,275,514
Valor Actual de los Costos	\$5,669,681
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>\$17,605,833</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>12.26%</b>

**Anexo 1.6 Análisis de sensibilidad escenario 3, disminución 15% beneficios**

Consideraciones para el análisis

Tasa social de descuento anual	12%
Superficie de pastizales (ha)	2,088.00
Captura de C por ha	59.50
Costo inicial (ha)	2,500.00

Horizonte de evaluación	Beneficio por captura de C por ha	Beneficio total	Inversión inicial	Costo de operación y mantenimiento ha	Costo total de operación y mantenimiento	Beneficio neto	Valor Presente Neto	Tasa Interna de Retorno
2014			5,220,000.00			- 5,220,000		
2015	5.30	657,891.74		5.00	10,440.00	647,451.74	-4,641,918.09	-87.60%
2016	5.40	670,337.82		5.08	10,604.95	659,732.87	-4,115,983.08	-57.71%
2017	5.53	686,891.77		5.16	10,772.51	676,119.26	-3,634,734.75	-36.10%
2018	5.52	685,643.58		5.24	10,942.72	674,700.86	-3,205,950.15	-22.31%
2019	5.50	683,910.67		5.32	11,115.61	672,795.06	-2,824,188.17	-13.25%
2020	5.39	669,593.34		5.41	11,291.24	658,302.10	-2,490,671.84	-7.16%
2021	5.20	646,434.07		5.51	11,497.87	634,936.21	-2,203,458.94	-2.95%
2022	5.37	667,686.19		5.61	11,708.28	655,977.92	-1,938,520.46	0.26%
2023	5.56	690,720.85		5.71	11,922.54	678,798.31	-1,693,738.99	2.73%
2024	5.71	709,814.50		5.81	12,140.72	697,673.77	-1,469,106.70	4.66%
2025	5.83	724,403.22		5.92	12,362.90	712,040.32	-1,264,412.12	6.17%
2026	6.04	750,844.55		6.03	12,589.14	738,255.42	-1,074,920.35	7.40%
2027	6.09	756,157.32		6.14	12,819.52	743,337.80	- 904,566.51	8.37%
2028	6.31	784,192.17		6.25	13,054.12	771,138.05	- 746,776.39	9.18%
2029	6.45	800,746.12		6.37	13,293.01	787,453.11	- 602,911.65	9.84%
2030	6.44	799,497.92		6.48	13,536.27	785,961.65	- 474,704.28	10.38%
2031	6.42	797,765.01		6.60	13,783.98	783,981.03	- 360,521.88	10.82%
2032	6.31	783,447.68		6.72	14,036.23	769,411.45	- 260,467.93	11.18%
2033	6.12	760,288.42		6.85	14,293.09	745,995.32	- 173,852.81	11.47%
2034	6.29	781,540.54		6.97	14,554.66	766,985.88	- 94,341.87	11.72%
2035	6.48	804,575.20		7.10	14,821.01	789,754.19	- 21,242.53	11.94%
2036	6.63	823,668.84		7.23	15,092.23	808,576.61	45,580.27	12.13%
2037	6.75	838,257.56		7.36	15,368.42	822,889.14	106,299.58	12.29%
2038	6.96	864,698.90		7.50	15,649.66	849,049.24	162,236.73	12.43%
2039	7.00	870,011.66		7.63	15,936.05	854,075.61	212,476.28	12.55%
2040	7.23	898,046.51		7.77	16,227.68	881,818.83	258,790.12	12.66%
2041	7.36	914,600.46		7.91	16,524.65	898,075.81	300,904.11	12.76%
2042	7.35	913,352.26		8.06	16,827.05	896,525.21	338,440.97	12.84%
2043	7.34	911,619.36		8.21	17,134.98	894,484.37	371,879.72	12.91%
2044	7.22	897,302.03		8.36	17,448.55	879,853.47	401,247.40	12.97%

Valor Actual de los Beneficios	\$23,243,940
Valor Actual de los Costos	\$5,627,790
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>\$17,616,151</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>12.97%</b>

**Anexo 1.7 Análisis de sensibilidad escenario 1, aumento 35% de los costos**

Consideraciones para el análisis

Tasa social de descuento anual	12%
Superficie de pastizales (ha)	2,088.00
Captura de C por ha	70.00
Costo inicial (ha)	3,375.00

Horizonte de evaluación	Beneficio por captura de C por ha	Beneficio total	Inversión inicial	Costo de operación y mantenimiento ha	Costo total de operación y mantenimiento	Beneficio neto	Valor Presente Neto	Tasa Interna de Retorno
2014			7,047,000.00			- 7,047,000		
2015	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-6,246,568.93	-87.28%
2016	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-5,531,898.33	-57.41%
2017	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-4,893,799.58	-36.15%
2018	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-4,324,068.55	-22.45%
2019	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-3,815,380.14	-13.41%
2020	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-3,361,194.05	-7.21%
2021	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-2,955,670.76	-2.82%
2022	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-2,593,596.39	0.39%
2023	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-2,270,315.71	2.80%
2024	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-1,981,672.24	4.63%
2025	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-1,723,954.86	6.07%
2026	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-1,493,850.05	7.20%
2027	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-1,288,399.33	8.10%
2028	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	-1,104,961.19	8.83%
2029	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	- 941,177.13	9.43%
2030	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	- 794,941.37	9.92%
2031	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	- 664,373.72	10.33%
2032	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	- 547,795.47	10.67%
2033	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	- 443,707.74	10.96%
2034	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	- 350,772.27	11.20%
2035	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	- 267,794.17	11.40%
2036	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	- 193,706.58	11.58%
2037	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	- 127,556.94	11.73%
2038	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	- 68,494.77	11.86%
2039	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	- 15,760.69	11.97%
2040	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	31,323.31	12.06%
2041	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	73,362.60	12.15%
2042	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	110,897.68	12.22%
2043	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	144,411.14	12.28%
2044	6.23	910,576.80		6.75	14,094.00	896,482.80	174,333.88	12.33%

Valor Actual de los Beneficios	\$27,317,304
Valor Actual de los Costos	\$7,469,820
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>\$19,847,484</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>12.33%</b>

**Anexo 1.8 Análisis de sensibilidad escenario 2, aumento 55% de los costos**

Consideraciones para el análisis

Tasa social de descuento anual	12%
Superficie de pastizales (ha)	2,088.00
Captura de C por ha	70.00
Costo inicial (ha)	3,875.00

Horizonte de evaluación	Beneficio por captura de C por ha	Beneficio total	Inversión inicial	Costo de operación y mantenimiento ha	Costo total de operación y mantenimiento	Beneficio neto	Valor Presente Neto	Tasa Interna de Retorno
2014			8,091,000.00			- 8,091,000		
2015	6.23	910,576.80		7.75	16,182.00	894,394.80	-7,292,433.21	-88.95%
2016	6.35	927,878.83		7.93	16,567.13	911,311.70	-6,565,941.11	-60.46%
2017	6.47	945,509.62		8.12	16,961.43	928,548.20	-5,905,018.84	-39.28%
2018	6.59	963,475.42		8.32	17,365.11	946,110.31	-5,303,748.63	-25.28%
2019	6.72	981,782.59		8.51	17,778.40	964,004.19	-4,756,746.77	-15.89%
2020	6.84	1,000,437.62		8.72	18,201.53	982,236.09	-4,259,115.40	-9.36%
2021	6.97	1,019,447.11		8.92	18,634.72	1,000,812.39	-3,806,398.70	-4.67%
2022	7.11	1,038,817.81		9.14	19,078.23	1,019,739.58	-3,394,542.98	-1.21%
2023	7.24	1,058,556.57		9.35	19,532.29	1,039,024.28	-3,019,860.41	1.41%
2024	7.38	1,078,670.40		9.58	19,997.16	1,058,673.24	-2,678,995.96	3.43%
2025	7.52	1,099,166.40		9.81	20,473.09	1,078,693.31	-2,368,897.41	5.02%
2026	7.66	1,120,051.86		10.04	20,960.35	1,099,091.51	-2,086,788.00	6.28%
2027	7.81	1,141,334.17		10.28	21,459.21	1,119,874.96	-1,830,141.56	7.31%
2028	7.96	1,163,020.86		10.52	21,969.94	1,141,050.93	-1,596,659.93	8.14%
2029	8.11	1,185,119.63		10.77	22,492.82	1,162,626.81	-1,384,252.36	8.83%
2030	8.26	1,207,638.30		11.03	23,028.15	1,184,610.15	-1,191,016.79	9.40%
2031	8.42	1,230,584.85		11.29	23,576.22	1,207,008.63	-1,015,222.81	9.88%
2032	8.58	1,253,967.42		11.56	24,137.34	1,229,830.08	- 855,296.21	10.29%
2033	8.74	1,277,794.27		11.84	24,711.80	1,253,082.47	- 709,804.84	10.63%
2034	8.91	1,302,073.87		12.12	25,299.94	1,276,773.93	- 577,445.82	10.92%
2035	9.08	1,326,814.81		12.41	25,902.08	1,300,912.73	- 457,033.84	11.17%
2036	9.25	1,352,025.86		12.70	26,518.55	1,325,507.30	- 347,490.59	11.39%
2037	9.43	1,377,715.94		13.00	27,149.69	1,350,566.25	- 247,835.07	11.58%
2038	9.61	1,403,894.17		13.31	27,795.86	1,376,098.31	- 157,174.82	11.74%
2039	9.79	1,430,569.81		13.63	28,457.40	1,402,112.41	- 74,697.93	11.88%
2040	9.97	1,457,752.33		13.95	29,134.69	1,428,617.64	334.22	12.00%
2041	10.16	1,485,451.34		14.29	29,828.09	1,455,623.25	68,593.61	12.11%
2042	10.36	1,513,676.67		14.63	30,538.00	1,483,138.67	130,691.54	12.20%
2043	10.55	1,542,438.31		14.97	31,264.80	1,511,173.50	187,184.15	12.28%
2044	10.75	1,571,746.45		15.33	32,008.91	1,539,737.55	238,577.40	12.36%

Valor Actual de los Beneficios	\$36,367,990
Valor Actual de los Costos	\$8,788,005
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>\$27,579,985</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>12.36%</b>

**Anexo 1.9 Análisis de sensibilidad escenario 3, aumento 45% de los costos**

Consideraciones para el análisis

Tasa social de descuento anual	12%
Superficie de pastizales (ha)	2,088.00
Captura de C por ha	70.00
Costo inicial (ha)	3,625.00

Horizonte de evaluación	Beneficio por captura de C por ha	Beneficio total	Inversión inicial	Costo de operación y mantenimiento ha	Costo total de operación y mantenimiento	Beneficio neto	Valor Presente Neto	Tasa Interna de Retorno
2014			7,569,000.00			- 7,569,000		
2015	6.23	910,576.80		7.25	15,138.00	895,438.80	-6,769,501.07	-88.17%
2016	6.35	927,803.22		7.36	15,377.18	912,426.04	-6,042,120.62	-58.86%
2017	6.50	950,715.26		7.48	15,620.14	935,095.12	-5,376,538.39	-37.39%
2018	6.49	948,987.65		7.60	15,866.94	933,120.71	-4,783,523.30	-23.59%
2019	6.48	946,589.16		7.72	16,117.64	930,471.53	-4,255,548.77	-14.48%
2020	6.34	926,772.79		7.84	16,372.29	910,400.50	-3,794,311.55	-8.33%
2021	6.12	894,718.44		7.98	16,671.91	878,046.53	-3,397,127.89	-4.05%
2022	6.32	924,133.14		8.13	16,977.00	907,156.14	-3,030,742.74	-0.79%
2023	6.54	956,015.02		8.28	17,287.68	938,727.34	-2,692,228.25	1.73%
2024	6.72	982,442.21		8.43	17,604.05	964,838.16	-2,381,576.18	3.71%
2025	6.86	1,002,634.21		8.59	17,926.20	984,708.01	-2,098,496.16	5.26%
2026	7.11	1,039,231.22		8.74	18,254.25	1,020,976.97	-1,836,436.80	6.53%
2027	7.16	1,046,584.53		8.90	18,588.30	1,027,996.22	-1,600,846.60	7.53%
2028	7.43	1,085,387.08		9.07	18,928.47	1,066,458.61	-1,382,628.04	8.37%
2029	7.58	1,108,299.12		9.23	19,274.86	1,089,024.26	-1,183,667.38	9.05%
2030	7.57	1,106,571.51		9.40	19,627.59	1,086,943.92	-1,006,363.28	9.61%
2031	7.55	1,104,173.03		9.57	19,986.78	1,084,186.25	- 848,457.69	10.07%
2032	7.42	1,084,356.66		9.75	20,352.53	1,064,004.12	- 710,095.03	10.45%
2033	7.20	1,052,302.31		9.93	20,724.98	1,031,577.32	- 590,321.91	10.75%
2034	7.40	1,081,717.01		10.11	21,104.25	1,060,612.75	- 480,371.62	11.01%
2035	7.62	1,113,598.89		10.29	21,490.46	1,092,108.43	- 379,286.48	11.24%
2036	7.80	1,140,026.08		10.48	21,883.73	1,118,142.34	- 286,880.39	11.44%
2037	7.94	1,160,218.08		10.67	22,284.21	1,137,933.87	- 202,914.58	11.62%
2038	8.19	1,196,815.08		10.87	22,692.01	1,174,123.07	- 125,560.88	11.77%
2039	8.24	1,204,168.39		11.07	23,107.27	1,181,061.12	- 56,086.96	11.90%
2040	8.50	1,242,970.95		11.27	23,530.13	1,219,440.81	7,959.06	12.01%
2041	8.66	1,265,882.99		11.48	23,960.74	1,241,922.25	66,197.24	12.12%
2042	8.65	1,264,155.38		11.69	24,399.22	1,239,756.16	118,104.92	12.20%
2043	8.63	1,261,756.89		11.90	24,845.72	1,236,911.17	164,344.71	12.28%
2044	8.50	1,241,940.52		12.12	25,300.40	1,216,640.12	204,953.63	12.34%

Valor Actual de los Beneficios	\$32,171,544
Valor Actual de los Costos	\$8,160,295
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>\$24,011,249</b>
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>12.34%</b>