



Análisis económico para la transición a sistemas de producción ganadera regenerativa de bovinos en Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz, México

Informe final

José Alberto Lara Pulido, Alejandro Guevara Sanginés, Juan Manuel Torres Rojo

Índice de contenido

INTRODUCCIÓN	2
MARCO CONCEPTUAL	2
DATOS Y MÉTODOS	9
RESULTADOS.....	22
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	27
PLAZOS DE RECUPERACIÓN	28
POTENCIAL DE MITIGACIÓN.....	29
EXTENSIONES AL MODELO BASE	32
DISCUSIÓN	33
REFERENCIAS	35
ANEXO 1. EXTENSIONES AL ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.....	39



Introducción

Este documento presenta los resultados del “Análisis económico para la transición a sistemas de producción ganadera regenerativa de bovinos en Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz”. Específicamente de un análisis costo beneficio de la transformación de la ganadería convencional a un sistema sostenible genérico. En la segunda sección se describen los datos y el método empleado, posteriormente se presentan los resultados y se discuten.

Contexto y marco conceptual

Es bien conocido que la ganadería es una fuente significativa de gases de efecto invernadero (GEI). De acuerdo con la Sexta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (SEMARNAT/INECC, 2018), después del transporte y la industria de la energía, la actividad ganadera es la tercera fuente más importante de GEI, aportando 10.1% del total de emisiones en México, de las cuales 76% corresponden a fermentación entérica y 24% a la gestión del estiércol. Por tanto, encontrar opciones para realizar esta actividad de manera más sostenible es muy relevante.

La actividad ganadera en México se ha caracterizado históricamente por ser de tipo extensivo, poco tecnificada y desarrollarse en sistemas ecológicos diversos (derivado de la propia diversidad ecológica de los ecosistemas de México). Chauvet Sánchez (1999) presenta una descripción muy detallada sobre el desarrollo de la ganadería en México de 1950 a 1999. La autora explica que a partir de la década de los sesenta hubo una expansión muy profunda de la superficie de pastoreo, la cual llegó a abarcar una década después 65% del territorio nacional. En ese entonces, las condiciones del mercado eran favorables para grandes productores que poseían grandes extensiones de tierra, pues esto les permitía tener poder de mercado. Asimismo, esta situación generaba incentivos para seguir ampliando la frontera pecuaria y no invertir en la modernización de la actividad. Los ingresos no se reinvertían en tecnificación de la actividad, sino en la compra de más tierra. Evidentemente, esto generó una fuerte pérdida y degradación de ecosistemas naturales.

A partir de la década de los ochenta, el entorno económico cambió profundamente, se eliminan subsidios, sube el precio de los insumos, la demanda agregada se contrae y por tanto, la actividad ganadera sufre de condiciones muy adversas. El entorno internacional tampoco fue favorable, pues economías desarrolladas proveían de los productos pecuarios de mayor valor agregado, contaban con sistemas de producción altamente tecnificados y gozaban de subsidios muy altos. Por el contrario, en países como México los subsidios de hecho se redujeron por los altos niveles de deuda externa. Hasta 1999 la situación no cambió sustancialmente, México continuó con este tipo de ganadería, extensiva, de bajo valor agregado y baja tecnificación. Si bien el análisis concluye en el mencionado año, la situación no es muy distinta actualmente, con la excepción de la introducción de prácticas más sostenibles, de las cuales se hablará más adelante, pero que todavía no están generalizadas en todo el país.

La autora también describe los tipos de ganadería que prevalecían en México a finales del siglo XX, los cuales, después de más de dos décadas siguen prevaleciendo. En la Tabla 1 se presentan indicadores de la actividad ganadera en los 4 sitios de estudio provenientes de la Encuesta Nacional Agropecuaria de (INEGI, 2019). Como se puede observar, las cosas no son muy distintas al panorama que se observaba a finales del siglo XX, con una ganadería de libre pastoreo, enfocada en la producción de crías para venta y ganadería de doble propósito, alimentación basada principalmente en pastizal natural, problemas estructurales de mercado como precios de venta bajos, precios altos de insumos e intermediarismo, así como condiciones de inseguridad y de pérdida de fertilidad del suelo.



Tabla 1. Características principales de la actividad ganadera en los 4 sitios de estudio

Entidad	Rotación de potreros	Alimento balanceado	Pastizal natural	Pastizal inducido	Rastrojo	Asistencia técnica
Chiapas	64%	14%	69%	16%	39%	4%
Chihuahua	39%	64%	74%	8%	75%	3%
Jalisco	48%	59%	73%	26%	79%	17%
Veracruz	67%	39%	62%	30%	33%	9%

Entidad	Cría	Leche	Doble propósito	Engorda
Chiapas	48%	11%	26%	15%
Chihuahua	64%	13%	5%	19%
Jalisco	35%	23%	16%	27%
Veracruz	32%	5%	50%	14%

Entidad	Libre pastoreo	Pastoreo controlado	Establo	Pastizal y establo
Chiapas	80%	15%	2%	3%
Chihuahua	63%	12%	11%	14%
Jalisco	58%	4%	23%	16%
Veracruz	86%	10%	2%	2%

Entidad	Disminución consumo de agua	Tratamiento de excretas o aguas residuales	Cercos vivos	Conserv. y restaur. de suelos	Capacitación ambiental	Captación de agua
Chiapas	14%	1%	27%	7%	3%	7%
Chihuahua	25%	1%	2%	2%	3%	11%
Jalisco	46%	2%	34%	16%	6%	24%
Veracruz	14%	1%	53%	10%	4%	14%

Entidad	Precios bajos de venta	Precios altos de insumos	Falta de asistencia técnica	Intermediarismo	Inseguridad	Pérdida de fertilidad del suelo
Chiapas	43%	75%	41%	39%	18%	24%
Chihuahua	24%	69%	11%	18%	26%	12%
Jalisco	44%	84%	25%	34%	28%	22%
Veracruz	54%	80%	32%	42%	35%	19%



Asimismo, en la tabla 1 se observa que Jalisco es el estado donde mejores prácticas productivas y ambientales y están más diversificados los tipos de ganadería, esto a pesar de que los problemas mencionados con la actividad no son muy diferentes a los otros estados. También se observa que en Chihuahua es donde menos problemas estructurales hay, donde las prácticas ambientales se limitan prácticamente al tema de agua (seguramente por su escasez) y donde más concentrada está la actividad en cría de ganado (para exportación, como se comentó con anterioridad). En este estado también sobresale la poca asistencia técnica que se recibe pero que al mismo tiempo no se considera como un problema. En Chiapas se presentan problemas estructurales de mercado, falta de asistencia técnica y la mayor pérdida de fertilidad, sin embargo, no hay niveles altos de prácticas ambientales y se concentra la actividad en cría de ganado y doble propósito, con libre pastoreo y un uso extendido de pastizales naturales. Sobresale también la falta de asistencia técnica. En Veracruz es donde se encuentran los niveles más altos de pastizal inducido, se concentra la producción en cría y doble propósito, un uso extendido de cercos vivos y rotación de potreros, y problemas estructurales muy marcados.

Existen diversas formas de realizar la actividad ganadera, con distintos niveles tecnológicos y de interacción con el entorno natural, entre las cuales destacan:

- **Ganadería convencional.** Se caracteriza por tener casi nulos niveles de tecnificación y manejo. Ocupa grandes extensiones de terreno con vegetación natural o inducida y cuenta con mínima inversión en mantenimiento de potreros y en mano de obra (Gerritsen & van der Ploeg, 2006). Este tipo de ganadería es de baja productividad (productos pecuarios por unidad de superficie), bajo valor agregado y tiene un impacto negativo y significativo en los ecosistemas y en las emisiones de GEI (Garnett, 2009). La opción convencional puede incluir la expresión de ganadería familiar en ejidos y comunidades, la cual genera una parte relevante de los ingresos para campesinos y “se basa en el trabajo de todos sus integrantes, principalmente de las mujeres” (CEDRSSA, 2018).
- **Manejo estacional.** Tiene como objetivo adaptar el pastoreo a las condiciones climáticas, de tal suerte que el ganado solo se pastorea cuando hay buenas condiciones y suficiente alimento en los pastizales (INIFAP, 2012). De acuerdo con Beck, McNeely, Thomas, & Bailey (2007) no hay una diferencia significativa en la producción de becerros y en la composición de la vegetación entre la ganadería convencional y el manejo estacional.
- **Técnica del mejor potrero.** Consiste en identificar las mejores zonas para pastorear y generalmente se realiza con cercas eléctricas móviles para concentrar al ganado en dichas áreas específicas. Este tipo de pastoreo funciona bien en zonas áridas y semiáridas en donde la precipitación es incierta (Herbel, 1982; Morales-Nieto, 2018).
- **Rotación de potreros.** Implica el establecimiento de los mismos con cercos y el manejo del ganado para que pastoreen de manera rotativa. Esto se hace para dejar descansar áreas de pastoreo con la finalidad de que el pasto recupere su vigor y sus raíces se fortalezcan (Undersander et al., 2002). La evidencia apunta a que tiene efectos económicos positivos derivado de una mayor productividad, pero no hay evidencia contundente sobre si tiene beneficios ecológicos (Briske et al., 2008; Briske et al., 2011). No obstante, un manejo no sustentable tiene efectos negativos sobre la integridad ecológica (Diaz, 2010). En este sentido, dado el actual contexto de la ganadería en México, la rotación de potreros es una mejor opción que las prácticas convencionales.
- **Pastoreo intensivo.** Agrupa varias formas de pastoreo del ganado (Savory & Butterfield, 2016; Voisin & Lecomte, 1962) y consiste en la subdivisión de potreros, una elevada densidad animal (lograda por la división de potreros en unidades más pequeñas para concentrar el ganado en ellas), un tiempo corto de utilización en cada potrero y el descanso



adecuado entre eventos de pastoreo para que se recupere el pastizal; así como el manejo del pisoteo, ramoneo, estiércol, entre otros aspectos. Al respecto, Hawkins (2017) encuentra que no generan mayores beneficios que los que genera el manejo rotacional. En particular, a partir de un meta-análisis con información de 1972 a 2016, este autor encuentra que este tipo de sistemas no genera una diferencia en la cobertura de plantas, la biomasa, y en la ganancia de peso en comparación con el pastoreo continuo. No obstante, el autor también encuentra que este tipo de prácticas está correlacionado con un mayor nivel de capital social entre sus promoventes, lo cual a su vez está asociado a una mayor capacidad de aprendizaje y a un comportamiento adaptativo.

- **Ganadería confinada.** Mantiene al ganado estabulado y generalmente requiere de grandes extensiones de agricultura para dotarle de alimento.

De forma complementaria, también existen los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi), que son un módulo tecnológico que puede incorporarse a los sistemas de pastoreo anteriormente descritos (con excepción de la ganadería confinada) y consiste en establecer fuentes de proteína (generalmente arbustos) para el ganado y el uso de árboles para proveer sombra y enriquecer el suelo. Este sistema tiene el objetivo de crear una interacción entre el material vegetativo y el ganado, lo cual se ha encontrado que eleva de manera significativa la productividad de la actividad y preserva o restaura la integridad ecológica del territorio (Azuara-Morales et al., 2020; Chará et al., 2019).

Los SSPi pueden producir 12 veces más carne que el pastoreo extensivo y 4.5 veces más que los pastos mejorados sin árboles, pero las emisiones de metano (CH₄) no se incrementan en igual proporción siendo 6.8 y 2.8 veces mayores en el SSPi respectivamente, razón por la cual las emisiones del mismo gas por tonelada de carne son 1.8 veces menores en el SSPi que en el pastoreo extensivo (Murgueitio et al., 2014). En México un SSP con *Leucaena leucocephala* y *Cocos nucifera* retiene entre 101.19 y 128.62 toneladas de carbono por hectárea por año (Anguiano et al., 2013). Además, los SSPi mantienen la humedad del suelo, reducen las altas temperaturas ambientales en los potreros mejorando también la productividad y calidad de los forrajes, además de reducir la estacionalidad de la producción de carne y leche (Murgueitio et al., 2014). Por otro lado, es pertinente señalar que ciertas prácticas de los SSPi solo son adecuadas para climas tropicales, pues en entornos de pastizales nativos abiertos (como en Chihuahua), estas, como la plantación de arbustivas, implicarían modificaciones del ecosistema que no son aptos para ello. No obstante, cabe reconocer que los parámetros de productividad y ambientales provienen comúnmente de situaciones experimentales.

En la figura 1A y 1B se muestran de manera conceptual las distintas formas de realizar el pastoreo. Como se puede observar, se parte del supuesto de que conforme la intensidad del pastoreo es mayor, la rentabilidad financiera se incrementa (hasta el punto donde una cabeza de ganado adicional no incrementa la rentabilidad, pues el ecosistema no soporta esa unidad adicional). También en esta figura se colocan en el mismo lugar al manejo rotacional tradicional y el intensivo (como el Pastoreo Racional Voisin – PRV, y el Manejo Holístico) dada la evidencia sobre que ambos tipos de pastoreo generan rendimientos similares (Hawkins, (2017). Finalmente, nótese que en la figura se supone que los SSPi incrementan la rentabilidad financiera para todas las formas de realizar el pastoreo; esto significa que estos sistemas no son mutuamente excluyentes al realizar alguna modalidad de pastoreo. Esta hipótesis parte del supuesto de que hay mejores condiciones ecológicas para la realización de la actividad ganadera en un arreglo silvopastoril comparado a la ganadería extensiva. En la figura 1A también se señala el efecto de distintas densidades de planta, cuando se incrementa este atributo se obtiene mayor disponibilidad de alimento para cualquier tipo de pastoreo, lo que eleva la rentabilidad, no obstante, cabe señalar que si se sigue aumentando dicha densidad llega un punto donde es más costoso el establecimiento del sistema que el incremento marginal en



el alimento (esto no se muestra en la figura, pero implicaría que a mayor densidad la línea de rentabilidad va acercándose al eje horizontal hasta alcanzar números negativos de rentabilidad).¹

Figura 1A. Rentabilidad de acuerdo a distintos tipos de pastoreo para climas tropicales (Chiapas, Jalisco y Veracruz).

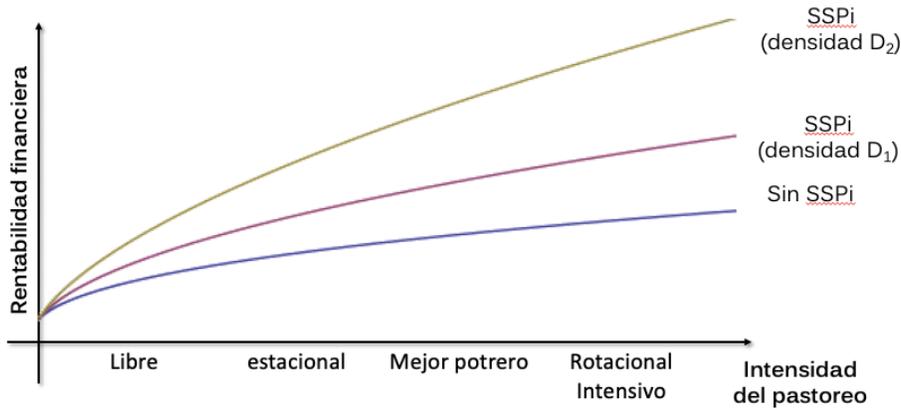
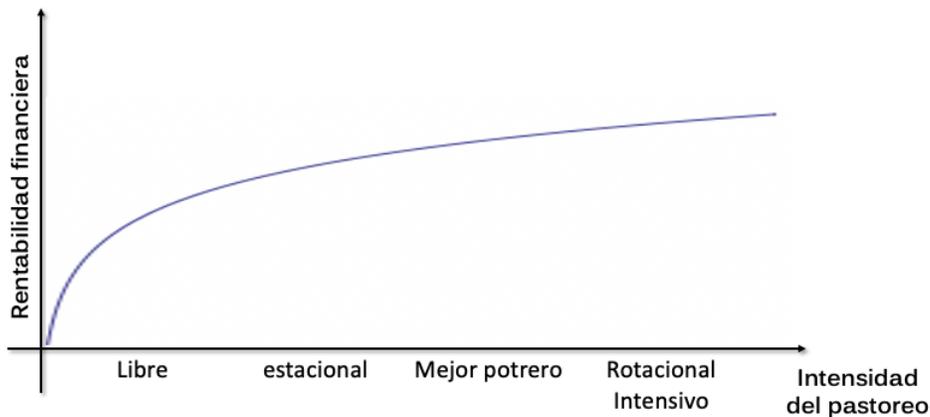


Figura 1B. Rentabilidad de acuerdo a distintos tipos de pastoreo para climas secos (Chihuahua).



Fuente: Elaboración propia.

Las características ecológicas y productivas de los estados bajo análisis en este reporte son muy diversas y variantes y estos parámetros solo son un punto de referencia para caracterizar de manera agregada a cada estado. En la tabla 1 se presentan parámetros básicos de los ecosistemas y de la actividad ganadera en cada uno de los estados.

¹ Cabe señalar que el incremento de densidades también se puede lograr con un buen manejo del pastoreo, lo cual no se ve reflejado en estas figuras, sería una dimensión más relacionada con la calidad del manejo.



Tabla 1. Parámetros básicos de la actividad ganadera y los ecosistemas en los 4 estados seleccionados para el proyecto CONECTA.

Parámetro	Unidades	Chiapas	Jalisco	Veracruz	Chihuahua
Ecosistema ^{a,b,c,d}	Tipo	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales • Bosque de coníferas • Selvas altas, bajas y medianas 	<ul style="list-style-type: none"> • Bosque templado • Selvas • Matorral • Pastizal 	<ul style="list-style-type: none"> • Bosques de pino-encino • Bosques mesófilos de montaña • Selvas bajas, altas y medianas • Dunas costeras • Manglares 	<ul style="list-style-type: none"> • Pastizal • Matorral
Sistema(s) de producción ^{a,b,c,d}	Tipo	<ul style="list-style-type: none"> • Doble propósito • Semiestabulado • Engorda de novillos en pradera • Crianza sin ordeña 	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de carne • Producción de leche 	<ul style="list-style-type: none"> • Doble propósito • Pie de cría • Engorda 	<ul style="list-style-type: none"> • Cría de ganado “al destete para exportación” • Pie de cría • Engorda de animales destetados • Subsistencia
Existencias de ganado ^e	Cabezas	2,572,877	3,290,786	4,306,215	2,469,946
Superficie ganadera en todo el estado ^f	ha	2,500,000	3,726,000	3,600,000	17,805,000
Carga animal (número de cabezas/hectáreas)	Cabezas/ha	1.029	0.883	1.196	0.139
Coefficiente de agostadero (considerado en el análisis)	ha/cabeza	1.0	1.1	0.8	7.2
Coefficiente de agostadero ponderado ^f	ha/UA	1.8 (mín: 0.8, máx: 18.9)	8.5 (mín: 1.9, máx: 25.6)	1.8 (mín: 0.8, máx: 26.3)	20.1 (mín: 8, máx: 60)
Ganado en pie ^g	ton	197,669.48	432,079.19	479,077.52	156,821.33
Carne en canal ^g	ton	105,521.11	238,585.99	257,934.74	84,806.30
Carne/hectárea	kg/ha	42.2	64.0	71.6	4.8
Leche ^g	miles de litros	433,737.81	2,433,016.85	723,614.93	1,128,404.72
Leche/hectárea/año	lt/ha	173.5	653.0	201.0	63.4
Emisiones/cabeza ^h	tCO2e/cabeza	1.40	1.40	1.40	1.40
Emisiones	Gg CO2e/año	3602.0	4607.1	6028.7	3457.9
Emisiones/hectárea	ton CO2e/ha	1.44	1.24	1.67	0.19



FMCN

Análisis económico para la transición a sistemas de producción ganadera regenerativa de bovinos en Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz, México

Fuente: Elaboración propia con información de: a. FONCET (2020), b. PRONATURA NORESTE (2020), c. FONNOR (2020), d. Fondo Golfo de México A.C. (2020), e. SADER (2019a), f. SEMARNAT (2018), g. SADER (2019b), h. IPCC (2014).



Datos y métodos

Se realizó un análisis costo beneficio desde el punto de vista privado y ambiental, para una situación base y una alternativa. El punto de vista privado contabiliza los costos y beneficios directos (tangibles) que enfrenta el productor para la realización de la actividad en un periodo de 10 años. El punto de vista social añade las emisiones de gases de efecto invernadero. Se generaron indicadores de rentabilidad (valor presente neto privado y ambiental, tasa interna de retorno, índice costo beneficio, plazo de recuperación de la inversión) para ambas perspectivas (privada y ambiental). El objetivo es comparar una rentabilidad para un productor con características promedio.

Asimismo, se estimó un intervalo de confianza para los distintos indicadores de rentabilidad, el cual se construyó con una simulación Monte Carlo, tomando valores mínimos y máximos de los costos y beneficios para generar rondas aleatorias. Además, se realizó un análisis de sensibilidad para identificar aquellos factores que afectan más la rentabilidad. El alcance de este método es identificar si en promedio es más rentable la ganadería sostenible comparada con la tradicional.

Además, el ejercicio Monte Carlo y el análisis de sensibilidad nos permiten observar los límites inferior y superior de dicha rentabilidad. Cabe señalar que no se están considerando todas las posibles combinaciones de prácticas ganaderas en los estados, se toma como referencia una situación típica y se identifica si una transformación es rentable desde la perspectiva privada y la ambiental.

El análisis descrito se realizó para distintos tamaños de productores. Los datos base se tomaron informes encargados por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN). Estos informes se realizaron para cada entidad bajo análisis. En particular, se consideraron datos provenientes del Fondo de Conservación El Triunfo, A.C. FONCET, (2020) para el estado de Chiapas, del Fondo Noroeste, A.C. (FONNOR, (2020) para el estado de Jalisco, del Fondo Golfo de México, A.C. (2020) para el estado de Veracruz y de Pronatura Noreste, A.C. (PNE, 2020) para el estado de Chihuahua. Cabe señalar que se usaron los datos de estos informes como referencias base y se reconstruyó el análisis costo beneficio homologando el método para los 4 estados.

Adicionalmente, para los costos de mantenimiento de infraestructura e instalaciones se consideró información de los paquetes tecnológicos para ganadería convencional generada por los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), en particular el costo de mantenimiento de las instalaciones que no fue reportado por los reportes antes referidos. Otras fuentes adicionales se utilizaron para la estimación de los gases de efecto invernadero (GEI) producidos por esta actividad económica. En particular, se utilizaron datos de Tubiello et al. (2015) para asignar una cantidad de emisiones de metano del ganado, y de World Bank (2017) para establecer una valoración social a dichas emisiones.

Además, se consideró un precio del carbono de 5 dólares por tonelada para aproximar el valor comercial de estas emisiones. Esto último se consideró para comparar el valor social del carbono (tomando en cuenta el valor referido por el Banco Mundial) con el valor de mercado del carbono, que para un contexto como el de México ronda este valor de 5 dólares por tonelada.

De manera complementaria, se realizó el análisis con tasas de descuento de 6 y 9 por ciento, y se consideró un valor de 3.01 dólares por tCO₂e de acuerdo con el estado de los mercados voluntarios de carbono en 2019 (Donofrio et al., 2019). Finalmente, se utilizó la herramienta EX-ACT de (FAO, 2014) para modelar las emisiones de la ganadería convencional y la alternativa. Estos escenarios alternativos se generaron para conocer la sensibilidad de los resultados ante distintos supuestos del análisis. Estos análisis adicionales se realizaron a petición del personal del FMCN, con la finalidad de observar la sensibilidad de los resultados ante distintas tasas y precios del carbono.

En la tabla 2 se presentan los datos base utilizados para cada estado considerando una finca promedio para los distintos tamaños de productores. Estos datos se utilizaron para obtener la línea



Análisis económico para la transición a sistemas de producción ganadera regenerativa de bovinos en Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz, México

base de la rentabilidad de la actividad ganadera en los estados bajo análisis. Para analizar la rentabilidad de la ganadería sostenible se requiere información respecto a la inversión adicional, sobre los costos anuales adicionales y sobre el efecto que tienen dichas inversiones en la productividad del sistema, lo cual se presenta a continuación.



Tabla 2. Datos base para el análisis costo beneficio.

Chiapas				
Parámetro	Unidad	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Carga animal	Cabezas/ha	1	0.7	3
Superficie	Hectáreas	48	14	155
Vientres en producción	Cabezas	24	2	34
Días de leche	Días/año	290	260	300
Producción de leche	Litros/día	5.5	2	7
Peso becerros	Kg	220	210	230
Peso animal de desecho	Kg	530	500	550
Fertilidad	Animal/vaca/año	1	0.5	1
Cabezas totales	Cabezas	48	2	68
Vacas en producción de leche	Vacas	12	1	20
Peso vientre	Kg	600	600	600
Porcentaje de cabezas de desecho	%	10	10	10

Fuente: Elaboración propia con información de FONCET (2020).

Jalisco				
Parámetro	Unidad	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Carga animal	Cabezas/ha	1.45	1.25	1.54
Superficie	Hectáreas	19	5	33
Vientres en producción	Cabezas	28	1	50
Días de leche	Días/año	290	260	300
Producción de leche	Litros/día	8.25	6.5	10
Peso becerros	Kg	200	300	150
Peso animal finalizado	Kg	200	198	205
Peso animal de desecho	Kg	530	500	550
Fertilidad	Animal/vaca/año	1	0.50	1
Cabezas totales	Cabezas	55	2	100
Vacas en producción de leche	Vacas	0	0	0
Peso vientre	Kg	600	600	600
Porcentaje de cabezas de desecho	%	10	10	10

Fuente: Elaboración propia con información de FONNOR (2020).



Análisis económico para la transición a sistemas de producción ganadera regenerativa de bovinos en Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz, México

Veracruz				
Parámetro	Unidad	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Carga animal	Cabezas/ha	1	0.4	1
Superficie	Hectáreas	10	10	20
Vientres en producción	Cabezas	10	1	15
Días de leche	Días/año	290	260	300
Producción de leche	Litros/día	16	14	18
Peso becerros	Kg	190	180	200
Peso animal de desecho	Kg	530	500	550
Fertilidad	Animal/vaca/año	0.67	0.67	0.67
Cabezas totales	Cabezas	17	2	25
Vacas en producción de leche	Vacas	10	0	15
Peso vientre	Kg	600	600	600
Porcentaje de cabezas de desecho	%	10	10	10

Fuente: Elaboración propia con información de Fondo Golfo de México (2020).

Chihuahua				
Parámetro	Unidad	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Superficie (Tradicional)	Hectáreas	4,200	800	8,500
Carga animal (Tradicional)	Cabezas/ha	0.200	0.170	0.250
Carga animal (Rotacional)	Cabezas/ha	0.360	0.360	0.360
Carga animal (Intensivo)	Cabezas/ha	0.400	0.400	0.400
Cabezas totales (Tradicional)	Cabezas	840	160	1330
Cabezas totales (Rotacional)	Cabezas	1,512	288	2394
Cabezas totales (Intensivo)	Cabezas	1680	320	2660
Mortalidad	Cabezas/año	8.4	1.3	20

Fuente: Elaboración propia con información de Pronatura Noreste (2020).



Chiapas. Precios y cantidades.							
Parámetro	Unidad	Cantidad promedio	Cantidad mínima	Cantidad máxima	Precio promedio (pesos)	Precio mínimo (pesos)	Precio máximo (pesos)
Alimentación							
Maíz ^a	Cabeza/año	48	18	62	942.44	71.28	1813.61
Alimento balanceado ^a	Cabeza/año	48	18	62	618.05	130.99	1105.11
Pollinaza ^a	Cabeza/año	48	18	62	1108.66	832.31	3513.10
Forraje ^a	Cabeza/año	48	18	62	687.60	59.98	1315.23
Ensilado ^a	Cabeza/año	48	18	62	677.80	322.52	1389.53
Sales minerales ^a	Cabeza/año	48	18	62	104.51	2.19	205.99
Sanidad							
Garrapaticidas ^a	Cabeza/año	48	18	62	55.91	31.21	151.86
Antibióticos ^a	Cabeza/año	48	18	62	50.04	31.21	148.33
Servicios veterinarios ^a	Cabeza/año	48	18	62	74.04	3.07	145.01
Otros							
Mano de obra ^a	Jornal/año	480	206	644	166.46	166.46	166.46
Inseminación artificial ^a	Cabeza/año	48	18	62	118.88	62.42	270.53
Electricidad ^a	Cabeza/año	48	18	62	171.10	104.04	415.68
Comb. y lubricantes ^a	Cabeza/año	48	18	62	233.28	104.04	568.27
Transporte y fletes ^a	Cabeza/año	48	18	62	182.45	20.09	344.82
Renta de potreros ^a	Cabeza/año	48	18	62	41.62	31.21	62.42
Aretes e impuestos ^a	Cabeza/año	48	18	62	166.46	166.46	166.46
Costos fijos							
Mantto e instal. ^b	Cabeza/año	48	18	62	318.03	318.03	318.03
Ingresos							
Leche	Litros/año	19140	3432	34650	5.5	4.8	6.5
Becerras	Becerras/año	22	7	25	8,160	7,350	8,970
Animales de desecho	Cabezas/año	2	2	3	10,600	8,500	14,850
Emisiones							
Captura de CO ₂ e en vegetación	tCO ₂ e	0	0	0	1,380	920	1,840
Emisiones de metano ^c	tCO ₂ e/cabeza	1.344	1.176	1.512	1,380	920	1,840

Fuente: Elaboración propia con información de a. FONCET (2020), b. FIRA (2016), c. Tubiello et al. (2015) y World Bank (2017).



Análisis económico para la transición a sistemas de producción ganadera regenerativa de bovinos en Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz, México

Chihuahua. Precios y cantidades.							
Parámetro	Unidad	Cantidad promedio	Cantidad mínima	Cantidad máxima	Precio (pesos)	Precio mínimo (pesos)	Precio máx. (pesos)
Convencional							
Inversión							
Infraestructura ^a	Lote	1	1	1	0	0	0
Ganado ^a	Cabezas	840	160	1330	14,932	14,932	14,932
Costos fijos							
Costos fijos ^a	Hectárea	4,200	800	8,500	48.47	48.47	48.47
Gastos de admón. ^a	Hectárea	4,200	800	8,500	65.48	65.48	65.48
Costos variables ^a	Cabeza	840	160	1330	483.31	483.31	483.31
Ingresos por ventas ^a	Cabeza	831	150	1310	7,398	7,398	7,398
Rotacional							
Inversión							
Infraestructura ^a	Lote	1	1	1	90,000	90,000	90,000
Ganado ^a	Cabezas	1,512	288	2,394	19,095	19,095	19,095
Costos fijos							
Costos fijos ^a	Hectárea	4,200	800	8,500	97.63	97.63	97.63
Gastos de admón. ^a	Hectárea	4,200	800	8,500	65.48	65.48	65.48
Costos variables ^a	Cabeza	1,512	288	2,394	629.01	629.01	629.01
Ingresos por ventas ^a	Cabeza	1,495	158	1,315	7,876	7,876	7,876
Intensivo							
Inversión							
Infraestructura ^a	Lote	1	1	1	6,000,000	6,000,000	6,000,000
Ganado ^a	Cabezas	1,680	320	2,660	14,286	14,286	14,286
Costos fijos							
Costos fijos ^a	Hectárea	4,200	800	8,500	99.95	99.95	99.95
Gastos de admón. ^a	Hectárea	4,200	800	8,500	65.48	65.48	65.48
Costos variables ^a	Cabeza	1,680	320	2,660	505.98	505.98	505.98
Ingresos por ventas ^a	Cabeza	1,662	317	2,631	6,935	6,935	6,935
Emisiones							
Captura de CO ₂ e	tCO ₂ e	0	0	0	1,380	920	1,840
Emisiones de metano ^b	tCO ₂ e/cabeza	1.344	1.176	1.512	1,380	920	1,840

Fuente: Elaboración propia con información de a. Pronatura Noreste (2020), b. Tubiello et al. (2015) y World Bank (2017).



Jalisco. Precios y cantidades.							
Parámetro	Unidad	Cantidad promedio	Cantidad mínima	Cantidad máxima	Precio promedio (pesos)	Precio mínimo (pesos)	Precio máximo (pesos)
Alimentación							
Alimento balanceado ^a	Cabeza/año	28	10	45	5913.00	2190.00	13140.00
Suplementos ^a	Cabeza/año	28	10	45	985.50	365.00	2190.00
Vitaminas ^a	Cabeza/año	28	10	45	197.10	73.00	438.00
Sales minerales ^a	Cabeza/año	28	10	45	492.75	182.50	1095.00
Sanidad							
Garrapaticidas ^a	Cabeza/año	28	10	45	295.65	109.50	657.00
Antibióticos ^a	Cabeza/año	28	10	45	295.65	109.50	657.00
Vacunas ^a	Cabeza/año	28	10	45	197.10	73.00	438.00
Desparasitantes ^a	Cabeza/año	28	10	45	197.10	73.00	438.00
Mantto. de potrero							
Alambre de púas ^a	Cabeza/año	28	10	45	197.10	73.00	438.00
Alambre p/cerco elec. ^a	Cabeza/año	28	10	45	98.55	36.5	219
Semilla para pastos ^a	Cabeza/año	28	10	45	197.10	73.00	438.00
Herbicidas ^a	Cabeza/año	28	10	45	295.65	109.50	657.00
Mosquicidas ^a	Cabeza/año	28	10	45	197.10	73.00	438.00
Plaguicidas ^a							
Otros							
Aretes ^a	Cabeza/año	28	10	45	98.55	18.50	1095.00
Mano de obra ^a	Cabeza/año	28	10	45	855.18	1282.77	641.39
Mantto e instal. ^b	Cabeza/año	28	10	45	470.00	470.00	470.00
Ingresos							
Leche	Litros/año	0	0	0	5.56	5.08	7.44
Becerras	Becerras/año	25	0.50	45	8,160	7,350	8,970
Animales de desecho	Cabezas/año	3	1	5	10,600	8,500	14,850
Emisiones							
Captura de CO ₂ e en vegetación	tCO ₂ e	0	0	0	1,380	920	1,840
Emisiones de metano ^c	tCO ₂ e/cabeza	1.344	1.176	1.512	1,380	920	1,840

Fuente: Elaboración propia con información de a. FONNOR (2020), b. FIRA (2016), c. Tubiello et al. (2015) y World Bank (2017).



Análisis económico para la transición a sistemas de producción ganadera regenerativa de bovinos en Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz, México

Veracruz. Precios y cantidades.							
Parámetro	Unidad	Cantidad promedio	Cantidad mínima	Cantidad máxima	Precio promedio (pesos)	Precio mínimo (pesos)	Precio máximo (pesos)
Insumos							
Alimento, rastrojo, vacunas, desparasitante ^a	Cabeza/año	10	7	17	12,605	6,948	18,262
Mano de obra ^a	Cabeza/año	10	7	17	5,533	5,533	5,533
Combustibles y lub. ^b	Cabeza/año	10	7	17	253	154	614
Otros							
Mantto e instal. ^c	Cabeza/año	10	7	17	470	470	470
Ingresos							
Leche ^a	Litros/año	43,152	0	75,330	6.24	5.00	11.22
Becerras ^a	Becerras/año	5.6	0.56	8.5	7,176	5,760	8,800
Animales de desecho ^a	Cabezas/año	1	0.7	1.7	10,600	8,500	14,850
Queso ^a	Kg/año	3,020	0	5,273	40	40	90
Emisiones							
Captura de CO ₂ e en vegetación	tCO ₂ e	0	0	0	1,380	920	1,840
Emisiones de metano ^d	tCO ₂ e/cabeza	1.344	1.176	1.512	1,380	920	1,840

Fuente: Elaboración propia con información de a. Fondo Golfo de México (2020), b. FONCET (2020), c. FIRA (2016), d. Tubiello et al. (2015) y World Bank (2017).

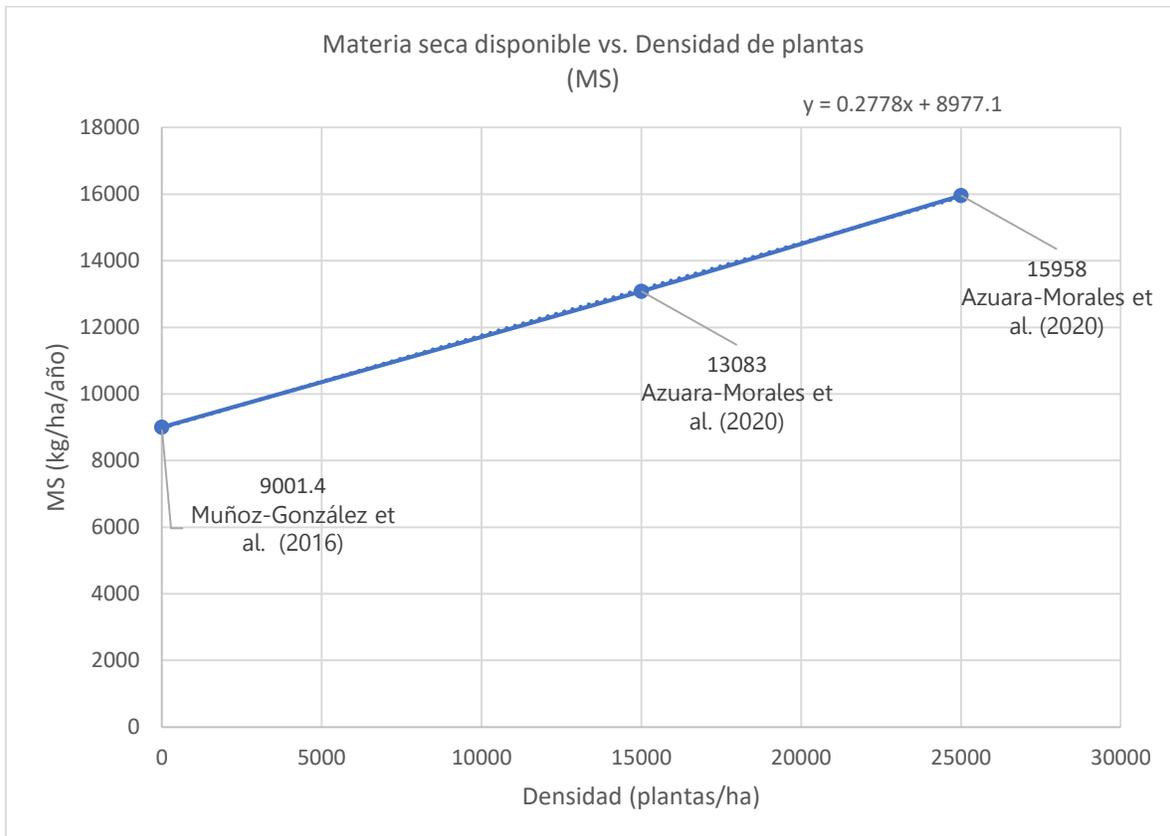


Para caracterizar la transformación de la actividad ganadera convencional hacia una opción sustentable, se consideró el trabajo de Azuara-Morales et al. (2020), quienes reportan los parámetros de incremento en productividad de sistemas silvopastoriles en climas tropicales y de Muñoz-González, Huerta-Bravo, Lara Bueno, Rangel Santos, & Arana (2016) para los parámetros de productividad de ganadería convencional. Para los costos de establecimiento de este tipo de sistemas se consideró información de Hernandez Trujillo (2013), quien reporta costos de establecimiento para distintos arreglos de sistemas silvopastoriles. En el caso de Chihuahua los sistemas silvopastoriles no son aptos dadas las condiciones ecológicas del territorio, caracterizadas por grandes extensiones de baja productividad y escasez de agua; en este caso, se utilizó información reportada por Pronatura Noreste (2020) relativa al manejo rotacional e intensivo de potreros.

Es importante reconocer que el uso de estas fuentes representa una aproximación probablemente insuficiente, pues estamos asignando valores a partir de 4 observaciones. Esta limitante se discute en el análisis de sensibilidad de una sección posterior.

En la Figura 2 se muestra una función que relaciona la densidad de plantas (*B. humidicola*, *B. híbrida*, *B. humidicola* y *P. notatum* en el caso de Muñoz-González et al., 2016 y *Leucaena leucocephala* en el caso de Azuara-Morales et al. (2020)) con la disponibilidad de materia seca. Adicionalmente, en la Figura 3 se muestra una función que relaciona la densidad de plantas con el costo de establecimiento. Ambas funciones fueron integradas al análisis para identificar el costo de establecimiento y el aporte de materia seca que aporta el SSPi.

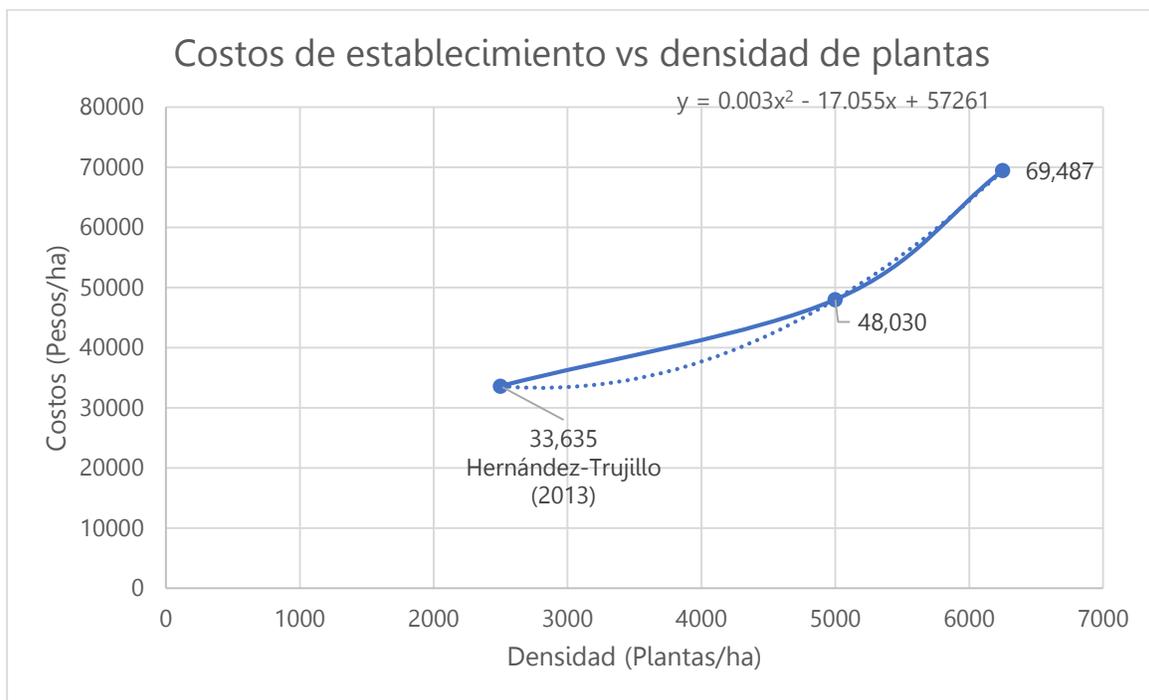
Figura 2. Materia seca disponible en función de la densidad de plantas para SSP.





Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Costos de establecimiento en función de la densidad de plantas para SSP.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se adoptaron algunos supuestos sobre información de la que no se tienen disponibles datos, a saber: la proporción de vacas en producción de leche respecto del total de ganado (se supuso que 50% de los vientres producen leche), el porcentaje promedio de animales de desecho (10% cada año), y la proporción de producción de queso (Veracruz) (solo 7% de la leche producida se transforma en queso y se requieren 10 litros para hacer 1 kg de queso). Asimismo, se tuvo una entrevista con cada uno de los encargados de los informes referidos o con expertos.² Derivado de estas entrevistas algunos datos fueron precisados, en particular, los relativos al tamaño del hato y superficies, tipo de ganadería más común, rubros de costos faltantes, entre otros.

Las fuentes de información se sistematizaron en una hoja de cálculo, que identifica los parámetros de carga animal y productividad (parámetros de producción de leche por día y de fertilidad, esencialmente), costos, beneficios y emisiones de GEI para cada estado (ver tabla 2); así como parámetros técnicos y económicos de los sistemas silvopastoriles en Chiapas, Jalisco y Veracruz y manejo rotacional e intensivo de potreros en Chihuahua. Para cada estado se generó una línea base y una opción de transformación por tamaño de productor. Posteriormente, se compararon los

² Se entrevistó a Esli Lozano (Veracruz), Wenceslao Apan (Chiapas), Paola Bauche y José Machorro (Jalisco), Iris Banda, Gabriela Mendoza y Enrique Pérez (Chihuahua).



resultados del análisis costos beneficio para ambos escenarios. La hoja de cálculo está disponible en el siguiente [enlace](#)³ para su consulta.

Para el análisis se consideraron 3 escalas de productores de acuerdo al tamaño de su hato y de su superficie. En la tabla 3 se presenta una descripción de estas escalas, del sistema productivo y de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por la mejora tecnológica.

Tabla 3. Caracterización de los sistemas de producción.

Parámetro	Unidad	Chiapas	Chihuahua	Jalisco	Veracruz
Opción de transformación	Tipo	SSPi	Rotacional/ intensivo	SSPi	SSPi
<i>Superficie</i>					
Prod. Pequeño	Hectárea	18 ^a	800 ^b	15 ^c	5 ^d
Prod. Mediano	Hectárea	48 ^a	4,200 ^b	41 ^c	10 ^d
Prod. Grande	Hectárea	155 ^a	8,000 ^b	159 ^c	60 ^d
<i>Cabezas</i>					
Prod. Pequeño	Cabezas	18 ^a	160 ^b	15 ^c	5 ^d
Prod. Mediano	Cabezas	48 ^a	840 ^b	41 ^c	10 ^d
Prod. Grande	Cabezas	62 ^a	1600 ^b	159 ^c	60 ^d
Incremento en productividad	%	55 ^e	30 ^b	70 ^e	100 ^e
Captura de carbono	tCO ₂ e/ha	24.5 ^f	0	24.5 ^f	24.5 ^f
Costo del SSPi	Pesos/ha	33,096 ^g	No aplica	62,931 ^g	284,601 ^g
Reducción de emisiones de metano	%	20 ^f	22 ^h	20 ^f	20 ^f

Fuente: Elaboración propia con información de a. FONCET (2020), b. Pronatura Noreste (2020), c. FONNOR (2020), d. Fondo Golfo de México A.C. (2020), e. Muñoz-González et al. (2016) y Azuara-Morales et al. (2020), f. Chará et al. (2019), g. (Hernandez Trujillo, 2013) h. DeRamus, Clement, Giampola, & Dickison (2003).

El proceso para realizar el análisis costo beneficio fue el siguiente:

1. Se parametrizó la actividad ganadera convencional y la opción de transformación en sistema silvopastoril o manejo rotacional/intensivo de potreros.
2. Se generaron tablas de costos y beneficios para cada estado, tanto para la línea base como para la opción alternativa (ver tabla 2).
3. Estas tablas (línea base y ganadería alternativa sistema) se procesaron en la herramienta disponible en el sitio www.acbgiz.org, misma que permite obtener los indicadores de rentabilidad que se mencionan en la tabla 4. Cabe señalar que dicha herramienta permite realizar un análisis estadístico para estimar los indicadores de rentabilidad y su intervalo de

³ <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1CQrBXKWQ-LbyvKheCZD8K8LX-giW5HFwBwO9zXBi4yk/edit?usp=sharing>



confianza, el cual se estima a partir de la variación en los parámetros de entrada (por ejemplo, en los precios de venta, en la cantidad de leche producida, etc.).

4. Análisis de sensibilidad sobre escenarios alternativos con diferencias en costos y beneficios.

Tabla 4. Indicadores de rentabilidad.

Indicador	Acrónimo	Definición
Valor Presente Neto	VPN	Es la resta de Beneficios Totales menos Costos Totales (descontados en un periodo de 10 años)
Valor Presente Neto Social	VPNS	Es la resta de los Beneficios Totales menos Costos Totales (descontados) incluyendo el valor económico de las emisiones de gases de efecto invernadero.
Índice Costo Beneficio	ICB	Es la división del Beneficio Neto entre los Costos Totales (descontados).
Punto de equilibrio		Número de años que pasan para que el flujo de efectivo sea positivo
Plazo de recuperación		Número de años para recuperar el total de la inversión
Probabilidad de éxito ⁴		El porcentaje en el que un proyecto es rentable

Los supuestos utilizados para el análisis se describen a continuación:

- Tasa de descuento. Es la tasa que permite transformar dinero del futuro a dinero de hoy. Se consideró una tasa de 10%. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) requiere que los análisis económicos se descuenten a una tasa de 10%⁵. Adicionalmente, se consideraron escenarios con tasas de 6 y 9 por ciento como se comentó con anterioridad.
- Horizonte de evaluación. Es el número de años en los que se contabilizan los costos y los beneficios. Se consideró un plazo de 10 años.
- La extensión de la superficie ganadera de la línea base se mantiene, en el entendido de que la adopción de la ganadería alternativa genera un incremento en la carga animal y no se superficie, es decir, se produce más con lo mismo.

Para Chiapas

- La ganadería es de doble propósito

⁴ Esta probabilidad de éxito se calcula con la desviación estándar y el promedio de la rentabilidad, calculando la probabilidad que la rentabilidad sea mayor o igual a cero.

⁵ https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/23409/oficio_tasa_social_de_descuento.pdf



- Solo 50% del hato produce leche

Para Chihuahua

- La ganadería es producción de becerro
- Hay una reducción de emisiones de 33% por la adopción de ganadería rotacional o intensiva (a partir del resultado de Nieto et al. (2018) para la región central de Argentina)

Para Jalisco

- La ganadería es de producción de carne

Para Veracruz

- La ganadería es de doble propósito
- El 50% de las vacas producen leche
- El 7% de la leche se convierte a queso

Las preguntas fundamentales que este análisis permite responder son:

1. ¿Es rentable desde la perspectiva ambiental (en lo que corresponde a los gases de efecto invernadero) invertir en la transformación de la actividad ganadera?
2. ¿Es rentable desde el punto de vista privado dicha transformación?
3. ¿Como vaíra la rentabilidad por tamaño de productor?

Estas preguntas se responden en la siguiente sección. Cabe señalar que el análisis no considera otros potenciales beneficios que derivan de la transformación de la ganadería. En particular, Pezo, Ney Ríos, & Gómez (2018) identifican los siguientes co-beneficios derivados de los SSPi:

- a) Nutrición y bienestar animal. Este beneficio se traduce directamente en una mayor productividad del sistema, por lo que está considerado en el análisis económico de manera indirecta. Por ejemplo Paciullo et al. (2011) encuentran una ganancia en peso diaria 13% mayor en SSPi comparado con ganadería tradicional.
- b) Ciclo de nutrientes. Las heces benefician a las plantas y estas a su vez proveen a los animales de minerales que ayudan a su metabolismo. De igual forma, este beneficio está reflejado de manera indirecta en la productividad del sistema (Sarabia et al., 2020).
- c) Fijación de nitrógeno y secuestro de carbono. La vegetación adicional incrementa los niveles de nitrógeno y carbono en el suelo. El secuestro de carbono está considerado en el análisis económico como se describió con anterioridad. Con respecto a la fijación de nitrógeno, Solorio et al. (2017) encuentran que este tipo de sistemas puede fijar hasta 400 kg/ha/año, lo cual evita la compra de fertilizantes como Urea 46.
- d) Conservación de la biodiversidad. De acuerdo con hallazgos de Chará, Murgueitio, Zuluaga, & Giraldo (2011) este tipo de sistemas puede incrementar la presencia de aves en alrededor de 32% y de escarabajos estercoleros en 56%.
- e) Infiltración de agua. De acuerdo con Villanueva Najarro, Casasola Coto, & Detlefsen Rivera (2018), la escorrentía superficial puede reducirse de 48% en un área sobrepastoreada a 5% en un SSPi.
- f) Erosión evitada. A partir de resultados de Chará et al. (2011), los SSPi pueden reducir la erosión del suelo en 740 kg/ha/año.



Con lo que respecta al ecosistema de pastizal en Chihuahua, existe evidencia sobre que el manejo adecuado a través de la remoción de especies como el mezquite y los juníperos tiene impactos positivos en biodiversidad, vegetación, agua, ciclo de nutrientes y energía, y en almacenamiento de carbono. Aunque, la remoción es muy cara y sus resultados también se pueden obtener a través de mejores prácticas de pastoreo, debido a lo cual el pastoreo tiene potencial como herramienta económicamente accesible para la restauración de hábitat. Asimismo, la restauración riparia y de prados húmedos está asociado a un incremento en la productividad de la vegetación de 25% (Naugle et al., 2019). Además, Pavlacky Jr et al. (2019) encuentran que un buen manejo del pastizal incide en una mayor diversidad de aves.

Los co-beneficios que no están considerados en el análisis económico se agregarían a la rentabilidad de los SSPi, pero dado que no están contabilizados, en todo caso se estaría subestimando la rentabilidad de la transformación productiva.

Resultados

En la tabla 5 se presentan los indicadores de rentabilidad para la ganadería convencional. Desde la perspectiva privada (columna 4 de la Tabla 5) solo se encuentra rentabilidad para grandes productores de Chiapas y para todo tipo de productores en Veracruz y Chihuahua. Estos resultados no deben interpretarse como que en los demás casos y lugares esta actividad genere pérdidas, dado que estos tienen varias interpretaciones, por mencionar algunas: (i) solo las fincas con cierta escala obtienen ganancias porque tienen mejores indicadores de productividad y menores costos a escala, (ii) tienen un porcentaje de mano de obra que no es pagada (el análisis supone que toda la mano de obra se paga), (iii) los productores reciben subsidios que mantienen la actividad aparentemente rentable, (iv) los productores tienen actividades alternativas de donde reciben ingresos y no perciben las pérdidas que están obteniendo de la ganadería.

El factor de escala mencionado se puede confirmar al observar la columna “probabilidad de éxito”, la cual indica la proporción de casos en los que se obtiene una ganancia positiva. Como se puede observar, en todos los estados dicha probabilidad aumenta conforme aumenta el tamaño del productor, lo que reafirma que, a mayores extensiones, mayor tamaño del hato, mejor tecnología, la probabilidad de tener ganancias es mayor. Con ello no se quiere decir que la recomendación es ampliar la frontera pecuaria, simplemente que los productores más grandes tienen mayores posibilidades de tener éxito, lo cual es un hallazgo común en las actividades económicas independientemente del sector.

Los resultados en la tabla 5 sirven como línea base para compararlos con una opción alternativa. En particular, se considera el establecimiento de SSPi para Chiapas, Jalisco y Veracruz, y la rotación de potreros y el manejo intensivo para el estado de Chihuahua.

Otra información relevante presentada en la tabla 5 es el valor presente neto desde la perspectiva social (segunda columna). Este indicador contabiliza el valor económico de las emisiones de GEI que genera la actividad ganadera. Para ello se utiliza el valor social del carbono estimado por (World Bank, 2017). Como se puede observar, la rentabilidad social siempre es menor que la rentabilidad privada (columna 4), lo cual obedece a que las emisiones de la ganadería tienen un impacto negativo en el mundo. De igual forma, estos valores sirven como línea base de comparación con la ganadería alternativa, para identificar cuál es el aporte en mitigación de esta segunda opción. En la tercera columna se presenta la rentabilidad económica incluyendo las emisiones de GEI, pero considerando un precio de 5 dólares por tCO₂e. Se considera este valor porque se aproxima a los precios de intercambio del carbono que hay actualmente en México.



Análisis económico para la transición a sistemas de producción ganadera regenerativa de bovinos en Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz, México

En síntesis, la columna 2 indica el valor social, es decir cuánto vale la ganadería incluyendo el valor de las emisiones de gases de efecto invernadero, la columna 3 cuál es el valor del mercado de la ganadería considerando emisiones de GEI y la columna 4 cuál es el valor privado de esta actividad.



Tabla 5. Indicadores de rentabilidad para ganadería convencional.

Tipo de productor	VPNS (miles de pesos) (precio de C2Oe: 69 USD/tCO ₂ e)	VPNS (miles de pesos) (precio de CO ₂ e: 5 USD/tCO ₂ e)	VPN (miles de pesos)	ICB (social)	ICB (privado)	Prob. de éxito (privado)	Superficie (ha)	Hato (animales)
Chiapas								
Pequeño	-863.18	-681.07	-666.84	-0.42	-0.36	23%	18	18
Mediano	-482.307	2.57	40.455	-0.2	0.02	52%	48	48
Grande	-307.545	317.57	366.412	-0.12	0.19	69%	155	62
Jalisco								
Pequeño	-455.181	-151.75	-128.046	-0.35	-0.13	39%	15	15
Mediano	-1,245.13	-414.76	-349.89	-0.35	-0.13	41%	41	41
Grande	-4,823.70	-1613.32	-1,362.51	-0.35	-0.13	36%	33	159
Veracruz								
Pequeño	613.618	697.58	704.143	0.94	1.25	88%	5	5
Mediano	1,882.50	2134.17	2,153.83	0.98	1.31	96%	10	10
Grande	7,539.15	8546.35	8,625.04	0.98	1.31	92%	20	17
Chihuahua								
Pequeño	1,850.25	3464.08	3,590.16	0.36	1.07	73%	800	160
Mediano	9,317.17	17731.54	18,388.92	0.35	1.04	99%	4200	840
Grande	17,826.80	33,863.66	35,116.53	0.35	1.05	99%	8000	1600

Fuente: Elaboración propia. N/D: No disponible.



Tabla 6. Indicadores de rentabilidad para ganadería alternativa.

Tipo de productor	VPNS (miles de pesos) (precio de C2Oe: 69 USD/tCO ₂ e)	VPNS (miles de pesos) (precio de CO ₂ e: 5 USD/tCO ₂ e)	VPN (miles de pesos)	ICB (social)	ICB (privado)	TIR (privada)	Prob. de éxito (privado)	Densidad óptima (plantas/ha)	Superficie (ha)	Hato (animales)
Chiapas										
Pequeño	-83.73	-567.22	-604.996	-0.03	-0.25	<0%	35%	5000	18	32
Mediano	1,568.36	278.30	177.51	0.56	0.06	20%	56%	5000	48	74
Grande	2,336.78	665.41	534.836	0.77	0.18	31%	67%	5000	155	96
Jalisco										
Pequeño	296.11	37.28	17.06	0.21	0.01	13%	51%	7000	15	26
Mediano	806.46	100.22	45.04	0.21	0.01	14%	51%	7000	41	70
Grande	3,142.22	391.90	177.04	0.21	0.01	13%	51%	7000	33	270
Veracruz										
Pequeño	1,411.24	1294.12	1,284.98	1.15	1.05	113%	84%	11000	5	10
Mediano	4,392.37	4225.97	4,212.97	1.32	1.27	174%	94%	11000	10	20
Grande	17,284.99	15881.19	15,771.52	1.21	1.1	115%	89%	11000	20	33
Chihuahua										
Pequeño	1,802.09	2,880.87	2,965.15	0.32	0.68	33%	74%	No aplica	800	160
Mediano	9,093.76	14,726.13	15,166.16	0.31	0.66	32%	99%	No aplica	4200	840
Grande	17,418.32	28,153.42	28,992.10	0.31	0.66	31%	99%	No aplica	8000	1,600

Fuente: Elaboración propia. Agregar leyenda para dar el significado de las siglas



Análisis económico para la transición a sistemas de producción ganadera regenerativa de bovinos en Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz, México

Figura 4. Resultados de rentabilidad. Valor presente neto en miles de pesos a una tasa de 10%.





En la tabla 6 se presentan los resultados de la opción de transformación a sistema silvopastoril en Chiapas, Jalisco y Veracruz, y rotación de potreros en el caso de Chihuahua. Cabe mencionar que se consideró la opción de ganadería intensiva para Chihuahua, pero se encontró que es menos rentable que la rotación de potreros. Esto está relacionado al incremento en los costos de infraestructura que son superiores al incremento en los ingresos por esta práctica.

Para el caso de los SSPi, el análisis supone que el productor elige una proporción de terreno con este sistema y una densidad de plantas que maximicen su ganancia dadas las restricciones operacionales. Se fijó el establecimiento de un SSPi en 20% del terreno, el cual se basa en un juicio experto y se estimó la densidad de plantas que maximiza el beneficio neto. Se encontró que la densidad de planta depende del estado.

Los resultados en la tabla 6 indican que la conversión productiva es rentable desde la perspectiva privada en Chiapas (excepto pequeños productores), Jalisco y Veracruz, pues la rentabilidad es positiva. También se muestra el intervalo de confianza de esta rentabilidad, la cual refleja una alta incertidumbre en el éxito de estos proyectos. Esta incertidumbre es generada por las variaciones en precios y costos, así como en los parámetros técnicos considerados.

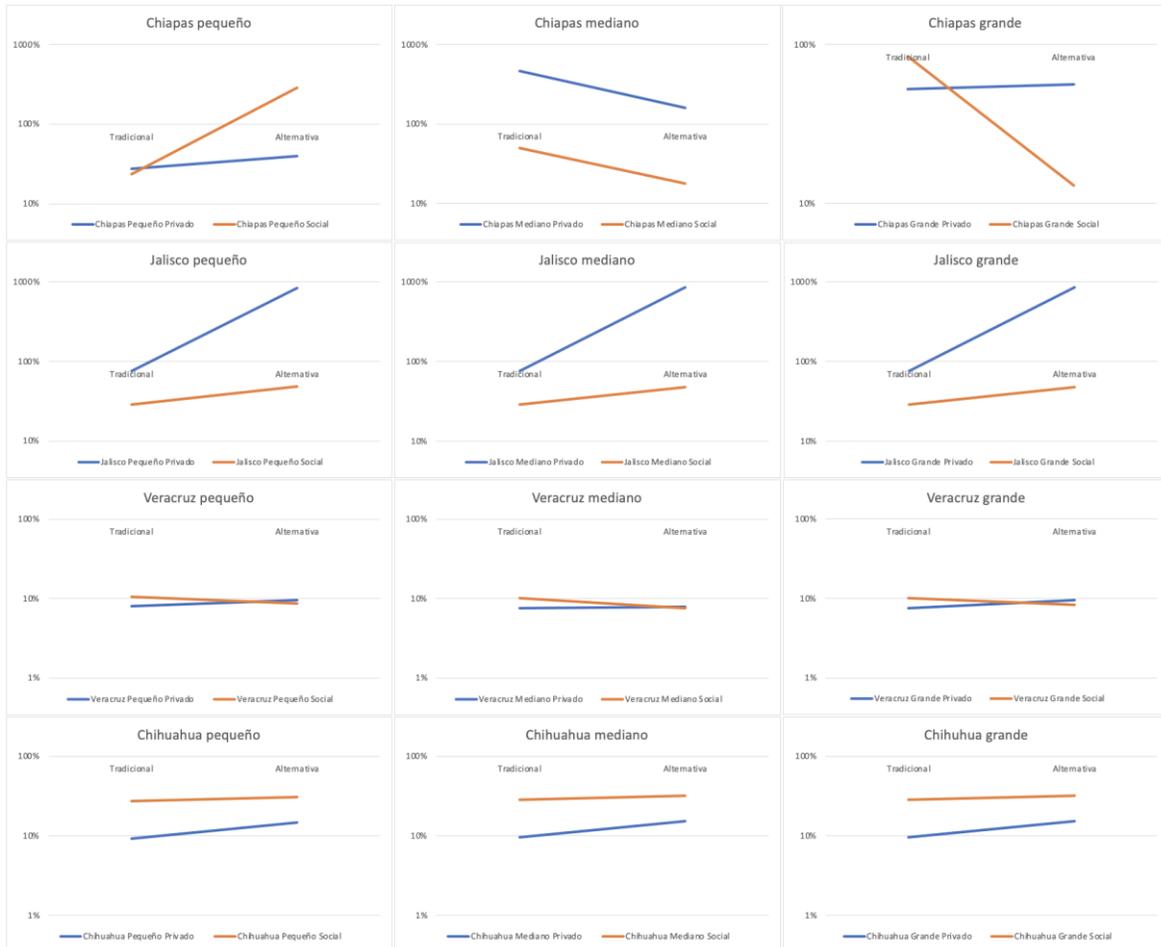
Análisis de sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad de los SSPi por estado y escala de productor. Se consideraron incrementos porcentuales de costos de 10% y cómo estos impactan en la rentabilidad privada. En la Figura 5 se presentan estos resultados. Se observan los siguientes patrones:

1. La sensibilidad es más que proporcional para los estados de Chiapas y Jalisco. Es decir, cambios en costos ponen en más riesgo la rentabilidad para estos estados. En Chiapas esta sensibilidad se reduce cuando se adopta la ganadería alternativa, por el contrario, en Jalisco esta sensibilidad aumenta.
2. La sensibilidad es relativamente proporcional en Veracruz y Chihuahua. Esto sugiere una mayor resiliencia de la rentabilidad ante incrementos en costos.



Figura 5. Análisis de sensibilidad (incremento de costos de 10%).



Fuente: Elaboración propia.

Plazos de recuperación

En la Tabla 7 se presentan los plazos a los cuales se recupera la inversión, tanto para los flujos descontados, como sin descontar. Además, se presentan estos periodos con y sin el valor de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La columna que muestra el plazo considerando flujos sin descontar y sin considerar GEI permiten apreciar el periodo en el que productores **privados** recuperan la inversión. Por otro lado, los flujos descontados y considerando GEI permiten apreciar cuándo la **sociedad** recupera la inversión. Como se puede apreciar, en el caso de Chiapas, Jalisco y Veracruz, el plazo de recuperación para la sociedad es más acelerado, pues se están generando beneficios derivados del carbono. Por el contrario, para Chihuahua la recuperación de la inversión para la sociedad es menos acelerada que para el privado porque la reducción de emisiones es negativa.

Tabla 7. Punto de equilibrio y plazo de recuperación (años).

Estado	Escala	Con CO2e		Sin CO2e	
		Descontado	Sin descontar	Descontado	Sin descontar
Chiapas	Pequeño	>10	>10	>10	>10
Chiapas	Mediano	3	3	7	5
Chiapas	Grande	3	2	5	4
Jalisco	Pequeño	5	4	10	7
Jalisco	Mediano	5	4	10	7
Jalisco	Grande	5	4	10	7
Veracruz	Pequeño	2	2	2	2
Veracruz	Mediano	2	2	2	2
Veracruz	Grande	2	2	2	2
Chihuahua (rot)	Pequeño	7	5	5	4
Chihuahua (rot)	Mediano	7	5	5	4
Chihuahua (rot)	Grande	7	5	5	4

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que para Chiapas y Jalisco se requieren periodos más largos, lo cual puede significar un obstáculo para la conversión si no existen mecanismos de financiamiento eficientes para productores. Además, el reconocimiento del valor de las emisiones reducidas puede ser un elemento clave para la conversión productiva en Chiapas y Jalisco. En el caso de Veracruz, con base en la información considerada, se prevé una recuperación muy rápida de la inversión, tanto desde la perspectiva privada como la social.

Potencial de mitigación

Para incorporar las reducciones de emisiones al análisis se consideró que un SSPi captura entre 17 y 32 tCO₂e/ha al año y que hay una reducción de las emisiones entéricas de 20%, de acuerdo con Chará et al. (2019). En la tabla 8 se presentan los potenciales de mitigación de emisiones de GEI para los distintos estados, tipos de productor y tipo de ganadería. Como se puede observar los SSPi generan una reducción de emisiones GEI en todos los estados. Desde la perspectiva por hectárea la conversión a SSPi genera una reducción de aproximadamente 5 tCO₂e/ha. Esta reducción proviene de dos vías, la reducción en la fermentación entérica porque el SSPi provee de una mejor alimentación y por la vía de la captura de carbono por el material vegetativo.

En el caso de Chihuahua la rotación de potreros significa también una disminución en las emisiones de GEI comparada con la ganadería tradicional, pues si bien la adopción de la práctica implica un aumento en la cantidad de ganado (porque los parámetros de productividad se incrementan, es decir, se puede hacer más con la misma superficie), también se considera una reducción de 33% con base



en Nieto et al. (2018). Lo que se encuentra es que la rotación de potreros sigue teniendo emisiones positivas, pero menores a los de la línea base.

Tabla 8. Parámetros de mitigación de GEI.

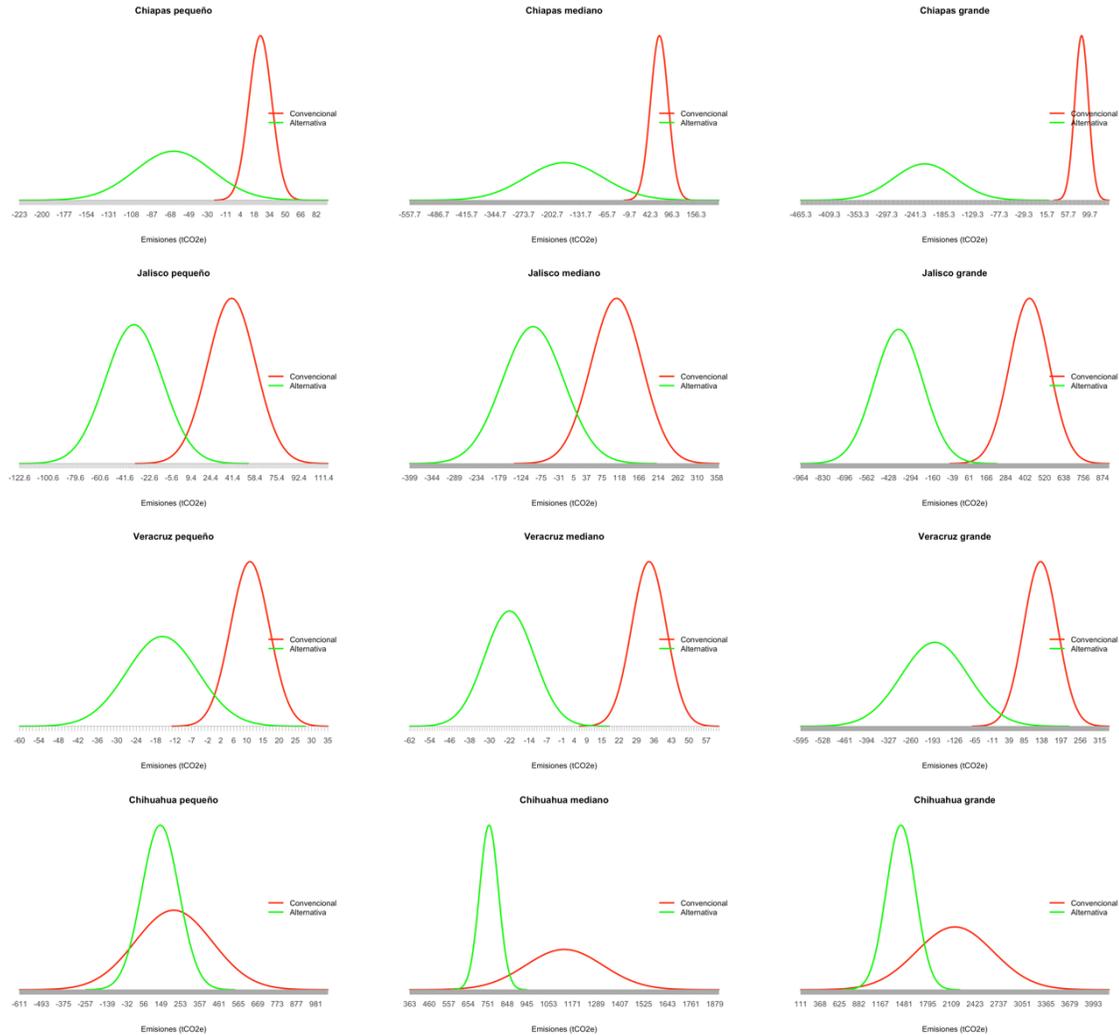
Estado/tamaño	Convencional (tCO ₂ e/año)	Alternativa (tCO ₂ e/año)	Cambio en emisiones (tCO ₂ e/año)	Hectáreas promedio	Reducción por hectárea (tCO ₂ e/ha/año)
Chiapas					
Pequeño	25	-65	-89	18	-5
Mediano	65	-173	-237	48	-5
Grande	83	-223	-307	62	-5
Jalisco					
Pequeño	41	-35	-75	15	-5
Mediano	111	-95	-205	41	-5
Grande	428	-368	-796	159	-5
Veracruz					
Pequeño	11	-16	-27	5	-5
Mediano	34	-22	-56	10	-6
Grande	135	-187	-322	60	-5
Chihuahua					
Pequeño	217	145	-72	800	0.1
Mediano	1131	757	-374	4,200	0.1
Grande	2155	1440	-715	8,000	0.1

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6 se muestran las distribuciones de las reducciones de emisiones para cada estado y tamaño de productor, considerando la variación en precios y cantidades supuestas en el análisis. Lo que se observa es que la ganadería alternativa reduce las emisiones en promedio en todos los casos. Cabe señalar que este resultado no es trivial, dado que la carga animal está aumentando, y por ende las emisiones entéricas, pero hay una compensación por el carbono que se captura en el suelo. En el agregado se observa que la ganadería alternativa es mejor en términos de mitigación de carbono.



Figura 6. Distribución de emisiones entre ganadería convencional y alternativa (tCO₂e por sistema).



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que la inversión en SSPi es una opción rentable, al igual que la rotación de potreros. Los SSPi generan beneficios significativos tanto de la perspectiva privada como la social. En el caso de pequeños productores en Chiapas es justificable que se subsidien los SSPi porque pueden generar pérdidas a nivel privado, pero desde la perspectiva social son una inversión rentable. En general, en Chiapas, Jalisco y Veracruz, se justifica que existan inversiones de terceros para el establecimiento de SSPi junto con los productores ganaderos.

La rotación de potreros es una opción rentable desde el punto de vista privado, pero requieren la compensación por parte de los productores de las emisiones que generan. En este caso, se requiere de un modelo de transformación productiva para la adopción de mejoras en el manejo pero que vayan acompañadas de un esquema de compensación de emisiones sujeto al incremento en rentabilidad de la actividad.



Extensiones al modelo base

Se realizaron algunas extensiones al modelo base, en particular, se consideraron dos tasas de descuento adicionales, de 6 y 9 por ciento, así como un precio de 3.01 dólares/tCO₂e con base en la proyección 2019 del mercado voluntario (Donofrio et al., 2019). Adicionalmente, se modelaron las emisiones de carbono con la herramienta EX-ACT de FAO (FAO, 2014). En el Anexo 1 se describe de manera general los parámetros que se utilizaron en dicha herramienta; esencialmente, consistió en especificar ganadería tradicional con un sistema silvopastoril en el caso de Chiapas, Jalisco y Veracruz, y de especificar manejo de potreros en Chihuahua.

En la tabla 9 se muestran los resultados de la sensibilidad de la rentabilidad ante distintas tasas de descuento y precios de carbono. En particular, se encuentra que para la ganadería tradicional la rentabilidad social disminuye en 0.11% cuando la tasa de descuento aumenta en 1% y la privada disminuye en 0.9% ante un aumento de 1% en la tasa de descuento. Para el caso de la ganadería alternativa, la disminución de la rentabilidad social y privada por un aumento de 1% en la tasa de descuento es de 0.9% en ambos casos. La interpretación de estos resultados es que la rentabilidad ganadera es relativamente poco sensible a aumentos en la tasa de descuento y que adoptar ganadería alternativa reduce dicha sensibilidad.

Respecto al precio del carbono, un incremento de 1% en el precio del carbono disminuye la rentabilidad social de la ganadería tradicional en 0.02%, esto debido a que esta actividad es emisora de carbono. Por el contrario, cuando se adopta la ganadería alternativa, un incremento de 1% en el precio del carbono incrementa la rentabilidad social en 0.02%. Igualmente, observamos que la rentabilidad es relativamente poco sensible a los precios del carbono. Este resultado es favorable desde la perspectiva privada porque significa que los productores no tienen que estar dependiendo de financiamiento externo para que la ganadería alternativa sea rentable (con excepción de los pequeños productores de Chiapas, como se comentó anteriormente).

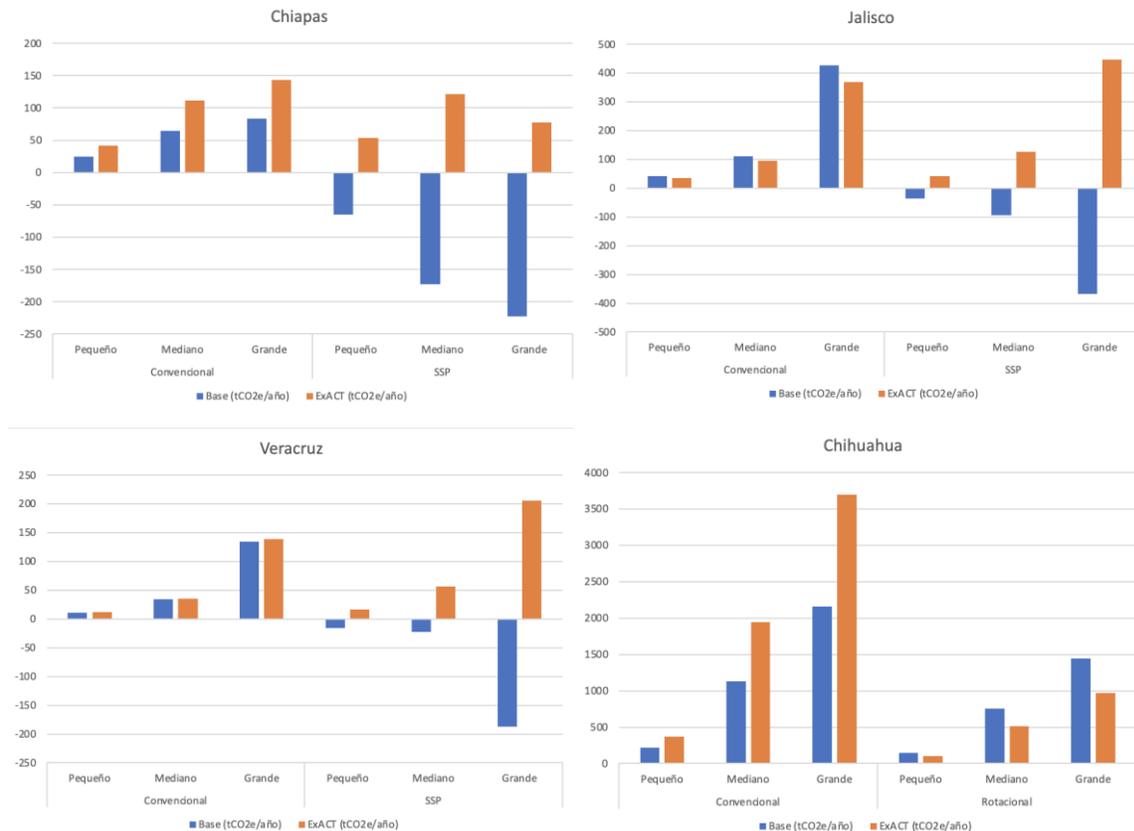
Tabla 9. Elasticidades de la rentabilidad respecto a distintas tasas de descuento y precios del carbono

Parámetro	Valor presente neto social		Valor presente neto privado	
	Línea base	Ganadería alternativa	Línea base	Ganadería alternativa
Tasa de descuento	-0.11	-0.09	-0.09	-0.09
Precio carbono	-0.02	0.02	0.00	0.00

En la Figura 7 se presentan las diferencias en la estimación de emisiones a partir de la herramienta ExAct y los datos del análisis base. La herramienta EX-ACT tiende a generar mayores emisiones de la ganadería convencional y menores reducciones de emisiones cuando se ha adoptado un opción de ganadería sostenible. En particular, en nuestros datos base se obtiene una reducción al año por hectárea para SSPi de alrededor de entre 14 y 32 tCO₂e, en tanto EX – ACT establece una reducción de 4 tCO₂e. Además, nuestros datos base establecen un factor de emisión de 1.344 tCO₂e por cabeza, y EX - ACT considera una emisión de 2 tCO₂e. Por tanto, el balance resulta con mayores emisiones una vez que se establecen SSPi.

Estos resultados sugieren que la adopción de SSPi deberá acompañarse de una medición sobre el secuestro efectivo de carbono que tendrá el material vegetativo, y cuidar que las emisiones adicionales que se generan por el incremento en el hato no supere dicho secuestro.

Figura 7. Diferencia en emisiones con ExACT y el escenario base.



Discusión

El principal aporte de este reporte es la sistematización de información dispersa para parametrizar las alternativas de transformación de la ganadería en los estados de Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz. Como parte de este trabajo se desarrolló una herramienta que está disponible en línea y se puede adaptar o ampliar para continuar con esta parametrización.⁶

Las limitaciones del trabajo provienen de la información faltante, en particular, de mayor y mejor información sobre el efecto de los SSPi y de la rotación y ganadería intensiva en los parámetros de productividad y ecológicos. La evidencia todavía resulta anecdótica en muchos casos, faltando una sistematización rigurosa de esta información. En este sentido, este trabajo detalla cada fuente de

⁶ <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1CQrBXKWQ-LbyvKheCZD8K8LX-giW5HFwBwO9zXBi4yk/edit?usp=sharing>



información utilizada y la herramienta permite su actualización para incorporar nueva información. Adicionalmente, resulta muy relevante contar con mediciones suficientemente precisas del potencial de captura de carbono del material vegetativo de los SSPi y de la reducción de emisiones de la práctica rotacional. En la práctica, se debe vigilar que un aumento en el hato, y por ende de las emisiones entéricas, sea consistente con la captura que proviene de establecer una proporción de SSPi en el terreno.

Aun con estas limitaciones el resultado que se observa del presente análisis es relevante en términos de política pública y posibilidades de inversión privada, porque sustenta la promoción de la transformación de la ganadería a una opción más sustentable no solo como una inversión ecológica sino también como una oportunidad para mejorar las condiciones de vida de las personas dedicadas a esta actividad. Si bien ese es el mensaje principal, es importante tomar en cuenta algunas particularidades, específicamente que los estados requieren una estrategia de apoyo diferenciada, por ejemplo, en Jalisco y Veracruz los resultados indican que es probable que los SSPi se vayan adoptando de manera natural por los productores, dado que es una inversión rentable aun sin considerar la captura de carbono. Esto explicaría por qué en Jalisco ya ha empezado esta práctica desde años recientes. La recomendación que surge es que quizá Veracruz requiera de una estrategia de difusión más profunda para comunicar los beneficios de los SSPi. En ambos estados conviene fortalecer y/o diseñar mecanismos de financiamiento (vía crédito) para que los productores puedan afrontar las inversiones iniciales. A la par, es recomendable promover la comunicación efectiva de los beneficios de los SSPi con los productores para contribuir a reducir la resistencia al cambio. Además, de lo anterior, es importante considerar que la adopción de ganadería alternativa requiere de condiciones favorables a nivel institucional y político, por lo que los resultados económicos solo son una parte de la solución del problema. En este sentido, se deberá diagnosticar y construir un andamiaje institucional que permita la adopción de una ganadería alternativa.

En el caso de Chiapas se justifica un programa más ambicioso en el que se tendrá que complementar el financiamiento y la comunicación de los beneficios con un apoyo (subsidio) a la práctica silvopastoril. Este subsidio se justifica en la medida que sea inferior a los beneficios ambientales que se generan. Para ejemplificar, para un productor mediano en Chiapas que adopte un SSPi generará un beneficio social en términos de carbono con un valor presente aproximado de 1 millón de pesos (ver tabla 6, considerando un precio de 5 dólares por tCO₂e). Por tanto, se justifica que este tipo de productor reciba un subsidio menor o igual a este monto, porque esto promueve la adopción del SSPi y la sociedad recibe un beneficio que equivale a 1 millón de pesos.

En el caso de Chihuahua se recomienda la promoción de la adopción de prácticas como la rotación de potreros. En el caso de la ganadería intensiva se recomienda que se profundice el análisis, recabando información en sitio, con la finalidad de tener un mejor estimado de la rentabilidad de esta práctica. Al día de hoy, la evidencia que se refirió en la primera parte de este documento apunta que este tipo de práctica no tiene un efecto en rentabilidad ni en términos ecológicos. El análisis económico que se presenta aquí también concluye que esta alternativa es menos rentable desde el punto de vista económico que la rotación de potreros. No obstante, es recomendable recopilar información referente al efecto que tiene la ganadería intensiva en el capital social de los productores, porque existe alguna evidencia de que hay un efecto positivo y posiblemente ello contribuya a elevar la rentabilidad de la actividad (no por la vía productiva sino por la vía de la administración).

Adicionalmente, el análisis sugiere que la ganadería rotacional en Chihuahua es menos contaminante que la ganadería tradicional deficitaria en términos de carbono, por lo que una transformación tecnológica derivará en menos emisiones. No obstante, a diferencia de los otros estados, realizar la actividad ganadera con rotación de potreros sigue siendo una fuente de emisiones. En este sentido, una estrategia apropiada para este estado tendría que tener el reconocimiento de la reducción por transformar la actividad, pero a largo plazo un mecanismo de compensación de las emisiones por parte de los productores como una condición para asegurar la sustentabilidad de la ganadería. Adicionalmente, es importante considerar aquellos co-beneficios de



buenas prácticas en el manejo de pastizales que no tienen una expresión monetaria hasta este momento.

Finalmente, en el caso de Chiapas se observa una muy alta sensibilidad de la rentabilidad a incrementos en costos, lo cual sugiere que se requieren de mecanismos de reducción de la incertidumbre (por ejemplo, contratos de futuros) para que los proyectos sean exitosos. En general, un andamiaje financiero adecuado puede ayudar a los productores a enfrentar esta incertidumbre.

Referencias

- Anguiano, J. M., Aguirre, J., & Palma, J. M. (2013). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de Cocos nucifera, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(1), 149-160.
- Apan-Salcedo, G. W. (2020). Diagnóstico ambiental y socioeconómico para la implementación de procesos de ganadería regenerativa en Chiapas. In: Mexico: FMCN.
- Azuara-Morales, I., López-Ortiz, S., Jarillo-Rodríguez, J., Pérez-Hernández, P., Ortega-Jiménez, E., & Castillo-Gallegos, E. (2020). Forage availability in a silvopastoral system having different densities of *Leucaena leucocephala* under Voisin grazing management. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00487-5>
- Banda-Villanueva, I., & Mendoza-González, G. (2020). Diagnóstico ambiental y socioeconómico para la implementación de procesos de ganadería regenerativa en Chihuahua. In: FMCN.
- Beck, R., McNeely, R., Thomas, M., & Bailey, C. (2007). Seasonal and Yearlong Grazing in the Northern Chihuahuan Desert. In *New Mexico State University*.
- Briske, D. D., Derner, J. D., Brown, J. R., Fuhlendorf, S. D., Teague, W. R., Havstad, K. M., Gillen, R. L., Ash, A. J., & Willms, W. D. (2008). Rotational Grazing on Rangelands: Reconciliation of Perception and Experimental Evidence. *Rangeland Ecology & Management*, 61(1), 3-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.2111/06-159R.1>
- Briske, D. D., Sayre, N. F., Huntsinger, L., Fernandez-Gimenez, M., Budd, B., & Derner, J. D. (2011). Origin, Persistence, and Resolution of the Rotational Grazing Debate: Integrating Human Dimensions Into Rangeland Research. *Rangeland Ecology & Management*, 64(4), 325-334. <https://doi.org/https://doi.org/10.2111/REM-D-10-00084.1>
- CEDRSSA. (2018). *La ganadería en ejidos y comunidades. Situación y perspectivas*. Mexico: Centro para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, Cámara de Diputados LXIII Legislatura Retrieved from <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/15La%20Ganader%C3%ADa%20en%20Ejidos%20y%20Comunidades.%20Situaci%C3%B3n%20y%20Requerimientos%20para%20su%20Desarrollo.pdf>
- Chará, J., Murgueitio, E., Zuluaga, A., & Giraldo, C. (2011). Ganadería colombiana sostenible. *Mainstreaming Biodiversity in sustainable cattle ranching*. Fundación CIPAV.



- Chará, J., Rivera, J., Barahona, R., Murgueitio, E., Calle, Z., & Giraldo, C. (2019). Intensive silvopastoral systems with *Leucaena leucocephala* in Latin America. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 7(4), 259-266.
- Chauvet Sánchez, M. (1999). *La ganadería bovina de carne en México: del auge a la crisis*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de
- DeRamus, H. A., Clement, T. C., Giampola, D. D., & Dickison, P. C. (2003). Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. *Journal of environmental quality*, 32(1), 269-277.
- Diaz, D. D. (2010). *Engaging Western Landowners in Climate Change Mitigation: A Guide to Carbon-Oriented Forest and Range Management and Carbon Market Opportunities*. DIANE Publishing.
- Donofrio, S., Maguire, P., Merry, W., & Zwick, S. (2019). *Financing emissions reductions for the future. State of the voluntary carbon markets 2019*. https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2019/12/SOVCM2019_web.pdf
- FAO. (2014). *EX-ACT herramienta*. <http://www.fao.org/tc/exact/ex-act-herramienta/es/>
- FIRA. (2016). *Paquetes tecnológicos ganadería*.
- Fondo Golfo de México A.C. (2020). Diagnóstico ambiental y socioeconómico para la implementación de procesos de ganadería regenerativa en Veracruz. In: FMCN.
- FONNOR. (2020). Diagnóstico ambiental y socioeconómico para la implementación de procesos de ganadería regenerativa en Jalisco. In: FMCN.
- Garnett, T. (2009). Livestock-related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers. *Environmental Science & Policy*, 12(4), 491-503. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.01.006>
- Gerritsen, P., & van der Ploeg, J. D. (2006). Dinámica espacial y temporal de la ganadería extensiva: estudio de caso de la Sierra de Manantlán en la costa sur de Jalisco. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, 27(108), 165-191.
- Hawkins, H.-J. (2017). A global assessment of Holistic Planned Grazing™ compared with season-long, continuous grazing: meta-analysis findings. *African journal of range & forage science*, 34(2), 65-75.
- Herbel, C. H. (1982). Grazing management on rangelands. *Journal of Soil and Water Conservation*, 37(2), 77-79.
- Hernandez Trujillo, J. A. (2013). ACOMPAÑAMIENTO EN LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO "INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE LAS FINCAS GANADERAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN MODERNOS, RENTABLES, SOCIALMENTE JUSTOS Y AMBIENTALMENTE SOSTENIBLES" EN LAS VEREDAS POBLAZON Y SAMANGA DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN.
- INEGI. (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria. Tabulados*. Retrieved April 29 from <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/#Tabulados>
- INIFAP. (2012). Establecimiento y manejo de praderas inducidas con gramíneas perennes. In A. y. P. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (Ed.).
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, adaptations and Vulnerability, Summary for Policymakers* http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgll_spm_en.pdf
- Morales-Nieto, C. R. (2018). *Sistemas de pastoreo, origen y desarrollo Mexico*, Universidad Autónoma de Chihuahua. <http://fz.uach.mx/util/2018/03/06/B.%20Historia%20y%20Tipo%20de%20Sistemas%20Dr%20Carlos%20Morales.pdf>



- Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R., Cuartas, C., & Naranjo, J. (2014). Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 17(3), 501-507.
- Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Lara Bueno, A., Rangel Santos, R., & Arana, R. (2016). Producción de materia seca de forrajes en condiciones de Trópico Húmedo en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE16), 3329-3341.
- Naugle, D. E., Maestas, J. D., Allred, B. W., Hagen, C. A., Jones, M. O., Falkowski, M. J., Randall, B., & Rewa, C. A. (2019). CEAP Quantifies Conservation Outcomes for Wildlife and People on Western Grazing Lands. *Rangelands*, 41(5), 211-217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rala.2019.07.004>
- Nieto, M. I., Barrantes, O., Privitello, L., & Reiné, R. (2018). Greenhouse gas emissions from beef grazing systems in semi-arid rangelands of central Argentina. *Sustainability*, 10(11), 4228.
- Paciullo, D. S. C., de Castro, C. R. T., Gomide, C. A. d. M., Maurício, R. M., Pires, M. d. F. Á., Müller, M. D., & Xavier, D. F. (2011). Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Science*, 141(2), 166-172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.012>
- Pavlacky Jr, D. C., Woiderski, B. B., Sparks, R. A., Van Boer, A., & Green, A. W. (2019). Effectiveness Monitoring of the Lesser Prairie-Chicken Initiative and Conservation Reserve Program for Managing the Biodiversity and Population Size of Grassland Birds.
- Pezo, D., Ney Ríos, M. I., & Gómez, M. (2018). Silvopastoral Systems for Intensifying Cattle Production and Enhancing Forest Cover: The Case of Costa Rica.
- SADER. (2019a). *Bovino carne y leche, población ganadera 2009-2018, cabezas*
- SADER. (2019b). *Cierre pecuario*
- Sarabia, L., Solorio, F. J., Ramírez, L., Ayala, A., Aguilar, C., Ku, J., Almeida, C., Cassador, R., Alves, B. J., & Boddey, R. M. (2020). Improving the Nitrogen Cycling in Livestock Systems Through Silvopastoral Systems. In R. S. Meena (Ed.), *Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production* (pp. 189-213). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_7
- Savory, A., & Butterfield, J. (2016). *Holistic management: a commonsense revolution to restore our environment*. Island Press.
- SEMARNAT. (2018). *Informe de la Situación del Medio Ambiente 2018, Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Mexico Retrieved from <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html>
- SEMARNAT/INECC. (2018). *México, Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Mexico: SEMARNAT Retrieved from <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/117>
- Solorio, S. F. J., Wright, J., Franco, M. J. A., Basu, S. K., Sarabia, S. L., Ramírez, L., Ayala, B. A., Aguilar, P. C., & Ku, V. J. C. (2017). Silvopastoral systems: Best agroecological practice for resilient production systems under dryland and drought conditions. In *Quantification of Climate Variability, Adaptation and Mitigation for Agricultural Sustainability* (pp. 233-250). Springer.
- Tubiello, F. N., Cándor-Golec, R. D., Salvatore, M., Piersante, A., Federici, S., Ferrara, A., Rossi, S., Flammini, A., Cardenas, P., & Biancalani, R. (2015). Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Un manual para*



- abordar los requisitos de los datos para los países en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma.*
- Undersander, D. J., Albert, B., Cosgrove, D., Johnson, D., & Peterson, P. (2002). *Pastures for profit: A guide to rotational grazing*. Cooperative Extension Publications, University of Wisconsin-Extension.
- Villanueva Najarro, C., Casasola Coto, F., & Detlefsen Rivera, G. (2018). *Potencial de los sistemas silvopastoriles en la mitigación al cambio climático y en la generación de múltiples beneficios en fincas ganaderas de Costa Rica* (9977576823).
- Voisin, A., & Lecomte, A. (1962). *Rational grazing, the meeting of cow and grass: a manual of grass productivity*. C. Lockwood.
- World Bank. (2017). Guidance note on shadow price of carbon in economic analysis. In.



Anexo 1. Extensiones al análisis costo beneficio

Como parte de este estudio se realizaron análisis adicionales, en particular se realizó lo siguiente:

1. Análisis con tasas de descuento de 6 y 9 por ciento.
2. Análisis con precio de 3 dólares/tCO₂e.
3. Análisis de emisiones usando la herramienta ExAct de la FAO.⁷

Estos resultados se presentan en una hoja de cálculo que acompaña este informe. A continuación se describen los hallazgos de estos análisis adicionales.

Tasas de descuento 6 y 9 por ciento

Una menor tasa de descuento hace que el Valor Presente Neto sea mayor (si este es positivo), dado que los beneficios futuros tienen más peso en comparación a una tasa más alta. Esto se ve reflejado en el análisis en mayores rentabilidades para los SSPi y para la ganadería rotacional.

Precio de 3 dólares/tCO₂e

Este supuesto provoca que el valor de las externalidades provenientes del carbono tengan un valor menor y por tanto los SSPi disminuyen su rentabilidad cuando se valoran a este precio. Por el contrario, la ganadería rotacional resulta más rentable cuando se considera el carbono porque esta actividad es generadora neta de emisiones (aunque emite menos que la ganadería tradicional). En este estado, dado que las emisiones son positivas un menor precio del carbono genera *menos* costos a la sociedad. Es preciso mencionar que el precio del carbono no afecta la rentabilidad privada, pues por definición esta no considera efectos sociales, como lo es el carbono.

Herramienta ExAct

En la hoja de cálculo referida se presentan los resultados de rentabilidad usando la herramienta ExAct de FAO. Esta herramienta toma como referencia parámetros promedio de fuentes de organizaciones internacionales. Dichos parámetros están regionalizados de acuerdo al clima y tipo de suelo bajo análisis. La herramienta permite modelar situaciones con y sin proyecto en el contexto de agricultura, ganadería y actividad forestal. Específicamente, se utilizó el módulo de Sistemas Perennes (que incluye sistemas agroforestales) indicando un cambio de uso de suelo de terreno a sistemas silvopastoriles e incrementando la carga animal (ver Figura A1).

⁷ <http://www.fao.org/tc/exact/pagina-principal-de-ex-act/es/>



Figura A1. Módulo de sistemas perennes de ExAct

3.2. Perennial systems (agroforestry, orchards, tree crops...)									
3.2.1. Perennial systems from other LU or converted to other LU (please fill step 2.LUC previously)									
Description	Residue/straw burning	Yield (t/ha/yr)	Area (ha)			Total Emissions (tCO ₂ -eq)		Balance	
			Start	Without	With	Without	With		
Perennial after Deforestation	NO		0	0	0	0	0	0	
Converted to AR	NO		0	0	0	0	0	0	
Perennial other non-forest LU	NO		0	0	0	0	0	0	
Converted to OLUC	NO		0	0	0	0	0	0	
3.2.2. Perennial systems remaining perennial systems (total area must remain constant)									
Fill with your description	Agroforestry systems	Residue/straw burning	Yield (t/ha/yr)	Area (ha)			Total Emissions (tCO ₂ -eq)		Balance
				Start	Without	With	Without	With	
Enter description of your system 1	Silvopastoral systems	NO		0	0	0	0	0	
Enter description of your system 2	Please select system	NO		0	0	0	0	0	
Enter description of your system 3	Please select system	NO		0	0	0	0	0	
Enter description of your system 4	Please select system	NO		0	0	0	0	0	
Enter description of your system 5	Please select system	NO		0	0	0	0	0	
Enter description of your system 6	Please select system	NO		0	0	0	0	0	
Enter description of your system 7	Please select system	NO		0	0	0	0	0	
Enter description of your system 8	Please select system	NO		0	0	0	0	0	
Enter description of your system 9	Please select system	NO		0	0	0	0	0	
Enter description of your system 10	Please select system	NO		0	0	0	0	0	
			Total (ha)	0	0	0	0	0	

Fuente: Herramienta ExAct.

Para el análisis de ganadería rotacional se utilizó el módulo de pastizales e indicando que hay una transformación del uso de suelo de tierras degradadas a pastizal sin degradación e incrementando la carga animal.

Figura A2. Módulo de pastizales de ExAct

4.2. Ganado (y gestión del estiércol)														
Categorías de ganado	Número de cabezas (promedio por año)					Opción técnica de mitigación (%)								
	Inicio		Sin proyecto	Con proyecto		Prácticas de alimentación*			Agentes específicos*			Manejo en la cría*		
	Inicio	Fin		Inicio	Fin	Inicio	Sin	Con	Inicio	Sin	Con	Inicio	Sin	Con
Vacuno lechero	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Otro vacuno	1,600	1,600	0	2,880	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	
Búfalo	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Oveja	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Porcino (Carné)	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Porcino (Cría)	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Please select	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Please select	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Please select	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	