

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS
ÁRIDAS



“DIAGNÓSTICO Y PERSPECTIVAS PARA EL MANEJO DE LOS HUMEDALES
COSTEROS EN EL SISTEMA LAGUNAR DE ALVARADO, VERACRUZ, MÉXICO”

TESIS

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

CÉSAR VÁZQUEZ GONZÁLEZ

ENSENADA B.C., Agosto del 2012.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

**“DIAGNÓSTICO Y PERSPECTIVAS PARA EL MANEJO DE LOS HUMEDALES
COSTEROS EN EL SISTEMA LAGUNAR DE ALVARADO, VERACRUZ, MÉXICO”**

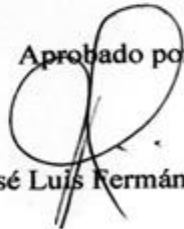
TESIS

**Que para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS**

Presenta

CÉSAR VÁZQUEZ GONZÁLEZ

Aprobado por



Dr. José Luis Fermán Almada



Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal



Dra. María Evarista Arellano García

Ensenada B.C. a 3 de Agosto de 2012

RESUMEN

El manejo de los ecosistemas (entendidos como recursos naturales) a partir de actividades como aprovechamiento y conservación de éstos, les pone como objeto de estudio y requieren *a priori* un enfoque interdisciplinario a través de la esfera económica (actividades del ser humano), social (necesidades de aprovechamiento) y ecológica (ecosistemas como fuente, soporte y sumidero de las dos primeras esferas). Esta tesis aborda las estrategias de manejo y adaptación de los humedales costeros de la microrregión conocida como el Sistema Lagunar de Alvarado, localizada en la subregión baja de la Cuenca del Papaloapan, en el Estado de Veracruz, México. Desde la perspectiva del manejo de los recursos naturales, el Sistema Lagunar de Alvarado ha sido de suma importancia histórica desde la época prehispánica hasta nuestros días, sin embargo, el actual aprovechamiento de los humedales costeros representa una problemática económica, social y natural, debido al cambio de uso de suelo y vegetación en los humedales, principalmente por la ganadería extensiva y el cultivo de la caña de azúcar. Por tal motivo, el presente documento es un compendio de tres artículos que muestran la integración de diferentes disciplinas (economía, biología y ecología) y diferentes métodos de análisis para construir el enfoque de aprovechamiento y conservación de los humedales costeros. I) Diagnóstico municipal de la vulnerabilidad eco-céntrica de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México; II) Valoración económica y coste de oportunidad en el aprovechamiento de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México y III) Evaluación de la sustentabilidad y estrategias para el manejo de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México.

En la primera parte se construyó un índice que evalúa la vulnerabilidad eco-céntrica de los humedales costeros a nivel municipal, conformado por subíndices de presión y estado, en función de indicadores de cambio de uso de suelo y vegetación, cuya característica principal es partir de las principales actividades económicas como la agricultura (perennes), agricultura de caña de azúcar, ganadería extensiva y el uso antropogénico (desarrollo urbano). Además, dicho índice se modeló en tres escenarios: actual, tendencial y estratégico. El primero muestra la situación actual de los humedales costeros y sitúa a todos los municipios en un nivel crítico de vulnerabilidad. El segundo explica la tendencia que tendrá la vulnerabilidad eco-céntrica si el cambio de uso de suelo y vegetación permanece constante en los próximos años, sólo dos municipios tendrán una ligera disminución en la vulnerabilidad, debido a que su tasa de cambio de uso de suelo en los últimos cinco años mostró un descenso en la superficie cultivada de caña de azúcar. El tercero ilustra el comportamiento de la vulnerabilidad eco-céntrica de acuerdo con las estrategias que se proponen para su mitigación: disminución del 25% de la cobertura de cultivos de caña de azúcar y 50% de la ganadería extensiva, así como un aumento del 100% de la cobertura de agricultura (cultivos perennes), con este escenario sólo dos municipios quedaron en un nivel crítico de vulnerabilidad y cercano al nivel de manejo estratégico.

En la segunda parte se expone la valoración económica de los humedales costeros a partir de la cuantificación de la contribución económica de éstos en actividades como los cultivos de caña de azúcar (1,798-2,893 USD/ha/año), la ganadería extensiva (225-568 USD/ha/año) la pesca (3,500-4200 USD/pescador/año), la apicultura silvestre e inducida (200-330 USD/año), el secuestro de carbono por hectárea de humedal costero (2,800-3,200 USD/ha/año), la captura y retención de agua (13,461 USD/ha/año), así como las externalidades que generan los cultivos (6,800-170,000 USD/municipio/año) e industria de la caña de azúcar (159-376 x 10³ USD/ingenio/año) debido a la liberación de CO₂ en la atmósfera.

En la tercera y última parte, se muestra un índice de sustentabilidad en función de la vulnerabilidad eco-céntrica (capítulo 1), el coste de oportunidad económico (capítulo 2), la marginación social y las externalidades ambientales generadas (capítulo 2). De esta manera, se presentan los municipios de acuerdo a la evaluación de la sustentabilidad y los efectos que tienen los componentes de ésta en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado. A partir de esto, es posible determinar las estrategias específicas de manejo para cada municipio, sobre la base de la sensibilidad en cada componente de la sustentabilidad, y las prioridades por municipio a través de escenarios como la eficiencia/restauración y la eficiencia/conservación, que sirven como base económica para el aprovechamiento eficiente y abrir paso a las estrategias de manejo integrado de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se realizó con apoyo de los proyectos ITTO-RED-PD 045/11 Rev.2 (M) y Humedales del Papaloapan CONACYT-CONAGUA (48247).

A la Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal por su incondicional confianza, apoyo académico, económico (para los viajes) y observaciones (aunque siempre la cuestione, termino haciendo lo que usted dice).

Al Dr. José Luis Fermán Almada, gracias por sus asesorías, dirección y confianza para no frenar las ideas, además del apoyo financiero en los viajes.

A la Dra. Patricia Moreno-Casasola Barceló por su confianza y apoyo total para la elaboración de la investigación (salidas de campo, viajes, etc.).

A la Dra. María Evarista Arellano García por su atención y tolerancia en las clases.

A la Facultad de Ciencias, Facultad de Ciencias Marinas y a la Universidad Autónoma de Baja California por todo lo que me han brindado.

A Roberto Monroy por su apoyo en la información y Abraham Juárez por su ayuda y asesorías en las salidas de campo.

A todos los profes de la Maestría.

A mis compañeros, en particular a Natalia Rodríguez y al M. en C. Oscar Jiménez por sus asesorías del SIG.

Al Mike por escucharme en las clases (era el único).

Y sobre todo, a toda la gente bonita y trabajadora que paga sus impuestos, gracias a ellos pude gozar de una beca CONACYT.

A mi novia María Gloria y a mi madre Josefina.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	7
METODOLOGÍA.....	8
1. EVALUACIÓN MUNICIPAL DE LA VULNERABILIDAD ECO-CÉNTRICA DE LOS HUMEDALES COSTEROS EN EL SISTEMA LAGUNAR DE ALVARADO, VERACRUZ, MÉXICO.....	9
1.1. Introducción.....	10
1.2. Marco Conceptual.....	13
1.2.1. Definición de Vulnerabilidad Eco-céntrica.....	13
1.2.2. Modelo conceptual: vulnerabilidad eco-céntrica en función de la Presión y el Estado.....	13
1.3. Metodología.....	14
1.3.1. Descripción del área de estudio.....	14
1.3.2. Método y modelo construido.....	15
1.3.3. Normalización y evaluación.....	17
1.4. Resultados.....	18
1.4.1. Evaluación del Subíndice de Presión (SIP).....	18
1.4.2. Evaluación del Subíndice de Estado (SIE).....	19
1.4.3. Evaluación del IVE.....	20
1.5. Discusión.....	21
1.6. Consideraciones finales.....	23
2. VALORACIÓN ECONÓMICA Y COSTE DE OPORTUNIDAD DEL APROVECHAMIENTO DE LOS HUMEDALES COSTEROS EN EL SISTEMA LAGUNAR DE ALVARADO, VERACRUZ, MÉXICO.....	25
2.1. Introducción.....	26
2.2. Referente teórico-conceptual.....	28
2.2.1. Funciones ecosistémicas de los humedales costeros.....	28
2.2.2. Bienes y servicios ecosistémicos de los humedales costeros.....	29

2.2.3.	Coste de oportunidad entre actividades económicas y los bienes y servicios ecosistémicos	29
2.3.	Método de análisis	33
2.3.1.	Ingreso económico de la caña de azúcar (agricultores).....	33
2.3.2.	Ingreso económico por la ganadería extensiva	33
2.3.3.	Ingreso económico por la pesca	34
2.3.4.	Ingreso por secuestro de carbono (SCO ₂)	37
2.3.5.	Subsidios en los cultivos de caña de azúcar y en la ganadería extensiva.....	37
2.3.6.	Recarga de agua en mantos freáticos	38
2.3.7.	Apicultura silvestre	38
2.3.8.	Emisiones de CO ₂ por cultivo de caña de azúcar	38
2.3.9.	CO ₂ e en el proceso industrial de caña de azúcar.....	39
2.3.10.	CO ₂ e por tonelada de azúcar	39
2.3.11.	Estimación de los Costes de oportunidad.....	39
2.3.12.	Deflactor de los precios y valores monetarios	40
2.4.	Resultados.....	40
2.4.1.	Ingresos y subsidios de la ganadería extensiva	41
2.4.2.	Ingresos y subsidios del cultivo de caña de azúcar	46
2.4.3.	Coste de oportunidad entre los cultivos de caña de azúcar y la ganadería extensiva	53
2.4.4.	Ingresos económicos de la pesca.....	55
2.4.5.	Consumo de agua de mantos freáticos por municipio.....	56
2.4.6.	Ingreso económico por actividades adicionales (apicultura)	57
2.4.7.	Ingreso potencial por secuestro de carbono (SCO ₂).....	58
2.4.8.	Externalidades generadas por el cultivo de caña de azúcar	61
2.4.9.	Externalidad por caña de azúcar procesada.....	62
2.4.10.	Externalidad por la cantidad de azúcar producida	64
2.4.11.	Coste de oportunidad de la ganadería extensiva en lugar de la conservación (GE/Conservación)	66
2.4.12.	Coste de oportunidad del cultivo de caña de azúcar en lugar de la conservación (CCA/Conservación).....	68
2.5.	Discusión	69
2.5.1.	Ganadería extensiva	69
2.5.2.	Caña de azúcar	70
2.5.3.	Coste de oportunidad ganadería extensiva/cultivo de caña de azúcar	72
2.5.4.	Ingreso económico por la pesca	73
2.5.5.	Beneficios indirectos por consumo de agua	73

2.5.6.	Beneficios por la conservación de humedales no transformados.....	74
2.5.7.	Coste de oportunidad (actividades económicas/Conservación) y externalidades evaluadas.....	75
2.6.	Consideraciones Finales	76
3.	EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD Y ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE LOS HUMEDALES COSTEROS EN EL SISTEMA LAGUNAR DE ALVARADO, VERACRUZ, MÉXICO.....	84
3.1.	Introducción.....	85
3.2.	Marco Conceptual.....	87
3.2.1.	Modelo conceptual para el índice de sustentabilidad actual	88
3.3.	Metodología.....	89
3.3.1.	Método	90
3.3.2.	Normalización y evaluación.....	90
3.3.3.	Índice de Sustentabilidad Municipal	90
3.4.	Resultados.....	91
3.4.1.	Evaluación del componente ecológico	91
3.4.2.	Evaluación del componente social	92
3.4.3.	Evaluación del componente económico	92
3.4.4.	Evaluación del componente de externalidad ambiental	93
3.4.5.	Evaluación de la sustentabilidad	94
3.5.	Discusión	95
3.6.	Consideraciones finales	96
	CONSIDERACIONES FINALES	101
	BIBLIOGRAFÍA.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Área de estudio y distribución de los humedales costeros en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).....	11
Figura 1-2 Comparación del uso de suelo entre el cultivo de caña de azúcar y otros cultivos por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) en el año 2010.....	14
Figura 1-3 Uso de suelo de la ganadería por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) en el año 2010.	15
Figura 1-4 Índice de vulnerabilidad eco-céntrica (IVE), componentes y escala de valores de evaluación.	16
Figura 1-5 Escenarios del subíndice de presión (SIP) por municipio del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).....	19
Figura 1-6 Escenarios del subíndice de estado (SIE) por municipio del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).....	19
Figura 1-7 Escenarios para el índice de vulnerabilidad eco-céntrica (IVE) por municipio del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).....	20
Figura 1-8 Representación espacial del índice de vulnerabilidad eco-céntrica, (a) escenario actual (IVE-EA), (b) escenario tendencial (ET), geología e islas; División Política de México (ARC-GIS 9.2) y RC; rango crítico.	22
Figura 1-9 Índice de vulnerabilidad eco-céntrica en el escenario estratégico (IVE-EE) por municipio (a) y estrategia para la reducción de la cobertura de cultivos de caña de azúcar (CCA) (b), RC; rango crítico.	22
Figura 2-1 Municipios, localidades rurales y cooperativas pesqueras en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).....	27
Figura 2-2 Uso de suelo y vegetación de los humedales costeros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).....	31
Figura 2-3 Problemática del aprovechamiento de los humedales costeros (causas y efectos).	32
Figura 2-4 Comparación del ingreso económico corriente total (ITC) y del ingreso total deflactado (ITD) de la ganadería extensiva, con respecto a la superficie dedicada a la ganadería extensiva (SGE) en el Sistema Laguna de Alvarado (SLA) por año.....	41
Figura 2-5 Ingreso total deflactado (ITD) de la ganadería extensiva (GE) por año y por municipio del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).....	42
Figura 2-6 Comparación del ingreso medio corriente (IMC) por hectárea e ingreso medio deflactado por (IMD) por hectárea de ganadería extensiva (GE) en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).....	42

Figura 2-7 Ingreso medio deflactado (IMD) por hectárea de la ganadería extensiva, por municipio y por año.....	43
Figura 2-8 Evolución de la superficie subsidiada (SSGE), ingreso total por subsidio deflactado (ISD) e ingreso corriente por subsidio (ISC) en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA), por año.....	43
Figura 2-9 Ingreso total por subsidio deflactado (ISD) de la ganadería extensiva (GE) por municipio y por año.	44
Figura 2-10 Ingreso medio deflactado por subsidio (IMSD), por hectárea, por municipio y por año.....	44
Figura 2-11 Proporción de la superficie subsidiada de ganadería extensiva (SSGE) por municipio y año.....	45
Figura 2-12 Proporción del subsidio por cada USD de ingreso por la ganadería extensiva y por año.....	45
Figura 2-13 Comparación del ingreso medio deflactado (IMD) y del ingreso medio deflactado por hectárea cuando hay un subsidio (IMD-CS) en la ganadería extensiva, en el Sistema Lagunar de Alvarado, por año.....	46
Figura 2-14 Proporción del cultivo de caña de azúcar respecto a la superficie por municipio y por año.....	46
Figura 2-15 Rendimiento medio por hectárea (RM) de cultivo de caña de azúcar, por municipio y por año.....	47
Figura 2-16 Comparación del precio medio deflactado (PMD) y el precio medio corriente (PMC) por tonelada (t) de caña de azúcar en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA), por año.	47
Figura 2-17 Precio medio deflactado (PMD) por hectárea, municipio y año en el cultivo de caña de azúcar.....	48
Figura 2-18 Ingreso total corriente (ITC) e ingreso total deflactado (ITD) de la superficie (S) con cultivo de caña de azúcar (CCA) en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).	49
Figura 2-19 Comparación del ingreso medio deflactado (IMD) y del ingreso medio corriente (IMC) en el cultivo de caña de azúcar en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).	49
Figura 2-20 Ingreso medio deflactado (IMD) de los cultivos de caña de azúcar por hectárea, por municipio y por año.	50
Figura 2-21 Proporción subsidiada de la superficie destinada a los cultivos de caña de azúcar en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.....	51
Figura 2-22 Ingreso económico por subsidio federal (ITSD) en el cultivo de caña de azúcar en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.	51
Figura 2-23 Ingreso medio deflactado por subsidio (IMSD) de los cultivos de caña de azúcar en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.....	52

Figura 2-24 Proporción del subsidio por cada dólar (USD) del ingreso medio deflactado por hectárea (IMD) de los cultivos de caña de azúcar en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.....	52
Figura 2-25 Coste de oportunidad económico con subsidio (COE-S) por hectárea entre el cultivo de caña de azúcar y la ganadería extensiva en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA), y por año.....	53
Figura 2-26 Coste de oportunidad (COE-S) con subsidio entre los cultivos de caña de azúcar y la ganadería extensiva, en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.....	54
Figura 2-27 Coste de oportunidad económico (COE) sin subsidio entre los cultivos de caña de azúcar y la ganadería extensiva, en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.....	54
Figura 2-28 Ingreso total deflactado (ITD) de la pesca por cooperativa y total de las tres cooperativas encuestadas (Total Encuestadas) en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA). ..	55
Figura 2-29 Resultados del ingreso total deflactado (ITD) de la pesca en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).....	55
Figura 2-30 Comparación del consumo de agua por municipio y año (Consumo x año) y población por municipio (Pob. Mun) en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).	56
Figura 2-31 Consumo total de agua por municipio y por año (Consumo de agua), consumo de agua por municipio, por habitante y por día (CM x hab x día), y pago en dólares (USD) por municipio para contar con derechos a extracción de agua (Pago USD).	57
Figura 2-32 Proporción de humedales no transformados (HNT) por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado.....	58
Figura 2-33 Proporción por tipo de humedal respecto del total de humedales no transformados (HNT) por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).....	59
Figura 2-34 Total de toneladas de secuestro de carbono (SCO ₂) por hectárea de humedal costero no transformado (HNT) y por municipio.	59
Figura 2-35 Ingreso medio deflactado (IMD) por secuestro de carbono (SCO ₂) por hectárea (ha) de humedal no transformado (HNT).	60
Figura 2-36 Ingreso total deflactado (ITD) por SCO ₂ , por municipio y por tipo de humedal no transformado (HNT).....	60
Figura 2-37 Toneladas (t) de emisiones de CO ₂ (CO ₂ e) a la atmósfera por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.....	61
Figura 2-38 Valor en el mercado (USD) de las emisiones de CO ₂ (CO ₂ e) producidas por el cultivo de caña de azúcar por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.....	62

Figura 2-39 Toneladas (t) de caña de azúcar procesada por los cuatro ingenios ubicados en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.	62
Figura 2-40 Toneladas (t) de CO ₂ e en el procesamiento de la caña de azúcar en los ingenios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.	63
Figura 2-41 Valor (USD) de las emisiones de CO ₂ (CO ₂ e) durante el procesamiento de la caña de azúcar en los ingenios azucareros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.	63
Figura 2-42 Toneladas (t) de azúcar producida en los ingenios azucareros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.	64
Figura 2-43 Toneladas (t) de CO ₂ e generadas por la producción total de caña de azúcar en los ingenios azucareros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.	65
Figura 2-44 Eficiencia de la producción en función de la azúcar producida en los ingenios azucareros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.	65
Figura 2-45 Valor (USD) del CO ₂ e por la producción de azúcar en los ingenios azucareros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.	66
Figura 2-46 Coste de oportunidad ambiental (COA) total (ganadería extensiva/conservación) por secuestro de carbono (SCO ₂), por tipo de humedal no transformado (HNT) y por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).	67
Figura 2-47 Coste de oportunidad ambiental por hectárea (COA-ha) (Conservación/ganadería extensiva), por tipo de humedal no transformado (HNT) y por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).	67
Figura 2-48 Coste de oportunidad ambiental entre la conservación por (SCO ₂) y el cultivo de caña de azúcar (CCA), por tipo de humedal no transformado y por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).	68
Figura 2-49 Coste de oportunidad ambiental por hectárea (COA-ha) por conservación de humedales ahora dedicados al cultivo de caña de azúcar (conservación/CCA), por tipo de humedal no transformado en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).	69
Figura 3-1 Municipios, localidades rurales y cooperativas pesqueras en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).	86
Figura 3-2 Modelo conceptual del Índice de sustentabilidad municipal (ISM) para el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).	89
Figura 3-3 Escala de valores del subíndice de vulnerabilidad eco-céntrica (SVE) por municipio (a) y representación espacial del SVE por municipio (b) en el Sistema Lagunar de Alvarado.	91

Figura 3-4 Escala de valores del subíndice de marginación social (SMS) por municipio (a) y representación espacial del subíndice de marginación social (SMS) por municipio (b) en el Sistema Lagunar de Alvarado.92

Figura 3-5 Escala de valores del subíndice de coste de oportunidad económico (SCOE) por municipio (a) y representación espacial del subíndice de coste de oportunidad económico (SCOE) por municipio (b).....93

Figura 3-6 Escala de valores del subíndice de emisiones de carbono (SECO) por municipio (a) y representación espacial del subíndice de coste de oportunidad económico (SECO) por municipio (b).....94

Figura 3-7 Comparación del índice de sustentabilidad por municipio (ISM) y sus componentes (a), y representación espacial de la evaluación del índice de sustentabilidad por municipio (ISM) (b).94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Descripción y fórmulas de los indicadores del índice de vulnerabilidad eco-céntrica. .	16
Tabla 2-1 Actividades económicas en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) por tipo de uso. ...	30
Tabla 2-2 Estimaciones por semana de trabajo de las pesquerías.	34
Tabla 2-3 Fórmulas para estimar el coste de oportunidad.	39
Tabla 2-4 Resultados de los encuestados en la actividad apícola. QM: cantidad media comerciada PMD: precio medio deflactado. ITD: ingreso total deflactado por persona.	57
Tabla 2-5 Criterios de adicionalidad para el PSE por hectárea de HNT conservados en el escenario eficiencia/conservación.	80
Tabla 2-6 Escenario de Eficiencia-restauración en los ingenios para la restauración de humedales transformados.	81
Tabla 2-7 Coste de oportunidad ambiental (COA) en el escenario eficiencia/restauración.	82
Tabla 3-1 Acciones para el aprovechamiento eficiente del uso de suelo y la restauración de humedales costeros transformados (HT) por actividad (ganadería y cultivo de caña) y por municipio.....	96
Tabla 3-2 Ingresos económicos por el aprovechamiento eficiente y restauración de humedales costeros.....	98
Tabla 3-3 Disminución de las externalidades de carbono emitido por el aprovechamiento eficiente.....	99

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1 Óptimo antropocéntrico (OA) y óptimo eco-céntrico (OE) por municipio del SLA.	17
Ecuación 1-2 Componentes del Subíndice de Presión (SIP).....	17
Ecuación 1-3 Componentes del Subíndice de Estado (SIE).	18
Ecuación 1-4 Componentes del Índice de Vulnerabilidad Eco-céntrica (IVE).	18
Ecuación 2-1 Ingreso medio corriente por hectárea y municipio (IMC).	33
Ecuación 2-2 Ingreso total corriente de la ganadería extensiva (GE) por municipio.	34
Ecuación 2-3 Beneficio total de los socios encuestados, por especie y una semana de trabajo. ...	35
Ecuación 2-4 Beneficio total de los socios encuestados en cada cooperativa, por especie y año..	35
Ecuación 2-5 Beneficio medio por cooperativa pesquera, por especie y año.	35
Ecuación 2-6 Beneficio de los socios no encuestados por cooperativa, especie y año de trabajo.	36
Ecuación 2-7 Beneficio aproximado de la cooperativa por especie y año de trabajo.	36
Ecuación 2-8 Beneficio Total Aproximado por cooperativa y año de trabajo.....	36
Ecuación 2-9 Beneficio total aproximado de la pesca en el SLA.	37
Ecuación 2-10 Deflactor de Precios.	40
Ecuación 3-1 Índice de sustentabilidad por municipio y año 2010 (IMS).....	91

LISTA DE ACRÓNIMOS

AMS	Área municipal subsidiada
Aserca	Apoyos y Servicios a la comercialización agropecuaria
BANXICO	Banco de México
BSE	Bienes y servicios ecosistémicos
CCA	Cultivo de caña de azúcar
CER	Certificado por reducción de emisiones
CNA	Comisión Nacional del Agua
CO ₂ e	Carbono emitido a la atmósfera
COA	Coste de oportunidad ambiental
COA-ha	Coste de oportunidad ambiental por hectárea
COE	Coste de oportunidad económico
COE-ha	Coste de oportunidad económico por hectárea
COE-S	Coste de oportunidad económico con subsidio
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CSVA	Consejo del Sistema Veracruzano del Agua
EA	Escenario actual
EE	Escenario estratégico
ET	Escenario tendencial
GE	Ganadería extensiva
GIS	Sistema de Información Geográfica
HNT	Humedales costeros no transformados
HT	Humedales costeros transformados
IMC	Ingreso medio corriente por hectárea
IMD	Ingreso medio deflactado por hectárea
IMD-CS	Ingreso medio deflactado con subsidio por hectárea
IMSC	Ingreso medio corriente por subsidio
IMSD	Ingreso medio deflactado por subsidio
INPC	Índice Nacional de Precios al Consumidor
IS	Ingreso por subsidio
ISM	Índice de Sustentabilidad Municipal
ITC	Ingreso total corriente
ITD	Ingreso total deflactado
ITSD	Ingreso total deflactado por subsidio
IVE	Índice de vulnerabilidad eco-céntrica
IVE-EA	Índice de vulnerabilidad eco-céntrica en el escenario actual

IVE-EE	Índice de vulnerabilidad eco-céntrica en el escenario estratégico
IVE-ET	Índice de vulnerabilidad eco-céntrica en el escenario tendencial
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MIZC	Manejo Integrado de la Zona Costera
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
PCC	Precio de carne en canal
PER	Presión-Estado-Respuesta
PMC	Precio medio corriente
PMD	Precio medio deflactado
PROCAMPO	Programa de Apoyos Directos al Campo
PSE	Pago por servicios ecosistémicos
QCS	Cantidad de carbono secuestrado
RM	Rendimiento medio de toneladas de caña por hectárea cosechada
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SCO2	Secuestro de Carbono
SCOE	Subíndice de coste de oportunidad económico
SECO	Subíndice de emisiones de carbono
SEDARPA	Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SIE	Subíndice de estado
SIE-EA	Subíndice de estado en el escenario actual
SIE-EE	Subíndice de estado en el escenario estratégico
SIE-ET	Subíndice de estado en el escenario tendencial
SIP	Subíndice de presión
SIP-EA	Subíndice de presión en el escenario actual
SIP-EE	Subíndice de presión en el escenario estratégico
SIP-ET	Subíndice de presión en el escenario tendencial
SLA	Sistema Lagunar de Alvarado
SMGE	Superficie municipal destinada a la ganadería extensiva
SMS	Subíndice de marginación social
SSCCA	Superficie subsidiada en el cultivo de caña de azúcar
SSGE	Proporción de la superficie subsidiada en la ganadería extensiva
SSGE	Superficie subsidiada en la ganadería extensiva
SVE	Subíndice de vulnerabilidad eco-céntrica
USD	Dólar americano

INTRODUCCIÓN GENERAL

El concepto de humedal es relativamente nuevo y se refiere a una amplia variedad de hábitats interiores, costeros y marinos que comparten como principal característica la presencia constante de agua –superficial o subterránea, la cual tiene un papel fundamental en el ecosistema (Mitsch y Gosselink 2000, Moreno-Casasola 2005a, Barbier et al. 2005). Debido a esto, pueden resistir cambios importantes en el nivel de inundación, así como períodos largos donde el nivel de agua es bajo o prácticamente nulo. Sin embargo, es necesario detallar ciertas características de estos ecosistemas. Algunas organizaciones prefieren definirlo como “tierras en transición entre los sistemas acuáticos y terrestres, donde la capa freática está habitualmente al mismo nivel o cerca de la superficie, o bien el terreno está cubierto por aguas poco profundas” (Mitsch y Gosselink 2000, Moreno-Casasola 2005a).

De acuerdo a Moreno-Casasola (2005a) el suelo o sustrato debe ser fundamentalmente hidromórfico, no drenado; es decir, debe estar saturado de agua de manera temporal o permanente; debe presentar una lámina de agua poco profunda, también agua subterránea próxima a la superficie del terreno, ya sea permanente o temporal. Además el terreno debe mantener predominantemente una vegetación acuática o hidrófita. Empero, los humedales tienen límites que son complejos en su definición, son considerados espacios de transición, el aumento de humedad que se produce en ellos es suficiente como para afectar los procesos fisicoquímicos y biológicos del área (Mitsch y Gosselink 2000, Moreno-Casasola 2005a, Barbier et al. 2005). Otra forma de identificar los humedales es la vegetación, de acuerdo con Moreno-Casasola (2005a), ésta es un buen indicador de ello y cuando se observan juncales y carrizales, se sabe que es un lugar húmedo; en este sentido la vegetación de los humedales es primordial para su identificación. De igual manera Moreno-Casasola (2005a) expone que los humedales con vegetación flotante libre, vegetación flotante enraizada, vegetación de hidrófilas emergentes (popal, tular, carrizal), vegetación sumergida, marismas, pastos marinos, manglar, manzallinar, vegetación riparia, selva baja inundable/selva, palmar inundable y sabana; muestran la posibilidad y viabilidad de definirlos a partir del tipo de vegetación.

De acuerdo a Moreno-Casasola (2005a) y Flores Verdugo et al. (2010) la presente investigación entiende por humedales costeros a “los sistemas acuáticos de ríos y lagunas, los manglares, las selvas inundables/selvas, los tulares, los popales, los bosques, y las selvas riparias y marismas. Cada uno de ellos se caracteriza por prosperar dentro de un intervalo de salinidad y bajo un hidro-período determinado” Dentro de esta caracterización es posible señalar que existen cinco grupos de humedales: i) estuarios, donde el río se une al mar y la salinidad es intermedia, entre sal y agua dulce; ii) marinos, es decir no influenciados por ríos y agua dulce; iii) ribereños, que periódicamente se encuentran inundados por un río, pueden ser humedales herbáceos y bosques o selvas inundables; iv) los palustres, lugares donde existe variación de agua permanente

como lagos y pantanos; y v) los lacustres, áreas de agua permanente con poco flujo como los lagos en cráteres volcánicos (Moreno-Casasola 2010, Barbier et al. 2005, Berlanga-Robles y Ruiz-Luna 2008, Flores Verdugo et al. 2010, Moreno-Casasola e Infante 2010).

Actualmente, los humedales costeros son reconocidos como ecosistemas altamente productivos (Mitsch y Gosselink 2000, Moreno-Casasola 2005a, 2012, Barbier et al. 2005) debido a los bienes y servicios ecosistémicos que brindan a la sociedad que habita *in situ* y *ex situ*. El sistema económico-productivo (producción, distribución y consumo) de las costas no tendría lugar de no existir tales ecosistemas (Costanza et al. 1997, Moreno-Casasola 2012). Desde los bienes de producción primaria como la caña de azúcar, la cría de ganado, la productividad pesquera de las lagunas, los productos de la flora y fauna silvestre (González-Marín et al. inédito), y los insumos en la producción intermedia como: el agua utilizada por la industria de la caña de azúcar, son parte de los beneficios económicos y sociales que brindan los humedales costeros.

En México los humedales costeros se encuentran ampliamente distribuidos en todo el litoral desde las playas de aguas tranquilas hasta los 25m de altitud tierra adentro. Dentro de los más importantes por su extensión están los del Sistema Lagunar Alvarado (SLA), en la planicie costera de la Cuenca del Papaloapan en el Estado de Veracruz (Moreno-Casasola e Infante 2010). De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CNA), la cuenca del Papaloapan se divide en tres subregiones; alta, media, y baja; es la segunda de mayor importancia en México por su tamaño y escurrimiento promedio superficial. El SLA se encuentra ubicado en la cuenca baja y desemboca al este en el Golfo de México. Dada la homogeneidad de las características naturales y socioeconómicas de los municipios que se muestran en la Figura 1-1, éstos conforman la microrregión (CNA 2007) del SLA. Los bienes y servicios ecosistémicos que los humedales costeros del SLA brindan a la sociedad se ven expresados en la siguiente Tabla que fue elaborada a partir de la clasificación del Millennium Ecosystem Assessment (2005) y la revisión bibliográfica que existe acerca de la región.

Tabla 0 Funciones y servicios ecosistémicos observados en los humedales costeros del Papaloapan.

Funciones ecosistémicas	Servicios ecosistémicos en la vida cotidiana, y en los procesos observados de los humedales costeros en la cuenca baja del Papaloapan.
Producción	
Comida	Pesca, pesca deportiva, (Escamas, almeja, camarón, jaiba, robalo, mojarra, chucumite, lebrancha, sargo, trucha, lisa, tenguayaca, guabino, sábalo, pinta, guapota, ronco, cubera, pampano.) alimentos, frutas (González 1998, Silva-López 1998, Juárez 2005, Manson y Moreno-Casasola 2005, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Agua	Almacenamiento, retención de agua para uso doméstico, industrial y uso agrícola. Agua intermitente en lagunas, pantanos y campos agrícolas. Uso doméstico en localidades urbanas y rurales, uso industrial en los ingenios de caña de azúcar (Portilla-Ochoa et al. 1998, Vergara 1998).
Fibras y combustibles	Madera, forraje y combustible para uso doméstico en localidades rurales y en la actividad pesquera y fibras para artesanías (Manson y Moreno-Casasola 2005, Moreno-

	Casasola 2005a, Flores Verdugo et al. 2010, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Bioquímicos	Extracción de plantas medicinales, y otros materiales de la biota. Aprovechamiento de la flora para medicamentos en las zonas rurales y como remedios naturales-hogareños (Portilla-Ochoa et al. 1998, Juárez 2005).
Materiales genéticos	Genes para la inmunidad ante patógenos y para la producción de especies ornamentales. Diversidad genética y adaptación de las especies a cambios en el medio biofísico (Silva-López et al. 1998, Manson y Moreno-Casasola 2005, Moreno-Casasola 2005a, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Regulación	
Influencia climática	Almacenamiento y captura de carbono, influencia en el clima local y regional, precipitación pluvial. Suelos que permiten el almacenamiento y captura de carbono; en manglares, tulares, popales, espartos, palmar y vegetación de selva inundable (Manson y Moreno-Casasola 2005, Moreno-Casasola 2005a, Warner et al. 2005).
Regulación de agua subterránea	Recarga y descarga de mantos freáticos. Disposición de agua subterránea y en pozos, para uso (doméstico) rural y urbano, uso industrial y uso agrícola (Moreno-Casasola 2005a, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Purificación del agua y mitigación de contaminantes	Retención, recuperación, y remoción de nutrientes en exceso y algunos contaminantes. Tratamiento natural del agua con contaminantes de uso industrial (caña de azúcar), uso doméstico y agrícola. Fertilización natural de los campos agrícolas y para pastizales utilizados por el ganado (Manson y Moreno-Casasola 2005, Moreno-Casasola 2005a, Flores Verdugo et al. 2010, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Control de la erosión	Retención de arena y sedimentos. Manglares, popales, tulares, espartos y selvas inundables (entre otros), permiten la incorporación y retención de sedimentos; evitan el asolvamiento de ríos y lagunas (Santiago et al. 1998, Manson y Moreno-Casasola 2005, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Protección ante fenómenos meteorológicos.	Control de inundaciones, y barrera contra tormentas. Manglares, selvas inundables, tulares, espartos y selvas inundables (entre otros), sirven como protección a las comunidades del sistema lagunar de Alvarado, ante huracanes y tormentas (Warner et al. 2005, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Hábitat	
Especies de río, marinas, marino-costeras	Camarón, almeja, ostiones, manatí, diversas especies de río, etc.
Polinizadores	Especies que diversifican y polinizan la flora del humedal y terrestre. Especies como abejas silvestres y abejas en criaderos (apicultura); utilizadas por comunidades rurales (Manson y Moreno-Casasola 2005, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Cultural y de información	Información histórica, arqueológica y cultural de la región, así como para estudios de investigación que detallan el desarrollo histórico y ahistórico de la región; conformación e interacción de los pueblos prehispánicos, coloniales y contemporáneos (Córdoba 1998, González 1998, Maldonado 1998, Vargas 1998).
De esparcimiento espiritual	Fuente de inspiración, valor religioso debido a los aspectos de los humedales. Actividades astronómicas, observación de fenómenos naturales, conocimiento arqueológico e histórico de la región (Córdoba 1998, González 1998, Maldonado 1998).
Actividades de recreación	Actividades recreativas (ecoturismo). Turismo de naturaleza, por el valor histórico y cultural (Portilla-Ochoa et al. 1998); de municipios como Tlacotalpan y Alvarado.
Estéticos y de paisaje	Valor paisajístico y de motivación para el turismo de naturaleza y paisaje cultural. Calidad escénica, de paisaje que brindan el sistema lagunar del Alvarado, en los municipios de la región de Estudio (Portilla-Ochoa et al. 1998, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Educativo	Para concientizar a la población de diferentes edades, acerca de la coexistencia del ser humano con su entorno natural. Actividades educativas, culturales y coexistencia con la naturaleza de los municipios de la región de estudio (Moreno-Casasola e Infante 2010).
SopORTE	
Formación de suelos	Retención de sedimentos y materia orgánica. Suelos altamente productivos para la agricultura (caña de azúcar), y actividades como la ganadería y la pesca (Moreno-

	Casasola 2005a, Travieso-Bello et al. 2005, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Ciclo de nutrientes	Almacenamiento, reciclaje, procesos y adquisición de nutrientes. Proporcionan la riqueza biótica necesaria para su aprovechamiento en las actividades antes mencionadas (Moreno-Casasola 2005a, Warner et al. 2005, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Transporte	Sirve como soporte y vías de comunicación. En las comunidades rurales (internas en los humedales) el único medio de transporte es por lancha, y a través de los ríos y lagunas del sistema lagunar (Juárez 1998, Moreno-Casasola e Infante 2010).
Fuente: Adaptación de de Groot et al. (2002), Millennium Ecosystem Assessment (2005) y Posthumus et al. (2010).	

El actual aprovechamiento de los humedales costeros en la cuenca del Papaloapan constituye una problemática causada por el uso de suelo para actividades como la ganadería y el cultivo de caña de azúcar, debido que éstas remueven la cobertura vegetal y drenan los humedales costeros (Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247). Esto ha ocasionado una disminución en la extensión territorial de los humedales y por tanto una pérdida de los servicios ecosistémicos que brindan, pues al desaparecer de forma total o parcial; se pierden las funciones reguladoras, de hábitat y funciones de producción que tienen estos ecosistemas (Moreno-Casasola 2005a, Moreno-Casasola e Infante 2010). Actividades como la pesca, la apicultura silvestre y el aprovechamiento de agua de los mantos freáticos, se ven afectadas debido a la pérdida de estos ecosistemas, además de las externalidades ambientales que generan actividades como el cultivo de la caña y las emisiones de carbono durante el proceso de cultivo, aunado a esto, los cuatro ingenios ubicados en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) consumen $373 \times 10^6 \text{ m}^3$ de agua y descargan $287 \times 10^6 \text{ m}^3$ de ésta, de la cual sólo se trata el 64.24%. Esto genera un externalidad ambiental (Gómez-Baggethun y de Groot 2007) no incorporada por la industria de azúcar y percibidas por las cooperativas de pescadores en el SLA, pues existe correlación entre la calidad de los cuerpos de agua, la extensión de la cobertura vegetal de los humedales costeros y su capacidad para albergar las especies que auto-consumen y comercian las comunidades de pescadores (Juárez 2005, Moreno-Casasola 2005a, Sanjurjo 2005, Sanjurjo et al. 2005a, 2005b, Flores Verdugo et al. 2010, Moreno-Casasola e Infante 2010).

Por tal motivo, las autoridades encargadas de establecer los lineamientos para el uso y aprovechamiento de los humedales, enfrentan un impacto en las finanzas públicas por el gasto que implican los costos socioeconómicos y ambientales; derivados de los desastres sociales ocasionados por situaciones como: riesgo, amenaza y vulnerabilidad social (Cardona 1993, Romero y Maskrey 1993) debido a la pérdida de funciones como el control de inundaciones. En este sentido, la rentabilidad entre conservarlo o destinarlo hacia actividades que requieran su remoción, constituye una disyuntiva y un coste de oportunidad (Mankiw 2002) para el gobierno, los tenedores de la tierra y la sociedad. En otras palabras, las autoridades encargadas de evaluar los escenarios más convenientes para el medio ambiente y la sociedad, tienen que decidir entre conservar/restaurar, conservar/restaurar y aprovechar eficientemente o seguir en el camino actual de aprovechamiento de estos ecosistemas.

JUSTIFICACIÓN

Debido a los bienes y servicios ecosistémicos que los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado brindan a la sociedad *in situ* y *ex situ* es un motivo irrefutable la importancia del presente análisis, que estima el valor por hectárea que reciben humedales costeros en función del uso directo extractivo para actividades como la ganadería extensiva y el cultivo de la caña de azúcar, y la comparación con el valor de los humedales costeros en función de actividades como la pesca, la apicultura silvestre, y el uso indirecto extractivo como el consumo de agua de los mantos freáticos. Además, de tomar criterios adicionales en diferentes tipos de uso como son las externalidades ambientales generadas, que para el caso del cultivo de caña de azúcar y su proceso en los ingenios, se estimaron las emisiones de CO₂ para analizar su impacto en la generación de gases de efecto invernadero.

En la actualidad no existe un solo estudio que integre las aristas aquí presentadas, por esto la importancia del presente estudio para el manejo integral de la zona costera que requiere para la toma de decisiones, análisis que incluyan a los sectores y actividades económicas y con ello lograr que éstas se realicen con el menor impacto ecosistémico, mayor beneficio social y económico posible, y de esta forma se transite hacia el manejo integrado de la zona costera (MIZC) sobre la base de la sustentabilidad. Los resultados aquí vertidos abren la posibilidad de mostrar a los tomadores de decisiones y a la sociedad en general, acerca de los costos (USD) que implica renunciar a una hectárea de humedal costero no transformado en relación a los beneficios obtenidos por las actividades económicas que echan mano de éstos. Además, se parte hacia nuevos escenarios de aprovechamiento eficiente, conservación y restauración, y pone sobre la mesa de debate no las actividades actuales, sino las condiciones y formas de llevarlas a cabo. Asimismo, la posibilidad para que mejoren su eficiencia en el uso de suelo y esto coadyuve en las estrategias de conservación y/o restauración de los humedales costeros, desde una visión económica de los usuarios (ingresos por actividad), el mercado como ente hegemónico en las decisiones (precio del producto), el gobierno con ente regulador e incentivador (subsidios y arreglos institucionales) y las posibilidades hacia un manejo integrado de los humedales costeros.

En síntesis, las conclusiones derivadas de este análisis, sirven para contar con resultados integrados en un índice de sustentabilidad actual por municipio, de vulnerabilidad eco-céntrica en el escenario actual, tendencial y estratégico, y la integración de la valoración económica a partir de actividades como la ganadería extensiva, el cultivo de la caña de azúcar, la pesca, el consumo de agua por municipio, la apicultura silvestre y por otro lado, el pago por servicios ambientales como el secuestro de carbono por hectárea de humedal no transformado. Además de los escenarios de eficiencia/conservación y eficiencia/restauración que muestran las posibilidades y que sirven como herramienta base para tomar decisiones en cuanto al uso y manejo de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado. Siempre que la problemática principal en

esta región, es la pérdida de dichos ecosistemas por su subvaloración. De ahí que estudiarlos como un portafolio de inversión (opciones económicas), es fundamental pues a través de este mecanismo se puede sensibilizar al sector privado para retomar el humedal como un conjunto de acciones financieras (servicios ambientales) con las que se podrá obtener recursos adicionales y diferentes a las actividades de uso directo (ganadería y agricultura).

OBJETIVOS

El objetivo general del presente estudio es proponer las bases económicas y acciones para el manejo de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado a partir del aprovechamiento eficiente en las actividades como la agricultura, cultivo de caña y la industria azucarera, la conservación de los humedales costeros no transformados y la restauración de los humedales costeros transformados.

Objetivos específicos

- 1) Generar un diagnóstico acerca de la vulnerabilidad eco-céntrica en tres escenarios (actual, tendencial y estratégico) en función del uso de suelo y la vegetación de los humedales costeros del Sistema Lagunar de Alvarado.
- 2) Obtener el coste de oportunidad económico entre la ganadería y agricultura de caña de azúcar, el coste de oportunidad ambiental entre conservación/cultivo de caña, el coste de oportunidad ambiental entre conservación/ganadería y el coste de oportunidad ambiental en los escenarios de eficiencia-conservación y eficiencia-restauración de los humedales no transformados.
- 3) Evaluar la sustentabilidad del aprovechamiento y uso de suelo actual de los humedales costeros del Sistema Lagunar de Alvarado y las acciones y bases económicas para el manejo integrado de los humedales costeros del Sistema Lagunar de Alvarado.

METODOLOGÍA

Capítulo 1. Evaluación municipal de la vulnerabilidad eco-céntrica de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México.

- Objetivo específico 1
- Aplicación del modelo conceptual Presión-Estado-Respuesta (PER) para el análisis del uso de suelo y vegetación en el escenario actual, tendencial y estratégico en el SLA.
 - Estimación del índice de vulnerabilidad eco-céntrica en el escenario actual, tendencial y estratégico.
 - Identificación de las acciones en el uso de suelo y de los humedales costeros para el escenario estratégico.

Capítulo 2. Valoración económica y coste de oportunidad del aprovechamiento de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México.

- Objetivo específico 2
- Estimación del ingreso económico corriente y deflactado, total (por municipio) y por hectárea en el cultivo de caña de azúcar, y en la ganadería extensiva entre los años 2006 y 2010.
 - Análisis de los subsidios del gobierno y su relación con el aprovechamiento actual de los humedales costeros.
 - Análisis de las externalidades por emisiones de carbono en el cultivo de caña de azúcar, el proceso de la caña y la producción de azúcar en los ingenios.
 - Cálculo de los beneficios económicos potenciales por secuestro de carbono de los humedales costeros no transformados (manglar, popal, tular y selva inundable/selva).
 - Estimación de la contribución económica de los humedales costeros por la pesca, la apicultura silvestre y la recarga de agua en mantos freáticos.
 - Escenario de eficiencia/conservación y eficiencia/restauración como estrategia para el manejo de los humedales costeros.

Capítulo 3. Evaluación de la sustentabilidad y estrategias para el manejo de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México.

- Objetivo específico 3
- Propuesta conceptual del índice de sustentabilidad a partir de la inclusión del coste de oportunidad económico, de las externalidades del aprovechamiento de las actividades económicas y del índice de vulnerabilidad eco-céntrica.
 - Evaluación de los resultados del índice de sustentabilidad e identificación de los componentes de sustentabilidad con mayor efecto negativo en cada municipio.
 - Estrategias y acciones para el escenario de aprovechamiento eficiente en el manejo de los humedales costeros, transformados y no transformados.
-

1. EVALUACIÓN MUNICIPAL DE LA VULNERABILIDAD ECO-CÉNTRICA DE LOS HUMEDALES COSTEROS EN EL SISTEMA LAGUNAR DE ALVARADO, VERACRUZ, MÉXICO

César Vázquez González, José Luis Fermán-Almada, Patricia Moreno-Casasola Barceló, Martha Ileana Espejel Carbajal y María Evarista Arellano García.

Resumen

A nivel mundial, incluidos los países tropicales, los humedales costeros son drenados como estrategia para incrementar actividades como la ganadería extensiva y la agricultura. Los humedales costeros de la cuenca del Papaloapan, no son la excepción. Ésta es la segunda en importancia en México por su caudal ($45 \times 10^9 \text{ m}^3$), longitud (142 km) y su área ($47 \times 10^3 \text{ km}^2$ aproximadamente). De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CNA), se encuentra dividida en tres subregiones: alta, media y baja, esta última es un claro ejemplo de este pernicioso proceso en aras del desarrollo: el 66.5% del uso de suelo destinado a las actividades agropecuarias han sustituido a los humedales costeros del Sistema Lagunar de Alvarado. Para lograr este porcentaje han tenido que drenar y rellenar dichos ecosistemas, por lo que se han perdido, entre otros, dos bienes y servicios ecosistémicos fundamentales para las propias actividades económicas: el hábitat de especies de importancia local pesquera y la posibilidad de regulación y control de las inundaciones, así como la captura y recarga de agua en los mantos freáticos. Por esto, el objetivo de presente estudio es proponer un índice que evalúe la vulnerabilidad eco-céntrica a nivel municipal, es decir, centrado en el manejo aprovechamiento-conservación de los humedales, a partir del método de Presión y Estado, con indicadores de uso de suelo y vegetación (ganadería, agricultura de caña de azúcar), además de estimar el escenario actual, tendencial y estratégico. Como resultado, el subíndice de presión, estado y el de vulnerabilidad eco-céntrica de los municipios del Sistema Lagunar Alvarado, se encuentran en un nivel crítico (x_{ij} mayor a 0.5). Sin embargo, estrategias como la reducción del 25% de los cultivos de caña de azúcar y 50% de la ganadería extensiva en cada uno de los municipios, disminuirá paulatinamente la presión y el estado impactado con base en los resultados del índice propuesto en el escenario estratégico. Además con el aprovechamiento eficiente por hectárea utilizada, y la conservación de los humedales costeros no transformados y la restauración de los humedales transformados son acciones que forman parte de las estrategias necesarias para mitigar y disminuir la vulnerabilidad eco-céntrica.

Palabras clave: Estrategias de manejo, escenario-actual, escenario-tendencial, escenario-estratégico, ganadería, cultivo de caña de azúcar, aprovechamiento eficiente, Presio-Estado.

1.1. Introducción

Los humedales costeros son reconocidos como ecosistemas altamente productivos (Mitsch y Gosselink 2000, Moreno-Casasola 2005a, Barbier et al. 2005) debido a los bienes y servicios ecosistémicos (BSE) que brindan a la sociedad que habita *in situ* y *ex situ*. El sistema económico-productivo (producción, distribución y consumo) de las costas no tendría lugar de no existir tales ecosistemas. Desde los bienes de producción primaria como la caña de azúcar, la cría de ganado, la productividad pesquera de las lagunas, la caza de fauna como complemento alimenticio y los insumos en la producción intermedia como el agua utilizada por la industria de la caña de azúcar; son parte de los beneficios económicos y sociales que brindan los humedales costeros. Las evaluaciones económicas realizadas por Costanza et al. (1989, 1997), Richards et al. (1999), Birol et al. (2006), Rouquette et al. (2009) y Posthumus et al. (2010) ponen de manifiesto la contribución económica, social y biológica de los humedales en cada una de sus respectivas zonas de estudio.

Dichos análisis han servido para sentar las bases hacia la evaluación y valoración económica de los bienes y servicios ecosistémicos (BSE) que brindan los humedales. El documento intitulado Millennium Ecosystem Assessment (2005) instó a las autoridades y encargados de la política ambiental de cada país, a realizar una evaluación y valoración de los BSE que ofertan los humedales y a analizar a nivel regional (países) y local (municipios) el impacto negativo que tiene la remoción de éstos. México no es ajeno a dichos estudios, Sanjurjo et al. (2005a, 2005b) analizaron la contribución económica de los manglares en el Estado de Jalisco, en función de las pesquerías y su productividad, determinando que a mayor cobertura de manglar las pesquerías presentaron mayor productividad, debido a que los manglares tienen la función de ser el hábitat de diversas especies que son aprovechadas en la actividad pesquera, además de que adicionan nutrientes al agua lo cual favorece al fito y zooplancton e indirectamente a las pesquerías.

En México, los humedales costeros se encuentran ampliamente distribuidos en todo el litoral desde las playas de aguas tranquilas hasta los 25m de altitud tierra adentro. Dentro de los más importantes por su extensión están los del Sistema Lagunar Alvarado (SLA), en la planicie costera de la Cuenca del Papaloapan en el Estado de Veracruz (Moreno-Casasola e Infante 2010). De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CNA), la cuenca del Papaloapan se divide en tres subregiones; alta, media, y baja; es la segunda de mayor importancia en México por su tamaño y escurrimiento promedio. El SLA se encuentra ubicado en la cuenca baja y desemboca al este en el Golfo de México. Dada la homogeneidad de las características naturales y socioeconómicas de los municipios que se muestran en la Figura 1-1, éstos conforman la microrregión del SLA (CNA 2007). La importancia del SLA está basada en las siguientes esferas del manejo de los recursos naturales:

a) Natural. Comprende un área 373,021 ha, que representa el 8.15% de la cuenca del Papaloapan y el 22.85% de la cuenca baja, además Moreno-Casasola e Infante (2010) los mencionan como un importante recurso hidrobiológico por la variedad de tipos de vegetación (mangle, tular, popal, espartal, selva inundable/selva, palmar, potrero inundable, acahual y vegetación flotante). El SLA es un sistema lagunar-estuarino compuesto por lagunas costeras salobres, destacándose las lagunas de Alvarado, Buen País y Camaronera, más de 100 lagunas interiores, como la de Tlalixcoyan y las Pintas, y varios ríos, destacándose los ríos Papaloapan, Acula, Blanco y Limón (Portilla-Ochoa 2003a).

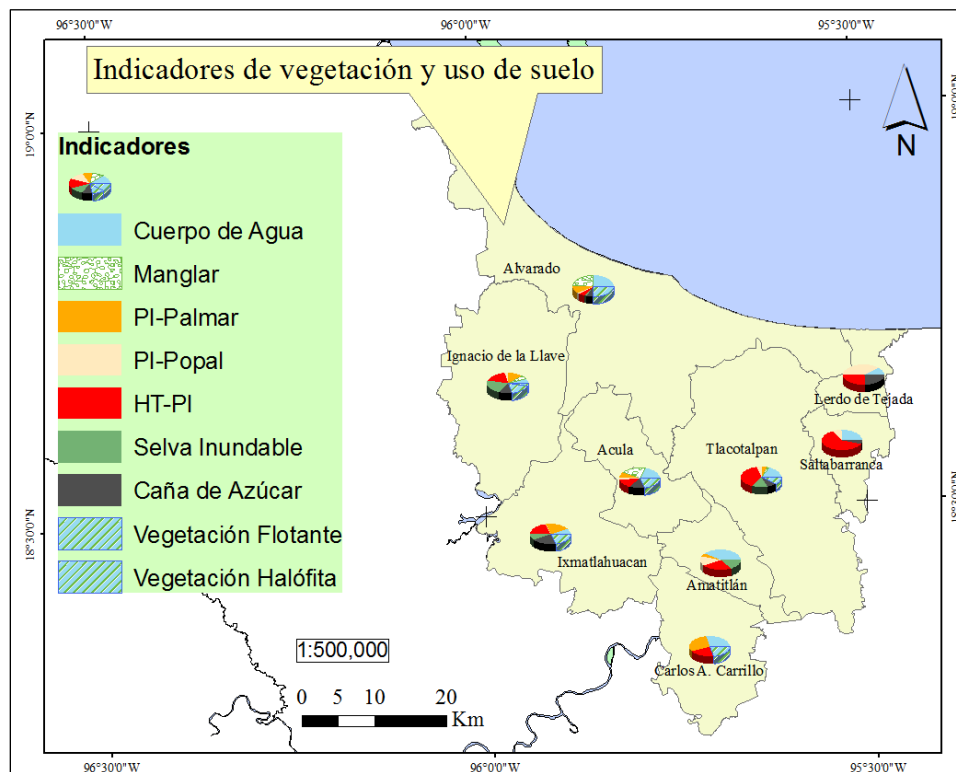


Figura 1-1 Área de estudio y distribución de los humedales costeros en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

Fuente: Proyección Cónica de Lambert y Datum ITRF 1992. Información del mapa de vegetación y uso de suelo del Inventario y el mapa de la microrregión del SLA; del Inventario, Delimitación, Caracterización y uso sustentable de los Humedales Costeros del Río Papaloapan (Proyecto CONAGUA CONACYT no. 48247).

b) Social. Habitan 183,187 personas, esto representa el 2.4% y 5.1% de la cuenca del Papaloapan y la cuenca baja, respectivamente. Así como la importancia cultural y tradicional como la fiesta de la virgen de la candelaria en Tlacotalpan (Córdoba 1998), la relevancia histórica desde la época prehispánica (Vargas 1998), colonial (Velasco 1998) y durante el porfiriato (Vergara 1998), además de los vestigios arqueológicos encontrados en municipios como Tlalixcoyan y Acula (Maldonado 1998) son parte esencial de lo que envuelve al SLA.

- c) La Esfera Económica, el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar con un ingreso de \$ 8.4 x 10⁸/2010, la ganadería extensiva \$ 8.8 x 10⁸/2010 (SEDARPA y SAGARPA 2010) y la pesca \$ 4.0 x 10⁸/2010. Ésta última, congrega 89 cooperativas que trabajan en el mar, en la región salobre y en el agua dulce. La zona de mayor densidad de cooperativas en el Estado de Veracruz es el SLA, dentro de éste se aglomera la mayor cantidad en la laguna de Alvarado (Moreno-Casasola e Infante 2010).

Los humedales costeros del SLA son fuente, soporte y sumidero de las actividades socioeconómicas anteriormente mencionadas (Travieso-Bello 2005, Travieso-Bello et al. 2005). Autores como Portilla-Ochoa et al. (1998), Velasco (1998), Juárez (2005), Moreno-Casasola (2005a), Travieso-Bello et al. (2005), Guevara y Moreno-Casasola (2008), Moreno-Casasola e Infante (2010), Flores Verdugo et al. (2010) y Campos et al. (2011), coinciden en los beneficios económicos, sociales y biológicos que se obtienen de los humedales debido a los BSE que brindan y que se han perdido, al drenarlos para el cultivo de la caña de azúcar (14 % del suelo del SLA) y para la ganadería extensiva (60% del suelo del SLA). Además, Landgrave y Moreno-Casasola (2011) estimaron pérdida de la cobertura de humedales en México e indicaron los efectos y acciones para mitigar tal situación.

Debido a lo anterior, muchos de los humedales costeros en el SLA han perdido la capacidad de realizar sus funciones ecosistémicas que de acuerdo al Millennium Ecosystem Assessment (2005) son los procesos naturales de los ecosistemas, a través de los cuales pueden ofertar los BSE, por ello la subsecuente disminución de éstos. Dada la contaminación en los cuerpos de agua provocada por los ingenios (CNA 2007) existen externalidades negativas percibidas por las cooperativas de pescadores en el SLA, pues existe correlación entre la calidad de los cuerpos de agua, la extensión de la cobertura vegetal de los humedales costeros y su capacidad para albergar las especies que auto-consumen y comercian las comunidades de pescadores (Juárez 2005, Moreno-Casasola 2005a, Sanjurjo 2005, Sanjurjo et al. 2005a, 2005b, Flores Verdugo et al. 2010, Moreno-Casasola e Infante 2010). De ahí que los humedales costeros se encuentran vulnerables, es decir, en el *status* de ser lesionados debido a agentes externos o de origen distinto al objeto vulnerable (humedales) (Wainger y Price 2004, Füssel 2007, Dong et al. 2011, Fraser et al. 2011). En este sentido, la situación externa se presenta como la presión (actividades económicas) y el objeto vulnerable con un gradiente de estado impactado (grados de transformación de los humedales costeros), lo que desencadena un proceso de disminución de la capacidad para realizar las funciones hidrológicas que son vitales para su existencia (Aguirre et al. 2007, Moreno-Casasola e Infante 2010) y pone en riesgo la capacidad de éstos para seguir soportando las actividades socioeconómicas de ganadería extensiva y de pesquerías. El cultivo de caña no se incluye en este punto debido a que su nivel de transformación de los humedales es tal, que éstos ya no se pueden reconocer como tales.

Por tal motivo, el objetivo de este trabajo es construir un índice de vulnerabilidad eco-céntrica (IVE) a partir de una metodología que integre diversas actividades económicas como el cultivo de caña de azúcar, la ganadería extensiva y el uso antropogénico (desarrollo urbano y agricultura perenne), asimismo, determinar el nivel de vulnerabilidad de los municipios del SLA en función del uso de suelo y la cobertura de vegetación de los humedales costeros transformados (HT) y no transformados (HNT). El IVE se representa a través de tres escenarios: actual (EA), tendencial (ET) y estratégico (EE), además, se identifican los puntos críticos de cada indicador, subíndice e índice, para sugerir las estrategias de manejo de los humedales costeros, sin incluir el factor externo a futuro como el cambio climático global (Ortiz Pérez y Méndez Linares 1987, 1999, Yañez-Arancibia et al. 2010).

1.2. Marco Conceptual

1.2.1. Definición de Vulnerabilidad Eco-céntrica

Para este trabajo se utilizó el enfoque eco-céntrico de la definición de vulnerabilidad, es decir, la vulnerabilidad que pone como objeto de estudio incluye la parte *natural y ecológica*. De esta forma, el IVE mide la capacidad que tienen los atributos naturales de un ecosistema para soportar los impactos derivados de las actividades antropogénicas tal y como lo interpreta Kaly et al. (1999). En cambio, la vulnerabilidad social o antropocéntrica mide la capacidad que tiene una sociedad para enfrentar por sí misma los diferentes escenarios adversos (económicos, sociales, naturales) (Cardona 1993, Romero y Maskrey 1993). La vulnerabilidad social puede ser producto de causas como desigualdad, exclusión y marginación social, así como por efectos del sistema económico (pérdida del empleo, etc.). En esencia es el objeto de estudio lo que cambia (Füssel y Klein 2006), mientras que en la vulnerabilidad social o antropocéntrica está centrada en las personas, la vulnerabilidad eco-céntrica enfatiza los ecosistemas como el objeto vulnerable.

1.2.2. Modelo conceptual: vulnerabilidad eco-céntrica en función de la Presión y el Estado

El modelo conceptual presión-estado-respuesta (PER) propuesto por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo económico (OCDE), permite establecer relaciones entre diferentes variables que componen el uso de suelo y vegetación (Seingier et al. 2011a, 2011b). En el presente estudio, se utiliza el subíndice de presión (SIP) como explicativo de la presión o intensidad del uso de suelo que ejercen las actividades económicas (cultivo de caña de azúcar y ganadería) sobre los humedales costeros. El subíndice de estado (SIE) explica el grado de deterioro de los humedales costeros en función del nivel de impacto en la cobertura de los cuerpos de agua, de los humedales transformados (HT) y no transformados (HNT). De esta forma se integra el índice de vulnerabilidad eco-céntrica (IVE) y es posible explicarlo conceptualmente en función de la Presión (SIP) y Estado (SIE).

1.3. Metodología

1.3.1. Descripción del área de estudio

La cuenca del Papaloapan está dividida en 264 municipios de los cuales se tomaron nueve (Figura 1-1) que conforman la microrregión conocida como el SLA (Portilla Ochoa 2003a). Históricamente la cuenca del Papaloapan ha tenido cambios en su definición territorial, no así en su definición hidrológica (CNA 2007). Los nueve municipios del SLA abarcan 291,700 ha en su totalidad, esto equivale al 6.4% de la cuenca del Papaloapan y aproximadamente 18 % de la cuenca baja. Es una planicie, con pendientes mínimas y una altura de 10 msnm (Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247). Todos los municipios presentan homogeneidad en la problemática ambiental, la modernización de la agricultura, el reciente cambio de uso de suelo (2006-2010) para el cultivo de caña de azúcar (Figura 1-2) y la deforestación en las partes altas.

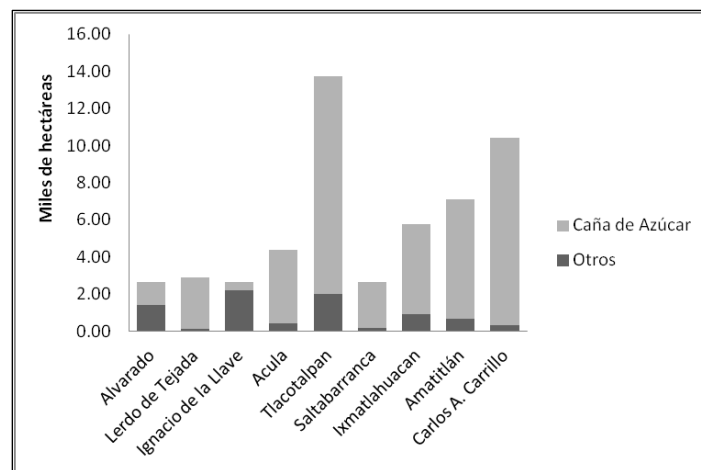


Figura 1-2 Comparación del uso de suelo entre el cultivo de caña de azúcar y otros cultivos por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) en el año 2010.

Fuente: se presenta la cantidad de hectáreas destinadas al cultivo de la caña de azúcar y lo correspondiente a los otros cultivos por municipio, con base en el anuario estadístico de la SEDARPA y SAGARPA (2010).

De acuerdo con la CNA (2007) la condición contaminada de los cuerpos de agua es debido a la descarga de herbicidas (Cejudo-Espinosa et al. 2008) y otros tipos plaguicidas utilizados en el cultivo de la caña de azúcar. Los 22 ingenios localizados en la cuenca del Papaloapan usan $343 \times 10^6 \text{ m}^3$ de agua superficial y descargan $287.77 \times 10^6 \text{ m}^3$, cuatro de ellos se encuentran en el SLA y ninguno cuenta con planta de tratamiento (CSVA 2006). Esto constituye una externalidad ambiental (Gómez-Baggethun y de Groot, 2007) para los pescadores quienes argumentan que los herbicidas y plaguicidas utilizados en el cultivo de la caña y las descargas de los ingenios “disminuyen la productividad pesquera en lagunas y ríos” (comunicación personal, Antonio Zamudio).

Asimismo, la vocación de uso de suelo se puede explicar desde una perspectiva histórica, la ganadería es un claro ejemplo, en la cuenca del Papaloapan y en específico en el SLA (Figuras 1-2 y 1-3), desde la llegada de los españoles, durante la época colonial, el Porfiriato y en el México contemporáneo; parten de la conformación de la encomienda (Velasco 1998, Aguirre et al. 2007, Guevara y Moreno-Casasola 2008), del compadrazgo y el origen de los rancheros y los vaqueros (Skerritt 1993). La conformación de las rancherías en la cuenca del Papaloapan y las grandes extensiones de superficie destinada a la ganadería, se debe a las tierras altamente productivas y al proceso de desocupación de tierras por parte de los indígenas relacionado a las epidemias (en los años 1546, 1555, 1576) (Guevara y Moreno-Casasola 2008). Sin embargo, la noción de la propiedad privada fue ganando espacio hasta que se consolidaron los grandes latifundios vía la fórmula de la merced real (Skerritt 1993, Aguirre et al. 2007, Guevara y Moreno-Casasola 2008). Además el cambio de vegetación para alimentar al ganado de tipo Cebú y sus consecuentes prácticas que volcaron hacia un mayor consumo de pastizal mejorado, transformando drásticamente los humedales a través del drenado (Travieso-Bello et al. 2005, Aguirre et al. 2007, Guevara y Moreno-Casasola 2008) y esto agudizó el cambio de uso de suelo en el SLA.

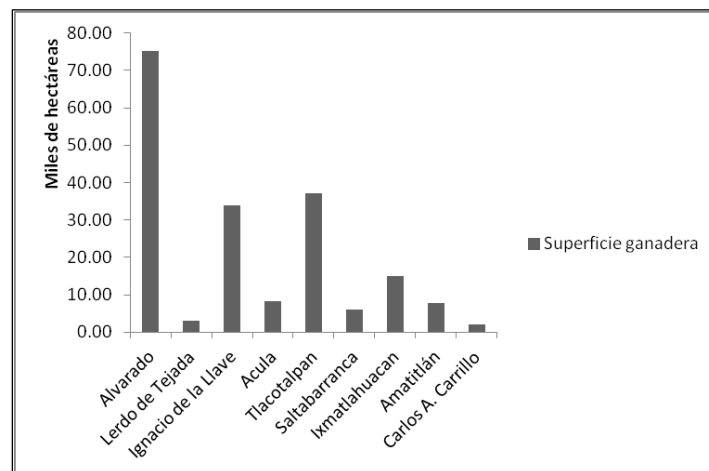


Figura 1-3 Uso de suelo de la ganadería por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) en el año 2010.

Fuente: Anuario estadístico de la SEDARPA y SAGARPA (2010).

1.3.2. Método y modelo construido

De acuerdo con las propuestas de la Agenda 21 y la metodología de la OCDE (UNSDC 1997), se seleccionaron los indicadores de la Tabla 1-1. Con base en los siguientes criterios: a) disponibilidad y confiabilidad de los datos en la aplicación, b) datos estadísticos actuales y con relación directa a la problemática observada, c) representatividad de éstos en la problemática de la región y en los subíndices, e índice propuesto, d) aproximación integral en términos cuantitativos y cualitativos.

Tabla 1-1 Descripción y fórmulas de los indicadores del índice de vulnerabilidad eco-céntrica.

Nombre del Indicador	Forma de evaluación
Subíndice de Presión (SIP)	
Uso de suelo agrícola (otros cultivos) (IUA _{ij})	$(USA_{ij})/STM_i$
Uso de suelo para ganadería (IGE _{ij})	$(USG_{ij})/STM_i$
Uso de suelo para caña de azúcar (ICCA _{ij})	$(UCA_{ij})/STM_i$
Uso de suelo antropogénico (IUAN _{ij})	$(USAN_{ij})/STM_i$
Subíndice de Estado (SIE)	
Cobertura de Cuerpos de Agua (ICA ₂₀₁₀)	$(CA_{2010})/STM_{2010}$
Vegetación terrestre no transformada (IVTNT ₂₀₁₀)	$(VTNT_{2010})/STM_{2010}$
Cobertura de humedales no transformados (IHNT ₂₀₁₀)	$(HNT_{2010})/STM_{2010}$
Vegetación terrestre transformada (IVTT ₂₀₁₀)	$(VTT_{2010})/STM_{2010}$
Superficie sin vegetación (ISV ₂₀₁₀)	$(SSV_{2010})/STM_{2010}$
Cobertura de humedales transformados (IHT ₂₀₁₀)	$(HT_{2010})/STM_{2010}$

Fuente: las abreviaturas de las fórmulas corresponden a las capas de información del Inventario, Delimitación, Caracterización y uso sustentable de los humedales de la Cuenca del Río Papaloapan, México (Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247). USA; uso de suelo agrícola (otros cultivos), USG; uso de suelo ganadero, UCA; uso de cultivo de caña, USAN; uso de suelo antropogénico (urbano). CA; cobertura de cuerpo de agua; VTNT; vegetación terrestre no transformada, HNT; humedales no transformados, VTT; vegetación terrestre transformada, SSV; superficie sin vegetación, HT; humedales transformados.

El índice de vulnerabilidad eco-céntrica (IVE) se construyó a partir de los subíndices de presión y estado. Los subíndices de presión (SIP) y estado (SIE) se conformaron por los indicadores que se muestran en la Figura 1-4, así como la escala de medición para cada uno de los valores que tomaron el índice y subíndices.

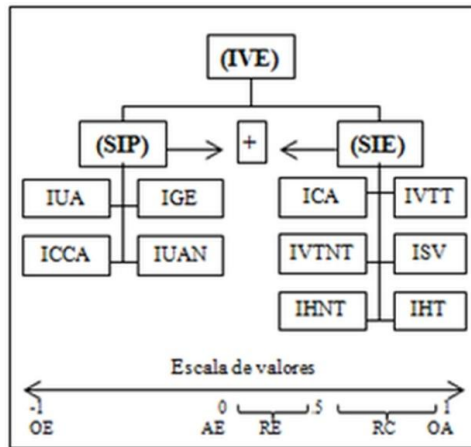


Figura 1-4 Índice de vulnerabilidad eco-céntrica (IVE), componentes y escala de valores de evaluación.

El OE; óptimo eco-céntrico, es el nivel que tiene el IVE si se destina toda la superficie municipal de humedales para proyectos de conservación, sin aprovechamiento directo como el cultivo de caña de azúcar (ICCA) y ganadería extensiva (IGE). AE; es el aprovechamiento sin daño por las actividades económicas (ICCA e IGE). NE; nivel estratégico, comportamiento del

IVE si se toman las medidas y propuestas de manejo. NC; nivel crítico, es el nivel en el cual los humedales costeros están sometidos a mayor vulnerabilidad e impacto de las actividades económicas. OA; óptimo antropocéntrico, significa el nivel máximo de vulnerabilidad, donde los humedales costeros son totalmente transformados (Figura 1-4).

1.3.3. Normalización y evaluación

Para normalizar cada uno de los indicadores así como subíndices e índices, se aplicó el método utilizado por Rouquette *et al.* (2009) y Posthumus *et al.* (2010), éste consiste en dividir cada valor del indicador, subíndice o índice x que pertenece a un municipio i , y un año j entre el máximo valor de x_{ij} . La normalización arroja resultados ($-1 \leq x_{ij} \leq 1$), donde x_{ij} representa cada uno de los escenarios, óptimos y puntos que se muestran en la Figura 1-4. La modificación a dicha normalización se realizó para sumar los componentes del subíndice de presión (SIP) y estado (SIE), y poder establecer un máximo y mínimo para cada subíndice e índice (Ecuación 1).

Ecuación 1-1 Óptimo antropocéntrico (OA) y óptimo eco-céntrico (OE) por municipio del SLA.

$$OA_x = \max(x_i \dots, x_n) - \min(x_i \dots, x_n) + \text{promedio}(x)$$

Una vez que se obtuvo el OA_x (Ecuación 1-1), el OE_x se estimó con el valor negativo del índice o subíndice, es decir, $-x$. Los resultados se normalizan de nuevo y se obtiene el nivel de cada x_{ij} que corresponde a cada municipio.

Subíndice de Presión

El subíndice de presión (SIP) se define a partir de la sumatoria de los indicadores que se muestran en la Tabla 1-1 y de esta forma se evalúa cada municipio. Para ello se usa el método de estandarización de los indicadores (componentes del SIP) y se integran en la Ecuación 1-2.

Ecuación 1-2 Componentes del Subíndice de Presión (SIP).

$$SIP_{ij} = \sum (IUA_{ij}, IGE_{ij}, ICCA_{ij}, IUAN_{ij})$$

El subíndice de presión en el escenario actual (SIP-EA), los indicadores IGE e ICCA; fueron considerados debido a que representan el mayor uso de suelo en el SLA (Figura 1-1). En el caso del subíndice de presión en el escenario tendencial (SIP-ET), se utilizó la Ecuación 1-2 con el año de la tendencia $j = 2015$, suponiendo que el cambio de uso de suelo y la presión (ICCA, IGE) mostrada en el SIP-EA permanezca constante entre 2010 y 2015. El subíndice de presión en el escenario estratégico (SIP-EE), es resultado de la estrategia de manejo: reducción del 50% de la

superficie de la ganadería extensiva, 22% del cultivo de caña de azúcar y aumento del 100% en la cobertura de los cultivos perennes (IUA).

Subíndice de Estado

El subíndice de estado (SIE) está compuesto por seis indicadores (Ecuación 1-3), éstos muestran la proporción de humedales costeros no transformados (IHNT), los transformados (IHT), la cobertura de los cuerpos de agua (ICA), de la vegetación terrestre (IVTNT) y proporción sin vegetación (ISV) con base en la información del Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247. De esta forma el SIE explica el nivel de impacto o daño en sus componentes, causado por la presión (SIP) del aprovechamiento y uso del suelo.

Ecuación 1-3 Componentes del Subíndice de Estado (SIE).

$$SIE_{ij} = \sum (ICA_{ij}, IVTNT_{ij}, IHNT_{ij}, IVTT_{ij}, ISV_{ij}, IHT_{ij})$$

Índice de Vulnerabilidad Eco-céntrica

Se compone de los elementos mostrados en la Ecuación 1-4 y muestra el deterioro de la riqueza natural y la situación biofísica o componente de estado (SIE) en función del componente presión (SIP). A partir de esta relación, explica el nivel de vulnerabilidad eco-céntrica (IVE) por municipio debido al uso de suelo y aprovechamiento de los humedales costeros.

Ecuación 1-4 Componentes del Índice de Vulnerabilidad Eco-céntrica (IVE).

$$IVE = \sum (SIP_{ij}, SIE_{ij})$$

El índice de vulnerabilidad eco-céntrica (IVE) en el escenario actual (IVE-EA), se construye con el SIP-EA y SIE-EA. Con base en la Ecuación 1-4 se construye el índice de vulnerabilidad eco-céntrica en el escenario tendencial (IVE-ET) y el índice de vulnerabilidad eco-céntrica en el escenario estratégico (IVE-EE) a partir de la sumatoria del SIP-EE y el SIE-EE.

1.4. Resultados

1.4.1. Evaluación del Subíndice de Presión (SIP)

Todos los municipios tienen un SIP-EA (escenario actual) en un nivel crítico (NC) (mayor a 0.5). El subíndice de presión en el escenario tendencial (SIP-ET) se encontrará en un NC mayor a 0.6 (Figura 1-5), excepto Lerdo de Tejada y Amatlán, debido a que entre 2006 y 2010 no aumentaron su superficie destinada al cultivo de caña de azúcar (ICCA). Con la reducción del

50% de la superficie de la ganadería, 22% del cultivo de caña y un aumento de 100% de la superficie de cultivos perennes, el SIP-EE (escenario estratégico) se podría reducir a un nivel estratégico (NE), excepto en Ignacio de la Llave y Amatitlán, esto sugiere que sus medidas de reducción de la ganadería deberán ser más estrictas (Figura 1-5).

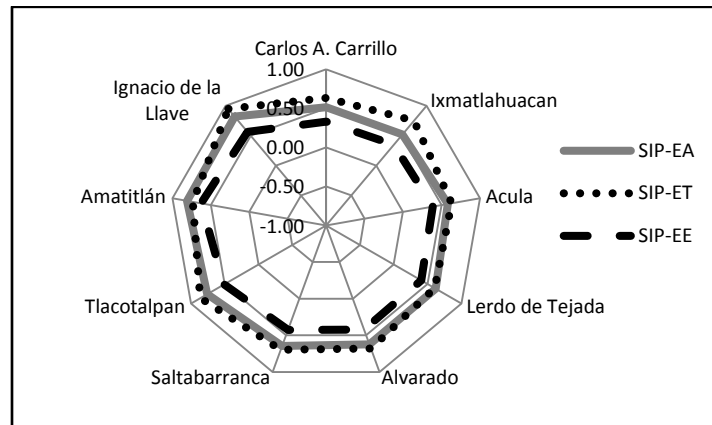


Figura 1-5 Escenarios del subíndice de presión (SIP) por municipio del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

1.4.2. Evaluación del Subíndice de Estado (SIE)

Todos los municipios tienen un SIE-EA (escenario actual) en un nivel crítico (NC), si continúan con la tendencia (2006-2010) de cambio de uso de suelo, el SIE-ET (escenario tendencial) será mayor a 0.6 en todos los municipios (Figura 1-6), esto significa que aumentarán sus problemas en la funcionalidad y calidad del estado natural de los humedales, debido a patrones poco sostenibles con relación a la presión que ejercen las actividades económicas (cultivo de caña de azúcar y ganadería). Por otro lado, para lograr el SIP-EE (escenario estratégico) se propone la restauración de la cobertura vegetal de los terrenos sin vegetación y así disminuir el estado impactado (Figura 1-6), así como la conservación de los humedales no transformados (HNT) en la actualidad.

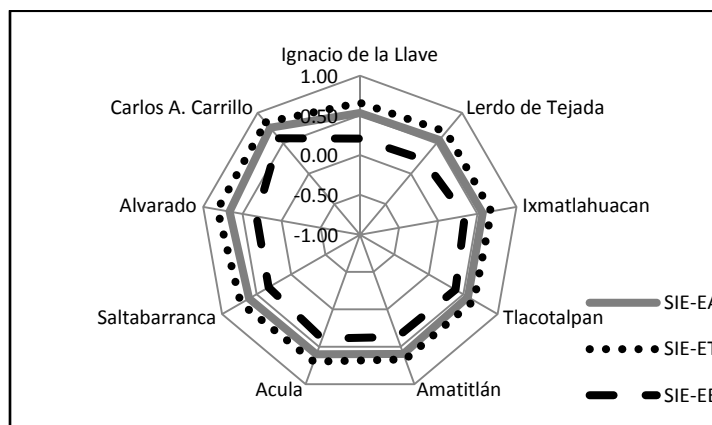


Figura 1-6 Escenarios del subíndice de estado (SIE) por municipio del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

1.4.3. Evaluación del IVE

El IVE-EA (escenario actual) de los municipios se encuentra en el nivel crítico (NC) (Figura 1-7). El IVE-ET (escenario tendencial) expone que sólo Amatitlán disminuirá relativamente su IVE, esto no significa que el SIE-ET disminuya, permanece de esa manera porque su tendencia de uso de suelo entre 2006 y 2010 mostró un decrecimiento mínimo en la superficie de cultivo de caña de azúcar. Sin embargo, la ganadería extensiva tuvo un aumento significativo entre 2006-2010, esto sugiere que la ganadería extensiva al igual que en otros municipios, ejerce menos presión e impacto en el subíndice de estado (SIE) y esto se refleja en el IVE-EA e IVE-ET. Por otro lado, los municipios restantes muestran un IVE-ET en el nivel crítico (NC) mayor a 0.8 (Figura 1-7), lo que supone un aumento generalizado de ésta y el camino hacia la situación irreversible del óptimo antropocéntrico (OA_x) x_{ij} igual a 1, en donde exista un SIE-ET igual a 1 derivado de un SIP-ET igual a 1, es decir, la situación donde se transforman los humedales costeros en su totalidad para destinarse a actividades como el cultivo de caña de azúcar y de ganadería. El IVE-EE (escenario estratégico) es el resultado de la estrategia de manejo para controlar y en algunos casos mitigar la presión causada por las actividades económicas (cultivo de caña y ganadería), y las estrategias de conservación y restauración para disminuir el SIE-EE (escenario estratégico). Sólo Tlacotalpan, Carlos A. Carrillo y Amatitlán tendrán un IVE-EE en un nivel crítico (NC), esto implica que necesitan estrategias más estrictas en el uso de suelo y mayor control sobre para evitar el crecimiento de actividades como el cultivo de caña de azúcar, debido a que los resultados del IVE-EE y las acciones que éste implica en el manejo y conservación de los humedales costeros, no resultan suficientes para equilibrar el IVE-EE hacia un nivel estratégico (NE), es decir, el SIP-EE (Figura 1-5) no respondió de la misma forma que en el caso de los otros municipios evaluados.

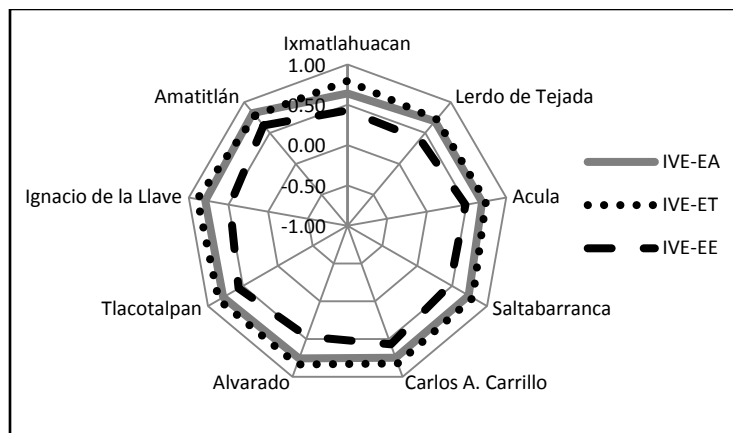


Figura 1-7 Escenarios para el índice de vulnerabilidad eco-céntrica (IVE) por municipio del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

1.5. Discusión

La conceptualización de la vulnerabilidad propuesta por Cardona (1993), y Romero y Maskrey (1993) para entender al ser humano como objeto de estudio vulnerable, así como Kaly et al., (1999) que puso a los ecosistemas como objeto vulnerado; sirvieron para entender los humedales costeros como el objeto de estudio susceptible de ser vulnerado y a partir de Füssel y Klein (2006) y Füssel (2007) se integró lo antropocéntrico y eco-céntrico para regresar a Kaly et al. (1999) e integrar el modelo conceptual (PER) y la metodología propuesta.

Así como Seingier et al. (2011a y 2011b), el presente estudio partió de la conceptualización del modelo a partir de la Presión-Estado-Respuesta (PER), éste tiene la característica de ser adaptativo y replantearse a través de la inclusión de nuevas variables como: contaminación de cuerpos de agua y daño en humedales costeros por herbicidas como lo expone Cejudo-Espinosa et al. (2008). Además, simplifica la estimación de la vulnerabilidad eco-céntrica, permite contrastar la información oficial con la generada en el Inventario, Delimitación, Caracterización y uso sustentable de los humedales costeros del Río Papaloapan (Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247), y permite describir de forma integrada los subíndices de Presión (SIP) y Estado (SIE) de cada municipio. Además, Seingier et al. (2011a y 2011b) determinaron que los municipios costeros con menor sustentabilidad se encuentran en el Estado de Veracruz. Así mismo, en este análisis con bases de datos a mayor escala y cuyo objetivo fue evaluar la vulnerabilidad eco-céntrica, se encontró que los municipios del SLA tienen un IVE-EA en el NC (x_{ij} mayor a 0.6) y un IVE-ET (x_{ij} mayor a 0.7), esto sugiere que existe una baja sustentabilidad actual y en el corto plazo. Resultado que es contrario a lo expuesto por Barrera-Roldán y Saldívar (2002) en otros municipios del Estado de Veracruz.

Los efectos de la ganadería extensiva en el aprovechamiento de los humedales fueron mostrados por Travieso-Bello (2005) y Travieso-Bello et al. (2005), de la misma forma, el IVE-EA e IVE-ET (Figuras 1-7, 1-8a y 1-8b) son mayores en los municipios cuyo aprovechamiento de la ganadería extensiva y el cultivo de caña de azúcar ha destinado mayor superficie a dichas actividades (Figuras 1-2 y 1-3). El indicador de cultivo de caña de azúcar (ICCA) se separó del indicador de uso de suelo agrícola (IUA) debido a la necesidad de mostrar el peso sobre la presión ejercida en los humedales costeros, respecto a la agricultura (cultivos perennes) (IUA). El uso de suelo urbano no es representativo en términos de la proporción que representa por cada municipio, debido a que su población se encuentra dispersa en localidades rurales (CONAPO 2010). A pesar de no incluir indicadores de la productividad de los cuerpos de agua en función de actividades como la pesca, es posible afirmar que la pérdida de los humedales debido al actual uso de suelo en el SLA, así como el estado de los ríos y lagunas tal y como lo exalta la CNA (2007) causado por las actividades económicas, pone en situación vulnerable a los humedales costeros. De acuerdo al planteamiento de Sanjurjo et al. (2005a) y Ezcurra et al. (2009) que a

mayor cobertura de manglar, mayor productividad de las lagunas en función de las pesquerías, el IVE-EA e IVE-ET (Figuras 1-8a y 1-8b) demuestran el deterioro de estos ecosistemas en función del cambio de uso de suelo y vegetación, y esto supone una disminución en la producción pesquera en los municipios.

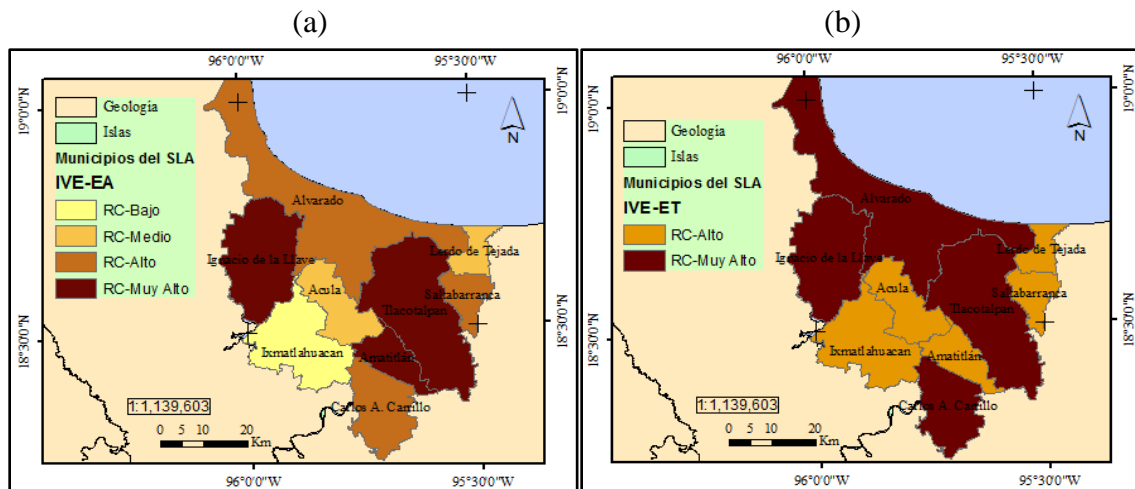


Figura 1-8 Representación espacial del índice de vulnerabilidad eco-céntrica, (a) escenario actual (IVE-EA), (b) escenario tendencial (ET), geología e islas; División Política de México (ARC-GIS 9.2) y RC; rango crítico.

El IVE-EA (escenario actual) es resultado de la falta de estrategias de manejo integrado de la zona costera (MIZC) como las expuestas por Moreno-Casasola (2005b), y el IVE-EE es resultado de las estrategias en el marco del MIZC y su alcance como se observa en las Figuras 1-9a y 1-9b, así mismo, se representan las zonas que pueden ser destinadas a proyectos de restauración de humedales costeros (Figura 1-9b).

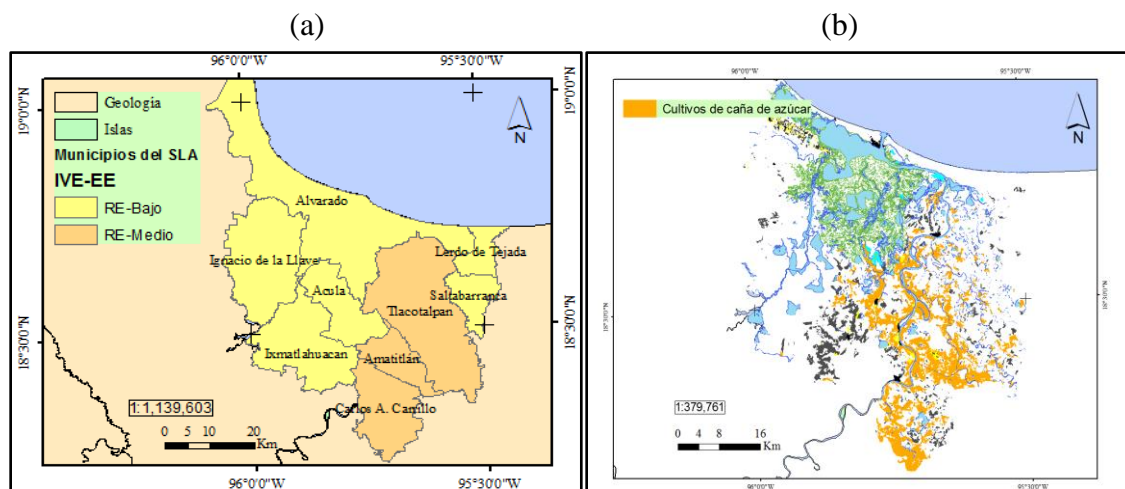


Figura 1-9 Índice de vulnerabilidad eco-céntrica en el escenario estratégico (IVE-EE) por municipio (a) y estrategia para la reducción de la cobertura de cultivos de caña de azúcar (CCA) (b), RC; rango crítico.

Además, la evaluación de la vulnerabilidad eco-céntrica en el SLA y sus resultados coinciden con la descripción histórica del cambio de uso de suelo y vegetación, y la problemática de ésta en relación al aprovechamiento de los humedales costeros (Juárez 1998, Velasco 1998, Vergara 1998, Portilla Ochoa 2003b, Aguirre y De la Torre 2005). Con base en Moreno-Casasola (2005a) y Moreno-Casasola e Infante (2010), se hizo la inclusión desde diversas aristas del MIZC en el SLA. A partir de esto, se establecen las medidas para el escenario estratégico, en donde los municipios deben renunciar a un total de 50% de superficie destinada a la ganadería extensiva, 22% de la superficie de cultivo de caña de azúcar, un aumento del 100% de la cobertura de cultivos perennes (cítricos) y enfocado al subíndice de estado (SIE), la restauración de los terrenos sin cobertura vegetal.

1.6. Consideraciones finales

Los resultados del presente estudio funcionan como índices centinela, advierten a las autoridades e instancias gubernamentales acerca de la problemática en el área de estudio y permiten visualizar escenarios para diseñar estrategias de solución. Son la base para posibles ordenamientos ecológicos del territorio (Moreno-Casasola 2005b, SEMARNAT-INE 2006, SEMARNAT-CONABIO 2008) que resultan impostergables en la cuenca del Papaloapan y en particular en el SLA. Asimismo, debido al modelo conceptual y sus bondades, sirve para evaluar el impacto de proyectos de aprovechamiento como el aumento del cultivo de caña de azúcar y la ganadería extensiva (SEMARNAT 2009). Además, tiene la característica de ser adaptativo, es decir, permite ser ajustado y revalorado de acuerdo al periodo de tiempo que se desee analizar.

Los municipios que están sujetos a mayor índice de vulnerabilidad eco-céntrica (IVE) se debe a que el subíndice de presión (SIP) es mayor y por tal motivo, el estado (SIE) refleja los efectos del aprovechamiento de los humedales costeros. El IVE propuesto en el presente análisis responde a la necesidad de diagnóstico y evaluación a nivel municipal-local (Escofet y Espejel 2004), muestra el impacto de las actividades como el crecimiento poblacional y de las zonas urbanas. A pesar de que ésta última no es motivo de impacto considerable en el SLA, debe prevenirse y ordenarse con la finalidad de no tomar decisiones erróneas como en la cuenca del Río Jamapa en los municipios de Veracruz y Boca del Río (Welsh-Rodríguez y Tejeda-Martínez 2010, Gobierno del Estado de Veracruz 2011) en donde las zonas urbanas han sido víctimas de la planeación territorial inadecuada.

Los municipios del SLA tienen alternativas que permitirían mitigar su vulnerabilidad y alcanzar soluciones en el mediano plazo y transitar hacia el IVE-EE (Figuras 1-9a y 1-9b), en donde el cultivo de caña de azúcar puede ser revertido en un 50% de la superficie total. Como alternativa de ingreso se propone el esquema de pago por servicios ambientales, a partir del secuestro de carbono en los humedales propuesto por el World Bank (2011), en especial en el

manglar y la selva inundable/selva, a esto deben sumarse los criterios de adicionalidad (World Bank (2011) como la filtración y recarga de agua en los mantos freáticos, ya que ninguno de los municipios cuenta con un sistema de potabilización de agua, y ello representa un criterio indispensable para generar los esquemas de compensación y retribución económico-ecológica.

El SLA tiene como apalancamiento socioeconómico la dependencia en el cultivo de la caña de azúcar (CCA) y la ganadería extensiva, esto supone un IVE-ET (escenario tendencial) irreversible en los próximos años, sin embargo el diagnóstico aquí presentado muestra el IVE-EE (escenario estratégico) y las medidas para conseguirlo, además del pago por servicios ambientales, la diversificación de la agricultura intuye cambiar del monocultivo de la caña hacia los cultivos perennes, y aumentar su superficie en 100% respecto a la mostrada en la actualidad (SEDARPA y SAGARPA 2010), en aquellos sitios donde la vocación no es de humedales que se mantienen drenados por obras de ingeniería.

De acuerdo a Seingier et al. (2011b), a pesar del deterioro de las costas mexicanas y en particular las veracruzanas, éstas se encuentran en un estadio donde es posible revertir los efectos causados por la falta de políticas públicas y ambientales (integrales) acorde con las necesidades particulares de los municipios. El SLA está en un momento crucial para tomar dichas estrategias, tales como las sugeridas en el presente estudio. Las alternativas de adaptación y mitigación para el manejo integral de la zona costera expuestas por Moreno-Casasola (2005b), Moreno-Casasola e Infante (2010), Monroy y Travieso-Bello (2005) y Alvarez-Icaza (2005), deben considerarse en el marco del cambio climático, tal y como lo apuntan estudios como los de Ortiz y Méndez (1987, 1999).

Los mecanismos de valoración e importancia económica, se abordarán en el futuro en otro estudio que parte de los resultados aquí expuestos y construir las políticas de manejo costero que consideren las restricciones ambientales aquí encontradas, además de lograr un consenso entre los actores económicos y sociales involucrados, como los agricultores de caña de azúcar, los ganaderos y rancheros, así como el sector industrial (ingenios) y de esta forma generar un cambio gradual en la manera de llevar a cabo las actividades humanas, reducir su impacto ambiental y propiciar los incentivos económicos, sociales, ecológicos e institucionales, que promuevan el manejo integral de la zona costera (MIZC). Éstas tienen como punto central el pago por servicios ambientales y la diversificación de la agricultura bajo buenas prácticas de manejo e incentivos adecuados. Implica también que la actual ganancia que representa la caña de azúcar está basada en subsidios artificiales, desiguales aún para los productores de la misma zona, con una fuerte externalidad negativa sobre el ambiente y no con base en un análisis económico.

2. VALORACIÓN ECONÓMICA Y COSTE DE OPORTUNIDAD DEL APROVECHAMIENTO DE LOS HUMEDALES COSTEROS EN EL SISTEMA LAGUNAR DE ALVARADO, VERACRUZ, MÉXICO

César Vázquez González, José Luis Fermán Almada, Patricia Moreno-Casasola Barceló, Martha Ileana Espejel Carbajal, María Evarista Arellano García.

Resumen

El aprovechamiento actual (ganadería y cultivo de caña de azúcar, principalmente) de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado ha generado un coste de oportunidad económico (COE) entre destinar una hectárea de humedal costero a la ganadería en lugar del cultivo de caña. Además, propicia un coste de oportunidad ambiental (COA) de ambas actividades en lugar de la conservación y/o restauración de dichos ecosistemas. Debido a que los humedales no sólo generan valor (USD) por actividades de uso directo (ganadería y cultivo de caña), también brindan bienes y servicios ecosistémicos como el CO₂ secuestrado en el suelo por su conservación. Asimismo, generan adicionalidades por actividades de uso indirecto extractivo como la apicultura silvestre, la pesca y el consumo de agua municipal por la recarga de mantos freáticos. Sumado a esto, dichas actividades (uso directo) generan externalidades ambientales como la emisión de CO₂ durante el proceso de cultivo de caña, el proceso de la caña y la producción de azúcar en los ingenios. Por ello, el objetivo del presente estudio, es estimar el coste de oportunidad económico y ambiental entre actividades de uso directo y la conservación de humedales costeros no transformados, y/o restauración de los humedales costeros transformados en el contexto de la influencia del mercado (precios) y arreglos institucionales (subsidios del gobierno). Como resultado, todos los municipios mostraron un COE positivo entre destinar una hectárea de humedal a la ganadería en lugar del cultivo de caña de azúcar, un COA positivo entre destinar una hectárea de humedal al uso directo (ganadería o cultivo de caña) en lugar de la conservación y/o restauración de los humedales. Sin embargo, cada municipio tiene diferentes niveles de COE y esto hace plausible la identificación del aprovechamiento diferenciado en cada municipio, es decir, algunos hacia la ganadería y otros al cultivo de caña de azúcar. En conclusión, los escenarios eficiencia/conservación y eficiencia/restauración con la inclusión de los ingenios, logra reducir el COA, muestra los beneficios económicos y ambientales de cambiar el actual aprovechamiento hacia la eficiencia de uso de suelo en las actividades y la eficiencia de los ingenios y esto abre la posibilidad de generar los esquemas de pago por servicios ambientales que son base para el manejo integrado de los humedales.

Palabras Clave: Eficiencia-conservación, eficiencia-restauración, cultivo de caña, ganadería, ingenios, coste de oportunidad económico, coste de oportunidad ambiental, pesca, pago por servicios ambientales.

2.1. Introducción

Actualmente, los humedales costeros son reconocidos como ecosistemas altamente productivos (Mitsch y Gosselink 2000, Moreno-Casasola 2005a, 2012, Barbier et al. 2005) debido a los bienes y servicios ecosistémicos (BSE) que brindan a la sociedad que habita *in situ* y *ex situ*. El sistema económico-productivo (producción, distribución y consumo) de las costas no tendría lugar de no existir tales ecosistemas (Costanza et al. 1997, Moreno-Casasola 2012). Desde los bienes de producción primaria como la caña de azúcar, la cría de ganado, la productividad pesquera de las lagunas, los productos de la flora y fauna silvestre (González-Marín et al. inédito), y los insumos en la producción intermedia como el agua utilizada por la industria de la caña de azúcar que es parte de los beneficios económicos y sociales que brindan los humedales costeros. Prueba de ello, son las evaluaciones económicas realizadas por Costanza et al. (1989, 1997), Richards et al. (1999), Birol et al. (2006), Rouquette et al. (2009) y Posthumus et al. (2010) quienes ponen de manifiesto la contribución económica, social y biológica de los humedales en cada una de sus respectivas zonas de estudio.

Dichos análisis han servido para sentar las bases hacia la evaluación y valoración económica de los BSE. El documento intitulado Millennium Ecosystem Assessment (2005) instó a las autoridades y encargados de la política ambiental de cada país, a realizar una evaluación y valoración de los bienes y servicios que ofertan los humedales y a analizar a nivel regional (países) y local (municipios) el impacto negativo que tiene la remoción de éstos. México no es ajeno a dichos estudios, Sanjurjo et al. (2005a, 2005b) analizaron la contribución económica de los manglares en el Estado de Jalisco, en función de las pesquerías y su productividad, determinando que a mayor cobertura de manglar las pesquerías presentaron mayor productividad, porque los manglares (un tipo de humedal costero) tienen la función de ser el hábitat de diversas especies de fauna que son aprovechadas en la actividad pesquera tal es el caso de Aburto-Oropeza et al. (2008) y Calderón et al. (2009) quienes estimaron el valor promedio en 37 x 103 USD/ha⁻¹ en el Golfo de California.

En México, los humedales costeros se encuentran ampliamente distribuidos en todo el litoral desde las playas de aguas tranquilas hasta los 25m de altitud tierra adentro. Dentro de los más importantes por su extensión están los del Sistema Lagunar Alvarado (SLA), en la planicie costera de la Cuenca del Papaloapan en el Estado de Veracruz (Portilla Ochoa 2003, Moreno-Casasola e Infante 2010). De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CNA), la cuenca se divide en tres subregiones; cuenca alta, media y baja, es la segunda de mayor importancia en México por su tamaño y escurrimiento promedio. El SLA se encuentra ubicado en la subregión baja y desemboca al este en el Golfo de México. Dada la homogeneidad de las características naturales y socioeconómicas de los municipios que se muestran en la Figura 2-1, éstos conforman una microrregión llamada el SLA (CNA 2007)

Desde la época prehispánica (González 1998), colonial (Velasco 1998, Guevara y Moreno-Casasola 2008) y el porfiriato (Juárez 1998, Silva-López et al. 1998, Vergara 1998, Aguirre et al. 2007), los humedales costeros del SLA han sido objeto del aprovechamiento de los recursos que brindan para consumo humano y el comercio prehispánico. Durante la época de la colonia los primeros polos de comercio de recursos pesqueros, agrícolas y ganaderos, fueron Alvarado y Tlacotalpan, convirtiéndose en puntos clave para el transporte de las mercancías hacia Europa y el Caribe (Juárez 1998), tanto de las que provenían del centro de la Nueva España como las que ahí se producían (Juárez 1998, Portilla-Ochoa et al. 1998).

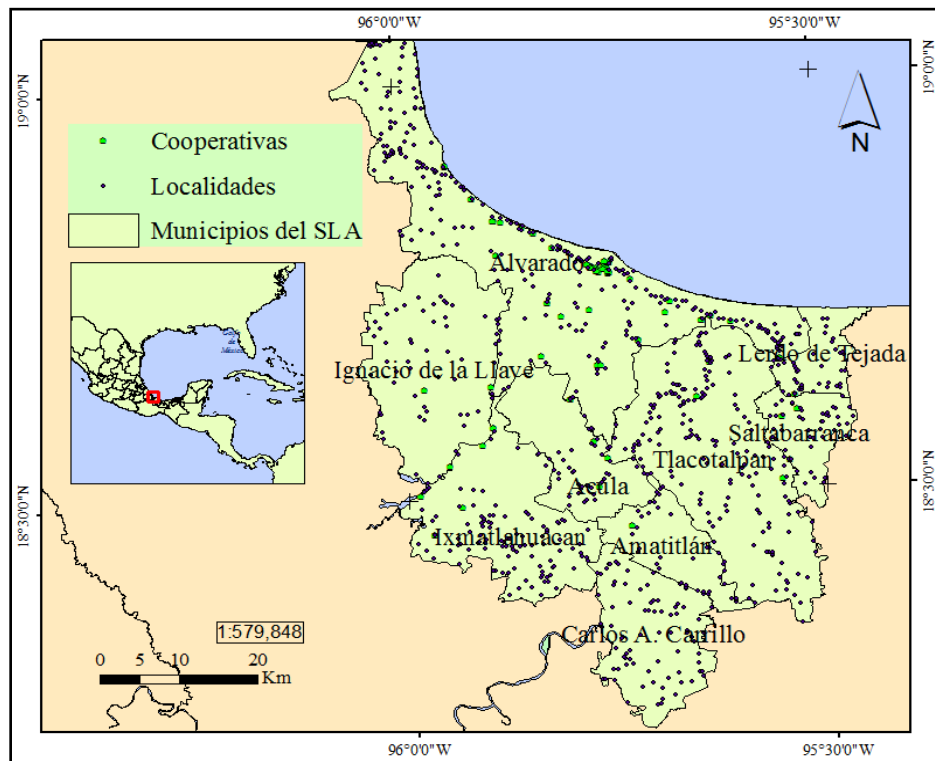


Figura 2-1 Municipios, localidades rurales y cooperativas pesqueras en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

Fuente: con información del Inventario, Delimitación, Caracterización y uso sustentable de los humedales costeros de la Cuenca del Río Papaloapan (Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247).

El presente trabajo tiene como propósito principal sentar las bases económicas para el manejo de los humedales costeros transformados (HT) y no transformados (HNT) a partir del pago por servicios ecosistémicos (PSE). Lo que se logró con la estimación del coste de oportunidad económico (COE) entre la ganadería extensiva y el cultivo de la caña de azúcar, y el coste de oportunidad ambiental (COA) entre ganadería extensiva y conservación, y cultivo de caña de azúcar y conservación. El análisis se hizo por municipio, y hectárea de HNT y HT. Para ello fue necesario calcular el ingreso total deflactado en el SLA y el ingreso medio deflactado por hectárea destinada al cultivo de caña y ganadería extensiva, y determinar la proporción de

hectáreas subsidiadas en ambas actividades. También fue necesario obtener el ingreso total deflactado por subsidio en el SLA y en los municipios, y el ingreso medio deflactado por subsidio y por hectárea en cada municipio. Asimismo, se calculó el ingreso total por municipio y el ingreso medio por hectárea y municipio para utilizarlo en el tema de secuestro de carbono (SCO₂) de los HNT. Además, se anexan los criterios de adicionalidad para la conservación de los HNT como: 1) los beneficios indirectos y 2) las externalidades evitadas. El primero consiste en estimar los beneficios por la conservación de los HNT a partir del ingreso total deflactado por la pesca en el SLA y en cada municipio, y el ingreso medio por hectárea de manglar, apicultura, y los bajos costos por el pago de derechos de agua por municipio (recarga de mantos freáticos). El segundo, consiste en estimar de acuerdo al mercado de carbono el valor (en dólares- USD) de las externalidades evitadas como: el carbono emitido (CO₂e) durante el proceso del cultivo de caña de azúcar, el CO₂e durante la molienda de la caña de azúcar en el ingenio y el CO₂e por tonelada de azúcar producida. Por último, se construyó el escenario eficiencia/conservación de los HNT y eficiencia/restauración de los HT a través del coste de oportunidad ambiental (COA), y la suma de los criterios de adicionalidad para justificar (ecológica, social y económicamente) la conservación y/o restauración de los humedales costeros del SLA.

2.2. Referente teórico-conceptual

De acuerdo a Moreno-Casasola (2005a) y Flores Verdugo et al. (2010) se entiende por humedales costeros a “los sistemas acuáticos de ríos y lagunas, los manglares, las selvas inundables, los tulares, los popales, los bosques, y las selvas riparias y marismas. Cada uno de ellos se caracteriza por prosperar dentro de un intervalo de salinidad y bajo un hidro-período determinado”. Dentro de esta caracterización es posible señalar que existen cinco grupos de humedales: i) estuarios, donde el río se une al mar y la salinidad es intermedia, entre sal y agua dulce; ii) marinos, es decir no influenciados por ríos y agua dulce; iii) ribereños, que periódicamente se encuentran inundados por un río, pueden ser humedales herbáceos y bosques o selvas inundables; iv) los palustres, lugares donde existe variación de agua permanente como lagos y pantanos; y v) los lacustres, áreas de agua permanente con poco flujo como los lagos en cráteres volcánicos (Moreno-Casasola 2005a, Barbier et al. 2005, Berlanga-Robles y Ruiz-Luna 2008, Flores Verdugo et al. 2010, Moreno-Casasola e Infante 2010).

2.2.1. Funciones ecosistémicas de los humedales costeros

Los humedales costeros tienen múltiples funciones ecosistémicas (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Son los procesos y funciones que realiza un ecosistema (humedal costero) *per se* y son parte del funcionamiento para su existencia, entre muchos otros, el reciclaje de carbono en los humedales descrito por Warner et al. (2005), y dicho proceso da lugar a los BSE. De

acuerdo con Costanza et al. (1989), de Groot et al. (2002), Millennium Ecosystem Assessment (2005) y Posthumus et al. (2010) éstas se traducen para el provecho del ser humano en BSE y se clasifican en: producción, regulación, hábitat, de información y cultura.

2.2.2. Bienes y servicios ecosistémicos de los humedales costeros

Los BSE son las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que los forman, los mantienen y satisfacen la vida del ser humano (Costanza et al. 1989, 1997, Daily et al. 1997, de Groot et al. 2002, Manson y Moreno-Casasola 2005, Millennium Ecosystem Assessment 2005, Moreno-Casasola 2005a, Gómez-Baggethun y de Groot 2007). De acuerdo a esto, los BSE son aprovechados por el ser humano en diferentes formas y actividades, y pueden ser clasificados por tipo de uso ya sea directo e indirecto, tal y como lo señalan Sanjurjo et al. (2005a y 2005b). Significa que los BSE son el resultado de las funciones ecosistémicas y por tal motivo, resulta una condición necesaria el manejo adecuado de los humedales costeros para conservar sus funciones ecosistémicas y aprovechar los BSE que se obtienen de éstos.

2.2.3. Coste de oportunidad entre actividades económicas y los bienes y servicios ecosistémicos

En la vida cotidiana así como en la economía, los individuos se enfrentan a disyuntivas y a un menú de posibilidades de elección. De acuerdo a este primer principio de la economía expuesto por Mankiw (2002), cada elección implica un coste de oportunidad es decir, lo que se renuncia por obtener otro beneficio. Entendido así, se renuncia a una hectárea de humedal costero no transformado (HNT) (selva inundable/selva, tular, popal y manglar) para obtener un ingreso económico en el corto plazo (cultivo de caña de azúcar y ganadería extensiva). Desde la perspectiva del manejo de los recursos naturales (Vázquez et al. 2011), renunciar a una hectárea de HNT no sólo conlleva un gama de posibilidades de elección muy acotadas (caña de azúcar o ganadería) (Rouquette et al. 2011) sino que ambas implican la pérdida de la vegetación y la modificación del suelo (Travieso-Bello 2005, Travieso-Bello et al. 2005, Rodríguez 2011). Asimismo, implica renunciar a las propiedades hidrobiológicas del recurso (Moreno-Casasola 2005a, Calderón et al. 2009, Landgrave y Moreno-Casasola 2011), es decir se transforma su funcionamiento y con esto sobreviene la pérdida de los BSE proporcionados (Acharya y Barbier 2000, Mitsch y Gosselink 2000, Millennium Ecosystem Assessment 2005, Carpenter et al. 2009), lo que traducido al valor monetario (USD), el COA es mayor que los beneficios obtenidos por uso directo (cultivo y ganadería). Por tal motivo, en el presente estudio se entiende el COA como todo aquello a lo que se renuncia (BSE) por destinar una hectárea de HNT al cultivo de la caña de azúcar o a la ganadería extensiva.

Las actividades económicas que se tomaron en el SLA se dividieron en los diferentes tipos de uso de acuerdo a la clasificación de Sanjurjo et al. (2005b) mostrados en la Tabla 2-1. Se escogieron únicamente aquellas actividades económicas para las cuales existió información disponible con la consistencia necesaria para realizar las estimaciones del valor (USD) por actividad.

Tabla 2-1 Actividades económicas en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) por tipo de uso.

Uso Presente		Futuro/ Existencia/herencia
Directo (UD)	Indirecto	
Extractivo:		
	Pesquerías 89 cooperativas	x
Agricultura de CCA	Apicultura Silvestre	x
	Recarga de Mantos freáticos	
Ganadería Extensiva (GE)	Artesanías de Lirio Acuático	x
No extractivo:		
Conservación para secuestro de carbono		

Las actividades de uso directo/extractivo inevitablemente afectan a las actividades de uso directo/no extractivo, de uso indirecto/extractivo y no extractivo (Tabla 2-1) (Rouquette et al. 2009, Posthumus et al. 2010). Gómez-Baggethun y de Groot (2007), y Cohen-Shacham et al. (2011) lo mencionan a través de la conceptualización de los ecosistemas como capital natural, mismo que es susceptible de ser aprovechado de distintas formas y algunas actividades van en detrimento de otras. Debido a que actividades como la pesca y la apicultura son producto de los BSE, para su auge, es una condición necesaria la conservación de los humedales costeros (Moreno-Casasola e Infante 2010). Además, las actividades de uso directo extractivo implican la remoción de la vegetación y la alteración de las funciones hidrobiológicas de los humedales costeros (Travieso-Bello et al. 2005, Guevara y Moreno-Casasola 2008).

En la relación planteada surge el concepto de externalidad, sea positiva o negativa. Se entiende por externalidad a las consecuencias o acciones de una persona, en favor o en detrimento del bienestar de otra (Mankiw 2002, Gómez-Baggethun y de Groot 2007). A través de este concepto, se puede exponer la problemática en el actual aprovechamiento de los humedales costeros del SLA, a partir de las externalidades ambientales (socioeconómicas y ecológicas) negativas causadas entre las diferentes actividades económicas que se realizan en ese complejo de humedales (Figura 2-2). La forma del uso del suelo en el SLA constituye la principal problemática, cuatro actividades económicas son las principalmente involucradas en ésta: el cultivo de caña de azúcar, la ganadería extensiva (Figura 2-2), la industria (ingenios que procesan la caña de azúcar) (CNA 2007) y las cooperativas de pescadores (Figura 2-1). Actualmente, el cultivo de caña de azúcar constituye 14.15% del uso de suelo y tuvo un crecimiento de 100% entre 2006 y 2010; la ganadería extensiva aprovecha el 64.53% de la superficie y creció 6.27% entre 2005 y 2010 (SEDARPA y SAGARPA 2010). De acuerdo al CSVA (2006), cuatro ingenios se encuentran ubicados en el SLA, cuyo aprovechamiento es $373 \times 10^6 \text{ m}^3$ y descargan 287×10^6

m³ de agua, de los cuales sólo se trata el 64.24%. Los municipios consumen 9.75×10^6 m³ de agua (SEFIPLAN 2010), sin embargo, 54,022 habitantes en el SLA no cuentan con servicio público de agua (CONAPO 2010) y su consumo no se encuentra registrado (INEGI 2010).

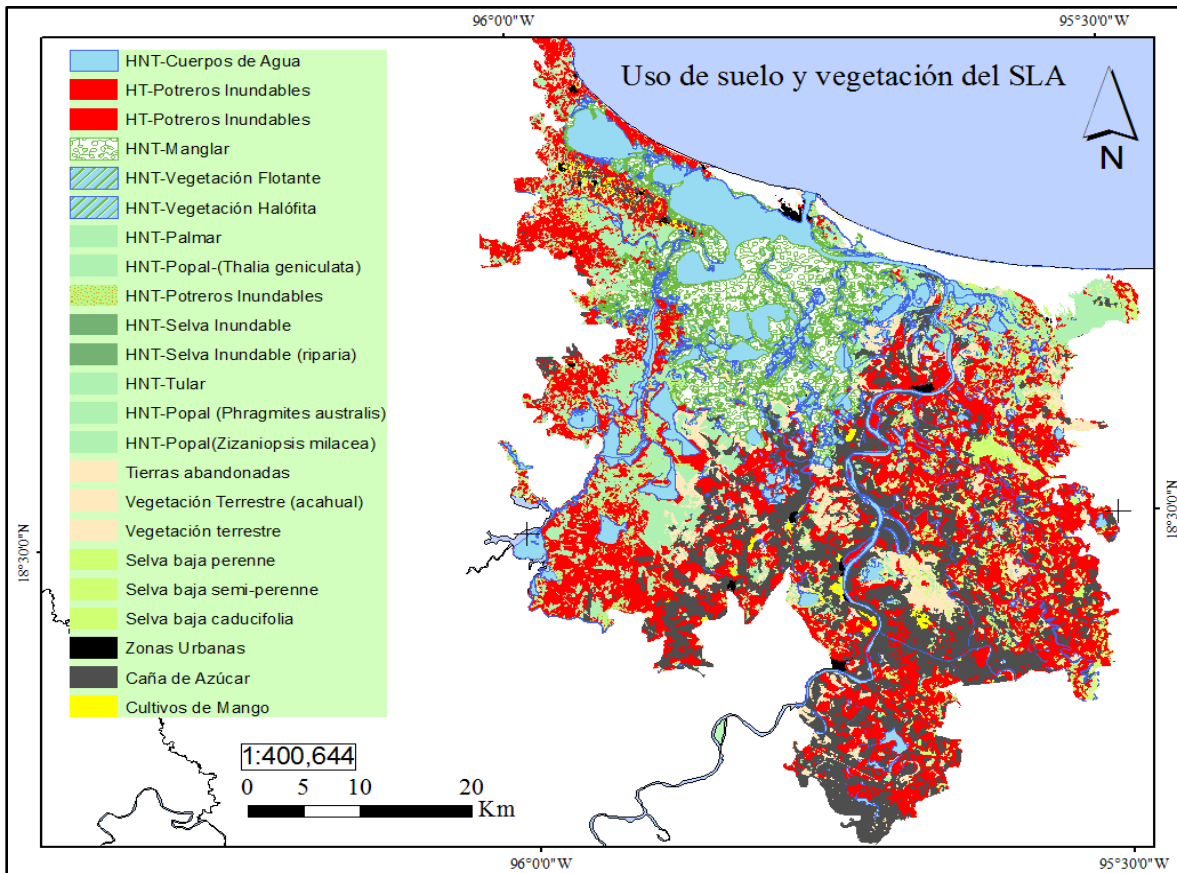


Figura 2-2 Uso de suelo y vegetación de los humedales costeros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

Elaboración propia con proyección Cónica de Lambert y Datum ITRF 1992. Información del mapa y vegetación de uso de suelo del Inventario y el mapa de la microrregión del SLA; del Inventario, Delimitación y Caracterización de los Humedales Costeros de la Cuenca baja del Papaloapan (CONAGUA CONACYT no. 48247).

En la Figura 2-3 se expone la problemática del aprovechamiento de los humedales costeros (HNT y HT). Las actividades directas extractivas (Tabla 2-1) modifican, drenan y remueven las vegetación de los humedales costeros. Esto genera inevitablemente el deterioro o pérdida de las funciones ecosistémicas y consecuentemente la disminución y pérdida de los BSE. El incentivo de los tenedores de la tierra (agricultores y ganaderos) es resultado del ingreso económico esperado, empero, genera un COA, pues no sólo se renuncia a una actividad (cultivo de caña o ganadería) por hectárea de humedal costero, sino a los BSE. También conlleva a impactos sociales (Moreno-Casasola e Infante 2010), económicos (Morardet y Koukou-Tchamba n.d., Cohen-Shacham et al. 2011) y naturales (Millennium Ecosystem Assessment 2005, Posthumus et al. 2010).

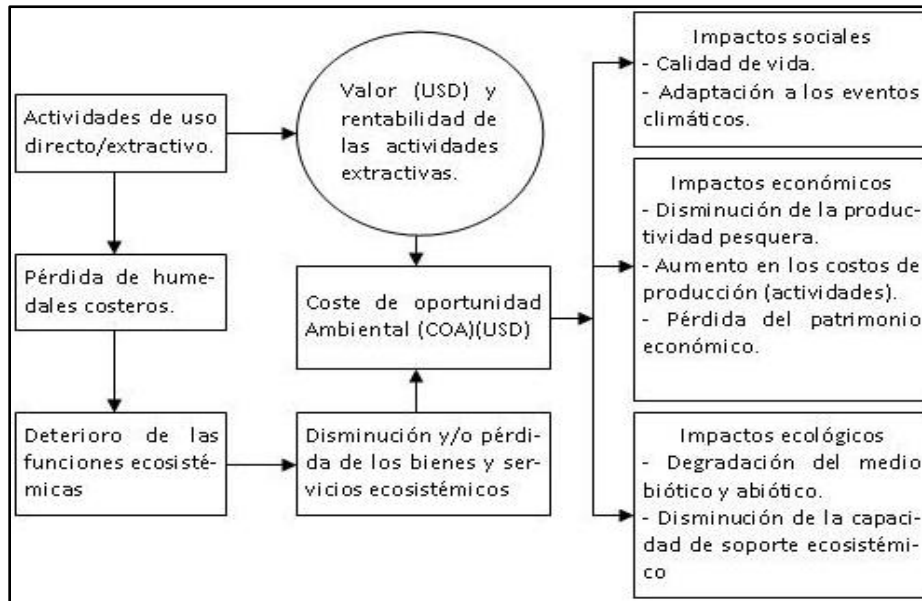


Figura 2-3 Problemática del aprovechamiento de los humedales costeros (causas y efectos).

De esta manera la agricultura, ganadería e industria, aprovechan la superficie de los humedales costeros y afectan al sector pesquero. Además, causan externalidades como el CO₂e durante el proceso de cultivo de caña de azúcar, durante la molienda de la caña de azúcar y la producción por tonelada de azúcar en los ingenios (Barretto de Figueiredo et al. 2010). De acuerdo a Sanjurjo et al. (2005a), existe una relación entre la extensión de manglar y la productividad de los cuerpos de agua debido a que el manglar y los cuerpos de agua funcionan como hábitat de especies juveniles (aprovechables) y como protector de depredadores (Figura 2-2). En esta situación, los pescadores son quienes reciben los impactos negativos (externalidades ambientales), debido a que no sólo son económicos, sino también sociales y ecológicos (Figura 2-3). Por ejemplo, la reducción de la productividad pesquera en lagunas y ríos debido a la disminución de la cantidad de especies, a causa de la deforestación del manglar y la contaminación de los cuerpos de agua (Moreno-Casasola and Infante 2010). Además, habría que contabilizar los efectos en la salud como lo señalan el Colegio de Postgraduados (2003), Alencar et al. (2005) y Lima et al. (2011), debido al CO₂e por el cultivo de caña y el CO₂e por los ingenios (sociedad *in situ*).

Se puede afirmar que existe un COA (económico, social y ecológico) entre destinar una hectárea de HNT al cultivo de caña de azúcar o a la ganadería extensiva de la misma forma; entre el cultivo de caña de azúcar y los BSE, debido a que el cultivo de caña de azúcar por ser industrial y bajo la gerencia del Estado, siempre es intensivo y con fuertes insumos de agua y agroquímicos, además, el productor no puede modificar la forma de aprovechamiento (Uso directo no extractivo, uso indirecto-no uso); por último, entre la ganadería extensiva y los BSE (Uso directo no extractivo, uso indirecto-no uso), cabe señalar que la ganadería extensiva resulta

deficiente en términos del índice de agostadero pero es de baja intensidad (menos de 1 cabeza ha/año), la cual tiene un bajo impacto, si existe un aumento, llega a tener un impacto fuerte y afecta la hidrobiología (Travieso-Bello et al. 2005, Rodríguez 2011).

2.3. Método de análisis

La información de los humedales costeros transformados (HT) y los no transformados (HNT) proporcionada por el Inventario, Delimitación, Caracterización y uso sustentable de los humedales de la Cuenca del Río Papaloapan (Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247), fue procesada en un Sistema de Información Geográfica (GIS), en el programa ARC-GIS 9.2 y se muestra en las Figuras 2-1 y 2-2.

2.3.1. Ingreso económico de la caña de azúcar (agricultores)

El ingreso económico de la producción de caña de azúcar se estimó con la información obtenida de SEDARPA (2006-2010). Se obtuvo el precio promedio corriente por tonelada (PMC) de caña cultivada y el rendimiento medio (RM) por hectárea y municipio, es decir, las toneladas promedio que se cosechan de caña de azúcar en una hectárea. Los datos variaron según el municipio y fueron modelados con la Ecuación 2-1 para obtener el ingreso medio corriente (IMC).

Ecuación 2-1 Ingreso medio corriente por hectárea y municipio (IMC).

$$IMC = (PMC * RM)$$

Dicha estimación se realizó para el periodo 2006-2010. La Ecuación 2-1, estima el ingreso medio corriente (IMC) por hectárea (ha) y municipio debido al cultivo de caña de azúcar. Para estimar el ingreso económico total corriente (ITC) en cada municipio y año, se multiplicó el IMC por la cantidad de hectáreas cosechadas en el municipio, de acuerdo a la superficie cosechada reportada por SEDARPA y SAGARPA (2006-2010).

2.3.2. Ingreso económico por la ganadería extensiva

El ingreso total corriente (ITC) de la ganadería extensiva por municipio se determinó a partir de la información obtenida de SEDARPA (2006-2010). Como existe diferente tipo de ganado se usó el ingreso de la producción de ganado de carne en canal (PCC) (SEDARPA 2006-2010). Además, se tomó de los anuarios estadísticos SEFIPLAN (2006-2010) la cantidad de hectáreas por municipio que son destinadas a la cría de ganado y se cruzó con la información del sistema de

información geográfica del Inventario, Delimitación, Caracterización y uso sustentable de los Humedales de la Cuenca del Río Papaloapan (Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247).

Ecuación 2-2 Ingreso total corriente de la ganadería extensiva (GE) por municipio.

$$ITC = (PCC * PMC)$$

La Ecuación 2-2 estima el ingreso total corriente por municipio (ITC). Para calcular el ingreso medio corriente (IMC) por hectárea de la ganadería extensiva en cada municipio, se divide el ITC entre el total de superficie de la ganadería por municipio (SMGE). Para obtener el ITC del SLA sólo se sumó el ITC de los municipios. En el caso del ingreso medio corriente (IMC) del SLA, se dividió el ingreso total corriente (ITC) del SLA entre el total de la superficie del SLA destinada a la ganadería extensiva (GE).

2.3.3. Ingreso económico por la pesca

Con base en la información de Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247 de (Juárez et al. Inédita), se obtuvo el número de cooperativas pesqueras en el SLA (Figura 2-1). Se tomó la información de tres cooperativas y se determinó el comportamiento promedio a partir de dicha información, infiriendo que las otras 86 restantes debido a la localización, tienen homogeneidad en el producto que obtienen, consumen y comercian. De las 30 especies que aproximadamente capturan y comercian los pescadores en el SLA (Juárez et al. Inédita), sólo se tomaron cinco (chucumite, robalo, camaron prieto, jaiba y tilapia) debido a que ésta información mostró consistencia para realizar las estimaciones de los ingresos y costos de las cooperativas pesqueras. Como los pescadores trabajan en equipo, las encuestas se hicieron a seis personas por cada cooperativa y la información proporcionada se asumió como representativa en términos de la población de pescadores agremiados por cooperativa, poblaciones que variaron desde 13 hasta 25 personas asociadas. A partir de esto, se obtuvo la Tabla 2-2 en la que se muestra el orden y fórmulas para estimar los ingresos, costos y beneficios.

Tabla 2-2 Estimaciones por semana de trabajo de las pesquerías.

Ingreso (IT)	Costos (C)	Beneficio (B)
$Q=(CP-ACP)$ $IT=Q*P$	$C=\Sigma(G,T,E)$	$B=IT-C$

Q; cantidad vendida por pescador y especie, CP; captura por especie y pescador, ACP; autoconsumo de producto por pescador y especie, P; precio de comercialización reportado por pescador y por especie. G; costo del combustible reportado por pescador y por especie, T; salario de auxiliar pagado por pescador y por especie, E; renta del equipo pagada por el pescador y por especie. IT; ingreso total. Nota.- los datos son información correspondiente a una semana de trabajo por socio encuestado. Por cooperativa se encuestaron seis socios.

El siguiente paso fue obtener el beneficio total (BT) de los encuestados por una semana de trabajo y especie (BTE_{es}) a partir de la Ecuación 2-3.

Ecuación 2-3 Beneficio total de los socios encuestados, por especie y una semana de trabajo.

$$BT_{es} = IT_{es} - CT_{es}$$

Donde:

$ITE_{es} = \sum I$; es el ingreso total de los socios encuestados por una semana de trabajo y especie capturada.

$CTE_{es} = \sum C$; es el costo total de los socios encuestados por una semana de trabajo y especie capturada.

Para obtener el beneficio total de los encuestados por especie y año de trabajo (BTE), el ingreso total (IT) y el costo total (CT), se multiplicaron por el número de semanas al año que se dedican a la captura de una especie (NST). Con esto se estimó el ingreso total de los encuestados por especie en un año de trabajo (IT_{ea}) y el costo total de los encuestados por especie en un trabajo (CT_{ea}). La Ecuación 2-4 muestra el procedimiento antes expuesto.

Ecuación 2-4 Beneficio total de los socios encuestados en cada cooperativa, por especie y año.

$$BT_{ea} = IT_{ea} - CT_{ea}$$

Donde:

$$IT_{ea} = IT_{es} * NST \text{ y } CT_{ea} = CT_{es} * NST$$

Si se multiplica el BT_{es} (Ecuación 2-3) por el número de semanas de trabajo por año en la captura de una especie (NST) se obtiene de forma directa el BT_{ea} . Sin embargo se construyó de esta forma (Ecuación 2-5) debido a que interesaba saber el ingreso aproximado de la cooperativa por especie pesquera al año (IC_{ea}) y el costo aproximado de la cooperativa por especie al año (CC_{ea}). Por tal motivo, se calculó el ingreso medio al año por especie (IM_{ea}) y el costo medio por especie al año (CM_{ea}) a partir de los socios encuestados y el beneficio medio por especie al año (BM_{ea}) (Ecuación 2-5).

Ecuación 2-5 Beneficio medio por cooperativa pesquera, por especie y año.

$$BM_{ea} = [IM_{ea} = (QM_{ea} * PM_{ea})] - [CM_{ea} = (GM_{ea} + TM_{ea} + EM_{ea})]$$

Donde:

$QM_{ea} = CPM_{ea} - ACPM_{ea}$.- Cantidad media vendida por especie y año.

$CMP_{ea} = \left(\frac{\sum CP}{np}\right) * NST_{ea}$.- Cantidad media de captura por especie y año.

$PM_{ea} = \left(\frac{\sum P}{np}\right) * NST_{ea}$.- Precio medio por especie y año.

$GM_{ea} = \left(\frac{\sum G}{np}\right)$.- Costo medio de combustible por especie y año.

$TM_{ea} = \left(\frac{\sum T}{np}\right) * NST_{ea}$.- Costo medio por auxiliar, por especie y año.

$EM_{ea} = \left(\frac{\sum E}{np}\right) * NST_{ea}$.- Costo medio por renta de equipo (lancha y/o motor).

Nota.- np se refiere al número de socios encuestados.

Sin embargo, se necesitó estimar el beneficio percibido por los socios no encuestados por especie capturada y año (BNT_{ea}); a partir del ingreso de los socios no encuestados por especie

capturada y año (INT_{ea}) y del costo de producción de los socios no encuestados por especie captura y año (CNT_{ea}). La estimación se presenta en la Ecuación 2-6.

Ecuación 2-6 Beneficio de los socios no encuestados por cooperativa, especie y año de trabajo.

$$BNT_{ea} = [INT_{ea} = (QNT_{ea} * PM_{ea})] - [CNT_{ea} = (GNT_{ea} + TNT_{ea} + ENT_{ea})]$$

Donde:

$QNT_{ea} = QM_{ea} * NSNE$.- es la cantidad de producto vendido por los socios no encuestados en un año de trabajo.

$GNT_{ea} = GM_{ea} * NSNE$.- es el costo del combustible utilizado por los socios no encuestados para capturar la especie en un año de trabajo.

$TNT_{ea} = TM_{ea} * NSNE$.- es el costo por auxiliar pagado por los socios no encuestados, para capturar una especie durante un año de trabajo.

$ENT_{ea} = EM_{ea} * NSNE$.- es el costo del equipo rentado por los socios no encuestados para capturar una especie en un año de trabajo.

Nota.- NSNE es el número de socios no encuestados de la cooperativa.

Para obtener el beneficio aproximado por cooperativa, especie y año de trabajo (BAC_{ea}) se utilizó la Ecuación 2-7.

Ecuación 2-7 Beneficio aproximado de la cooperativa por especie y año de trabajo.

$$BAC_{ea} = [IAC_{ea} = \Sigma(ITE_{ea}, INT_{ea})] - [CAC_{ea} = \Sigma(CTE_{ea}, CNT_{ea})]$$

Donde:

IAC_{ea} .- ingreso aproximado de la cooperativa por especie capturada y año de trabajo.

CAC_{ea} .- costo aproximado de la cooperativa por especie capturada y año de trabajo.

La Tabla 2-2 y las Ecuaciones 2-3, 2-4, 2-5, 2-6 y 2-7, son parte del procedimiento para estimar el BAC_{ea} , sin embargo éste sólo explica el beneficio por especie y año de trabajo. Para conocer el beneficio total aproximado por cooperativa y año de trabajo (BTA_{ca}), se utilizó la Ecuación 2-8.

Ecuación 2-8 Beneficio Total Aproximado por cooperativa y año de trabajo.

$$BTA_{ca} = \left[\left(ITA_{ca} = \sum IAC_{ea} \right) - \left(CTA_{ca} = \sum CAC_{ea} \right) \right]$$

Donde:

ITA_{ca} .- ingreso total aproximado por cooperativa y año de trabajo.

CTA_{ca} .- costo total aproximado por cooperativa y año de trabajo.

El procedimiento de la ecuación 2-8 se repitió para las tres cooperativas encuestadas, empero, existen cerca de 89 cooperativas registradas en el SLA. Al carecer de una base de datos histórica que permitiera realizar un análisis estadístico regresional, se estimó el promedio de las tres cooperativas y bajo el supuesto del comportamiento similar de las 86 cooperativas restantes, se infirió el beneficio medio aproximado de las cooperativas por año de trabajo (BMA_{ca}), este se multiplicó por el número de cooperativas restantes ($NCNE=86$) y se obtuvo el beneficio total aproximado por la pesca en un año de trabajo ($BTAP_a$) (Ecuación 2-9).

Ecuación 2-9 Beneficio total aproximado de la pesca en el SLA.

$$BTAP_a = \left(BMA_{ca} = \frac{\sum BTA_{ca}}{NCE} \right) * NCNE$$

2.3.4. Ingreso por secuestro de carbono (SCO₂)

Para estimar el ingreso económico por secuestro de carbono (SCO₂), se tomaron los valores de cantidad de carbono almacenado en el suelo estimados por Hernández (2009) y Marín Muñiz et al. (2011). Se parte de la base de que aquellos suelos con mayor cantidad de carbono almacenado serán ecosistemas más eficientes para secuestrar carbono. En el primero se menciona el rango de 470-820 t ha⁻¹ para el caso de manglares en zonas tropicales. Se fijó con el valor mínimo (470 t ha⁻¹) para no sobreestimar el ingreso económico por el BSE (SCO₂) de acuerdo a los criterios de sobrestimación del World Bank (2011). El segundo sirvió de referencia para evaluar la selva inundable/selva (700.8 t ha⁻¹) cabe aclarar que los valores en t ha⁻¹ (selva inundable/selva, popal y tular) son resultado de la conversión de los resultados originales presentados por Muñiz et al. (2011). En el caso del popal y el tular fue 496 t ha⁻¹. Con la cantidad de carbono secuestrado (SCO₂ t ha⁻¹) en los HNT (selva inundable/selva, tular, popal y manglar) y el precio corriente por tonelada de carbono (PMC) tomado del Point Carbon (2006), se obtuvo el ingreso medio corriente por hectárea por tonelada secuestrada de carbono (IMC = PMC * QCS). Se multiplicó el ingreso medio corriente por hectárea (IMC) de SCO₂ por la cantidad total de hectáreas de HNT en el municipio y se obtuvo el ingreso total corriente por municipio (ITC) por SCO₂ en cada municipio. A partir de esto, se estimó el ingreso total corriente (ITC) del SLA, es decir, la sumatoria del ingreso total corriente (ITC) de los municipios por secuestro de carbono.

2.3.5. Subsidios en los cultivos de caña de azúcar y en la ganadería extensiva

Se utilizó información de Aserca y SAGARPA (2006-2010) del total de apoyos otorgados por el gobierno federal y se obtuvieron sólo tres rubros: PROCAMPO tradicional, registro alterno y capitaliza (nombres de los programas de subsidio). Se obtuvo el área total por municipio subsidiada (AMS) y el ingreso por subsidio (IS), se dividió (IS/AM) para calcular el ingreso medio de subsidio (IMSC). Al dividir el total de hectáreas que reciben subsidio en cada municipio (AM) entre la superficie total por municipio destinada a la actividad (cañera o ganadera), se obtuvo la proporción de superficie municipal subsidiada. Además, al dividir el ingreso medio corriente por hectárea (IMC) en cada municipio entre el ingreso medio por subsidio y hectárea (IMSC), se estimó la proporción que representa el subsidio por cada USD obtenido por hectárea y actividad económica (cultivo de caña de azúcar y ganadería extensiva).

2.3.6. Recarga de agua en mantos freáticos

En el SLA ninguno de los municipios cuenta con un sistema de potabilización de agua (SEFIPLAN 2010), por tal motivo, de acuerdo con Daily et al. (1997), Millennium Ecosystem Assessment (2005), Turner y Daily (2008), Flores Verdugo et al. (2010) y Moreno-Casasola e Infante (2010) los humedales costeros ofrecen BSE importantes como son la captura y recarga de agua, así como la filtración y purificación de ésta. Campos et al. (2011) calcularon para la región de Tecolutla al norte del estado de Veracruz, que la capacidad de almacenar agua en el suelo en las selvas inundables/selva era de 556 a 834 L m⁻² y en los popales de 687 a 880 L m⁻². Así mismo, Cejudo et al. (2008) encontraron que las especies características de estos popales eran capaces de absorber herbicidas como la atrazina, que se usa en el cultivo de caña de azúcar. Se estimó el consumo anual de agua (m³) por municipio, el consumo diario promedio por habitante, y el costo del agua se calculó (sin incluir potabilización por la falta de ésta) a partir del pago de derechos de agua, de acuerdo a la zona de disponibilidad a la que pertenecen con base y procedimientos establecidos en la Ley Federal de Derechos (CNA 2009).

2.3.7. Apicultura silvestre

Para estimar el ingreso por extracción y comercialización de miel, se consultó la información del Inventario, Delimitación, Caracterización uso sustentable de los Humedales de la Cuenca del Río Papaloapan (proyecto CONAGUA CONACYT no.48247). A pesar de la baja frecuencia del dato, debido a la muestra estimada para aplicar las encuestas en el proyecto CONAGUA-CONACYT n. 48247, lo importante fue considerar que dicho BSE forma parte de la vida cotidiana y del sustento económico alternativo de los pescadores, agricultores y ganaderos (Moreno-Casasola 2005a, Moreno-Casasola e Infante 2010). A partir de las encuestas, reportaron el precio de venta por litro de miel (5 USD/año) y la cantidad comerciada en promedio (QVM=22 litros) por persona entrevistada (N=27).

2.3.8. Emisiones de CO₂ por cultivo de caña de azúcar

Se tomaron los resultados de CO₂ emitido (CO₂e) obtenidos por Barretto de Figueiredo et al. (2010) durante el proceso de cultivo de caña de azúcar y se multiplicó por la cantidad de hectáreas en cada municipio, de esta manera se calculó la cantidad total de CO₂e por municipio y año (t de CO₂e/municipio/2006-2010). Para estimar el valor (USD) de la cantidad de t de CO₂e, éste se multiplicó por el precio medio corriente (PMC) del carbono de acuerdo al Point Carbon (2006) y se obtuvo el valor (USD) de la externalidad por CO₂e/municipio/2006-2010.

2.3.9. CO₂e en el proceso industrial de caña de azúcar

Se tomó la información de Barretto de Figueiredo et al. (2010) del CO₂e durante el proceso de la caña de azúcar en los ingenios, dicha cantidad se extrapoló para los cuatro ingenios ubicados en el SLA (CNA 2007) y se multiplicó por las toneladas (t) procesadas en cada uno de los ingenios con la información del Servicio de Información agroalimentaria y pesquera (SIAP) (SIAP y SAGARPA 2006-2010). Se multiplicó el CO₂e por el precio medio corriente (PMC) de CO₂, y de esta manera se estimó el valor (USD) del CO₂e durante el proceso industrial de la caña de azúcar.

2.3.10. CO₂e por tonelada de azúcar

De la misma forma, con información de Barretto de Figueiredo et al. (2010) se obtuvieron las toneladas de emisiones de CO₂ (CO₂e) por tonelada de azúcar producida y con datos de SIAP y SAGARPA (2006-2010) la cantidad de azúcar producida por cada ingenio en el SLA. Se multiplicaron las toneladas de CO₂e por las toneladas de azúcar producida para estimar la cantidad total de CO₂e por tonelada de azúcar. Este último dato se multiplicó por el precio medio corriente (PMC) de CO₂ y se calculó el valor (USD) total por CO₂e por las toneladas de azúcar producida para cada ingenio.

2.3.11. Estimación de los Costes de oportunidad

Para estimar los costes de oportunidad se presenta la Tabla 2-3.

Tabla 2-3 Fórmulas para estimar el coste de oportunidad.

$COE(GE/CCA) = IMD(CCA) - IMD(GE)$	COE por no cultivar una ha de caña de azúcar y dedicarla a la ganadería.
$COA(Conservación/CCA) = IMD(SCO_2) - IMD(CCA)$	COE de no conservar una ha de HNT y destinarla al cultivo de caña.
$COA(Conservación/GE) = IMD(SCO_2) - IMD(GE)$	COE de no conservar una ha de HNT y destinarla a la ganadería.

Nota: los ingresos de las actividades (cultivo de caña de azúcar y ganadería extensiva) no incluyen el subsidio del gobierno federal.

Además del coste de oportunidad económico (COE) estimado a partir de las ecuaciones en la Tabla 2-3, se utilizaron criterios de adicionalidad, los cuales son la base para justificar la conservación de bosques y humedales, de acuerdo al informe REDD+ del World Bank (2011) y establecidos en el UNFCCC (2011). De esta forma, beneficios derivados de la conservación de los HNT como el ingreso por la pesca, apicultura silvestre, recarga de mantos freáticos, el bajo costo que tienen los derechos de agua a nivel municipal (CNA 2009), así como externalidades evitadas: CO₂e durante el proceso de cultivo de la caña de azúcar y el CO₂e en el proceso de la

caña de azúcar (ingenios); se agregaron a la justificación de la conservación de los HNT, sin embargo no fueron contabilizadas dentro del COA, debido a que éste sólo incluyó ingreso económico directo, es decir, lo que percibe cada propietario o ejidatario. Las adiciones, se dividieron en beneficios indirectos y externalidades evitadas.

2.3.12. Deflactor de los precios y valores monetarios

Debido a que se trabajó con información de diferentes fuentes como SEDARPA y SAGARPA 2006-2010, SIAP y SAGARPA (2006-2010) y el Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247, y ésta se encontraba en precios corrientes, se optó por deflactor los valores monetarios con base en el índice nacional de precios al consumidor (INPC) reportado por BANXICO (2006-2010). De esta forma, es posible comparar cifras económicas de distintos años debido a que el costo de la vida no permanece constante, es decir, los precios varían entre diferentes años. Los precios fueron deflactados con base en el índice nacional de precios al consumidor (INPC) del 2006, por esta razón se dice que se deflactan y se descuenta el efecto inflacionario (Mankiw 2001, 2002)

Ecuación 2-10 Deflactor de Precios.

$$PMD_x = (X_0 * INPC_0) / INPC_i$$

Donde el PMD_x es el precio medio deflactado; X_0 es el precio medio corriente (PMC) por hectárea de cada actividad en el año base, es decir, el año que permanece constante para estandarizar los datos; el índice nacional de precios al consumidor ($INPC_0$) se utiliza como indicador del costo de la vida (Mankiw 2001, 2002), el 0 representa el año base, en este caso 2006. Por último; el $INPC_i$, corresponde a cada uno de los años que se estandariza. Este ejercicio fue aplicado a toda la información referente a precios (ganadería extensiva, cultivo de caña de azúcar, pesca, almacenamiento de carbono, apicultura y consumo de agua). De tal suerte que se obtiene para cada una de las actividades (ganadería extensiva, cultivo de caña, apicultura, pesca, costo de derechos de agua, carbono), el ingreso medio deflactado (IMD) y el ingreso total deflactado (ITD) por municipio y por año.

2.4. Resultados

Para el análisis de los resultados se expone por separado cada una de las actividades económicas evaluadas como la ganadería extensiva y el cultivo de caña de azúcar (con sus respectivos subsidios), y la pesca. Los resultados de los beneficios económicos potenciales por SCO_2 y las adicionalidades como los costos evitados (CO_2e durante el cultivo y proceso de la caña de azúcar), los beneficios como la recarga de mantos freáticos y la apicultura silvestre se exponen en otro apartado. De la misma manera, en el caso del COE-(cultivo de caña de azúcar/ganadería

extensiva), COA- (conservación/cultivo de caña de azúcar) y el COA-(conservación/ganadería extensiva), se analizan *a posteriori*. Además, del análisis del CO₂ evitado por la maximización de la eficiencia en el proceso de producción de azúcar, que es la base para la justificación de la inserción de los ingenios en proyectos de conservación de humedales no transformados (HNT) y restauración de humedales transformados (HT) en el marco de la economía verde.

2.4.1. Ingresos y subsidios de la ganadería extensiva

La ganadería extensiva (GE) es la actividad económica que mayor porcentaje de uso de suelo ocupa en el SLA (Figura 2-1). Los ingresos percibidos por esta actividad se detallan en la Figura 2-4. Esto supone que en términos reales el ingreso no se ha apreciado con base en el índice nacional de precios al consumidor (INPC), por ello, los ganaderos y rancheros han aumentado la superficie dedicada a esta actividad para incrementar el ingreso en comparación con el aumento del coste de vida (INPC).

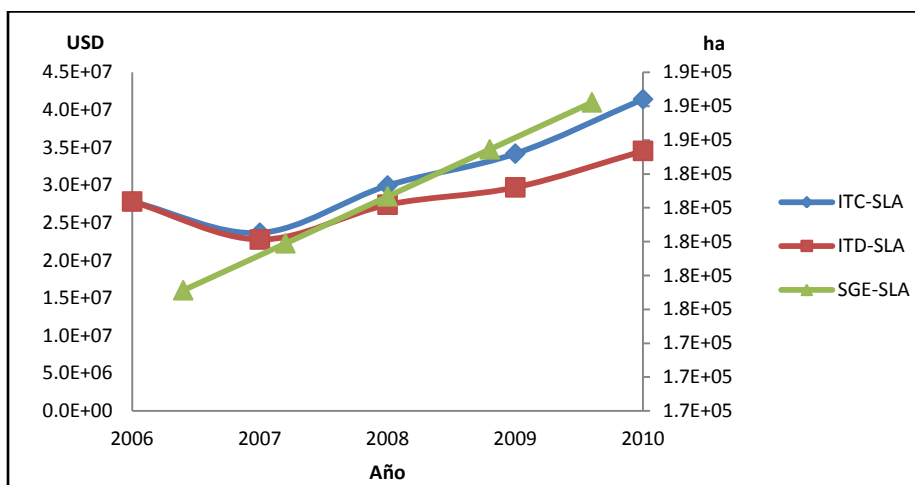


Figura 2-4 Comparación del ingreso económico corriente total (ITC) y del ingreso total deflactado (ITD) de la ganadería extensiva, con respecto a la superficie dedicada a la ganadería extensiva (SGE) en el Sistema Laguna de Alvarado (SLA) por año.

El ingreso total deflactado (ITD) fluctuó entre 28×10^9 USD/2006 y 34.5×10^9 USD/2010. Sin embargo, su incremento se ha sostenido con base en el aumento de la superficie dedicada a la ganadería extensiva debido a la ineficiencia del índice de agostadero (Figuras 2-5 y 2-6) y a la depreciación del precio en el mercado. El ingreso total deflactado (ITD) por año y por municipio varía de acuerdo al total de hectáreas destinadas a la ganadería extensiva (ver SEDARPA y SAGARPA 2006-2010) (Figura 2-5). Debido a esta situación, cada uno de los municipios a tenido que destinar mayor superficie a la ganadería, con la finalidad de obtener ingresos de acuerdo al aumento del coste de vida (INPC).

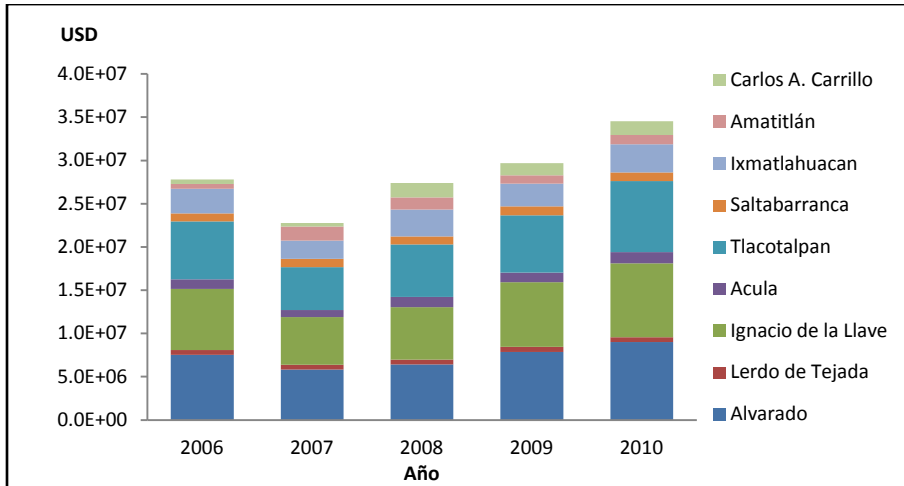


Figura 2-5 Ingreso total deflactado (ITD) de la ganadería extensiva (GE) por año y por municipio del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

El IMD no se aprecia conforme al índice nacional de precios al consumidor (INPC) (Figura 2-6), esto significa que el precio medio deflactado (PMD) de la carne en canal no se ha apreciado en términos reales. Además, la Figura 2-6 muestra que los humedales no transformados (HNT) o con baja intensidad de uso ganadero, son valorados (USD) por su uso para la ganadería extensiva en menos de 300 USD/ha/año.

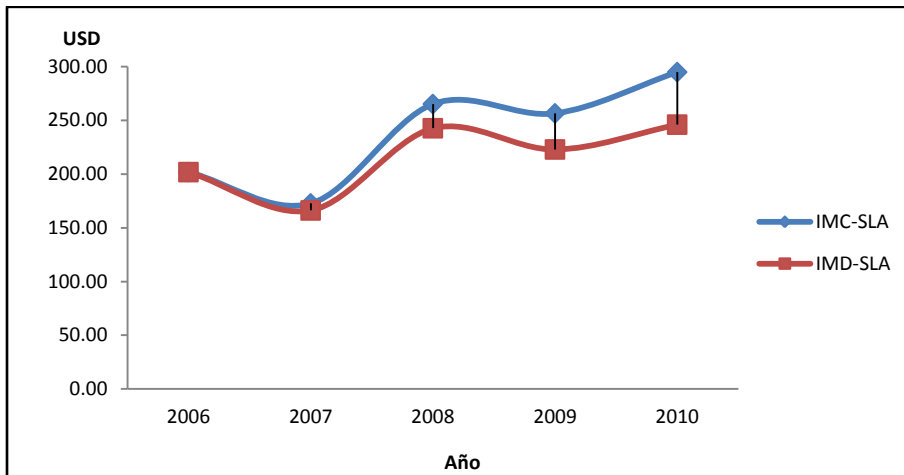


Figura 2-6 Comparación del ingreso medio corriente (IMC) por hectárea e ingreso medio deflactado por (IMD) por hectárea de ganadería extensiva (GE) en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

El ingreso medio deflactado (IMD) varía de acuerdo al municipio y al año (Figura 2-7). Esto significa que el valor por uso directo que los ganaderos otorgan a una hectárea de humedales no transformados (HNT) o de baja intensidad de uso ganadero, está en función del precio y su eficiencia en el uso de la superficie (índice de agostadero). Alvarado, Ignacio de la Llave y Tlacotalpan son los municipios que han renunciado a mayor porcentaje de su superficie (Figura

2-2). Además, presentan menor eficiencia económica en función del uso del suelo y vegetación (ingreso medio deflactado por hectárea), y menor valoración económica de los humedales no transformados (HNT) en función de la ganadería extensiva. Esto también permite observar la distribución desigual del ingreso dentro de la misma actividad y en el SLA, con un rango de variación entre 74.16 USD/ha/2006 (Amatitlán) y 792.28 USD/ha/2008 (Carlos A. Carrillo).

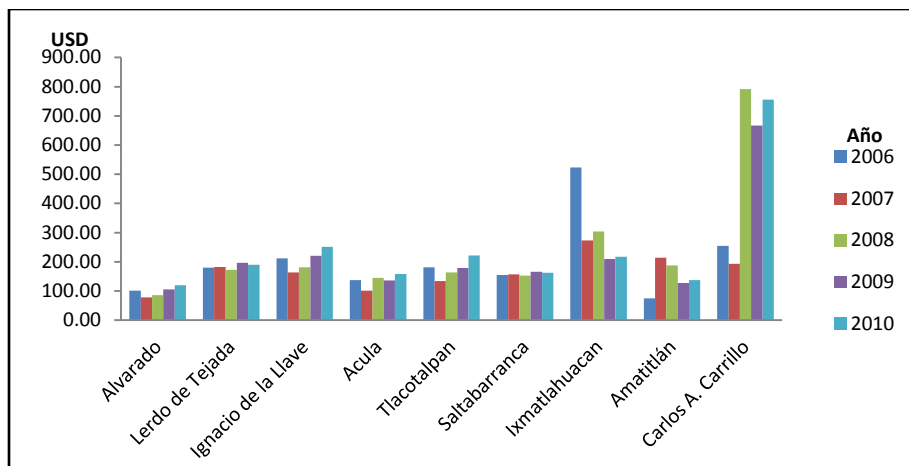


Figura 2-7 Ingreso medio deflactado (IMD) por hectárea de la ganadería extensiva, por municipio y por año.

Sin embargo, existe una proporción considerable de la superficie destinada a la ganadería que recibe apoyo del gobierno (Figura 2-8). El ingreso total por subsidio deflactado (ISD) muestra su comportamiento en términos reales (de acuerdo al INPC), el ISD fluctuó entre 2.1×10^5 USD/2007 y 3.9×10^5 USD/2008. Además, la tendencia del ISD y la cantidad total de superficie subsidiada para ganadería extensiva (SSGE), son constantes y guardan una relación entre el aumento de la ganadería y el incremento de los subsidios (Figura 2-8).

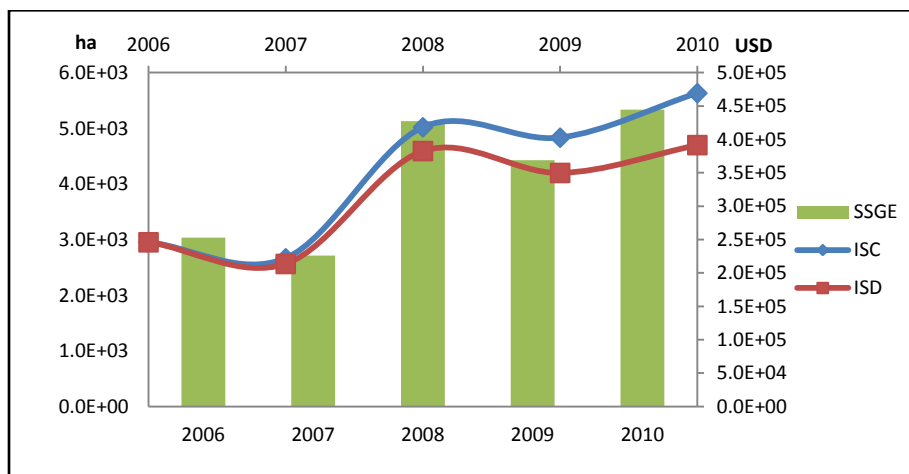


Figura 2-8 Evolución de la superficie subsidiada (SSGE), ingreso total por subsidio deflactado (ISD) e ingreso corriente por subsidio (ISC) en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA), por año.

Lerdo de Tejada es el único municipio que de acuerdo a información oficial del Gobierno Federal no ha recibido subsidios en materia de ganadería extensiva (Figura 2-9). Alvarado, Ignacio de la Llave y Tlacotalpan son los que más subsidios han recibido en términos absolutos. Sin embargo, en términos de eficiencia del subsidio y su impacto por hectárea (ha), la situación es diferente, tal y como se muestra en la Figura 2-9. Se puede observar que la distribución del subsidio por municipio mantiene una estabilidad desigual.

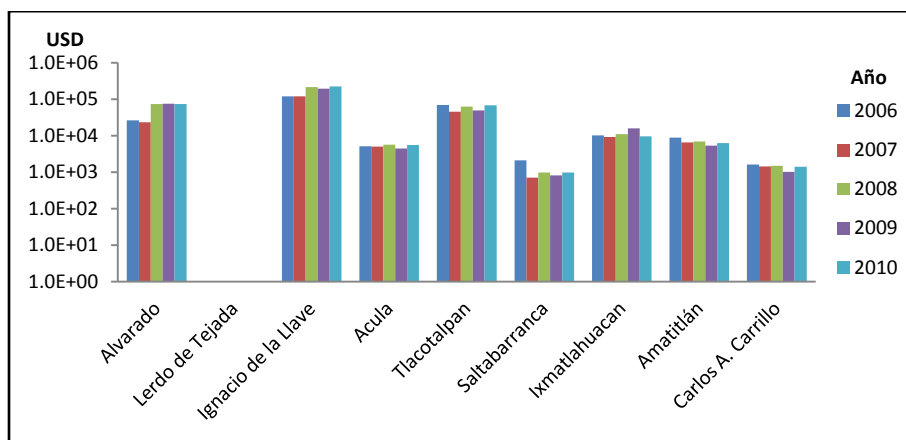


Figura 2-9 Ingreso total por subsidio deflactado (ISD) de la ganadería extensiva (GE) por municipio y por año.

Por otro lado, en términos de eficiencia del subsidio y su impacto por hectárea (ha), la situación es diferente, tal y como se muestra en la Figura 2-10. El ingreso medio deflactado por subsidio (IMSD) tiene una variación entre 71 USD/ha/2010 (Tlacotalpan) y 86 USD/ha/2009 (Saltabarranca). Por tanto se observa que los subsidios del gobierno federal resultan desiguales en términos de la distribución por municipio, toda vez que el IMSD debiera ser igual por cada hectárea (ha) y año en los diferentes municipios (caso contrario mostrado en la Figura 2-10).

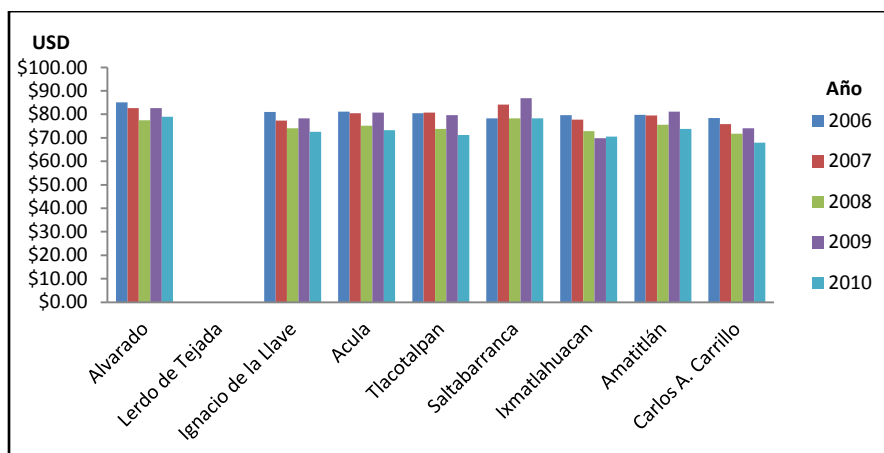


Figura 2-10 Ingreso medio deflactado por subsidio (IMSD), por hectárea, por municipio y por año.

De acuerdo a la distribución de los subsidios a nivel municipal, Ignacio de la Llave, Tlacotalpan e Ixmattlahuacan, son los municipios en los que mayor superficie es subsidiada en términos relativos (Figura 2-11), es decir, la proporción superficie subsidiada por superficie de ganadería extensiva (SSGE/SGE) en el municipio es mayor.

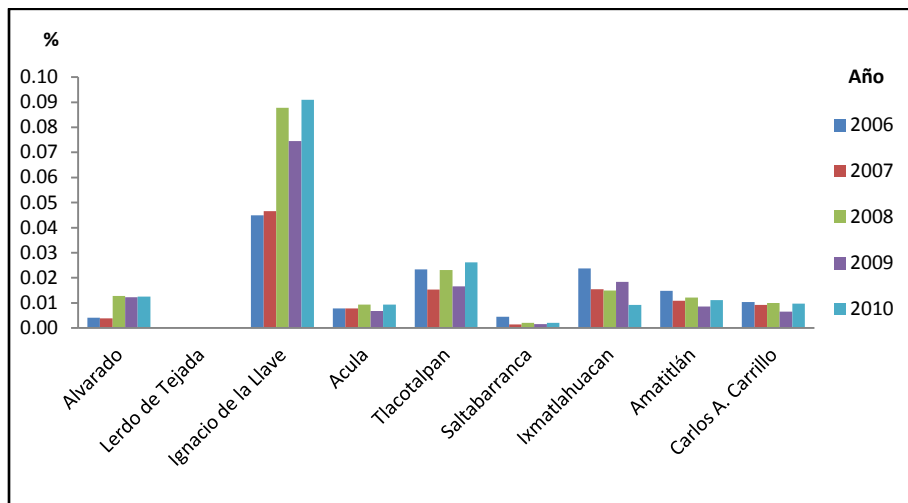


Figura 2-11 Proporción de la superficie subsidiada de ganadería extensiva (SSGE) por municipio y año.

Los municipios como: Amatlán y Alvarado (2006-2007, respectivamente), demuestran la ineficiencia de la actividad. En estos municipios el subsidio representa más del 100% de lo obtenido por la ganadería extensiva (Figura 2-12). Debe aclararse, que este comportamiento se observa sólo en el caso de las hectáreas subsidiadas (Figura 2-11).

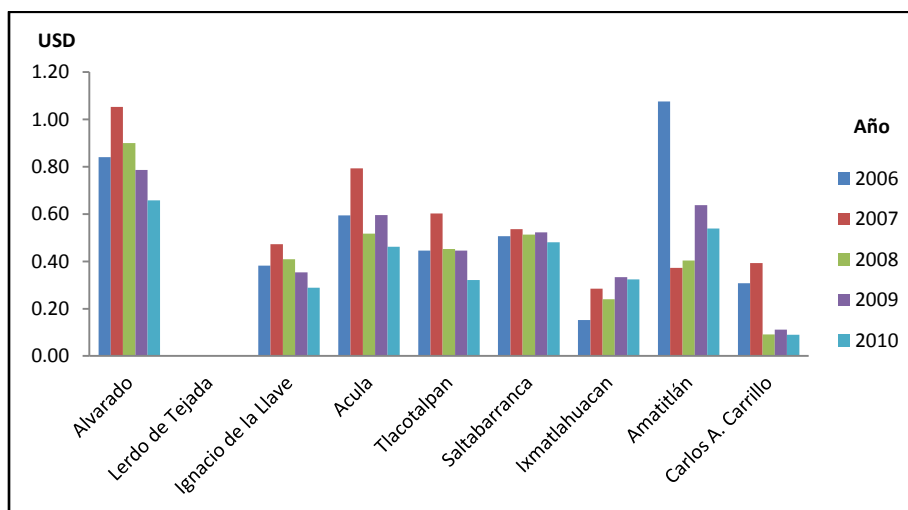


Figura 2-12 Proporción del subsidio por cada USD de ingreso por la ganadería extensiva y por año.

En la Figura 2-13 se muestra la diferencia entre las hectáreas que perciben subsidio (IMDCS) y las que no lo perciben (IMD), a partir de la inclusión del subsidio en el ingreso medio

deflactado por subsidio (IMSD). El comportamiento del uso del suelo en el SLA está determinado a partir del beneficio económico adicional que representa recibir subsidio del gobierno, independientemente del nivel y cantidad de subsidio recibido. Entre el 2006 y 2010, la superficie total subsidiada aumentó de 1.7% a 2.83% (2006-2010, respectivamente).

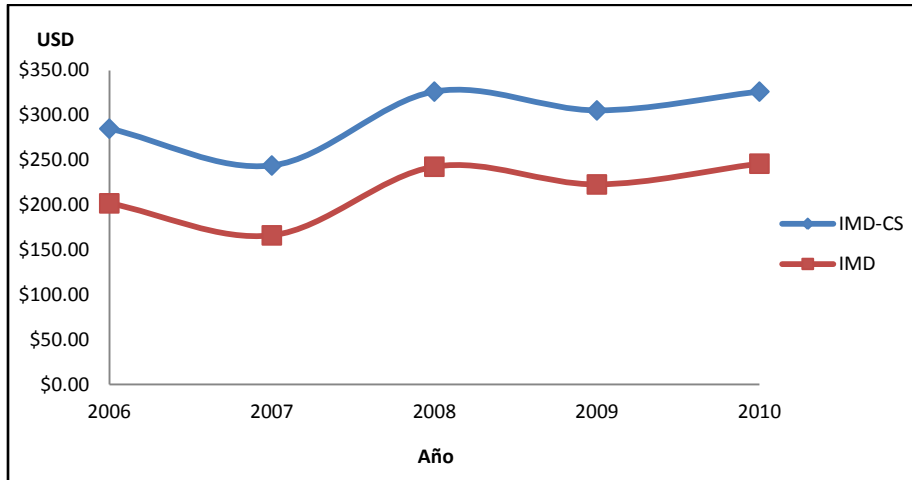


Figura 2-13 Comparación del ingreso medio deflactado (IMD) y del ingreso medio deflactado por hectárea cuando hay un subsidio (IMD-CS) en la ganadería extensiva, en el Sistema Lagunar de Alvarado, por año.

2.4.2. Ingresos y subsidios del cultivo de caña de azúcar

La superficie del SLA destinada al cultivo de caña de azúcar tiene una tendencia estable entre 2006 y 2009 y un cambio entre 2009 y 2010 (Figura 2-14), debido al aumento en los precios del mercado (Figura 2-16). Ante esto, se dio una respuesta de los productores en términos de la oferta de caña de azúcar.

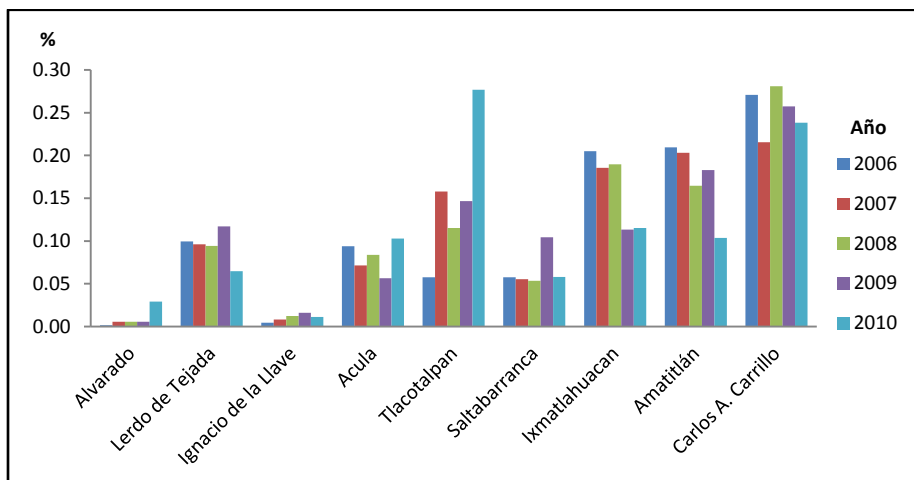


Figura 2-14 Proporción del cultivo de caña de azúcar respecto a la superficie por municipio y por año.

Sin embargo, a partir de los factores internos de la producción en los cultivos de caña de azúcar relacionados con el rendimiento medio por hectárea (RM) (Figura 2-15), es decir, la producción media de toneladas de caña de azúcar por hectárea y municipio, así como en cada uno de los años, se observa como varía de un municipio a otro y de un año a otro. De esta manera, el rendimiento medio por hectárea (RM) fluctuó entre 49 t ha⁻¹ (Acula) y 86 t ha⁻¹ como Lerdo de Tejada, Tlacotalpan y Saltabarranca (Figura 2-15) que destacan las posibilidades de los agricultores para tener mayores ingresos. Empero, el precio dictado por el mercado es un componente importante en la función del ingreso.

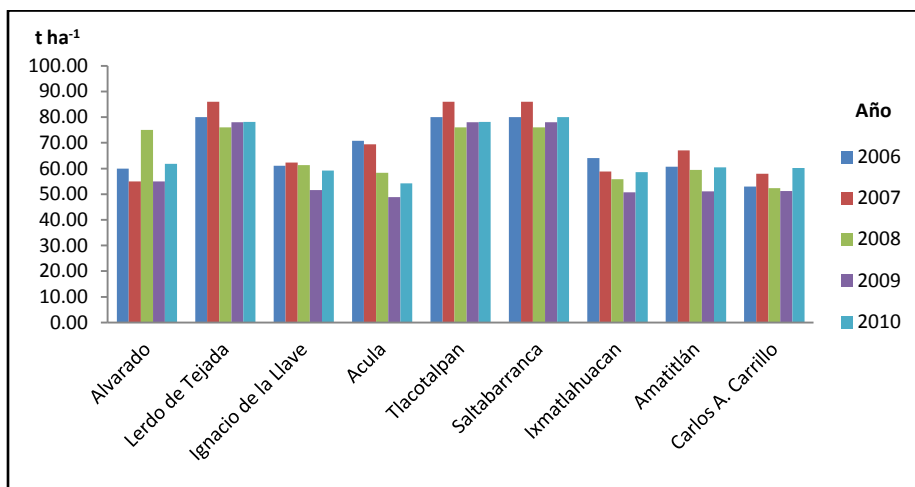


Figura 2-15 Rendimiento medio por hectárea (RM) de cultivo de caña de azúcar, por municipio y por año.

La Figura 2-16 muestra que el precio medio deflactado (PMD) es menor que el precio medio corriente (PMC), esto significa que en términos reales el precio por tonelada de caña de azúcar no se ha apreciado respecto al índice nacional de precios al consumidor (INPC).

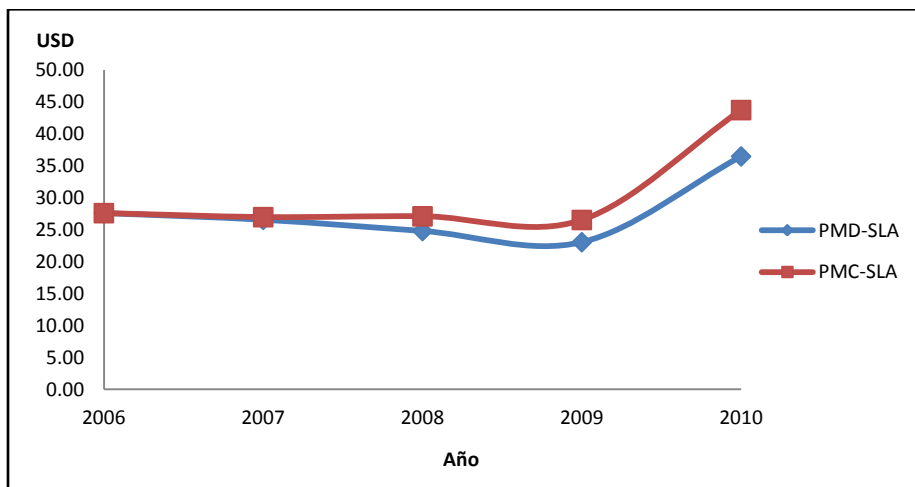


Figura 2-16 Comparación del precio medio deflactado (PMD) y el precio medio corriente (PMC) por tonelada (t) de caña de azúcar en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA), por año.

Esto tiene una relación directa con el ingreso y el aumento de la superficie de los cultivos de caña de azúcar. Sin embargo, el PMC y PMD se comportan de diferente forma en cada uno de los municipios (Figura 2-17), debido al esquema de negociación de la producción, lo cual ya fue presentado en el planteamiento de la problemática. El precio medio deflactado (PMD) por hectárea y municipio fluctuó entre 20.5 USD/ha/2006 y 38.5 USD/ha/2010. Cada municipio tiene diferente PMD (Figura 2-17) debido a la negociación del precio-producto entre las organizaciones campesinas del sector cañero y los ingenios (industria que produce azúcar). Los agricultores de los diferentes municipios se encuentran organizados en diferentes asociaciones y éstos a su vez negocian con el ingenio con quien tienen establecido el contrato de la venta de la producción. Este tipo de negociación tiene como resultado un mercado variado en lo que respecta a los precios de la tonelada de la caña de azúcar.

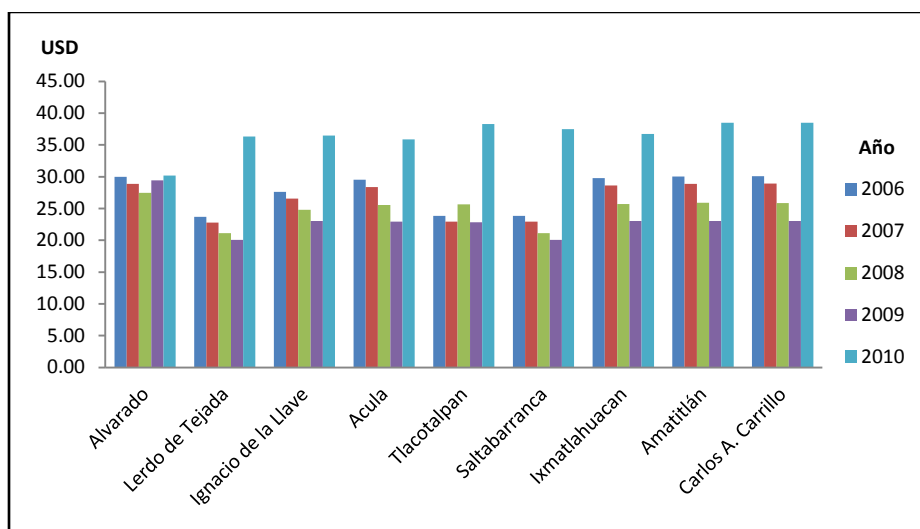


Figura 2-17 Precio medio deflactado (PMD) por hectárea, municipio y año en el cultivo de caña de azúcar.

De la misma forma, el ingreso total deflactado (ITD) no se ha apreciado conforme al índice de nacional de precios al consumidor (INPC). Prueba de ello es la comparación con el ingreso total corriente (ITC) (Figura 2-18), 32×10^9 y 106×10^9 USD/2009-2010, entre el período 2006-2010. El ITD está en función de la superficie cultivada de caña de azúcar, debido a que los precios no se han apreciado en términos reales con base en el índice nacional de precios (INPC) y el rendimiento medio (RM) por hectárea no ha aumentado. De acuerdo a la Figura 2-18, existe una correlación directamente proporcional entre el precio medio deflactado (PMD) (mostrado en la Figura 2-16) y la superficie cultivada coeficiente $R= 0.923$ y valor $P= 0.025$, de la misma forma, una correlación entre el ingreso total deflactado (ITD) y la superficie destinada al cultivo de caña de azúcar (Figura 2-18), con un coeficiente $R= 0.979$ y valor $P= 0.004$. Las correlaciones anteriores son resultado del valor de Pearson.

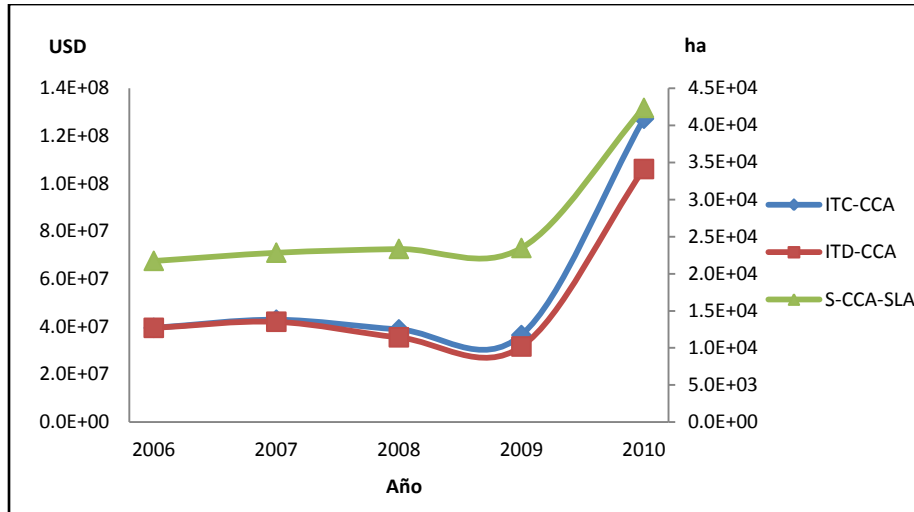


Figura 2-18 Ingreso total corriente (ITC) e ingreso total deflactado (ITD) de la superficie (S) con cultivo de caña de azúcar (CCA) en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

De la misma forma, que el precio medio deflactado (PMD) y el ingreso total deflactado (ITD), el ingreso medio deflactado (IMD) no se aprecia en términos reales con base en el índice nacional de precios al consumidor (INPC) (Figura 2-19). En el SLA el valor económico otorgado por el mercado, cuya actividad económica directa es el cultivo de la caña de azúcar fluctuó entre 1, 373 y 2, 400 USD/ha/2009-2010 (Figura 2-19). Es decir, cada agricultor que opta por dedicar una hectárea de humedal costero recibe un ingreso que es dictado por el mercado (precio medio deflactado PMD). Sin embargo, esto sucede a nivel general en el SLA, y cada municipio a pesar de tener un comportamiento similar, tiene diferentes ingresos medios deflactados, lo que depende del precio medio deflactado y del rendimiento medio por hectárea en cada municipio.

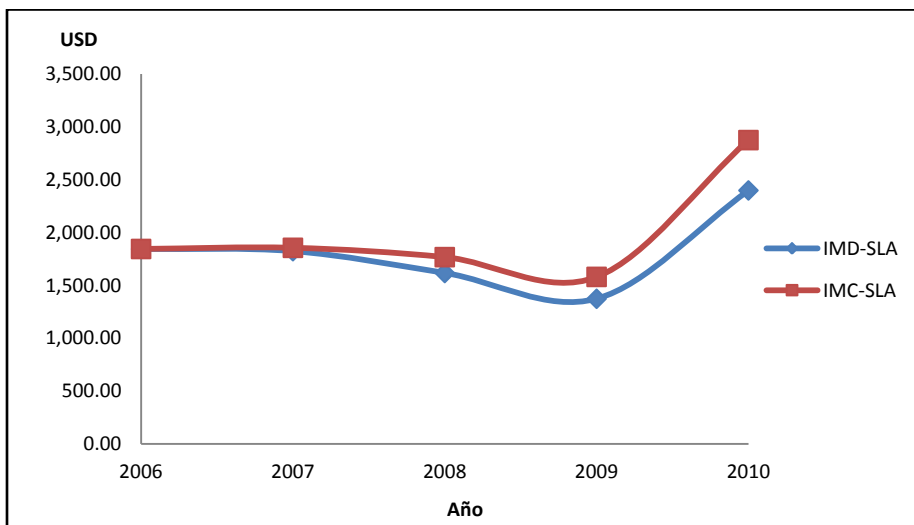


Figura 2-19 Comparación del ingreso medio deflactado (IMD) y del ingreso medio corriente (IMC) en el cultivo de caña de azúcar en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

En la Figura 2-20 se muestran los resultados del ingreso medio deflactado por hectárea (IMD), municipio y por año. Al observar el análisis a nivel municipal, los resultados del valor económico (IMD) de los humedales costeros (por uso directo en cultivo de caña de azúcar) fluctuaron entre 1.1×10^3 y 3.0×10^3 USD/ha/2006-2010, debido a la diferencia del precio medio deflactado por tonelada (PMD) de caña de azúcar y el rendimiento medio por hectárea (RM) por municipio (Figuras 2-15 y 2-17). A pesar de la existencia de un comportamiento relativamente homogéneo en el ingreso medio deflactado por hectárea (IMD), si se compara el IMD por hectárea (Figura 2-20) por municipio y por año, con la superficie destinada al cultivo de la caña de azúcar, se puede analizar que no existe una relación tan marcada, como en el caso del precio medio por tonelada (PMD) de caña de azúcar con la superficie cultivada.

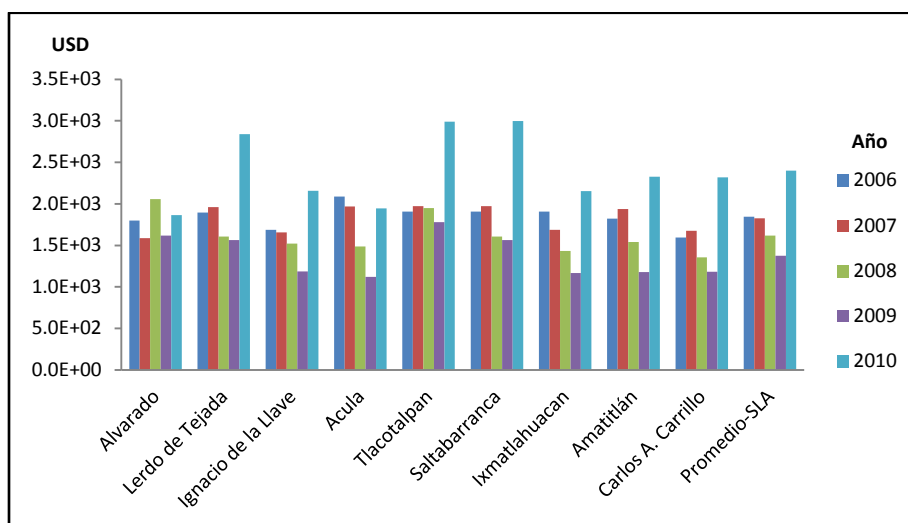


Figura 2-20 Ingreso medio deflactado (IMD) de los cultivos de caña de azúcar por hectárea, por municipio y por año.

El ingreso total deflactado (ITD) y el ingreso medio deflactado (IMD) de los cultivos de caña de azúcar, deben ser comparados con el subsidio que el gobierno federal destina a los beneficiarios de la agricultura. La Figura 2-21 muestra el resultado de la proporción que representa la superficie subsidiada (SS) de los cultivos de caña respecto a la superficie municipal de dichos cultivos. Municipios como Acula, Tlacotalpan, Saltabarranca, Ixmattlahuacan y Amatlán, son los que tienen una mayor cobertura de superficie subsidiada en términos proporcionales. Sin embargo, el total de los subsidios (USD) se comporta de forma diferente, como resultado de la desigualdad en la distribución de la ayuda gubernamental a la actividad agrícola (caña de azúcar), además debido a factores como la acumulación y tenencia de la tierra por productor de caña de azúcar, lo que supone una relación entre la extensión cultivada de la caña de azúcar y el incentivo económico otorgado por el gobierno federal.

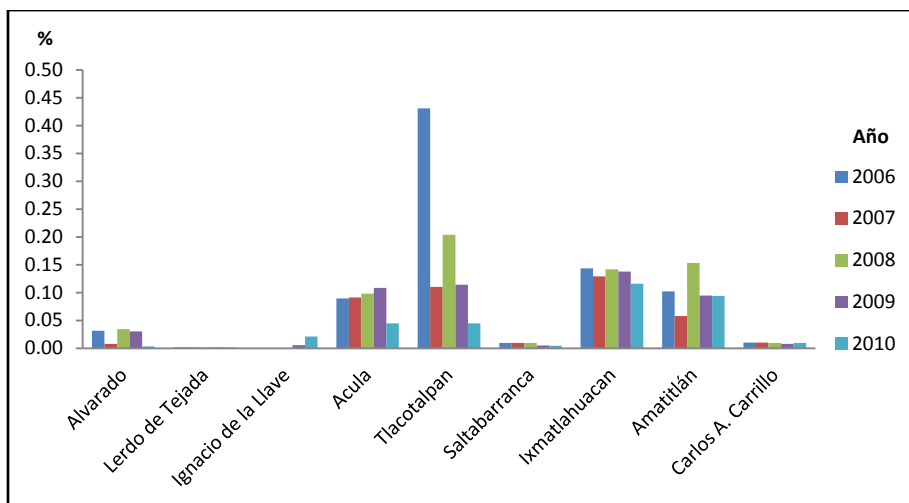


Figura 2-21 Proporción subsidiada de la superficie destinada a los cultivos de caña de azúcar en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

La Figura 2-22 muestra la distribución del ingreso total por subsidio en cada uno de los municipios y años. Coincide con la Figura 2-21 en cuanto a la relación entre el ingreso total deflactado por subsidio (ITSD) y la proporción de superficie subsidiada.

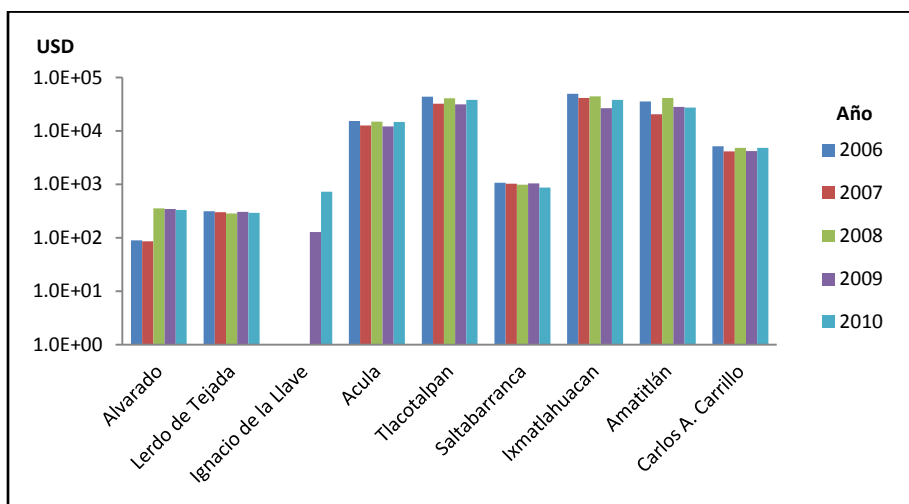


Figura 2-22 Ingreso económico por subsidio federal (ITSD) en el cultivo de caña de azúcar en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

El ingreso medio deflactado por subsidio (IMSD) analiza las diferencias del apoyo del gobierno federal y la distribución de éste entre las hectáreas en los municipios. El IMSD fluctuó entre 52 y 90 USD/ha/2006-2010 (Figura 2-23). Cabe señalar que los años en los que Ignacio de la Llave no tuvo subsidio, no fueron incorporados en el rango, debido que sólo se quiso exponer la variación en la distribución de los que si recibieron dicho apoyo federal. La variación de los resultados es tal que se observa claramente la inequidad en la distribución de los subsidios por

municipio, toda vez que debiera ser el mismo monto (USD) lo que se destina para una hectárea en cualquier municipio.

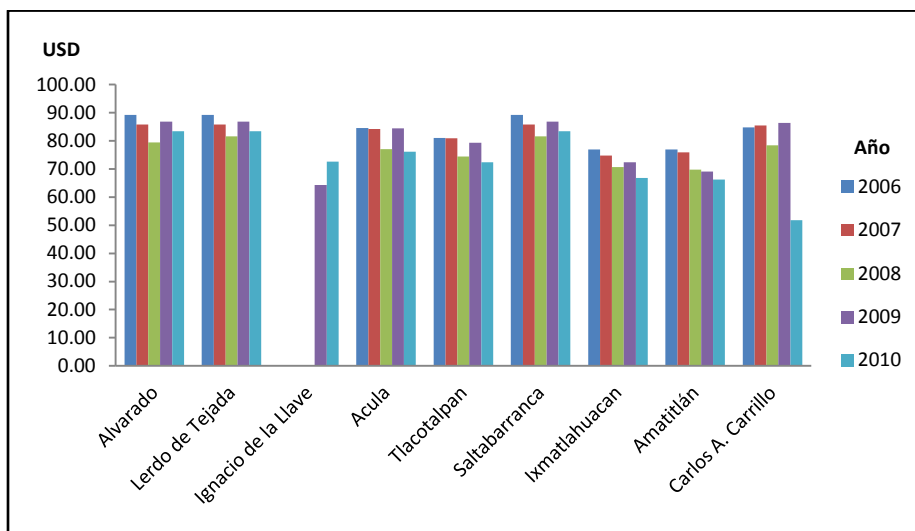


Figura 2-23 Ingreso medio deflactado por subsidio (IMSD) de los cultivos de caña de azúcar en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

De la misma forma que en la ganadería extensiva, es necesario analizar la proporción que representa el subsidio dentro del ingreso medio deflactado por hectárea (IMD) del cultivo de caña de azúcar. La proporción que representa el ingreso medio deflactado por subsidio (IMSD) del ingreso medio deflactado (IMD) de los cultivos de caña de azúcar varía entre 2.23 y 7.54%, es decir, por cada dólar (USD) que obtiene un agricultor por hectárea cosechada, la aportación del gobierno federal se ve expresada en la Figura 2-24.

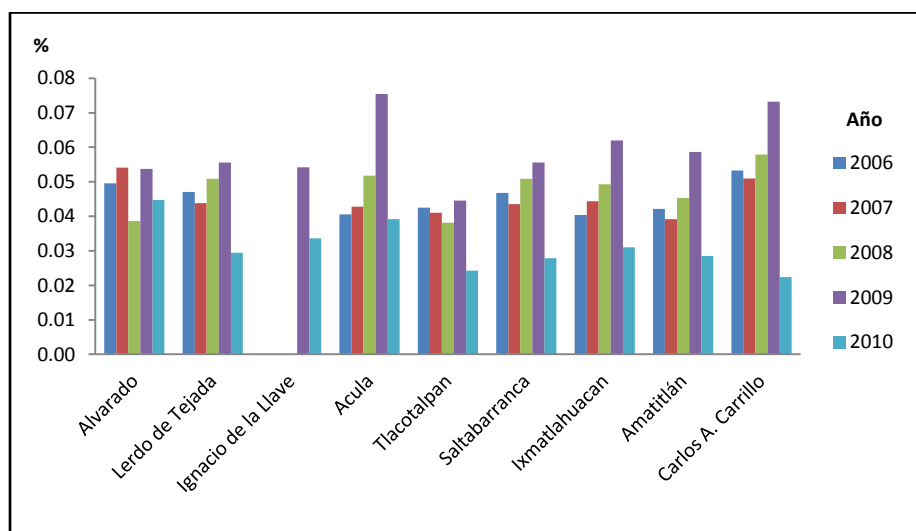


Figura 2-24 Proporción del subsidio por cada dólar (USD) del ingreso medio deflactado por hectárea (IMD) de los cultivos de caña de azúcar en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

2.4.3. Coste de oportunidad entre los cultivos de caña de azúcar y la ganadería extensiva

A partir del marco conceptual de este trabajo, es posible entender el COE como todo aquello a lo que se renuncia para obtener un objetivo. En este caso, cada municipio y agricultor o ganadero, está sujeto a un coste de oportunidad, entre destinar una hectárea de HNT o bien, de HT, para el cultivo de la caña de azúcar o para la ganadería extensiva. En principio se exponen los resultados generales del coste de oportunidad económica (COE) en el SLA (Figura 2-25). El coste de oportunidad económico con subsidio (COE-S) expresado en la Figura 2-25, expone lo que se pierde en promedio en el SLA por año, al destinar una hectárea de humedal costero (HNT o HT) para la ganadería extensiva. El coste de oportunidad económico con subsidio (COE-S) incluye el ingreso medio deflactado (IMD) por hectárea (para el cultivo de caña y para la ganadería extensiva) más el subsidio destinado a cada una (ingreso medio por subsidio deflactado IMSD). Los resultados del COE-S sólo aplican en el caso del porcentaje de hectáreas subsidiadas (Figuras 2-10 y 2-20), debido a que el coste de oportunidad económico (COE) entre la ganadería y el cultivo de caña de azúcar sólo contempla el ingreso medio deflactado por hectárea (IMD), en ausencia del apoyo del gobierno, sin embargo, en la práctica ambas actividades son incentivadas mediante los subsidios. Además, el COE-S expresa el valor otorgado (dólar USD) a cada hectárea de humedal costero en función del mercado y el gobierno (subsidios). Los valores fluctuaron entre 1.3×10^2 USD/ha/2009 y 2.3×10^3 USD/ha/2010.

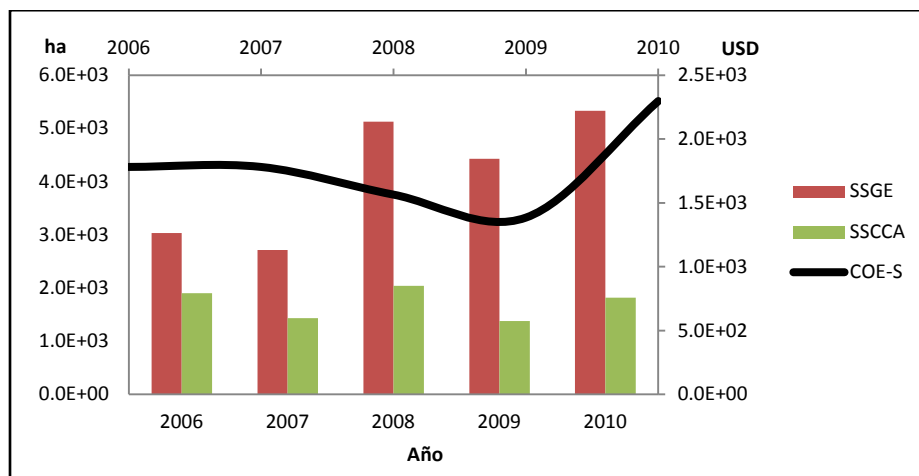


Figura 2-25 Coste de oportunidad económico con subsidio (COE-S) por hectárea entre el cultivo de caña de azúcar y la ganadería extensiva en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA), y por año.

El coste de oportunidad económico (COE) entre el cultivo de caña y la ganadería extensiva tiene un comportamiento similar al COE-S por hectárea. Sin embargo, cada municipio tiene diferente COE-S con respecto a otro, debido al precio medio deflactado por tonelada (PMD) de caña de azúcar y al rendimiento medio por hectárea (RM) por hectárea en cada municipio. En el periodo 2006-2010 fluctuó entre 508 USD/ha/2008 y 2.2×10^3 USD/ha/2010 (Figura 2-26). En

términos estrictamente económicos, de acuerdo al ingreso medio deflactado por hectárea (IMD) percibido, resulta más atractivo destinar una hectárea de humedal costero (HNT o HT) al cultivo de caña que a la ganadería extensiva, en el caso de las hectáreas subsidiadas.

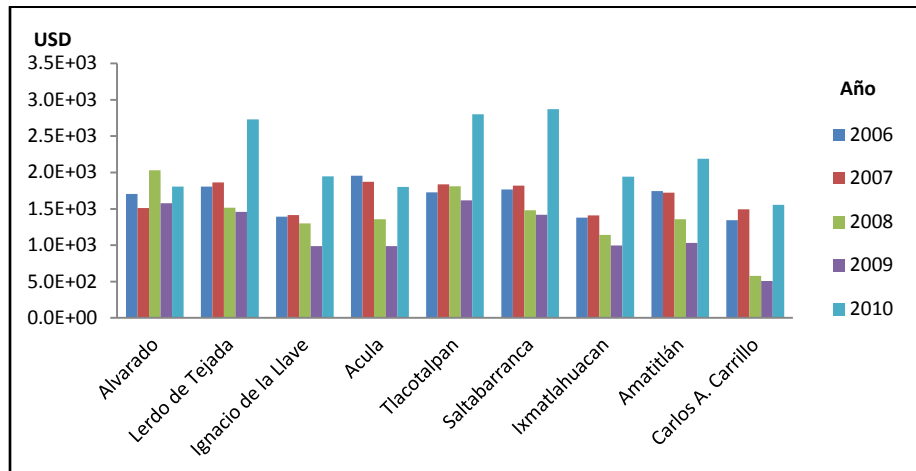


Figura 2-26 Coste de oportunidad (COE-S) con subsidio entre los cultivos de caña de azúcar y la ganadería extensiva, en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

El coste de oportunidad económico (COE-S) sin subsidio (hectáreas no subsidiadas) fluctúa entre 513 USD/ha/2009 y 2,836 USD/ha/2010, en el periodo 2006-2010 (Figura 2-27). Al comparar las Figuras 2-26 y 2-27, se observa que los subsidios incrementan el COE entre el cultivo de caña y la ganadería extensiva. Asimismo, disminuyen el valor (USD) de una hectárea de humedal destinada a la ganadería extensiva. El subsidio del gobierno representa un coste de oportunidad para la sociedad debido a que proviene de los impuestos de la sociedad y se renuncia al gasto en otras áreas para incentivar dichas actividades. Además hay que considerar el impacto generado en los humedales costeros.

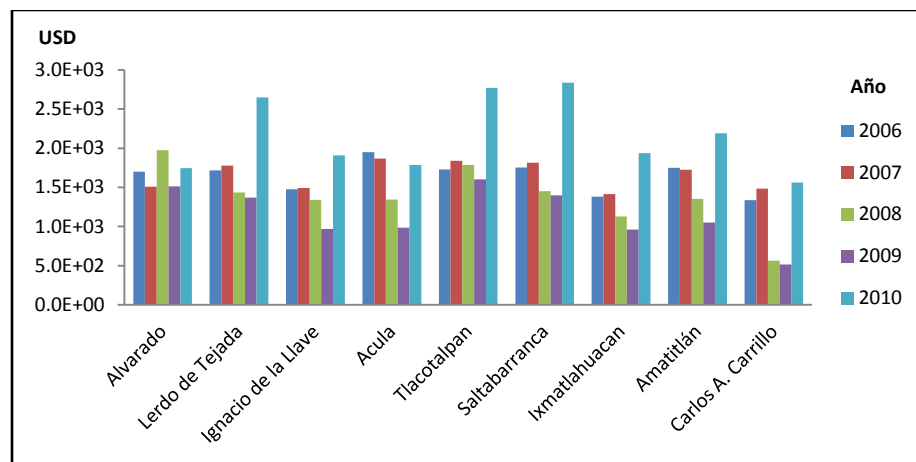


Figura 2-27 Coste de oportunidad económico (COE) sin subsidio entre los cultivos de caña de azúcar y la ganadería extensiva, en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

2.4.4. Ingresos económicos de la pesca

El ingreso total deflactado (ITD) en cada una de las cooperativas encuestadas, éste fluctuó entre 108,000 USD “Mujer Experimentando” y 257,000 USD “Plaza de Armas” (Figura 2-28).

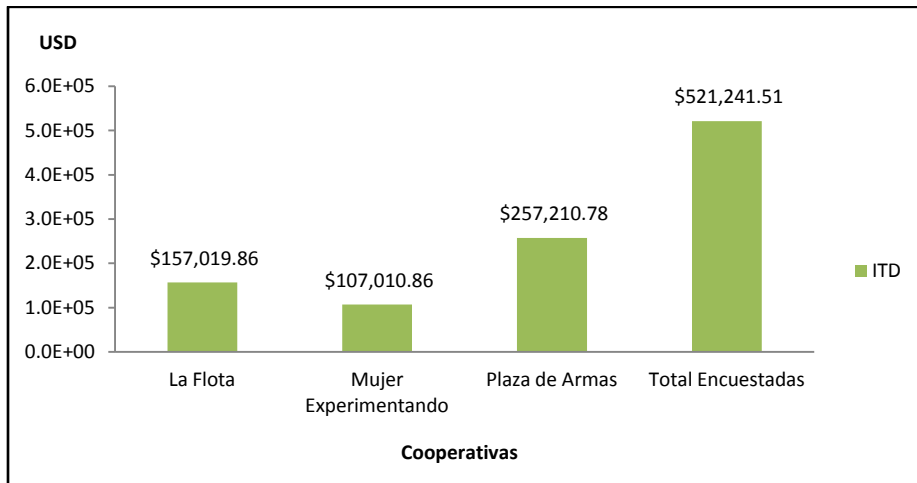


Figura 2-28 Ingreso total deflactado (ITD) de la pesca por cooperativa y total de las tres cooperativas encuestadas (Total Encuestadas) en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

El ingreso total deflactado (ITD) promedio estimado para el cálculo del (ITD) de las cooperativas no encuestadas (N.E.) fue 1.7×10^5 USD/2010, de ahí que el ITD estimado de las 86 cooperativas restantes (cooperativas no encuestadas N.E.) fue 2.7×10^7 USD/2010 (Figura 2-29). A partir de la sumatoria del ITD de las cooperativas no encuestadas (N.E.) y el ITD de las cooperativas encuestadas (Figura 2-29) se obtuvo el ingreso total deflactado (ITD) del SLA, el cual fue 2.8×10^7 USD/SLA/2010 (Figura 2-29).

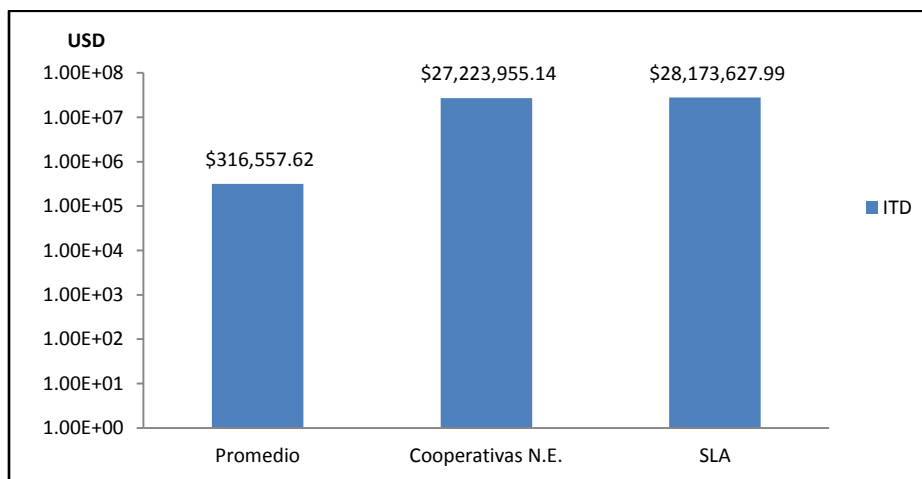


Figura 2-29 Resultados del ingreso total deflactado (ITD) de la pesca en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

2.4.5. Consumo de agua de mantos freáticos por municipio

El consumo de agua por municipio tiene una relación directamente proporcional a la población de cada uno, tal y como se demuestra la correlación de Pearson $R = 0.887$ con un valor $P = 0.001$. Dicho comportamiento se observa en la Figura 2-30. De esta forma, se observa la cantidad de agua de los mantos freáticos que se destina al uso doméstico por municipio. Cabe señalar que ninguno de los municipios tiene un sistema de potabilización de agua, esto comprueba la contribución de los humedales costeros no transformados (HNT). Además, el bajo costo que pagan los municipios debido a la disponibilidad de agua gracias a los humedales costeros no transformados (HNT).

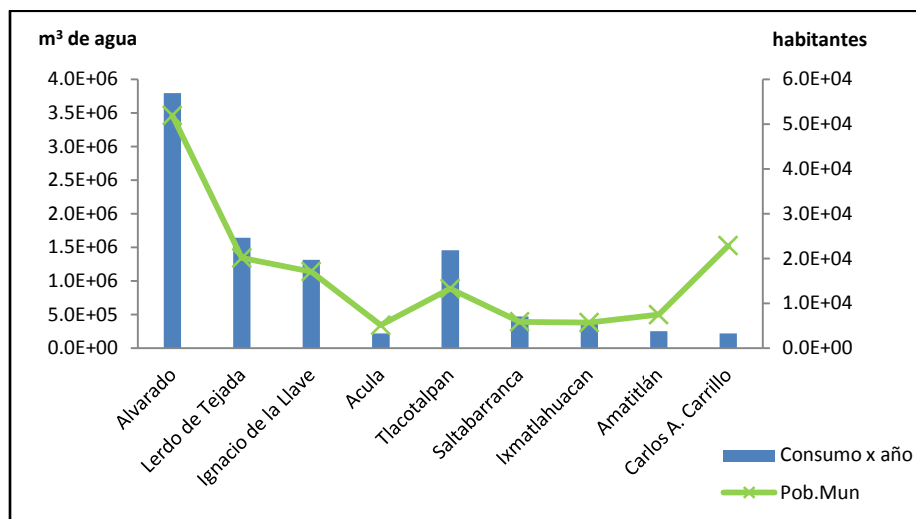


Figura 2-30 Comparación del consumo de agua por municipio y año (Consumo x año) y población por municipio (Pob. Mun) en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

El costo por pago de derechos de agua (USD) de los municipios se ubica entre 706 USD/Acula/2010 hasta 19×10^3 USD/Tlacotalpan/2010; asimismo, tienen el menor y mayor consumo de agua (Figura 2-31), respectivamente. Esta relación se mantiene en todos los municipios como lo muestra la correlación de Pearson $R = 0.679$ y su valor $P = 0.045$. Sin embargo, si se observa la correlación entre el consumo medio x habitante/día (CM. x hab x día) y el pago (USD) de agua por municipio (pago USD), es mayor con un coeficiente de Pearson $R = 0.711$ y un valor $P = 0.032$. Esta relación, puede estar dictada por la población que no tiene acceso al agua entubada (no significa que sea potable). Debido a que para estimar el consumo medio por habitante, se toma la población total del municipio y no la que realmente tiene acceso al agua extraída de los mantos freáticos por municipio (agua entubada). Esto hace suponer que los municipios además de su zona de disponibilidad de agua, tienen la ventaja de la población rural que no cuenta con acceso al agua entubada y de esta forma registrar menos consumo.

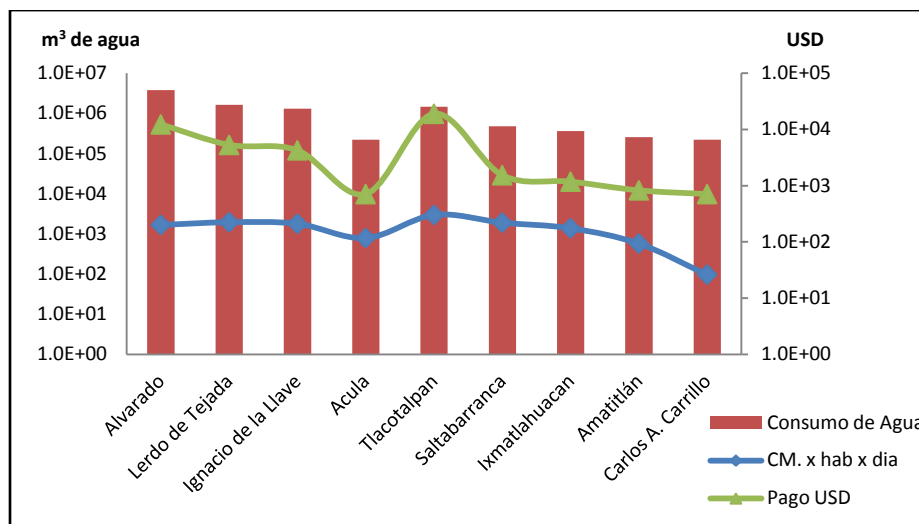


Figura 2-31 Consumo total de agua por municipio y por año (Consumo de agua), consumo de agua por municipio, por habitante y por día (CM x hab x día), y pago en dólares (USD) por municipio para contar con derechos a extracción de agua (Pago USD).

2.4.6. Ingreso económico por actividades adicionales (apicultura)

De las 294 encuestas aplicadas en los municipios de Alvarado, Lerdo de Tejada, Ignacio de la Llave y Acula, 27 personas (9%) dijeron realizar apicultura silvestre para comercio de la miel virgen de abeja, debido a su sabor, calidad y mayor preferencia en el mercado local (municipios *in situ*). Nueve personas de cada actividad (agricultura, ganadería y pesca) respondieron afirmativamente acerca de la extracción de miel virgen de abeja (Tabla 2-4). La contribución económica de los humedales costeros no transformados (HNT) en función de la apicultura, varía de acuerdo al ingreso deflactado por persona (ITD) que produce desde 82.5 USD/2010 hasta 240 USD/2010 dependiendo lógicamente, de la cantidad media comerciada (QM) y del precio medio del mercado (PMD). En total, de acuerdo a las 27 personas que respondieron afirmativamente, se determina que alrededor de 3.8×10^3 USD/2010 es el ITD de los encuestados (Tabla 2-4). Cabe aclarar que más del 70% de la población del SLA se encuentra ubicada en el sector primario de la economía (agricultura, ganadería y pesca).

Tabla 2-4 Resultados de los encuestados en la actividad apícola. QM: cantidad media comerciada PMD: precio medio deflactado. ITD: ingreso total deflactado por persona.

Actividad	QM	PMD	ITD/Persona	ITD Encuestados
Agricultor	15.00	\$5.50	\$82.50	\$742.50
Ganadero	20.00	\$5.00	\$100.00	\$900.00
Pescador	37.00	\$6.50	\$240.50	\$2,164.50
Total	72.00		\$423.00	\$3,807.00

2.4.7. Ingreso potencial por secuestro de carbono (SCO₂)

El municipio con menor proporción de HNT respecto a su superficie municipal es Carlos A. Carrillo, mientras que Alvarado, Acula e Ignacio de la Llave son los municipios que aún mantienen mayor superficie (Figura 2-32) relativa de HNT. A partir de la Figura 2-2 se determinó el área de humedales costeros no transformados (HNT) por tipo de vegetación, como resultado de esto, la proporción de HNT por municipio (Figura 2-32) es la base para estimar el potencial de secuestro de carbono (SCO₂) por superficie.

A partir de la proporción de humedales no transformados (HNT) es posible determinar la potencialidad y oportunidad de cada municipio con miras hacia manejo de los humedales costeros, en función de las estrategias de conservación de HNT, restauración de humedales costeros transformados (HT) y aprovechamiento para las actividades de uso directo (cultivo de caña de azúcar y ganadería).

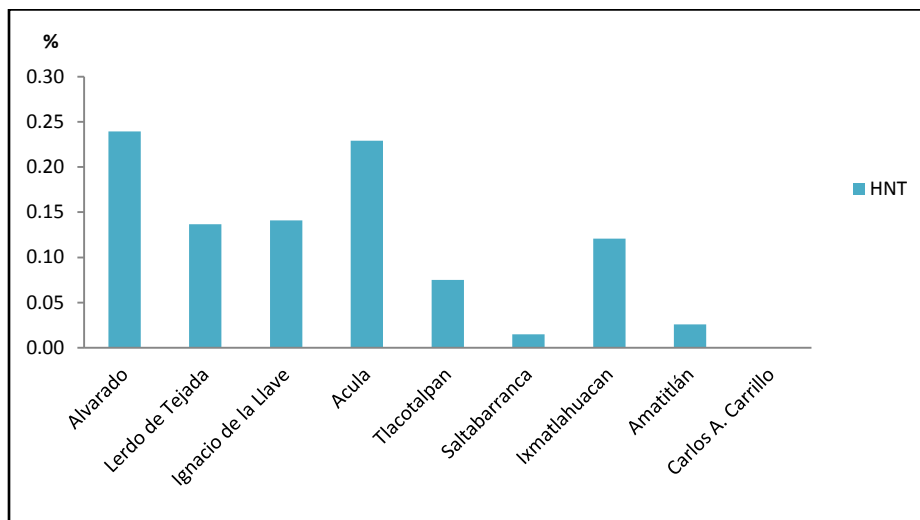


Figura 2-32 Proporción de humedales no transformados (HNT) por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado.

En la Figura 2-33 se expone la proporción de HNT por cada municipio, se puede comparar la cobertura vegetal que todavía se mantiene sin ser transformado. Se observa como Alvarado es el que tiene mayor proporción de Manglar, mientras que otros municipios como Lerdo de Tejada, Amatlán, Saltabarranca y Tlacotalpan, guardan la mayor proporción de Popal. Los HNT como la selva inundable/selva son los que menos aparecen en la cobertura vegetal, 0.09 % del total del SLA y éste se encuentra distribuido en seis municipios con el 0.01 % del total de HNT por municipio. El manglar no se presentó en todos los municipios, la selva inundable/selva es la que menos proporción presentó, sin embargo su secuestro de carbono es mayor (Figura 2-34).

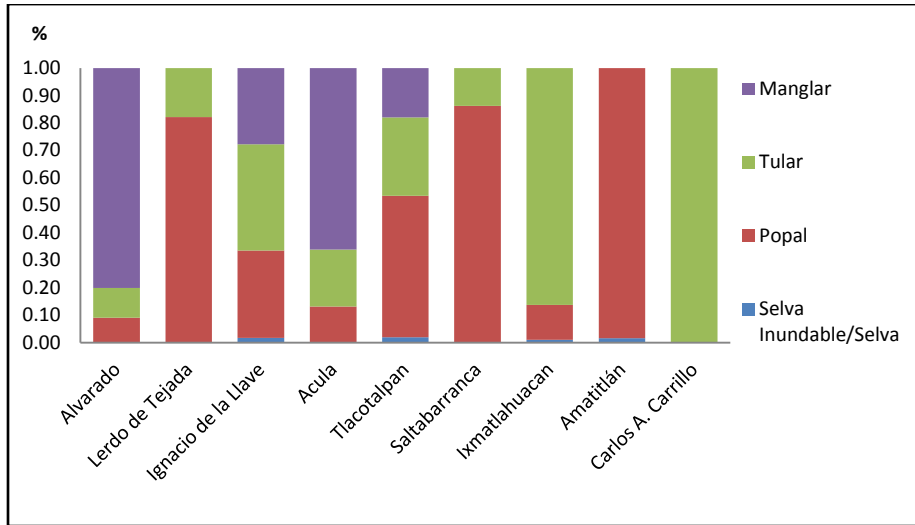


Figura 2-33 Proporción por tipo de humedal respecto del total de humedales no transformados (HNT) por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

La Figura 2-34 muestra que el manglar es dentro de los humedales no transformados (HNT) del SLA, el que mayor secuestro de carbono (SCO_2) sostiene en términos absolutos (debido a su cobertura) con un total de $9.9 \times 10^6 \text{ t ha}^{-1}$. Sin embargo, debido a la capacidad de SCO_2 por hectárea, a pesar de su casi nula cobertura respecto a los demás, la selva inundable/selva aporta un total de $182 \times 10^3 \text{ t ha}^{-1}$ de SCO_2 , cifra equiparable en términos proporcionales a los demás humedales costeros no transformados (HNT).

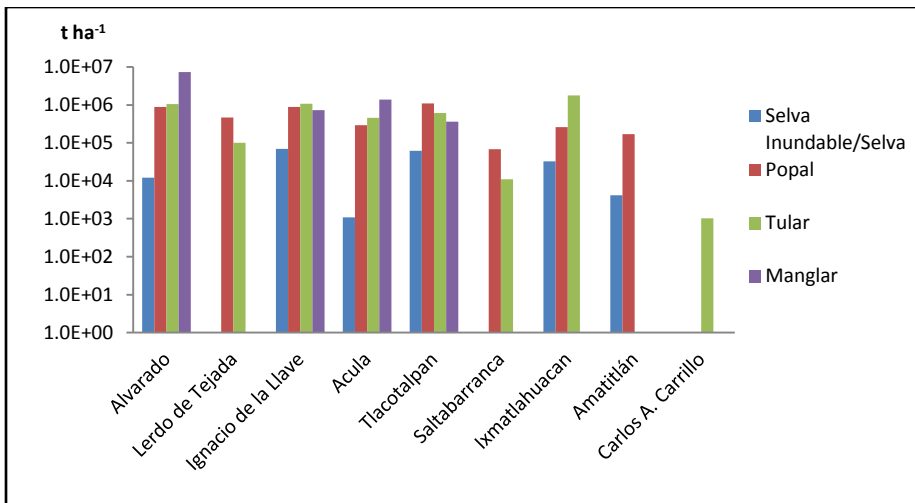


Figura 2-34 Total de toneladas de secuestro de carbono (SCO_2) por hectárea de humedal costero no transformado (HNT) y por municipio.

El ingreso medio deflactado (IMD) muestra la capacidad de ingreso que tiene cada hectárea de los distintos tipos de humedales no transformados (HNT). La selva inundable/selva tiene una capacidad de IMD de 7,015.68 USD/ha/2010, mientras que el manglar resulta con 4,705.15

USD/ha/2010. Los resultados corresponden al precio establecido en el mercado del carbono y la cantidad de t ha⁻¹ de SCO₂ (ver método del estudio) (Figura 2-35).

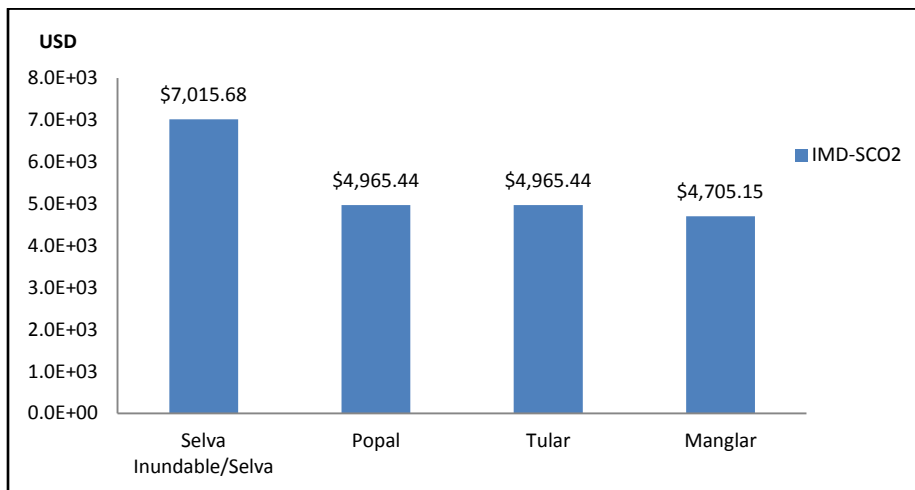


Figura 2-35 Ingreso medio deflactado (IMD) por secuestro de carbono (SCO₂) por hectárea (ha) de humedal no transformado (HNT).

Los resultados muestran la capacidad potencial que tiene cada municipio para la conservación de los HNT, en función de la t ha⁻¹ de secuestro de carbono (SCO₂). Alvarado, Ignacio de la Llave, Ixmattlahuacan, Acula y Tlacotalpan, son los que tienen mayor posibilidad de recibir pago por servicios ambientales por secuestro de carbono, sin embargo, los demás municipios también pueden aprovechar su ITD (Figura 2-36). El ITD tuvo una variación de 1 x 10⁴ USD/Carlos A. Carrillo hasta 94 x 10⁶ USD/Alvarado, dado por la cobertura vegetal de cada tipo de humedal no transformado (HNT) y la cantidad de t ha⁻¹ de SCO₂, al igual que el ingreso total deflactado (ITD) por cada tipo de humedal.

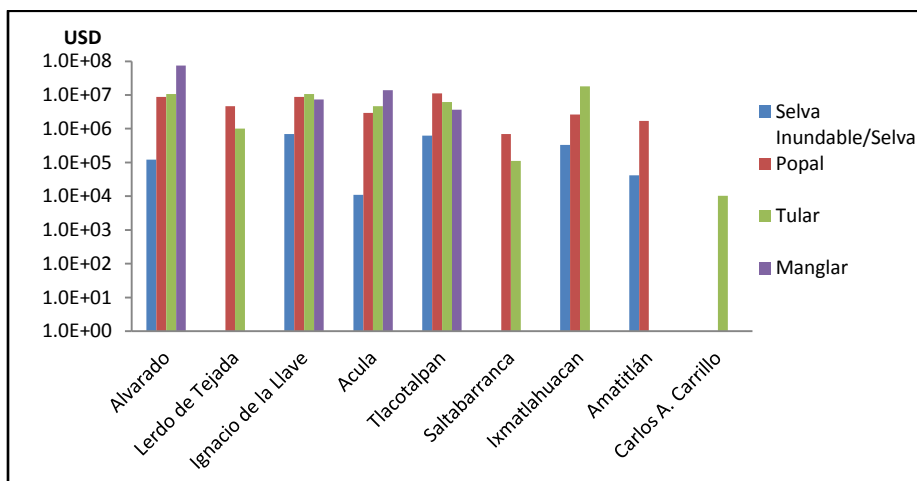


Figura 2-36 Ingreso total deflactado (ITD) por SCO₂, por municipio y por tipo de humedal no transformado (HNT).

2.4.8. Externalidades generadas por el cultivo de caña de azúcar

Una de las externalidades generadas por el cultivo de caña de azúcar (CCA) es la cantidad de dióxido de carbono emitido (CO₂e) a la atmósfera durante el proceso de cultivo, cabe señalar que los resultados no incluyen el CO₂e durante la cosecha. Los valores estimados varían en función de la superficie cultivada (Figura 2-2), en este sentido, se tiene un valor mínimo de 318 t de CO₂e/Alvarado/2006 hasta 28 x 10³ t de CO₂e/Tlacotalpan/2010. El SLA aumentó 50% el total (sumatoria del CO₂e por los municipios) de CO₂e (52 x 10³/CO₂e/2006 a 102 x 10³/CO₂e/2010). Sólo Amatitlán e Ixmattlahuacan muestran una tendencia estable (Figura 2-37).

Sin embargo, Alvarado, Ignacio de la Llave, Acula, Tlacotalpan y Carlos A. Carrillo exponen un aumento paulatino del CO₂e, lo que está relacionado con el precio medio deflactado (PMD) de la tonelada de caña de azúcar y una respuesta de los productores para responder a la demanda de caña de azúcar. Empero, al no poder aumentar el rendimiento medio (RM) por hectárea cosechada, incrementan la cantidad de superficie cultivada.

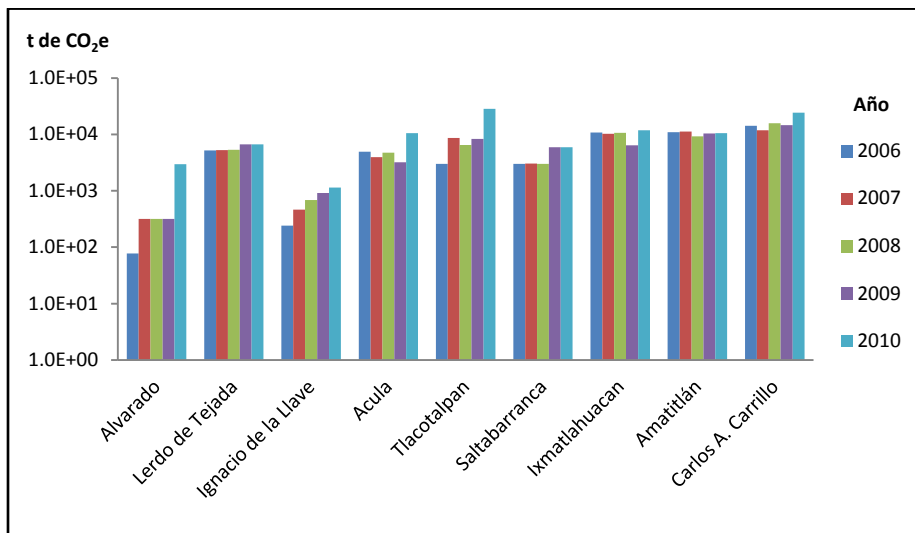


Figura 2-37 Toneladas (t) de emisiones de CO₂ (CO₂e) a la atmósfera por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

De la misma forma que ha aumentado la cantidad de carbono emitido a la atmósfera (CO₂e) por el cultivo de la caña de azúcar, lo hace el valor total en el mercado de dichas emisiones y por tanto el valor (USD) total de su externalidad ambiental; debido a que se consideró constante el precio del carbono (12 USD). El valor total de CO₂e en el SLA aumentó 50% de 6.2 x 10⁵ USD/2006 a 1.2 x 10⁶ USD/2010 (Figura 2-38), esto demuestra lo importante que resulta el precio del mercado como incentivo a los agricultores y el aumento de la superficie, dada la falta de un cambio tecnológico que aumente el RM por hectárea cultivada.

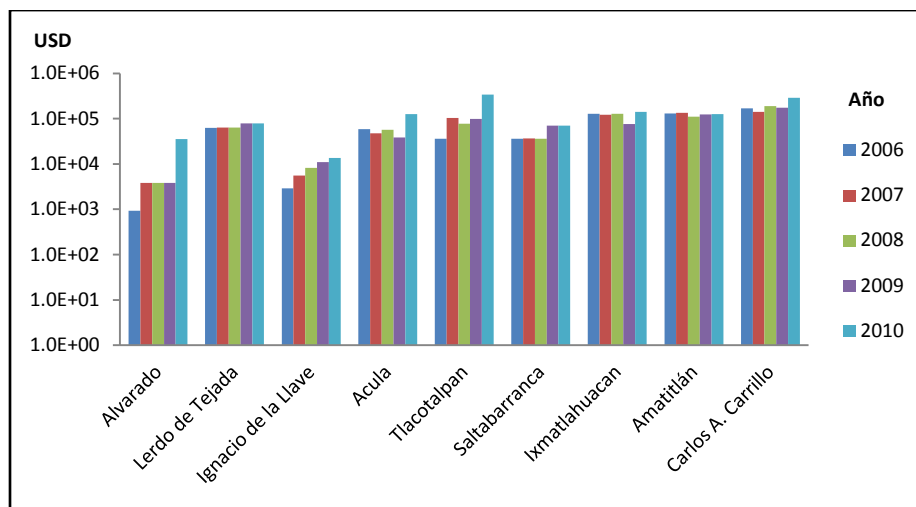


Figura 2-38 Valor en el mercado (USD) de las emisiones de CO₂ (CO₂e) producidas por el cultivo de caña de azúcar por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

2.4.9. Externalidad por caña de azúcar procesada

Los ingenios que se ubican Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) son: San Cristóbal, San Francisco el Naranjal, San Pedro y San Gabriel. Su cercanía y posición respecto a la zona de producción disminuye los costes de producción y maximizan el beneficio, en términos estrictamente de los costos de transporte. El ingenio San Cristóbal ubicado en el municipio de Carlos A. Carrillo, es el que procesa una mayor cantidad de toneladas (t) de caña de azúcar, 2.3×10^6 t/2006, mientras que el ingenio San Gabriel muestra el menor registro de caña de azúcar procesada con 136×10^3 t/2010 (Figura 2-39).

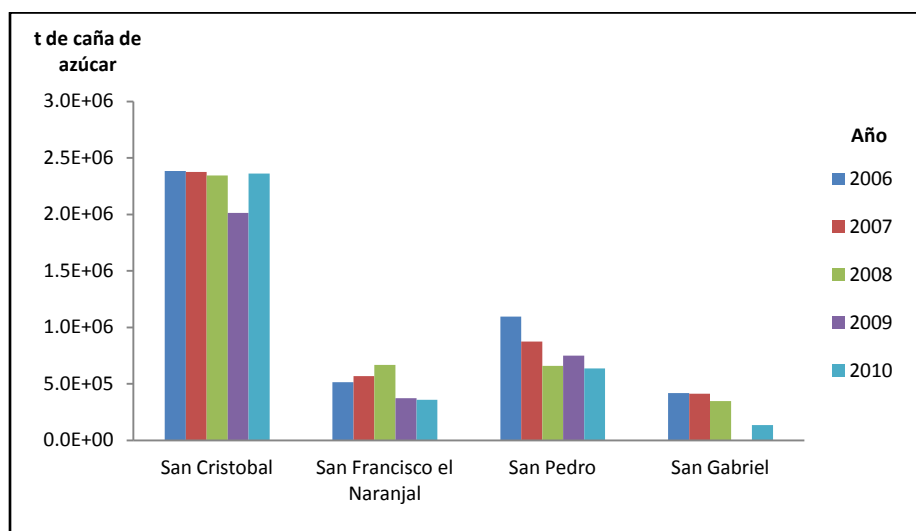


Figura 2-39 Toneladas (t) de caña de azúcar procesada por los cuatro ingenios ubicados en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

De acuerdo a los resultados (Figura 2-40) la emisión de carbono CO₂e ha variado a través del tiempo, entre 132 x 10³ t/2006 y 104 x 10³ t/2010 de CO₂e, aún cuando existe una disminución en el total, y en cada uno de los ingenios, ello puede estar relacionado a la cercanía de otros 10 ingenios en zonas aledañas al SLA, así como al precio medio deflactado (PMD) de compra que ofrecen ingenios fuera del límite administrativo del SLA.

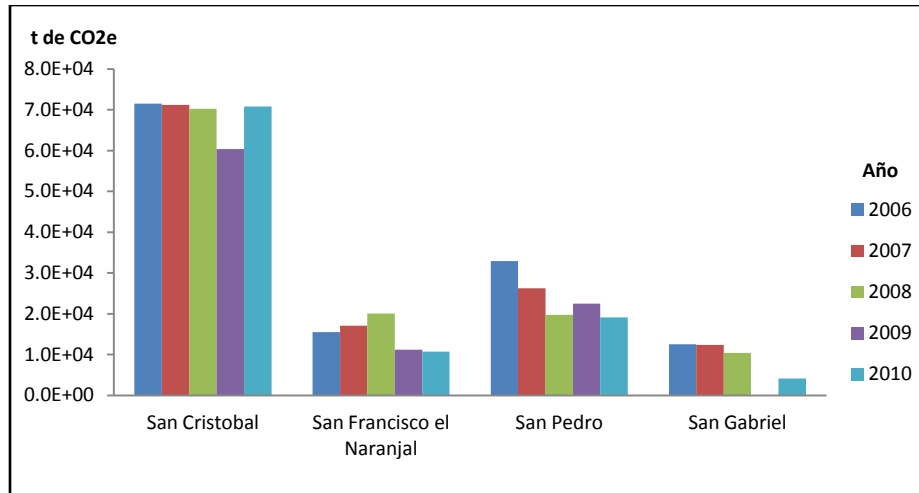


Figura 2-40 Toneladas (t) de CO₂e en el procesamiento de la caña de azúcar en los ingenios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

El valor (USD) del CO₂e por los cuatro ingenios en el SLA (Figura 2-41) está relacionado con la cantidad de toneladas de caña de azúcar procesada y la capacidad de éstos para su proceso (eficiencia). La externalidad generada durante el proceso de la caña de azúcar (molienda) expone valores desde hasta 1.0 x 10⁵ USD/2010 en el ingenio San Gabriel hasta 8.0 x 10⁵ USD/2010 en el ingenio San Cristóbal.

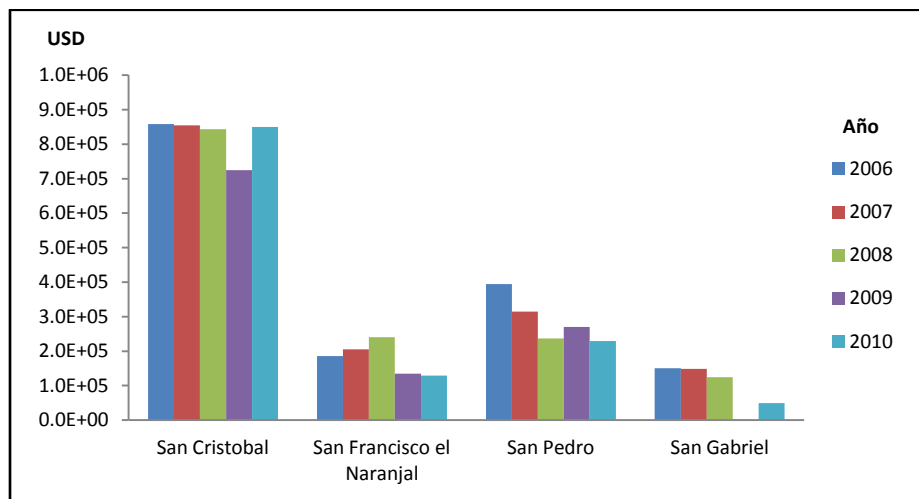


Figura 2-41 Valor (USD) de las emisiones de CO₂ (CO₂e) durante el procesamiento de la caña de azúcar en los ingenios azucareros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

Esto significa (Figura 2-41) el compromiso en materia de externalidad ambiental generada por CO₂e en términos de los acuerdos suscritos en el protocolo de Kyoto y la Ley de Cambio Climático en México. Toda vez que en materia internacional, la reducción de los gases de efecto invernadero (como el CO₂) es uno de los objetivos establecidos como prioridad en las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático.

2.4.10. Externalidad por la cantidad de azúcar producida

Los ingenios, además de emitir CO₂ a la atmósfera durante el proceso de la caña de azúcar, emiten CO₂ por tonelada (t) de azúcar producida. La cantidad de toneladas de azúcar producida por los ingenios (Figura 2-42) está determinada por la cantidad de caña de azúcar procesada (Figura 2-39) por cada uno y la eficiencia de éstos (Figura 2-44).

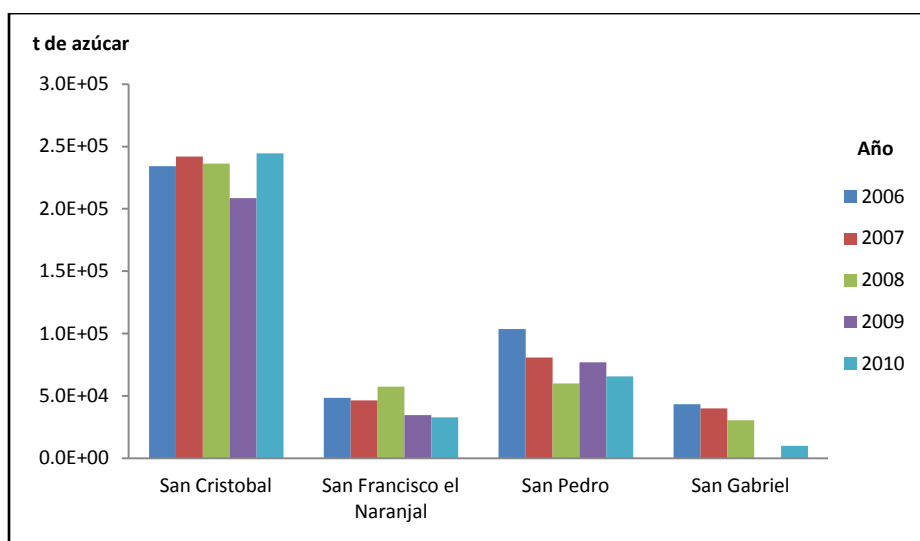


Figura 2-42 Toneladas (t) de azúcar producida en los ingenios azucareros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

El CO₂e total en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) (sumatoria del CO₂e por los cuatro ingenios) se ubicó entre 103 x 10³ t de CO₂e/2006 y 84 x 10³ t de CO₂e/2010 (Figura 2-43). Si bien es cierto, el CO₂e (Figura 2-43) ha decrecido (total de CO₂e en el SLA) debido a la disminución de la producción de azúcar en el SLA (Figura 2-42), y esto debido a la relación que existe entre el nivel de producción de caña de azúcar, la superficie cultivada y el precio medio deflactado (PMD) que sirve como incentivo económico a los productores de caña de azúcar. Sin embargo, es necesario observar la eficiencia del proceso (en términos relativos) (Figura 2-44), es decir, el número de toneladas que se obtienen de azúcar en función del número de toneladas de caña de azúcar procesada, y de esta manera analizar la capacidad de producción y la eficiencia de ésta para producir más toneladas de azúcar con menos toneladas de caña de azúcar, lo que en condiciones de ineficiencia implica mayor demanda (de ingenios) de caña de azúcar.

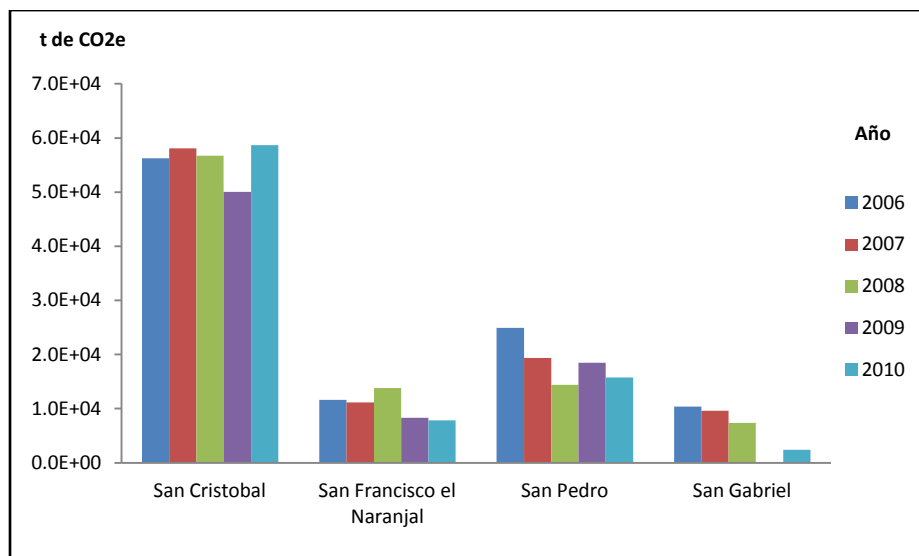


Figura 2-43 Toneladas (t) de CO₂e generadas por la producción total de caña de azúcar en los ingenios azucareros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

La eficiencia máxima fue 9.65 t de caña de azúcar/ t azúcar producida y la eficiencia mínima 13.53 t de caña de azúcar/t azúcar, en el ingenio San Cristóbal (2009) y en el Ingenio San Gabriel (2010), respectivamente (Figura 2-44). Esto depende de la capacidad y desarrollo tecnológico de los ingenios azucareros.

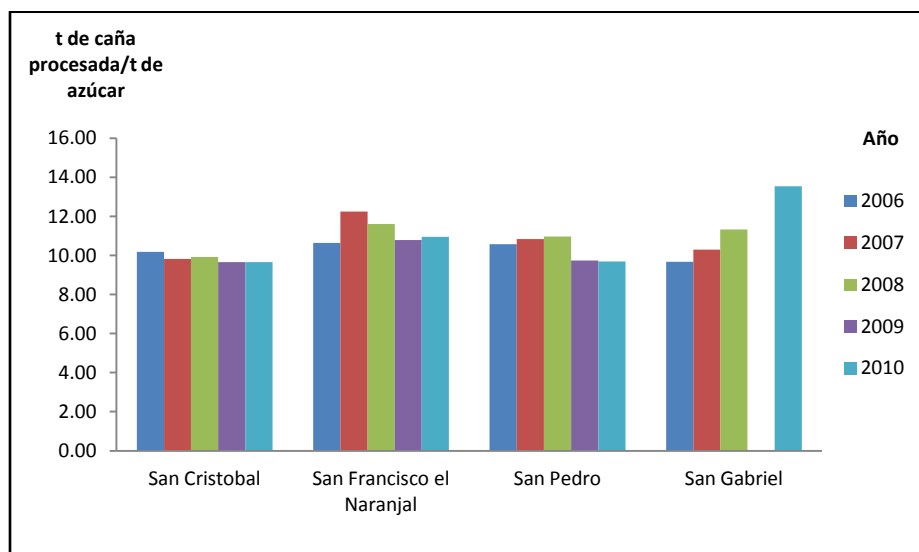


Figura 2-44 Eficiencia de la producción en función de la azúcar producida en los ingenios azucareros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

En el caso del ingenio San Gabriel (año 2009) no existió producción de caña de azúcar (Figura 2-42) y por lo tanto no hubo CO₂e. Así, los resultados muestran un valor mínimo de 29 x 10³ USD/San Gabriel/2010 y un valor máximo de 703 x 10³ USD/San Cristóbal/2010 (Figura 2-

45), ambos en el 2010. El valor (USD) total en el SLA (suma de los cuatro ingenios por año) del CO₂e varió entre 1.2 x 10⁶ USD/SLA/2006 y 1 x 10⁶ USD/SLA/2010 (Figura 2-45).

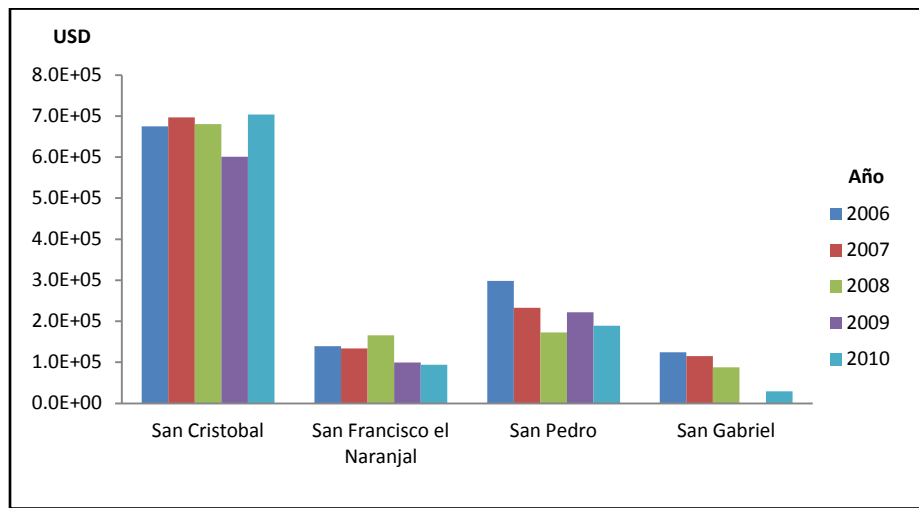


Figura 2-45 Valor (USD) del CO₂e por la producción de azúcar en los ingenios azucareros del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA) entre 2006 y 2010.

2.4.11. Coste de oportunidad de la ganadería extensiva en lugar de la conservación (GE/Conservación)

A partir del ingreso total deflactado (ITD) de la ganadería extensiva (GE) por municipio (Figura 2-4) y el ITD por secuestro de carbono (SCO₂) (Figura 2-36), se obtuvo el coste de oportunidad ambiental (COA) total por municipio y por tipo de humedal no transformado (HNT) (Figura 2-46). Los municipios presentan diferente ITD debido a la cobertura de los humedales no transformados (HNT). En el caso de la selva inundable/selva tiene un valor mínimo de 10.5 x 10⁴ USD/Acula y un máximo de 6.6 x 10⁵ USD/Ignacio de la Llave. El popal presenta un COA entre 6.5 x 10⁵ USD/Acula y 10.4 x 10⁶ USD/Tlacotalpan. El Tular tiene una variación en el COA entre 8.5 x 10³ USD/Carlos A. Carrillo y 16.9 x 10⁶ USD/Ixmatlahuacan.

Por último, el Manglar varía entre 3.4 x 10⁶ USD/Tlacotalpan y 71.3 x 10⁶ USD/Alvarado (Figura 2-46). Dentro de los rangos de variación por municipio y tipo de vegetación, no se incluyen como valor mínimo aquellos que presentan 0 USD, debido a que esto es producto de la ausencia del tipo de vegetación en el municipio (ejemplo, selva inundable/selva, popal y manglar en Carlos A. Carrillo), tal y como se observa en la Figura 2-33. Sin embargo, cada municipio tiene un ingreso medio deflactado (IMD) por hectárea destinada a la ganadería extensiva (GE), por tal motivo el presente análisis se debe realizar también en términos medios por hectárea, y de esta forma analizar el coste de oportunidad por hectárea en cada municipio.

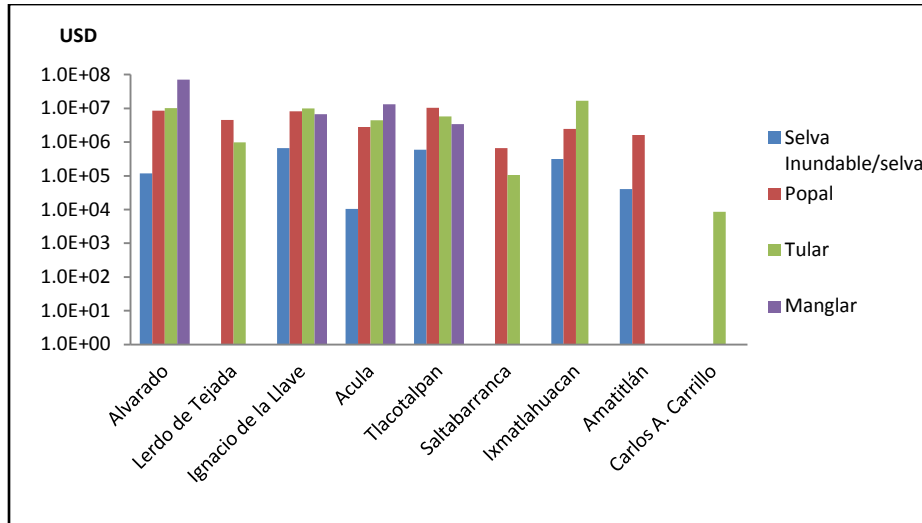


Figura 2-46 Coste de oportunidad ambiental (COA) total (ganadería extensiva/conservación) por secuestro de carbono (SCO₂), por tipo de humedal no transformado (HNT) y por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

Debido a que cada municipio tiene un ingreso medio deflactado (IMD) distinto por cada hectárea destinada a la ganadería extensiva (GE), y de la misma forma presentan un coste de oportunidad ambiental por hectárea (COA-ha) diferente (Figura 2-47). Asimismo, el COA-ha del popal y tular son iguales en cada municipio, pero diferentes al comparar distintos municipios. Esto se presenta porque el popal y tular tienen el mismo IMD por secuestro de carbono (SCO₂) (Figura 2-34). De esta manera, la selva inundable/selva, debido a su ingreso medio deflactado (IMD) resulta con el mayor COA-ha (6.8×10^3 USD/ha/Alvarado) y el menor COA-ha se presenta en el caso del manglar (4.4×10^3 USD/ha/Tlacotalpan) (Figura 2-47).

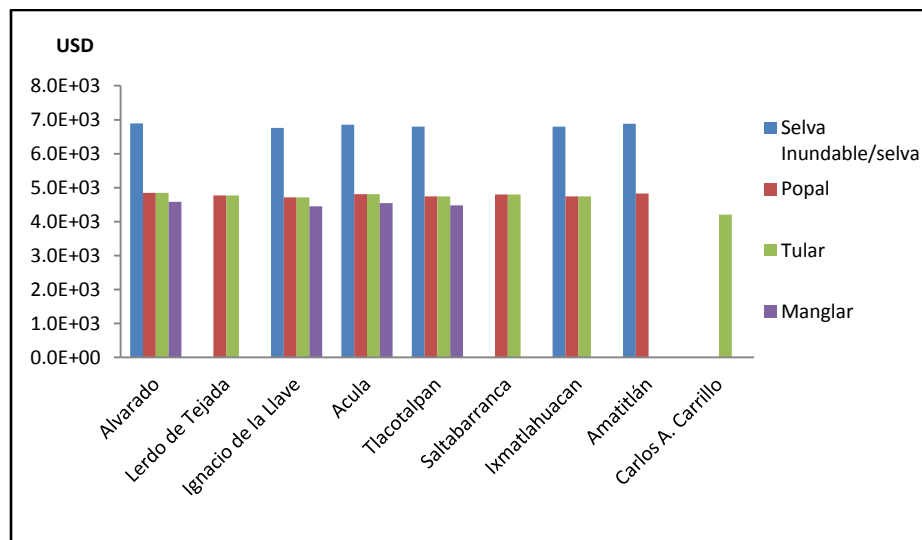


Figura 2-47 Coste de oportunidad ambiental por hectárea (COA-ha) (Conservación/ganadería extensiva), por tipo de humedal no transformado (HNT) y por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

Los resultados demuestran el beneficio económico posible de la conservación de los humedales no transformados (HNT) en lugar del uso directo para la ganadería extensiva (GE). Tal beneficio se puede dar a partir de la implementación del esquema de pago por servicios ecosistémicos (PSE) vía el secuestro de carbono (SCO_2) y la implementación de proyectos como el de mecanismo de desarrollo limpio (MDL) en caso de los ingenios azucareros. Sin embargo se requiere incluir criterios de adicionalidad, es decir los beneficios económicos indirectos derivados de la conservación de cada hectárea de humedal no transformado (selva inundable/selva, popal, tular y manglar).

2.4.12. Coste de oportunidad del cultivo de caña de azúcar en lugar de la conservación (CCA/Conservación)

El coste de oportunidad de cultivar caña de azúcar en lugar de conservar los humedales costeros no transformados (HNT) (COA-Conservación/CCA) expone lo que se renuncia por destinar una hectárea de humedal no transformado (HNT) al cultivo de caña. El coste de oportunidad ambiental (COA-Conservación/CCA) depende del ingreso medio deflactado por hectárea (IMD) por secuestro de carbono (SCO_2) de los humedales no transformados y del ingreso medio deflactado (IMD) por hectárea de cultivo de caña de azúcar (CCA). De acuerdo a los resultados expresados en la Figura 2-48, el COA en la selva inundable/selva tuvo un mínimo de 7.7×10^3 USD/Acula y un máximo de 4.7×10^5 USD/Ignacio de la Llave, el popal tuvo un mínimo de 2.6×10^5 USD/Saltabarranca y un máximo de 5.3×10^6 USD/Alvarado, el tular tuvo un mínimo de 5.3×10^3 USD/Carlos A. Carrillo y un máximo de 9.9×10^6 USD/Ixmatlahuacan, y el manglar un mínimo de 1.2×10^6 USD/Tlacotalpan y un máximo de 43.6×10^6 USD/Alvarado (Figura 2-48).

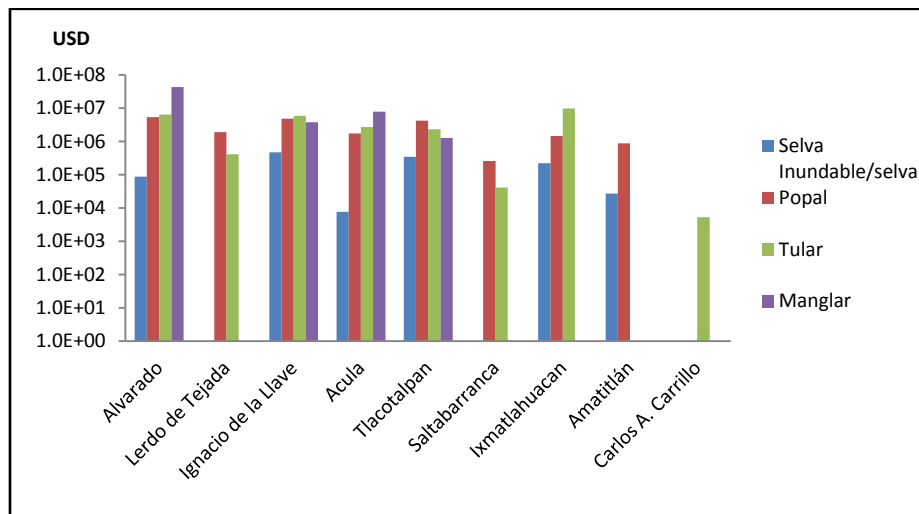


Figura 2-48 Coste de oportunidad ambiental entre la conservación por (SCO_2) y el cultivo de caña de azúcar (CCA), por tipo de humedal no transformado y por municipio en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

El coste de oportunidad ambiental por hectárea (COA-ha) por conservación/CCA (Figura 2-49) muestra los resultados por hectárea, tipo de humedal no transformado (HNT) y municipio. De esta forma se obtuvieron valores mínimos y máximos. Por ejemplo, en el caso de la selva inundable/selva se encontraron valores de 3.9×10^3 USD/Tlacotalpan a 5×10^3 USD/Alvarado; en el caso del popal y tular, los valores estimados (mínimos y máximo) fueron iguales entre 1.8×10^3 USD/Saltabarranca y 3×10^3 USD/Alvarado, esto se debe a que tienen el mismo ingreso medio deflactado (IMD) por secuestro de carbono (SCO_2) (Figura 2-35). El manglar presentó los valores menores (mínimo y máximo) entre 1.6×10^3 USD/Tlacotalpan y 2.7×10^3 USD/Alvarado. Los valores del coste de oportunidad ambiental por hectárea (COA-ha) entre diferentes tipos de humedales no transformados está en función del ingreso medio deflactado (IMD) por secuestro de carbono (SCO_2) y el ingreso medio deflactado (IMD) por el cultivo de caña de azúcar que percibe cada hectárea en cada uno de los municipios.

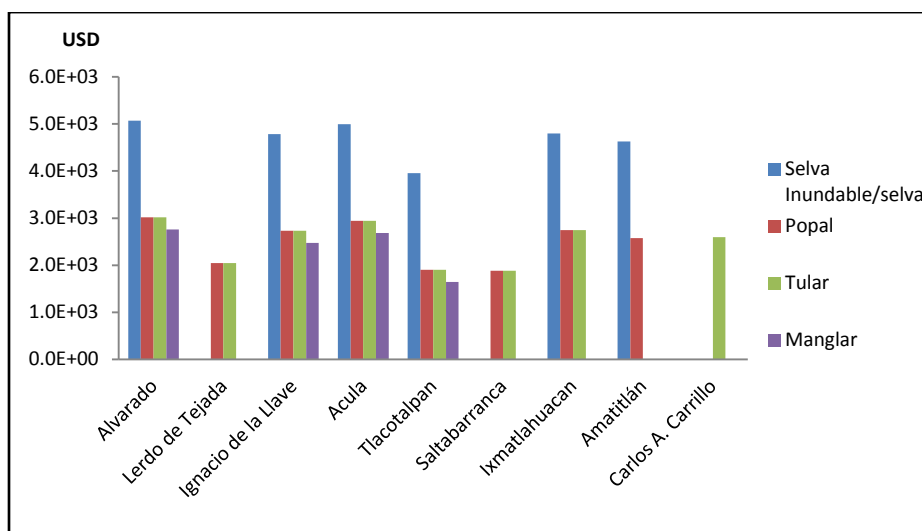


Figura 2-49 Coste de oportunidad ambiental por hectárea (COA-ha) por conservación de humedales ahora dedicados al cultivo de caña de azúcar (conservación/CCA), por tipo de humedal no transformado en los municipios del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

2.5. Discusión

2.5.1. Ganadería extensiva

El tipo de ganadería practicada en el SLA es la ganadería extensiva (Silva-López et al. 1998, Vergara 1998), esto hace que el índice de agostadero (cabezas/ha) sea menor respecto a la ganadería intensiva (Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial 2009). Por esto, los ganaderos incrementan la superficie destinada a la ganadería para aumentar la producción de ganado (Guevara y Moreno-Casasola 2008) y de esta forma mantener el ingreso a la par del índice nacional del precios al consumidor (INPC). Cada municipio presentó un ingreso total deflactado (ITD) diferente (Figura 2-4 y 2-5) dependiendo de la producción de ganado,

además cada uno tuvo un ingreso medio deflactado (IMD) distinto en función del ingreso total deflactado (ITD) y la superficie total destinada a la ganadería. En este sentido, el ingreso medio deflactado (IMD) por hectárea expone el valor (USD) otorgado a una hectárea de humedal costero que es destinada a la ganadería extensiva. Los que han renunciado a mayor porcentaje de su superficie son quienes tienen un menor ingreso medio deflactado por hectárea (IMD), por ejemplo Alvarado (83.13 USD/ha/2006 a 120 USD/ha/2010), Ignacio de la Llave (163 USD/ha/2006 a 251 USD/ha/2010) y Tlacotalpan (180 USD/ha/2006 a 221 USD/ha/2010).

El ingreso total deflactado (ITD) por rancharo no fue estimado, ello depende de la acumulación en la tenencia de la tierra, mientras existen ejidatarios con pequeña acumulación de tierra (1-5 hectáreas), también existen grandes propietarios (70-100 hectáreas) (Aserca y SAGARPA 2010), a esto se suma el subsidio del gobierno federal, donde existen personas que reciben apoyo desde 1 hasta 80 o 100 hectáreas (Aserca y SAGARPA 2010). De ahí la distribución desigual del ingreso medio por subsidio (IMSD) por municipio y ganadero, y el daño que causa el beneficio gubernamental para incentivar la práctica de la ganadería extensiva que resulta ineficiente y ocupa grandes extensiones de tierra (Vatn et al. 2011). El ingreso medio por subsidio y hectárea (IMSD) tiene una variación entre 71 USD/ha/2010 (Tlacotalpan) hasta 86 USD/ha/2009 (Saltabarranca) (Figura 2-10). Los municipios como Amatitlán y Alvarado (2006-2007, respectivamente), demuestran la ineficiencia de la actividad (índice de agostadero), en donde el subsidio representa más del 100% del ingreso medio deflactado (IMD) por hectárea en la ganadería extensiva (Figura 2-9).

2.5.2. Caña de azúcar

La superficie destinada al cultivo de la caña de azúcar presentó entre 2006 y 2009 una tendencia estable debido al precio medio deflactado (PMD) (Figuras 2-16 y 2-17). Caso contrario entre el 2009 y 2010 cuando un aumento de 58 % del PMD (Figura 2-16) incentivó el aumento de la producción. Sin embargo, como el rendimiento medio por hectárea (RM) (Figura 2-15) no se puede incrementar en el corto plazo para incrementar la producción de caña de azúcar, los agricultores destinaron mayor superficie de los HNT al cultivo de la caña de azúcar. Prueba de ello es el cambio de uso de suelo 2009-2010 (7.45 a 14.5 %, respectivamente), y el análisis de correlación de Pearson entre el precio medio por tonelada y la SMC (Superficie municipal cultivada), resultado que muestra un coeficiente $r = 0.923$ y valor $p = 0.025$, además de la correlación entre el ITD y la SMC ($r = 0.979$ y valor $p = 0.004$) (Figura 2-18). Esto concuerda con la ley de oferta y demanda y la restricción de los factores de la producción explicados por Mankiw (2001), también conlleva a discutir el papel del mercado en las decisiones de los agricultores y el manejo de los humedales costeros. Así mismo, Posthumus et al. (2010) discutieron sus resultados en situaciones de agricultura sostenible (menos cantidad de superficie utilizada), donde demostraron que un cambio en el precio asignado por el mercado lleva a

estrategias de agricultura no sostenible, como es el caso del cultivo de la caña de azúcar en el SLA.

Cada municipio tuvo un patrón diferente en el ingreso medio deflactado (IMD) por el cultivo de caña de azúcar, dado que el precio medio por tonelada (PMD) para cada uno de ellos es diferente (Figura 2-17). Así, el ingreso medio deflactado por hectárea (IMD) presentó resultados entre 1.1×10^3 USD/ha/2009 (Acula) y 2.9×10^3 USD/ha/2010 (Saltabarranca). Esto significa que entre 2006 y 2010 el valor otorgado a un hectárea de humedal costero por uso directo (cultivo de caña de azúcar) no supera los 2.9×10^3 USD/ha/2010, sin embargo, la estructura del mercado regional (SLA) entre agricultor-asociación-ingenio (SAGARPA 2010) determina la viabilidad y rentabilidad de dicha actividad. Debido a que el precio medio por tonelada (PMD) de caña de azúcar es negociado al inicio de cada año, de esta manera ante la volatilidad internacional de los precios el productor queda protegido (riesgo financiero) y tiene un ingreso seguro, contrario a lo que ocurre en el caso de los cultivos perennes con menos impacto ambiental. La tenencia de la tierra es otro factor discutible e implícito en los presentes resultados, de acuerdo a Aserca y SAGARPA (2010), existen agricultores que tienen desde 1 hasta 150 hectáreas para el cultivo de caña de azúcar, esto representa una variación importante e independiente al IMD por hectárea, es decir, aún cuando un agricultor tenga un IMD mínimo (Figura 2-20) pero la cantidad máxima de tenencia (150 hectáreas), le resultará económicamente atractivo el cultivo de caña de azúcar, además de contar con los beneficios de la estructura del mercado regional y los subsidios a dicha actividad (Figura 2-21).

La cobertura de la superficie de caña de azúcar subsidiada ha variado entre 8.75% y 4.29% en 2006 y 2010, respectivamente. Sin embargo cada municipio muestra un porcentaje distinto de superficie subsidiada; mientras Ignacio de la Llave no recibió apoyo del gobierno federal (2006-2008), Tlacotalpan mostró el valor máximo de 46 % (2006) de superficie subsidiada (Figura 2-21). Esto representa un ingreso por subsidio desigual por municipio, por ejemplo, en el 2010 Alvarado recibió 333 USD y Tlacotalpan obtuvo 37.9×10^3 USD (Figura 2-22). Debido a que el ingreso no está enfocado a la agricultura intensiva y al aumento del rendimiento medio (RM) por hectárea (Vatn et al. 2011), los agricultores responden a la señales del mercado (PMD) y de esta forma, para mantener su ingreso real en términos del INPC, deben incrementar la superficie cultivada.

Mientras hay municipios como Carlos A. Carrillo que recibieron 51 USD/ha/2010 en Alvarado los agricultores obtuvieron 83 USD/ha/2010 (Figura 2-23), esto muestra la desigualdad entre municipios. Ahora bien, ¿por qué ante un bajo IMSD por subsidio los municipios han incrementado la superficie cultivada? una causa podría ser la tenencia de la tierra al igual que en el caso de la ganadería extensiva. De acuerdo con Aserca y SAGARPA (2006-2010) existen propietarios con más de 100 hectáreas de caña de de azúcar, si se supone que el subsidio mínimo

es de 51 USD/ha/2010, se puede hablar de 5,100 USD como ingreso total por subsidio (propietario), el ejercicio de dicho ingreso no necesita ser reportado a la SAGARPA, de ahí, que existe una relación perversa tal y como lo expone la OECD (2003), además la producción de los agricultores no depende del subsidio, es decir, reciban o no dicho apoyo, el sistema de mercado en el SLA les permite producir y negociar dicha producción año con año (Aserca y SAGARPA 2010).

2.5.3. Coste de oportunidad ganadería extensiva/cultivo de caña de azúcar

A partir del ingreso medio deflactado por hectárea (IMD) de la ganadería y el cultivo de caña de azúcar, se obtuvo el coste de oportunidad económico por hectárea subsidiada (COE-S) entre la GE-CCA (Figura 2-25) y el COE entre la GE/CCA de las hectáreas no subsidiadas (Figura 2-25, 2-26 y 2-27). De esta forma, en términos económicos resulta más rentable destinar una hectárea de humedal costero al cultivo de cultivo de azúcar. Sin embargo, la ganadería es una actividad históricamente arraigada al SLA (Velasco 1998, Aguirre et al. 2007, Guevara y Moreno-Casasola 2008), por esto, los ganaderos y rancheros han continuado con el cambio de uso de suelo (2006-2010) para la producción de ganado. Por otro lado, el cultivo de caña tuvo un aumento del 50% (2009-2010) debido al repunte del precio medio deflactado (PMD) por tonelada de caña de azúcar y a las bondades de la estructura del mercado regional. Por tal motivo, municipios que en 2006 y 2007 no presentaban superficie de cultivos de caña, tomaron la estrategia de destinar hectáreas de humedal costero para el cultivo de caña. El COA y COA-ha entre la ganadería/cultivos de caña (subsidiado y no subsidiado) es positivo (Figuras 2-26 y 2-27) lo que representa una pérdida por dejar de cultivar una hectárea de humedal costero y destinarla a la ganadería.

El coste de oportunidad ambiental (COA) y COA-ha no incluyó los costes y externalidades ambientales (Gómez-Baggethun y de Groot 2007), tampoco la pérdida de servicios ecosistémicos como calidad y disponibilidad de agua (Wang et al. 2006), disminución de la recarga de agua en mantos freáticos (Morardet y Koukou-tchamba n.d., Cohen-Shacham et al. 2011, Rouquette et al. 2011), emisiones de CO₂ (Barretto de Figueiredo et al. 2010) y pérdida del hábitat de especies que son capturadas por la pesca (Acharya 2002, Sanjurjo et al. 2005a, 2005b). A diferencia de estudios como el de Posthumus et al. (2010) y Acreman et al. (2011), el COA estimado en el presente estudio muestra de forma integrada el comportamiento de ganaderos y agricultores en función de agentes como el mercado (PMD) y el gobierno (subsidios). A partir de ello, es posible entender las causas de las estrategias tomadas por los tenedores de la tierra (agricultores y ganaderos) y generar las estrategias de manejo por actividad económica (ganadería y cultivo de caña).

2.5.4. Ingreso económico por la pesca

Los resultados de las tres pesquerías encuestadas arrojaron un ingreso entre 107×10^3 USD/2010 (Mujer experimentando) y 257×10^3 USD/2010 (Plaza de Armas), a partir de sólo 5 especies que se capturan en el SLA, en comparación con Sanjurjo et al. (2005a) que estimó ingresos totales (suma de tres cooperativas) por 846×10^3 USD a partir de todas las especies capturadas y diferentes formas de organización. Sin embargo, en el SLA existen 89 cooperativas, lo que indica que los ingresos por la pesca en el SLA deberán ser mayores y por tanto la contribución económica de los HNT y sus cuerpos de agua, aumenta respecto a los resultados de Sanjurjo et al. (2005a, 2005b). Para tener una estimación del total de la contribución del SLA, se asumió un ingreso total (suma de las 89 cooperativas) de 15.5×10^6 USD/2010 con base en los resultados (Figuras 2-28 y 2-29). Además, se contrasta con el estudio de Aburto-Oropeza et al. (2008) donde mostraron el valor del mangle por ha^{-1} de 37×10^3 USD cuya área total abarca el Golfo de California compartido por seis Estados de México (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, and Nayarit). Esto resulta equiparable con los resultados de esta investigación, que a partir de sólo cinco especies en un área compartida por nueve municipios, con una cobertura de 29×10^3 ha de cuerpos de agua y sólo 21×10^3 ha de manglar.

2.5.5. Beneficios indirectos por consumo de agua

Ninguno de los nueve municipios tiene un sistema de potabilización de agua, si bien es cierto cuentan con conexión a la tubería municipal, dicho sistema no es potabilizado (SEFIPLAN 2010). De acuerdo con el CSVA (2006) basado en datos de la CNA, los mantos freáticos de la cuenca del Papaloapan y en particular del SLA se encuentran en una alta disponibilidad. A pesar de no contar con estimaciones de la cantidad de agua que los HNT purifican (de forma natural) y recargan a los mantos freáticos, es innegable la contribución y servicio ecosistémico brindado a la población *in situ*, tal y como lo demuestran Morardet y Koukou-tchamba (n.d.), Acharya y Barbier (2000), Li et al. (2007), Ming et al. (2007), Medema et al. (2008), Gartin et al. (2010) y Cohen-Shacham et al. (2011) en otros lugares del mundo, y Campos et al. (2011). Esto se reflejó en los resultados, donde el costo total de los derechos del agua varió entre 706 USD/Acula/2010 y 19×10^3 USD/Tlacotalpan/2010 basado en la CNA (2009), estos valores mostraron una correlación de Pearson $r = 0.887$ y un valor $p = 0.001$ (Figura 30). Sin embargo, si se observa la correlación entre el consumo medio por habitante y día (CM. x hab. Día) y el costo total (Figura 2-31) es mayor con un coeficiente de Pearson $r = 0.711$ y un valor $p = 0.032$, esto puede estar relacionado a la población que no tiene acceso al agua entubada de acuerdo a CONAPO (2010). Debido a que la estimación del coste y monto de derecho federal de agua está en función del consumo promedio por habitante, pero éste, es calculado a partir de la población total del municipio y no con el número de la población con acceso a agua entubada, es decir, quienes

realmente participan del consumo total del municipio reportado a la Comisión Nacional del Agua (CNA).

2.5.6. Beneficios por la conservación de humedales no transformados

El SLA tiene 291×10^3 ha de HNT (sin contar cuerpos de agua) distribuidas en diferentes tipos de vegetación como: selva inundable/selva, tular, popal y manglar, entre otros (Figuras 2-32 y 2-33). De acuerdo a los resultados de la presente investigación (Figura 2-33) todos los municipios presentaron posibilidades para destinar HNT a proyectos de conservación, a partir de los esquemas establecidos por el World Bank (2011) en el esquema de REDD+. Además, son prueba de los BSE que ofertan los HNT de acuerdo a Mitsch y Gosselink (2000), Millennium Ecosystem Assessment (2005), Moreno-Casasola (2005a), Warner et al. (2005) y Carpenter et al. (2009). El ingreso medio deflactado (IMD) por hectárea y secuestro de carbono (SCO_2) muestra el valor con base en el precio establecido por el mercado de carbono (Point Carbon 2006). Éstos presentaron una variación (IMD) dependiendo del tipo de vegetación, la selva inundable/selva tiene un valor de 7×10^3 USD/2010, el popal y tular (debido a la similitud en el SCO_2) tienen un valor de 4.9×10^3 USD/ha/2010 y el manglar obtuvo 4.7×10^3 USD/ha/2010. Es decir, hacia un esquema de pago por servicios ambientales (PSE) por SCO_2 a través del sistema del Carbon Finance (2010) y World Bank (2011), cada beneficiario (agricultor o ganadero) que desee participar en proyectos de conservación podría obtener dichos ingresos (Figura 2-34) en condiciones mínimas del mercado, debido a que el precio medio por tonelada de CO_2 secuestrada en el presente estudio fue fijado en 12 USD/t de SCO_2 (precio mínimo de referencia entre 2006 y 2010).

Sin embargo, Carbon Finance (2010) y World Bank (2011) a partir de la metodología REDD+, establecen una serie de requisitos con base en los acuerdos suscritos en United Nations (2008), tales como, los criterios de adicionalidad. Esto significa que el financiamiento para la conservación de ecosistemas como los humedales costeros, además de cumplir con el servicio ecosistémico de SCO_2 , deben mostrar beneficios indirectos (*in situ* y *ex situ*) como los beneficios económicos por la pesca (Figura 2-28 y 2-29) comprobados a partir del presente análisis y otros estudios como Sanjurjo et al. (2005a), Aburto-Oropeza et al. (2008) y Calderón et al. (2009) en otras áreas de estudio. El bajo costo de agua (*in situ*) es otra adicionalidad debido a la recarga de mantos freáticos (Figuras 2-30 y 2-31) cuya relación ha sido estudiada por Campos et al. (2011) y en otras áreas de estudio por Morardet y Koukou-tchamba (n.d.), Ming et al. (2007), Turpie y Kleynhans (2010) y Acreman et al. (2011). Y la apicultura (Tabla 2-4) con base en documentos como Millennium Ecosystem Assessment (2005) y Carpenter et al. (2009), así como la información obtenida del Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247. De esta manera, el SLA podría obtener ingresos directos (ITD) por el pago de servicios ambientales (SCO_2) de 193×10^6 USD, dividido entre los nueve municipios de acuerdo al tipo de vegetación (Figura 2-34) y al número de hectáreas por tenedor de la tierra, en este sentido los subsidios destinados al cultivo de

caña de azúcar y la ganadería pueden ser redirigidos hacia dichas actividades, como apoyo adicional al financiamiento internacional.

2.5.7. Coste de oportunidad (actividades económicas/Conservación) y externalidades evaluadas

En términos económicos el coste oportunidad ambiental (COA) entre la ganadería/conservación y el cultivo de caña/conservación es positivo, esto significa que lo renunciado (BSE) en un hectárea de humedal costero valorado a través del PSE (SCO_2), es mayor respecto a lo obtenido por ambas actividades económicas (Figuras 2-47 y 2-49). Esto sugiere la posibilidad de obtener ingresos económicos por el PSE e incentivar a los individuos (ganaderos y agricultores) con base en elementos económicos de acuerdo a Gómez-Baggethun y de Groot (2007), además de los costos a la salud (no evaluados, ni incluidos) que pueden existir por el cultivo de caña de azúcar (Colegio de Postgraduados 2003, Alencar et al. 2005, Leahy y Tol 2012). A diferencia del World Bank (2011), el coste de oportunidad fue entendido a partir del ingreso medio por hectárea (IMD) por cultivo de caña e IMD por SCO_2 , no se utilizó la estandarización y homogenización de valores para su estimación, debido a esto, si el COA por hectárea entre ganadería/conservación y cultivo de caña/conservación pudiera estar sobrevaluado, los criterios de adicionalidad como beneficios indirectos y externalidades evitadas compensan la variación.

Externalidades como el carbono emitido (CO_2e) en el proceso de cultivo de caña fueron evaluadas (Figura 2-37 y 2-38) con datos de Barretto de Figueiredo et al. (2010). El CO_2e aumentó de 52×10^3 a 102×10^3 t en el SLA (suma de los nueve municipios, 2006-2010), esto se ve correlacionado por el aumento de la superficie cultivada. Al igual que Houghton 2005 y Barretto de Figueiredo et al. (2010), dicha cantidad de CO_2e causa externalidades negativas en el SLA, y a nivel internacional demuestra su contribución en las emisiones que aceleran procesos como el cambio climático (United Nations 1998, Anger y Sathaye 2009, van de Sand 2012). Con base en el precio establecido por el Mercado de Carbono (Point Carbon 2006), se obtuvo el valor monetario del CO_2e (Figura 2-38) en cada uno de los municipios, esto sugiere que la conservación de los HNT, así como una reducción en el cultivo de caña, no sólo contribuye al SCO_2 sino también adiciona otro beneficio como la reducción de emisiones que de acuerdo a United Nations (1998, 2008), UNFCCC (2011) y World Bank (2011), son parte esencial en el pago por servicios ecosistémicos (PSE) para justificar proyectos de conservación y restauración.

Los ingenios azucareros también fueron incluidos en las externalidades generadas y evitadas a partir de la conservación de los HNT, y el mejoramiento de la eficiencia en cada uno de ellos para ligarlos a los proyectos de restauración de humedales transformados (HT). El CO_2e durante el proceso de la caña de azúcar presentó variaciones de acuerdo a las toneladas de caña de azúcar procesada (Figuras 2-39 y 2-40) y a partir de esto, se obtuvo el valor monetario (Figura 2-41),

esto además se suma a las adicionalidades indirectas de la conservación de los HNT y la restauración de los HT. Asimismo, la eficiencia por ingenio, es decir, la cantidad de toneladas de caña para producir una tonelada de azúcar es parte de las externalidades tal y como lo mencionan el Colegio de Postgraduados (2003), Australian Government (2007) y Barretto de Figueiredo et al. (2010), no sólo en términos económicos (disminución del beneficio) sino en los costos ambientales (CO₂e). La eficiencia por ingenio (Figura 2-44) mostró una variación de 9.65 a 13.53 t de caña/ t de azúcar. En este sentido, si los ingenios tuvieran una eficiencia de 9.65 t de caña/ t de azúcar (ingenio San Cristóbal 2009) se podrían evitar 2×10^3 t de CO₂e lo que de acuerdo al mercado de carbono tiene un valor de 30.9×10^3 USD/SLA, criterio que debe sumarse a la adicionalidad de acuerdo a los proyectos de mecanismo de desarrollo limpio (MDL) e industria limpia según la United Nations (1998) y UNFCCC (2011). Esto además, concuerda con la necesidad de la eficiencia y mejora de los procesos industriales con base en la industria limpia promovida por la economía verde en OECD (2011) y United Nations (2011), basados en estrategias y estudios como el Colegio de Postgraduados (2003) y Australian Government (2007).

En el caso del CO₂e por tonelada azúcar producida, este tuvo una variación en función de la cantidad de azúcar producida por ingenio (Figura 2-42 y 2-43). De esta manera, con base en los resultados de Barretto de Figueiredo et al. (2010) y el Point Carbon Service (2006) se obtuvo el valor (USD) por el CO₂e (Figura 2-44). En total, los cuatro ingenios ubicados en el SLA han generado una externalidad entre 1.2×10^6 USD/CO₂e/2006 y 1.0×10^6 USD/CO₂e/2010, de acuerdo a los proyectos de mecanismo de desarrollo limpio (MDL) establecidos a través del UNFCCC (2011) estos costos (USD) ambientales pueden ser evitados a partir de la articulación de proyectos de conservación de (HNT)y restauración de HT, así como la mejora de la eficiencia en los ingenios (Colegio de Postgraduados 2003) y su articulación con el aumento del RM por hectárea en el cultivo de caña (Australian Government 2007), además, de evitar el uso de combustible fósil (petróleo) de acuerdo con datos obtenidos del SIAP y SAGARPA (2010).

2.6. Consideraciones Finales

La valoración de los BSE puede abordarse desde diversos enfoques tal como lo han hecho Costanza et al. (1989, 1997), Acharya y Barbier (2000), Li et al. 2007, Ming et al. (2007), Costanza y Farley (2007), Rouquette et al. (2009, 2011), Posthumus et al. (2010) a partir de diferentes actividades económicas (uso directo e indirecto, así como extractivo y no extractivo) (Sanjurjo et al. 2005b). De la literatura revisada, en el caso del SLA no existe un sólo estudio que ponga sobre la mesa de debate ambas actividades económicas y su relación (sea positiva o negativa) a partir de la valoración de los humedales costeros (HT y HNT). Con base en estudios como Juárez (2005), Guevara y Moreno-Casasola (2008), Flores Verdugo et al. 2010, Moreno-Casasola e Infante (2010), Marín et al. (2011) y Rodríguez (2011) se hizo referencia acerca de la importancia de los humedales en la vida cotidiana de las personas *in situ* y *ex situ*, sin embargo

tales estudios no llegan al ejercicio de la valoración económica de éstos, como es el caso de este análisis, donde se obtuvo el valor económico dado a una hectárea de HT en función de actividades como el cultivo de caña y la ganadería. Además, la posibilidad de establecer el valor económico a partir de la conservación de los HNT como la selva inundable/selva, tular, popal y manglar, sumado a esto, el valor por SCO_2 y las adicionalidades como son los beneficios indirectos (apicultura, pesca y recarga de mantos freáticos) y las externalidades negativas evitadas (CO_{2e}) durante el proceso de cultivo de caña y CO_{2e} durante el proceso (molienda) de la caña de azúcar y la producción de azúcar en los ingenios.

En el caso de la ganadería, los rancheros tienen rendimientos deficientes en el uso del suelo en función del índice de agostadero (Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial 2009), a pesar de no haberlo estimado, es suficiente con observar los resultados del ingreso total por municipio (ITD) y el ingreso medio por hectárea (IMD) (en cada uno por municipio), en contraste con la cantidad de hectáreas destinadas a la actividad. De esta manera, cabe señalar, que la ganadería *per se* no es un problema del uso de suelo, sino la forma de practicarla, por tal motivo la intensificación de esta actividad a partir del aumento del índice de agostadero y el cambio en la forma de alimentación del ganado permitiría mayores rendimientos económicos en el corto plazo y la reducción de la superficie destinada, sin embargo esto implica inversión económica en el corto plazo y asumir el riesgo financiero del mercado de carne en canal.

Otro factor social y cultural importante, es el arraigo histórico de la ganadería en el SLA (Vergara 1998, Guevara y Moreno-Casasola 2008), además, los subsidios juegan un papel determinante y es una externalidad negativa como lo expone la OECD (2003), debido a que genera un círculo perverso entre productor (ranchero), uso de suelo (humedal costero) y gobierno. Mientras existen rancheros con sólo dos o tres hectáreas subsidiadas, hay quienes reciben ayuda por 100 hectáreas (Aserca y SAGARPA 2010), esto les permite utilizar dichos fondos para otros gastos y no precisamente en la producción de ganado. El dinero otorgado (subsidio) representa una pérdida en términos del objetivo que persigue (ayudar en factores de la producción) y en lo que respecta a las finanzas públicas representa un gasto público que termina absorbiendo la sociedad debido a que éstos provienen de los impuestos. Asimismo, generan externalidades como las expuestas por Skerritt (1993), Travieso-Bello et al. 2005, Guevara y Moreno-Casasola (2008), Moreno-Casasola e Infante (2010) y Rodríguez (2011), y las aquí mencionadas (en términos económicos). Por tal motivo, es necesario, incrementar la eficiencia por hectárea (cabezas por hectárea) para transitar hacia la ganadería semi-intensiva que permita la modernización de ésta y el aumento del índice de agostadero de acuerdo a la Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial (2009) y de esta forma obtener rendimientos de economías a escala (Mankiw 2001).

Tres factores resultan concluyentes en la situación actual del cultivo de caña, 1) el mercado local (a través del PMD por tonelada) y su funcionamiento, 2) el rendimiento medio por hectárea (RM) y 3) los subsidios y la tenencia de la tierra. En el primero, el grado de sensibilidad (elasticidad oferta/Precio Mankiw 2001, 2002) y respuesta de la producción respecto al precio del mercado es determinante, relacionado al rendimiento medio por hectárea (RM). Debido a las condiciones en el cultivo de caña de azúcar, los agricultores no pueden incrementar la productividad de la tierra (RM por hectárea), por tal motivo deben aumentar la superficie cultivada para incrementar su ingreso ($r = 0.979$ y valor $p = 0.004$ Figura 2-18) en respuesta al PMD por tonelada de caña (coeficiente de Pearson $r = 0.917$ y valor $p = 0.028$ Figura 2-17). Ambas correlaciones son directamente proporcionales ante la deficiencia del RM por hectárea. Mientras en Australia tienen un RM entre 80 y 120 toneladas por hectárea (Australian Government 2007), en el SLA el máximo son 86 toneladas por hectárea (Figura 2-15). A todo esto, se suma el esquema de los subsidios del gobierno, los cuales resultan desiguales en términos de su distribución (ver Aserca y SAGARPA 2010) dada la acumulación en la tenencia de la tierra, propietarios con más de 50 hectáreas resultan los beneficiados de obtener un ingreso medio deflactado por subsidio (IMSD) y hectárea (Figura 2-23), y debido a que no necesitan comprobar el uso del subsidio en alguna etapa de la producción, resulta un ingreso extra aparte del ingreso medio deflactado (IMD) por hectárea al año. Por otro lado, los pequeños propietarios (1-5 hectáreas) no pueden aplicar esquemas de innovación tecnológica para el aumento del rendimiento medio (RM) debido a lo bajo que resulta el subsidio del gobierno federal.

Además, externalidades como el carbono emitido (CO_2e) durante el proceso del cultivo de caña de azúcar (Figuras 2-37 y 2-38) de acuerdo con Colegio de Postgraduados (2003), Mironga (2005), Australian Government (2007) y Barretto de Figueiredo et al. (2010) generan efectos negativos en la salud; no evaluados en el presente estudio pero bien conocidos en la literatura (Colegio de Postgraduados 2003, Houghton 2005, Cançado et al. 2006). Asimismo la generación de gases de efecto invernadero suscritos como uno de los principales agentes causantes del cambio climático (United Nations 1998, UNFCCC 2011). De esta manera, se sugiere que la agricultura de caña de azúcar debe adoptar esquemas de eficiencia durante el proceso de cultivo de acuerdo con las técnicas y evaluaciones establecidas en Australian Government (2007) y Mireri et al. (2008), debe haber una selección de las tierras con mayor rendimiento medio (RM) y que sean incluidas dentro del ciclo rotativo para aumentar la eficiencia del suelo (RM) y su recuperación. Por otro lado, esquemas como los subsidios y transferencias, deben enfocarse en la necesidad de la recuperación del suelo y la maximización del RM, de esta forma, los productores y agricultores no tendrían la necesidad de aumentar la superficie cosechada para obtener el mismo ingreso medio deflactado (IMD).

El esquema de subsidios debe canalizarse en función de la productividad por hectárea y no por la acumulación de la tierra tal y como lo sugieren la OECD (2003), Vatn et al. (2011) y

World Bank (2011), esto maximizaría la eficiencia del uso de suelo y se reduciría la superficie transformada tal y como la plantean Jones y Tranter (2007) y Loehr (2010). De esta manera, el cultivo de caña de azúcar podría obtener certificados por reducción de emisiones de carbono (UNFCCC 2011) a partir del presente estudio y de la aplicación de la metodología REDD+ en Carbon Finance (2010) y World Bank (2011), así como la transferencia tecnológica y la generación de las capacidades de innovación y eficiencia en el marco de la economía verde (United Nations 2011).

El coste de oportunidad entre la ganadería y la agricultura de caña de azúcar fue positivo en todos los municipios, esto sostiene que destinar una hectárea de humedal costero (HT o HNT) obtiene un ingreso medio deflactado (IMD) menor al cultivo de caña, por tal motivo, los tenedores de la tierra en el SLA actuarán conforme a los incentivos del mercado como lo menciona Mankiw (2001, 2002). Por ello, aunque la ganadería mostró un aumento lineal en el uso de suelo debido al arraigo histórico que mencionan Vergara (1998) y Aguirre et al. (2007), el cultivo de caña se sostuvo con base en las señales del mercado (PMD por tonelada) (Mankiw 2001). Además, los subsidios y la acumulación de la tierra sostienen el actual esquema en ambas actividades en términos de la deficiencia del uso de suelo. Sin embargo, las externalidades generadas por el cultivo de caña (Figuras 2-37, 2-40 y 2-43) (Cançado et al. 2006, Australian Government 2007, Barretto de Figueiredo et al. 2010, Moreno-Casasola e Infante 2010, Landgrave y Moreno-Casasola 2011) deben ser tomadas dentro de las decisiones de los tenedores de la tierra, en la política económica sectorial (SAGARPA) y en la política ambiental (SEMARNAT y CNA). Así mismo, es necesario re-direccionar los subsidios a esquemas que incentiven la maximización del rendimiento medio (RM) por hectárea, así como la eficiencia dentro de los ingenios en el proceso de la caña de azúcar (Figura 2-44) aunado a una estrategia de industria limpia que puede ser complementada con proyectos de mecanismo de desarrollo limpio y fondos por reducción de emisiones como los mencionados por la OECD (2003), Inclán Gallardo (2005), Carbon Finance (2010), UNFCCC (2011) y World Bank (2011), y que son parte de la estrategia integral en el hacia el manejo de los humedales costeros (HNT y HT), en especial los que aún no han sido transformados (HNT).

Como base para la construcción de las estrategias y actividades de conservación de HNT, se expone lo que adicionalmente se renuncia por destinar una hectárea de humedal a las actividades como la ganadería y el cultivo de caña (Tabla 2-5). El COA total (Figuras 2-46 y 2-48) es parte medular en la justificación de la conservación de los humedales costeros, además de los proyectos de mecanismo de desarrollo limpio (MDL) y reducción de CO₂e (certificados por reducción de emisiones (CER) (UNFCCC 2011) durante el cultivo y proceso de la caña de azúcar (ingenios) que dan sustento adicional de acuerdo al World Bank (2011) y al pago por servicios ecosistémicos (PSE) por secuestro de carbono (SCO₂).

Tabla 2-5 Criterios de adicionalidad para el PSE por hectárea de HNT conservados en el escenario eficiencia/conservación.

Municipios	Beneficios Indirectos			Externalidades Evitadas		
	Pesca		Apicultura IMD/ha (USD)	Costo por derechos de agua (USD)	CO ₂ e en el proceso de cultivo de caña (USD)	CO ₂ e Proceso de la caña de azúcar (Ingenios) (USD/ha)
	ITD (USD)	IMD/ha (USD)				
Alvarado	18,162,493.33	1,394.12	903.27	12,246.480	28.92	22.24
Lerdo de Tejada	751,824.34	x	1020.06	5,298.958	28.92	28.14
Ignacio de la Llave	1,384,939.58	1,140.17	1072.14	4,239.166	28.92	21.30
Acula	2,018,054.81	929.60	811.53	706.528	28.92	19.52
Tlacotalpan	1,384,939.58	2,025.68	x	18,926.092	28.92	28.14
Saltabarranca	1,384,939.58	x	x	1,530.810	28.92	28.80
Ixmatalhuacan	2,334,612.43	x	x	1,177.546	28.92	21.11
Amatitlán	751,824.34	x	x	824.282	28.92	21.75
Carlos A. Carrillo	0.00		x	706.528	28.92	21.69

Los valores están presentados en USD a un tipo de cambio de 1 USD = \$ 13 BANXICO (2010), y por hectárea de HNT (selva inundable, tular, popal, manglar) (excepto el ingreso total deflactado (ITD) de la pesca que representa el ingreso total por la pesca en cada municipio). En el caso de la ganadería extensiva, son los mismos beneficios indirectos de la conservación, excepto las externalidad evitadas, debido a que éstas no fueron estimadas en el caso de la ganadería.

La Tabla 2-5 muestra los criterios de adicionalidad a partir de los beneficios indirectos (pesca, apicultura y bajo costo por derechos de agua) y las externalidades negativas evitadas (CO₂e en el proceso de cultivo de caña de azúcar y CO₂e en el proceso de la caña de azúcar en el ingenio). De esta manera, se concluyen las adicionalidades que pueden sumarse a los proyectos que persigan la conservación de los HNT y obtener beneficios económicos vía el SCO₂ (Figura 2-34). Esto debe incluir la colaboración entre ganadería, el cultivo de caña y los ingenios, para la toma decisiones y acciones conjuntas rumbo al manejo de los HNT con base en la idea del manejo integrado de la zona costera (MIZC) (Álvarez-Icaza 2005, Moreno-Casasola 2005a, 2005b, Moreno-Casasola e Infante 2010).

La Tabla 2-6 muestra la información referente a las adicionalidades de industria limpia en los ingenios ubicados en el SLA. Cada ingenio bajo la misma producción en un esquema de eficiencia/conservación podría contribuir a disminuir las toneladas de CO₂e evitado durante el proceso y disminuir su externalidad en términos monetarios (USD por CO₂e evitado), asimismo evitaría el cultivo de hectáreas al no requerir tal producción (hectáreas de humedal costero) por tanto se evitarían las emisiones de t de CO₂ por el cultivo de caña de azúcar, el cambio de uso de suelo para el cultivo de caña de azúcar y esto disminuiría sus externalidades en términos monetarios (USD por CO₂e evitado por cultivo de caña).

Tabla 2-6 Escenario de Eficiencia-restauración en los ingenios para la restauración de humedales transformados.

Ingenios	Caña de azúcar evitada (t).	CO ₂ evitado durante el proceso de molienda (t).	CO ₂ e evitado (USD)	Humedal costero evitado (ha).	CO ₂ e evitado por cultivo de caña de azúcar (t).	CO ₂ por cultivo de caña de azúcar (USD)
San Cristóbal	1,952.57	58.58	702.93	29.75	71.69	860.24
San Francisco el Naranjal	42,449.13	1,273.47	15,281.69	646.67	1,558.47	18,701.66
San Pedro	2,603.29	78.10	937.19	39.66	95.58	1,146.92
San Gabriel	39,068.41	1,172.05	14,064.63	595.17	1,434.35	17,212.23
Total SLA	86,073.41	2,582.20	30,986.43	1,311.24	3,160.09	37,921.05

De acuerdo a la Figura 2-43 se obtuvo la eficiencia por ingenio, la máxima eficiencia 9.65 t de caña de azúcar procesada/t de azúcar producida, da como resultado los valores en la presenta Tabla.

Si la presente estrategia es ligada a lo presentado en la Tabla 2-6, se podrían generar los esquemas para la restauración de humedales transformados (HT), para ello, habría que determinar el coste de dichos proyectos y su tasa de rentabilidad, así como el valor actual neto, que no fue parte del objetivo del presente estudio. A partir de las hectáreas de humedales costeros evitadas por el escenario de eficiencia-conservación (Tabla 2-5), se pueden generar los esquemas de restauración y de la recuperación de los BSE como SCO₂, a partir de esquemas y financiamientos como United Nations (2009, 2011), Carbon Finance 2010 y World Bank (2011) para cambiar hacia un patrón de manejo que integre el aprovechamiento económico (agricultura y ganadería) con la conservación y restauración de humedales, en el marco de los beneficios que muestran las Tablas 2-5 y 2-6, así como el aprovechamiento semi-intensivo y eficiente en ambas actividades económicas.

El escenario de máxima eficiencia/restauración plantea las siguientes ventajas: reducción de emisiones durante el proceso del cultivo de caña de azúcar y el proceso de la caña en el ingenio, y en la producción de azúcar (Tabla 2-6) así como las hectáreas de humedal costero evitadas y su subsecuente restauración. Además la eficiencia aumentará la producción de caña de azúcar (Tabla 2-7) y maximizaría el beneficio económico de los ingenios (no estimada en el presente estudio). Sin embargo, al aumentar la producción de azúcar, aumenta la cantidad de CO₂e por tonelada de azúcar producida (debido a que el criterio de eficiencia plantea la reducción durante el proceso de molienda), aún bajo este escenario si se realiza como conclusión el ejercicio de estimar el coste de oportunidad ambiental (COA) que implica aumentar la eficiencia y la externalidad de ésta (aumento del CO₂e por producción de azúcar), se puede observar que la disminución del CO₂e durante el proceso de molienda es mayor que el aumento del CO₂e por la producción de caña de azúcar (Tabla 2-7).

Tabla 2-7 Coste de oportunidad ambiental (COA) en el escenario eficiencia/restauración.

Ingenios	Aumento en la producción de caña de azúcar (t)	Aumento de CO ₂ e (%)	CO ₂ e adicionado (t)	Valor CO ₂ e adicionado (USD)	COA (USD)
San Cristóbal	202.28	0.08	48.55	582.57	120.36
San Francisco el Naranjal	4,397.59	13.43	1,055.42	12,665.06	2,616.63
San Pedro	269.69	0.41	64.73	776.71	160.47
San Gabriel	4,047.36	40.21	971.37	11,656.40	2,408.23
Total SLA	8,916.92		2,140.06	25,680.73	5305.68

Para estimar el aumento en la producción de caña de azúcar, se utilizaron los resultados del año 2010 (Figura 2-39) y la eficiencia máxima 9.65 t de caña de azúcar/ t de azúcar producida (Figura 2-44). El coste de oportunidad (COA), adoptar un modelo que lleve al escenario de eficiencia/conservación en la industria de caña de azúcar, resultó de restar al valor (USD) de CO₂e evitado por cultivo de caña de azúcar (Tabla 2-6), el valor de CO₂e adicionado estimado en la presente tabla.

De esta forma, el escenario de eficiencia/restauración tiene como resultado un COA positivo lo que implica que dejar de llevar a cabo el presente escenario (Tabla 2-7) conlleva a pérdidas económicas y la generación de externalidades negativas en el SLA (emisiones de gases de efecto invernadero CO₂). El presente escenario es el resultado de la integración de los resultados del coste de oportunidad entre las actividades (ganadería extensiva y cultivo de caña) y la conservación de los humedales costeros transformados (HT), así como los criterios de adicionalidad que sirven como sustento a los proyectos de conservación de HNT, los criterios de eficiencia en la producción de azúcar en los ingenios del SLA (Tabla 2-6) y el coste de oportunidad ambiental (COA) del escenario eficiencia/restauración de HT (Tabla 2-7). Cabe señalar que Tablas 2-6 y 2-7 es el comienzo para la restauración de los humedales costeros transformados (HT), para esto se necesitará saber los costes de restauración (no estimados en el presente estudio).

Resulta evidente que el mercado no asigna eficientemente los recursos económicos dentro de una sociedad debido a los fallos de éste en el precio medio deflactado (PMD) de acuerdo con Mankiw (2001, 2002), mucho menos es capaz de asignar el valor correcto a los recursos naturales (humedales costeros) (Gómez-Baggethun y de Groot 2007, Vatn et al. 2011), de la misma manera, los subsidios del gobierno debido a la acumulación de la tierra en el SLA, son un incentivo perverso hacia la ineficiencia de las actividades (en el caso de los grandes terratenientes) y en el caso de los pequeños productores resulta un apoyo que no induce en factores de la producción que contribuyan al mejoramiento de la actividad (RM por hectárea) (OECD 2003).

A partir del mercado de carbono y sus criterios de adicionalidad (Carbon Finance 2010, UNFCCC 2011, World Bank 2011), el cambio de los arreglos institucionales (relación productor-ingenio), así como los estrategias de la economía verde (United Nations 2009, 2011, UNCSD-

Secretariat 2012, UNDESA-UN 2012) que fortalezcan la viabilidad socioeconómica de los proyectos de conservación y restauración, se puede dar un manejo integrado y eficiente en los humedales costeros. Con base en el escenario eficiencia/conservación (HNT) y eficiencia/restauración (HT), basado en la eficiencia de los ingenios para disminuir costes de producción y por tanto menor requerimiento de toneladas de caña de azúcar, de la misma forma, que generaría menor presión sobre la superficie de destinada al cultivo de caña para recuperar los humedales transformados (HT) y la disminución de la superficie de la ganadería, vía la incursión hacia la ganadería semi-intensiva (Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial 2009).

En síntesis, el presente estudio construyó las bases económicas para el manejo de los humedales costeros del SLA a partir de la inclusión de diversas actividades económicas como el cultivo de la caña de azúcar, la ganadería extensiva y la pesca (Moreno-Casasola 2005b), y el análisis detallado del mercado regional (precios) y el arreglo institucional (estructura y acuerdos del mercado, así como subsidios). Sumado a esto, los criterios de adicionalidad antes mencionados y la necesaria participación de la industria (ingenios azucareros) para la integración de los conceptos de la economía verde y la industria limpia, los cuales son metas trazadas en la última convención de Río +20, además de coadyuvar en el cumplimiento de la nueva Ley Federal de Cambio Climático promulgada en el 2012 por el H. Congreso de la Unión de México.

3. EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD Y ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE LOS HUMEDALES COSTEROS EN EL SISTEMA LAGUNAR DE ALVARADO, VERACRUZ, MÉXICO

César Vázquez González, José Luis Fermán Almada, Patricia Moreno-Casasola Barceló, Martha Ileana Espejel Carbajal, María Evarista Arellano García

Resumen

El actual aprovechamiento y uso de suelo de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado ha ocasionado la pérdida de la cobertura vegetal y la modificación del suelo. Estos son drenados o desecados para actividades como la ganadería extensiva y el cultivo de la caña de azúcar. Debido a esto, ha disminuido su capacidad para realizar sus funciones ecosistémicas ocasionando la pérdida de bienes y servicios ecosistémicos como disminución de la recarga de mantos freáticos, control de inundaciones, pérdida del hábitat de especies aprovechadas por las pesquerías (89 cooperativas) y el secuestro de carbono. Además, el cultivo de la caña de azúcar genera externalidades ambientales como la emisión de carbono durante el proceso de cultivo y contaminación de los cuerpos de agua, aunado a esto, las condiciones de vida de la población no reflejan el ingreso económico total por municipio del cultivo de caña de azúcar y la ganadería, asimismo existe un nivel crítico de vulnerabilidad eco-céntrica municipal. Por tal motivo, el objetivo del presente estudio, es construir un índice que evalúe por municipio la sustentabilidad en función de componentes como la vulnerabilidad eco-céntrica (aprovechamiento de suelo), el índice de marginación municipal, el coste de oportunidad económico asumido por las actividades de uso directo (ganadería y caña de azúcar) y el componente de externalidad ambiental a partir de las emisiones de carbono por el cultivo de la caña de azúcar. Los resultados muestran que todos los municipios se encuentran en un nivel crítico de la sustentabilidad (x_{ij} menor a 0.5) y los sitúa lejos del óptimo establecido (x_{ij} igual a 1). Sin embargo dentro de éste nivel, los municipios mostraron clases diferentes en sus componentes y esto da lugar a las estrategias para el manejo de los humedales costeros transformados y no transformados para disminuir el impacto negativo de sus componentes. Se puede concluir que a partir de la eficiencia en las actividades (aumento del agostadero en la ganadería y el rendimiento medio en el cultivo de caña) se puede reducir del 50% de la superficie destinada a la ganadería extensiva y el 22% del cultivo de caña de azúcar, esto disminuiría la vulnerabilidad eco-céntrica, el coste de oportunidad a partir del aumento en el ingreso medio por hectárea (ganadería y cultivo de caña), disminuirá el índice de marginación al aumentar el ingreso y disminuirá las emisiones de carbono al cultivar menos superficie.

Palabras Clave: Aprovechamiento eficiente, vulnerabilidad eco-céntrica, índice de marginación, coste de oportunidad económico, emisiones de carbono, manejo costero.

3.1. Introducción

Actualmente, los humedales costeros son reconocidos como ecosistemas altamente productivos (Mitsch y Gosselink 2000, Moreno-Casasola 2005a, Barbier et al. 2005) debido a los bienes y servicios ecosistémicos (BSE) que brindan a la sociedad que habita *in situ* y *ex situ*. El sistema económico-productivo (producción, distribución y consumo) de las costas no tendría lugar de no existir tales ecosistemas. Desde los bienes de producción primaria como la caña de azúcar, la cría de ganado, la productividad pesquera de las lagunas y los insumos en la producción intermedia como el agua utilizada por la industria de la caña de azúcar; son parte de los beneficios económicos y sociales que brindan los humedales costeros. Prueba de ello, son las evaluaciones económicas realizadas por Costanza et al. (1989, 1997), Richards et al. (1999), Birol et al. (2006), Rouquette et al. (2009) y Posthumus et al. (2010) quienes ponen de manifiesto la contribución económica, social y biológica de los humedales en cada una de sus respectivas zonas de estudio.

El documento intitulado Millennium Ecosystem Assessment (2005) instó a las autoridades y encargados de la política ambiental de cada país, a realizar una evaluación y valoración de los BSE que ofertan los humedales y a analizar a nivel regional (países) y local (municipios) el impacto negativo que tiene la remoción de éstos. México no es ajeno a dichos estudios, Sanjurjo et al. (2005a, 2005b) analizaron la contribución económica de los manglares en el Estado de Jalisco, en función de las pesquerías y su productividad, determinando que a mayor cobertura de manglar las pesquerías presentaron mayor productividad, debido a que tienen la función de ser el hábitat de diversas especies que son aprovechadas en la actividad pesquera. Moreno-Casasola et al. (2002) analizaron las pesquerías de varios cuerpos de agua de Veracruz y lo relacionaron con la superficie de manglares pero también con la superficie de las cuencas, ya que en muchas de éstas hay humedales de agua dulce que también aportan nutrientes a las lagunas y por tanto ayudan a incrementar las pesquerías. Por otro lado, estudios como los de Travieso-Bello (2005), Travieso-Bello et al. (2005) y Rodríguez Medina (2011) analizan el impacto del manejo pecuario y la sustentabilidad de dicho manejo en los humedales costeros, a partir de la modificación y los efectos de éste, en el suelo y su productividad.

En México, los humedales se encuentran ampliamente distribuidos en todo el litoral desde las playas de aguas tranquilas hasta los 25m de altitud tierra adentro. Dentro de los más importantes por su extensión están los del Sistema Lagunar Alvarado (SLA), en la planicie costera de la Cuenca del Papaloapan en el Estado de Veracruz (Moreno-Casasola e Infante 2010). De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CNA), la cuenca del Papaloapan se divide en tres subregiones; cuenca alta, media, y baja, es la segunda de mayor importancia en México por su tamaño y escurrimiento promedio de agua superficial. El SLA se encuentra ubicado en la cuenca baja del Papaloapan y desemboca al este en el Golfo de México. Dada la homogeneidad de las características naturales y socioeconómicas de los municipios que se muestran en la Figura 3-1,

éstos conforman la microrregión (CNA 2007) conocida como el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA). Además, la importancia de esta microrregión está basada en las tres esferas (natural o ecológica, económica y social) que de acuerdo con Brutland (1987) son parte de los objetivos y estrategias para el manejo de los recursos naturales.

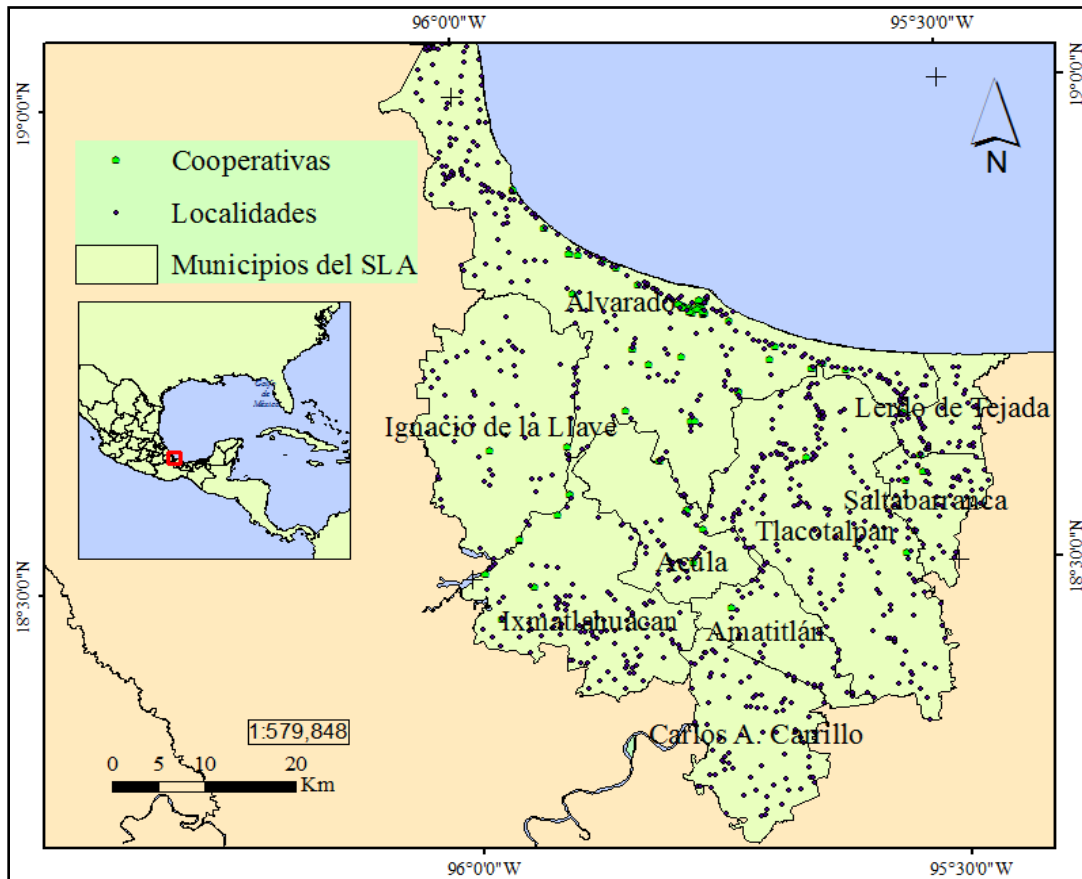


Figura 3-1 Municipios, localidades rurales y cooperativas pesqueras en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

Fuente: con información del Inventario, Delimitación, Caracterización y uso sustentable de los humedales de la Cuenca del Río Papaloapan (Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247).

Las tres esferas de importancia en el manejo de los recursos naturales (Vázquez et al. 2011), para el caso de los humedales costeros del SLA, se describen a continuación:

- a) Natural. Comprende un área 373,021 ha, que representa el 8.15% de la cuenca del Papaloapan y el 22.85% la cuenca baja del Papaloapan. Moreno-Casasola e Infante (2010) los resaltan como un importante recurso hidrobiológico por la variedad de tipos de vegetación (mangle, tular, popal, espartal, selva inundable/selva, palmar, potrero inundable, acahual y vegetación flotante). El SLA es un sistema lagunar-estuarino compuesto por lagunas costeras salobres, destacándose las lagunas de Alvarado, Buen País y Camaronera,

más de 100 lagunas interiores, como la de Tlalixcoyan y las Pintas, y varios ríos, destacándose los ríos Papaloapan, Acula, Blanco y Limón (Portilla-Ochoa 2003a).

- b) Social. Habitan 183,187 personas, esto representa el 2.4% y 5.1% de la cuenca del Papaloapan y la cuenca baja del Papaloapan, respectivamente. La zona tiene una gran importancia cultural y tradicional como la fiesta de la Virgen de la Candelaria en Tlacotalpan (Córdoba 1998), la relevancia histórica desde la época prehispánica (Vargas 1998), colonial (Velasco 1998) y durante el porfiriato (Vergara 1998), además de los vestigios arqueológicos encontrados en municipios como Tlalixcoyan y Acula (Maldonado 1998), son parte esencial de lo que envuelve la cultura y sociedad en el SLA.
- c) Económica. El desarrollo de los cultivos de caña de azúcar con un ingreso corriente de 6.5×10^7 USD/2010, la ganadería extensiva con 6.8×10^7 USD/2010 (SEDARPA y SAGARPA 2010) y la pesca con un ingreso corriente ca. 2.8×10^7 USD/año con base en información de las encuestas de (CONAGUA-CONACYT Proyecto no. 48247). Esta última, congrega 89 cooperativas, que trabajan en el mar, en la región salobre y en el agua dulce. La zona de mayor densidad de cooperativas en el Estado de Veracruz es el SLA, dentro de éste se aglomera la mayor cantidad en la Lagunar de Alvarado (Moreno-Casasola e Infante 2010).

Debido a las actividades citadas en la esfera económica, los humedales costeros del SLA son fuente, soporte y sumidero de las actividades socioeconómicas anteriormente mencionadas (Travieso-Bello 2005, Travieso-Bello et al. 2005). Autores como Portilla-Ochoa et al. (1998), Velasco (1998), Juárez (2005), Moreno-Casasola (2005a) y Flores-Verdugo et al. (2010) coinciden en los beneficios económicos, sociales y biológicos que se obtienen de los humedales debido a los bienes y servicios ecosistémicos (BSE) que brindan y que se han perdido, al drenarlos para el cultivo de la caña de azúcar (14 % del suelo del SLA) y transformados en distintos grados para la ganadería extensiva (60% del suelo del SLA). Por tal motivo es necesario generar un índice de sustentabilidad en función de la vulnerabilidad eco-céntrica (expuesta en el capítulo uno), el coste de oportunidad económico (COE) entre la ganadería, el cultivo de caña de azúcar (capítulo dos), el índice de marginación a nivel municipal (CONAPO 2010) y las externalidades negativas ambientales del cultivo de caña de azúcar (cantidad de CO₂e por municipio en el proceso de cultivo de la caña de azúcar). Y de esta manera, sentar las estrategias para el manejo de los humedales costeros del Sistema Lagunar de Alvarado.

3.2. Marco Conceptual

El manejo de los ecosistemas y de los recursos naturales puede ser entendido como el proceso a través de las esferas económica, social y ecológica, a partir del cual, los actores y tomadores de

decisiones establecen objetivos (sociales), metas (económicas) y restricciones (ecológicas) para gestionar el aprovechamiento y conservación de los ecosistemas de manera sustentable (Vázquez et al. 2011). En este sentido, la sustentabilidad se entiende como la característica esencial del manejo de los recursos naturales, debido a que implica el cumplimiento de la rentabilidad económica en el aprovechamiento, conservación y restauración de los recursos naturales, la equidad social y el desarrollo de la sociedad en la toma de decisiones para el manejo del medio ambiente y la visión ecológica de conservar los ecosistemas (Brutland 1987) debido a los beneficios ambientales que brindan. Tal es el caso, de proyectos como Vázquez y Espejel (2011) en donde se detallan los pasos, proceso y resultados de un plan de manejo de recursos naturales, En éste se puede observar cada una de las características mencionadas anteriormente. El manejo de los recursos naturales es un proceso adaptativo y participativo, de tal forma, que es necesario construir indicadores o índices que evalúen y adapten las estrategias del manejo, en función de las necesidades sociales, las metas económicas y los cambios naturales. En este sentido, es importante la evaluación de la sustentabilidad en función de variables como la vulnerabilidad eco-céntrica (Kaly et al. 1999), la vulnerabilidad social (Füssel 2007) y el coste de oportunidad económico (entre actividades como ganadería y cultivo de caña de azúcar).

3.2.1. Modelo conceptual para el índice de sustentabilidad actual

En el presente estudio se entiende la sustentabilidad a través de la suma de factores como la vulnerabilidad eco-céntrica (capítulo uno), el coste de oportunidad económico entre actividades como la ganadería y el cultivo de caña de azúcar (capítulo dos), el índice de marginación social (CONAPO 2010) que explica el rezago social y por tanto la vulnerabilidad de las personas (Füssel y Klein 2006, Füssel 2007), y las externalidades generadas al medio ambiente debido a las actividades económicas *in situ* (cultivo de caña de azúcar y ganadería). La parte ecológica es entendida desde la perspectiva de la vulnerabilidad eco-céntrica (ver índice de vulnerabilidad capítulo 1) y de las externalidades como el CO₂e (ver capítulo dos), la esfera económica desde el coste de oportunidad económico (ver capítulo dos) y la parte social desde el índice de marginación por municipio (CONAPO 2010). En función de esto, cada uno de los municipios tiene diferente nivel de sustentabilidad dependiendo del nivel mostrado en cada una de las variables, además de mostrar el equilibrio entre lo económico, social y natural, tal y como lo señalan Seingier et al. (2009, 2011a, 2011b).

La Figura 3-2 explica que a mayor sustentabilidad más cercano a 1 es el índice de sustentabilidad por municipio. En el caso de los subíndices como vulnerabilidad eco-céntrica (SVE), subíndice de marginación social (SMS), subíndice de coste de oportunidad económico (SCOE) y subíndice de emisiones de carbono (SECO), mientras más cercanos se encuentren a 1 mayor es el efecto negativo de éstos en la sustentabilidad por municipio y por tal motivo el índice de sustentabilidad municipal (ISM) será más cercano a 0. Así mismo, la sensibilidad positiva y

negativa de los subíndices sobre el índice de sustentabilidad, dependerán del comportamiento de cada uno de ellos, en función de la conceptualización mostrada en la Figura 3-2.

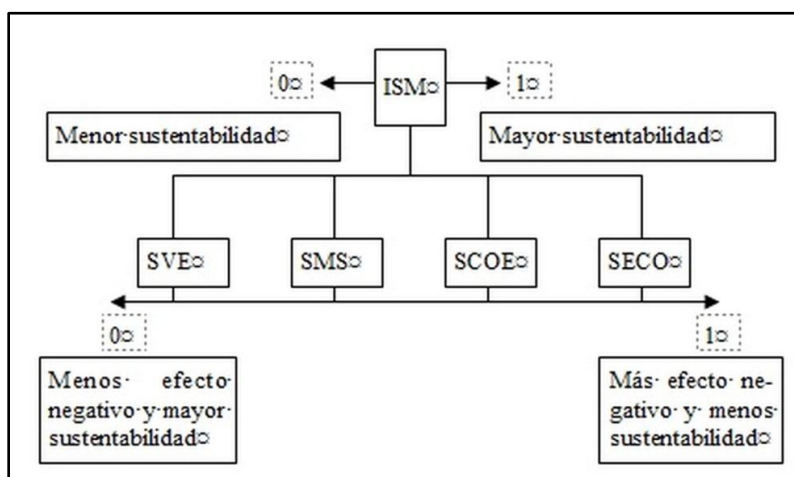


Figura 3-2 Modelo conceptual del Índice de sustentabilidad municipal (ISM) para el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

3.3. Metodología

La cuenca del Papaloapan cuenta con 264 municipios de los cuales se tomaron nueve (Figura 3-1) que conforman la microrregión conocida como el SLA (Portilla Ochoa 2003a). Históricamente ha tenido cambios en su definición territorial, no así en su definición hidrológica (CNA 2007). El SLA abarca 291,700 ha, esto equivale al 6.4% de la cuenca del Papaloapan y ca. 18% de la cuenca baja. Es una planicie, con pendientes mínimas y una altura de 10 msnm. Todos los municipios tienen homogeneidad en la problemática ambiental, la modernización de la agricultura, el cambio de uso de suelo y vegetación (2006-2010) para el cultivo de la caña, para la ganadería (SEDARPA y SAGARPA 2006-2010) y la deforestación en las partes altas.

De acuerdo con la CNA (2007) la contaminación de los cuerpos de agua se debe a la descarga de herbicidas y otros tipos de plaguicidas utilizados el cultivo de la caña, como en el caso de la atrazina (Cejudo-Espinosa et al. 2008), descargas de los procesos de los ingenios y actividades industriales en la parte alta de la cuenca, aunque éstas últimas se han reducido por el uso de plantas de tratamiento de agua. Por otro lado, existen 22 ingenios localizados en la cuenca del Papaloapan, éstos ocupan $343 \times 10^6 \text{ m}^3$ de agua superficial y descargan $287.77 \times 10^6 \text{ m}^3$, cuatro de ellos se encuentran en el SLA y ninguno cuenta con planta de tratamiento (CSVA 2006). Esto constituye una externalidad ambiental (Gómez-Baggethun y de Groot, 2007) para los pescadores, quienes argumentan que los herbicidas y plaguicidas utilizados en el cultivo de la caña de azúcar y los ingenios “disminuyen la productividad de los cuerpos de agua y del manglar” (comunicación personal, Antonio Zamudio).

3.3.1. Método

Se incluyó el índice de vulnerabilidad eco-céntrica en el escenario actual (IVE-EA, capítulo uno), el coste de oportunidad económica por hectárea, por municipio y por año (2010) (capítulo dos), el índice de marginación de CONAPO (2010) y la emisión de carbono (CO₂e) (capítulo dos) en el proceso de cultivo de caña de azúcar por municipio en el año 2010.

3.3.2. Normalización y evaluación

Se aplicó el método utilizado por Nijkamp et al. (1990). La normalización arroja resultados ($0 \leq x_{ij} \leq 1$), donde x es el subíndice o índice evaluado, i es el municipio y j el año de evaluación. Con base en la Figura 3-2, mientras los subíndices (x_{ij}) sean es más cercanos a 1, mayor será su efecto negativo sobre en el índice de sustentabilidad municipal (ISM) y por tanto menor la sustentabilidad del subíndice o componente evaluado. En el caso del índice de sustentabilidad (ISM) mientras x_{ij} es más cercano a 1, mayor sustentabilidad muestra el índice y por tanto el municipio evaluado. Una vez realizada la sumatoria de los componentes del ISM, se estandarizó nuevamente pero ahora el valor máximo x_{ij} es igual o cercano a 0, y el valor mínimo igual o cercano a 1. De esta forma, mientras mayor es la sumatoria de los subíndices (SVE, SMS, SCOE, SCO) menor índice de sustentabilidad (ISM) y por tanto menor la sustentabilidad municipal.

3.3.3. Índice de Sustentabilidad Municipal

El componente ecológico se evalúa a partir del subíndice de vulnerabilidad eco-céntrica (SVE, capítulo uno). Evalúa los municipios en función de la capacidad de sus humedales de ser vulnerados o afectados negativamente, de acuerdo con la definición de Kaly et al. (1999) y Füssel (2007). El componente económico se entiende a partir del coste de oportunidad económico (COE) entre destinar una hectárea de humedal a la ganadería en lugar del cultivo de caña. De forma implícita incluye el ingreso medio por hectárea (IMD) por cultivo de caña en cada municipio (ver capítulo dos). Así, el COE se convierte en el subíndice del coste de oportunidad económico (SCOE) al exponer lo que se renuncia económicamente debido al uso de suelo.

El componente social se tomó el índice de marginación del CONAPO 2010, para mostrar el efecto de las condiciones socioeconómicas en la sustentabilidad de cada municipio (Figura 3-1). A pesar de que el índice de marginación es considerado como un enfoque urbano, éste es el indicador más preciso que existe para evaluar las condiciones de vida de las personas. El subíndice de externalidad ambiental (SECO) es entendido a partir del concepto de externalidad expuesto desde la teoría económica por Mankiw (2002) y retomado para el capital natural y los ecosistemas por Gómez-Baggethun y de Groot (2007). El propósito de este subíndice es incluir

las externalidades por la actividad del cultivo de caña como el carbono emitido (CO₂e). La integración del IMS se puede observar en la Ecuación 3-1.

Ecuación 3-1 Índice de sustentabilidad por municipio y año 2010 (IMS).

$$ISM_{ij} = \sum (SVE_{ij}, SCOE_{ij}, SMS_{ij}, SECO_{ij})$$

3.4. Resultados

Los subíndices que presentan valores ($x_{ij} > 0.5$) significa que tienen mayor impacto negativo en el índice de sustentabilidad. Esto significa que las estrategias de manejo deben poner mayor énfasis en éstos componentes ($x_{ij} > 0.5$). En el caso del índice de sustentabilidad municipal (ISM) donde $x_{ij} > 0.5$, el nivel de sustentabilidad es estratégico (NE). Si el ISM es menor a 0.5 ($x_{ij} < 0.5$) significa que se encuentra en un nivel crítico (NC) de sustentabilidad municipal, donde el aprovechamiento de los humedales costeros se encuentra lejos del óptimo establecido en el presente estudio ($x_{ij} = 1$).

3.4.1. Evaluación del componente ecológico

Los municipios con menor clasificación (bajo y medio) (Figuras 3-3a y 3-3b) muestran que el índice de sustentabilidad tiene una baja sensibilidad a la vulnerabilidad eco-céntrica, esto no significa que el aprovechamiento actual sea adecuado en términos de la sustentabilidad (ISM). Los municipios con SVE alto y muy alto, deben implementar mayor reducción de la superficie destinada a actividades como la ganadería y el cultivo de caña de azúcar.

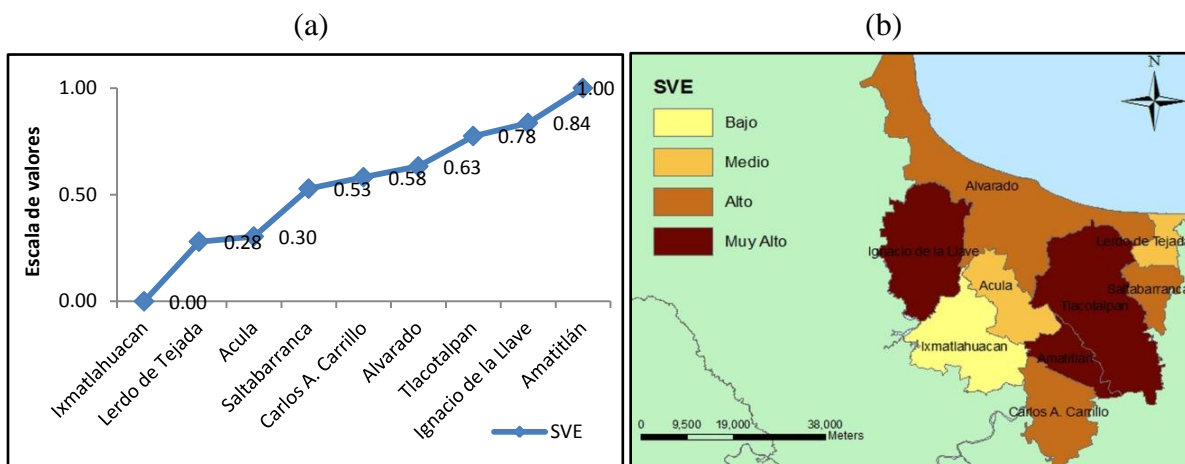


Figura 3-3 Escala de valores del subíndice de vulnerabilidad eco-céntrica (SVE) por municipio (a) y representación espacial del SVE por municipio (b) en el Sistema Lagunar de Alvarado.

3.4.2. Evaluación del componente social

Municipios con menor subíndice de marginación social (SMS) significa que su índice de sustentabilidad municipal (ISM) no es tan sensible a los efectos negativos del SMS (subcomponente menor a 0.5 Figura 3-4a). Esto no significa la inexistencia de marginación social, sino que ejerce un peso poco significativo en ISM, por lo que deberán aplicar medidas de manejo con prioridad en otros subcomponente sin descuidar el SMS. Ignacio de la Llave y Acula (Muy Alto), Saltabarranca, Ixmattlahuacan y Amatitlán (Alto) (Figura 3-4a) sugiere que sus estrategias de manejo de los humedales costeros deben poner mayor énfasis en la distribución del ingreso y de las condiciones de nivel de vida de las personas.

Ligado a lo anterior, la desigualdad económica generada en el desarrollo de las actividades económicas (capítulo 2) sirve para tomar decisiones de acuerdo a los rendimientos (capítulo dos) y la distribución del ingreso con la finalidad de decidir las actividades (económicamente) más redituables por municipio y con mejor capacidad de generar ingreso en los trabajadores y el reflejo de esto en la calidad de vida de la población municipal.

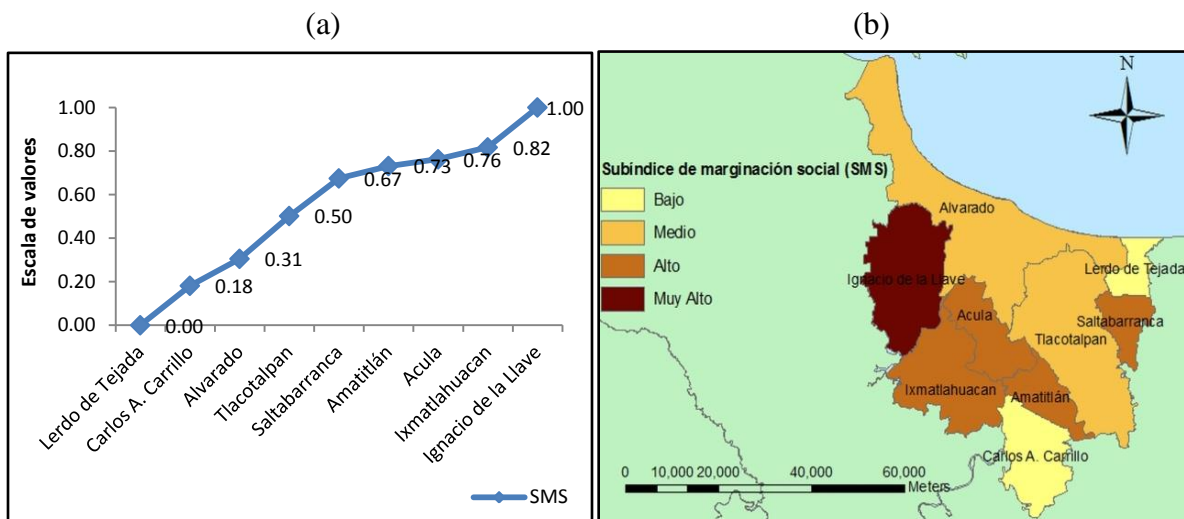


Figura 3-4 Escala de valores del subíndice de marginación social (SMS) por municipio (a) y representación espacial del subíndice de marginación social (SMS) por municipio (b) en el Sistema Lagunar de Alvarado.

3.4.3. Evaluación del componente económico

Los municipios que resultaron más sensibles al subíndice del coste de oportunidad económico (SCOE) (nivel muy alto) en las Figuras 3-5a y 3-5b y Amatitlán (SCOE alto), significa que destinar una hectárea de HNT para la ganadería en lugar del cultivo de caña de azúcar, tiene menos beneficio económico y esto hace más sensible, es decir, más negativo destinar una hectárea de HNT a la ganadería en lugar del cultivo de la caña (en términos económicos de la

sustentabilidad). Municipios con SCOE (medio y bajo) (Figuras 3-5a y 3-5b) demuestra que su aprovechamiento (SCOE) de los HT es bajo, y en términos económicos deben destinar sus hectáreas de HNT a la ganadería y no al cultivo de caña, debido a que en términos económicos, a menor coste de oportunidad (USD) menos pérdida en valor económico (USD), además en las estrategias de manejo de los humedales costeros, deberán enfocarse con mayor énfasis en proyectos que resuelvan la eficiencia del cultivo de caña y no cambiar hacia esquemas de la ganadería extensiva.

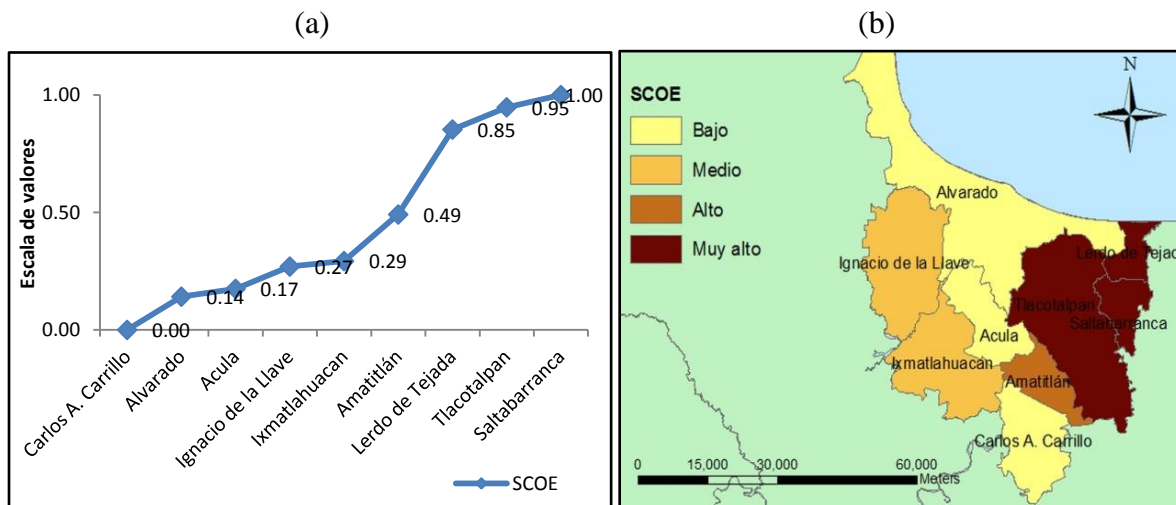


Figura 3-5 Escala de valores del subíndice de coste de oportunidad económico (SCOE) por municipio (a) y representación espacial del subíndice de coste de oportunidad económico (SCOE) por municipio (b).

3.4.4. Evaluación del componente de externalidad ambiental

Carlos A. Carrillo y Tlacotalpan (Muy Alto), Acula, Amatitlán e Ixmatalhuacan (alto) muestran que su sustentabilidad es más sensible a las emisiones de carbono, de acuerdo al subíndice de emisiones de carbono (SECO) (Figuras 6a y 6b). En el caso de Alvarado, Acula y Carlos A. Carrillo su sustentabilidad tiene baja sensibilidad al subíndice de emisiones de carbono, esto no significa que deban aumentar su superficie cultivada de caña de azúcar, sino mantener la actual superficie o bien, reducir la superficie cultivada a partir del aumento del rendimiento medio (RM) por hectárea, de esta forma se pueden obtener mayores niveles de cosecha manteniendo o reduciendo la superficie cultivada y por tanto, la reducción de carbono emitido (CO_2e) durante el cultivo de caña de azúcar (ver capítulo dos). Lerdo de Tejada y Saltabarranca (Medio) pueden mantener el actual aprovechamiento (sin aumentar la superficie cultivada de caña de azúcar), debido a que su sustentabilidad puede mantenerse sin modificar dicho componente o incrementarse a partir de otros componentes el aumento del subíndice de marginación (SMS) y del subíndice de coste de oportunidad económico (SCOE).

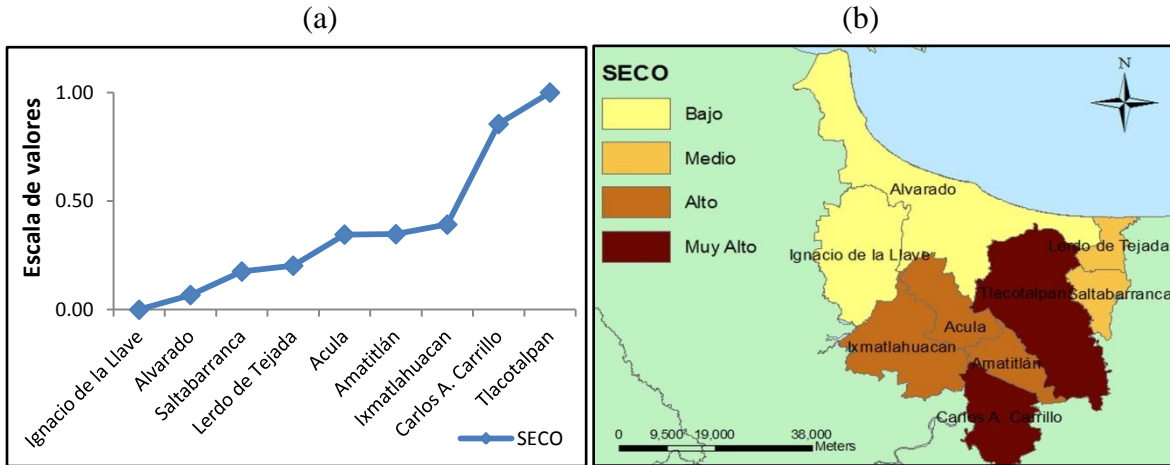


Figura 3-6 Escala de valores del subíndice de emisiones de carbono (SECO) por municipio (a) y representación espacial del subíndice de coste de oportunidad económico (SECO) por municipio (b).

3.4.5. Evaluación de la sustentabilidad

Todos los municipios muestra un ISM debajo de 0.5, esto significa que el nivel de su sustentabilidad es bajo y su situación es crítica, sin embargo muestran diversos niveles en sus subíndices (Figura 3-7a) por esto, sus estrategias de manejo deben poner mayor énfasis en la disminución de sus subcomponentes mayores a 0.5. Las Figuras 3-7a y 3-7b muestran la evaluación del índice de sustentabilidad (ISM) entre los municipios, aún cuando existen municipios con nivel Muy alto y Alto (Figura 3-7b) no significa que sean sustentables, sino que entre éstos, son los mejores posicionados. Sin embargo, todos se encuentran por debajo de 0.5 (Figura 3-7a) lo que de acuerdo al modelo conceptual de la sustentabilidad se encuentran lejos del óptimo es decir, $x_{ij}=1$. Esto abre la posibilidad para definir la prioridad de cada municipio (subcomponente) y la estrategia general en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

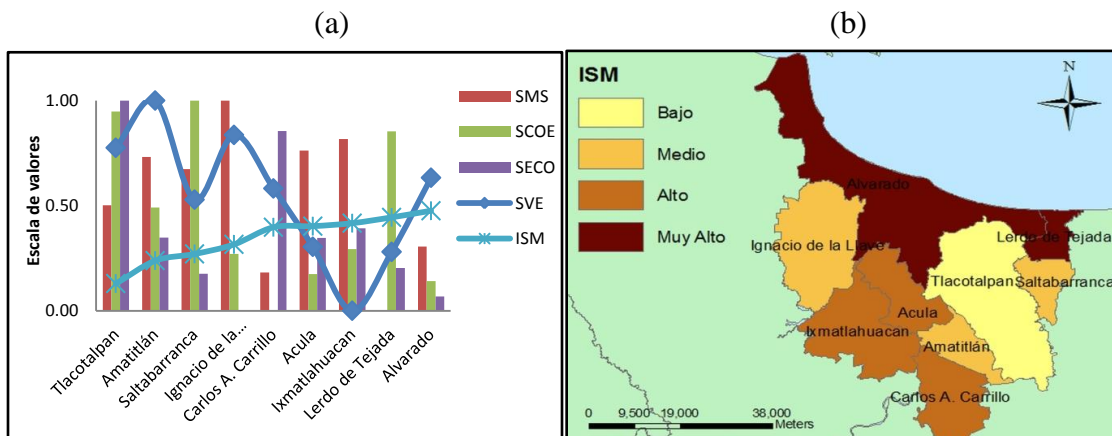


Figura 3-7 Comparación del índice de sustentabilidad por municipio (ISM) y sus componentes (a), y representación espacial de la evaluación del índice de sustentabilidad por municipio (ISM) (b).

3.5. Discusión

El modelo conceptual para la evaluación de la sustentabilidad integra actividades como la ganadería y el cultivo de la caña de azúcar que constituyen la problemática en el uso de suelo de los humedales costeros en el SLA. Asimismo, el índice aquí presentado es un instrumento para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales (humedales costeros), tal y como lo señalan Monroy y Travieso-Bello (2005). En la práctica puede ser utilizado para la evaluación de estrategias futuras con relación en el aprovechamiento de los humedales costeros, y el manejo de los ecosistemas como la elaboración de planes de manejo de recursos naturales a nivel local.

Los resultados del índice de sustentabilidad municipal (ISM) coinciden desde una mayor escala de trabajo, a lo discutido y concluido por Seingier et al. (2011a), además muestra que a pesar del nivel crítico de sustentabilidad (ISM) y sus componentes (subíndices), los municipios tienen la posibilidad de revertir y mitigar los actuales efectos del aprovechamiento de los humedales costeros, y de su situación, tal y como lo señaló Seingier et al. (2011b). Coincide con los resultados expuestos por Seingier et al. (2009) acerca de la relación entre la marginación y la pérdida de cobertura vegetal en la zona costera, en este caso, la pérdida y situación de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA). Sin embargo, muestra resultados distintos a los mencionados por Barrera-Roldán y Saldívar (2002), quienes dan mayor peso a partir de la ponderación a la esfera económica, por esto, sus resultados otorgan mayor sustentabilidad a los municipios con menor índice de marginación y mayor componente económico.

El método para integrar y evaluar el índice de sustentabilidad municipal (ISM) cumple con las característica de ser adaptativo, participativo y evaluado en el tiempo (en el caso del subíndice de vulnerabilidad eco-céntrica, coste de oportunidad económico y emisiones de carbono). Además, al integrar la vulnerabilidad eco-céntrica (estimada en el capítulo 1) y los demás componentes, muestra la sensibilidad del índice de sustentabilidad (ISM) respecto a cada uno de los componentes (Figura 3-7a). De la misma forma que Seingier et al. (2011b) estimó la sustentabilidad e integró dicho índice a partir de componentes naturales, sociales y desempeño económico, en este caso se utilizó el componente ecológico entendido a partir de la vulnerabilidad eco-céntrica.

El presente índice de sustentabilidad, agregó el componente de externalidad ambiental a través del subíndice de emisiones de carbono por municipio (SECO), de esta manera se evalúan no sólo las actividades *per se*, sino los daños ambientales no integrados en los índices de sustentabilidad construidos por Barrera-Roldán y Saldívar (2002). Aún cuando se obtuvieron resultados similares a los de Seingier et al. (2011a, 2011b), integrar el componente de externalidad por actividades innova la generación de los índices de sustentabilidad y agrega la

posibilidad de tomar estrategias para el manejo de recursos naturales en función de los daños ocasionados por las actividades de aprovechamiento de los humedales costeros. Así mismo, el subíndice de coste de oportunidad económico (COE) por municipio en cuanto a las actividades de aprovechamiento (ganadería y cultivo de caña de azúcar), incluye no sólo el desempeño económico evaluado por Seingier et al. (2011b), también agrega la pérdida o coste de oportunidad económico asumido por cada municipio de acuerdo a sus decisiones de aprovechamiento de los humedales costeros.

3.6. Consideraciones finales

A partir de los resultados en los capítulos 1 y 2, y en el presente apartado, se construyen las estrategias generales por municipio para el manejo de los humedales costeros en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA), así como las acciones para su consecución (Tablas 3-1, 3-2 y 3-3). Cabe señalar que de acuerdo a CONAPO (2010) existen localidades (poblados más pequeños dentro de los municipios) que tienen diferentes necesidades (sociales), metas (económicas) y uso diferente de los humedales costeros. Por tal motivo la Tabla 3-1 debe ser entendida a nivel municipal y sus estrategias podrían tener diferente enfoque dependiendo de las localidades. Las estrategias fueron tomadas del Proyecto CONAGUA-CONACYT no. 48247 y se adaptaron a los componentes del índice de sustentabilidad municipal estimado. En este sentido, para reducir el subíndice de vulnerabilidad eco-céntrica (SVE) y en sentido directamente proporcional hacia los demás componentes se plantea lo siguiente:

- a) Reducir la presión de la ganadería y el cultivo de la caña de azúcar a través del aumento de la eficiencia media por hectárea en el aprovechamiento y uso de suelo.

Con la finalidad de mantener el nivel de producción de acuerdo a SEDARPA y SAGARPA (2010) y con menor uso de suelo, se toma la estrategia de aumentar la productividad media, es decir, las unidades producidas por la ganadería (GE) y el cultivo de caña de azúcar (CCA) en una determinada área (ha), y de esta forma reducir la extensión de uso de suelo destinada por ambas actividades y destinar superficie de humedales para su restauración (Tabla 3-1).

Tabla 3-1 Acciones para el aprovechamiento eficiente del uso de suelo y la restauración de humedales costeros transformados (HT) por actividad (ganadería y cultivo de caña) y por municipio.

Escenario	Actual (2010)		Estratégico		Beneficios	
	Actividad	GE	CCA	GE	CCA	Superficie para restauración
Municipios	Agostadero (cabezas/ha)	RM (t ha ⁻¹)	Agostadero (cabezas/ha)	RM (t ha ⁻¹)	GE (ha)	CCA (ha)
Alvarado	0.40	61.77	0.79	86.00	37,537.00	347.09
Lerdo de Tejada	1.11	78.16	2.21	86.00	1,513.50	250.70
Ignacio de la Llave	0.88	59.17	1.76	86.00	16,946.00	146.89

Acula	0.58	54.21	1.17	86.00	4,088.50	1613.29
Tlacotalpan	0.76	78.16	1.53	86.00	18,558.50	1068.64
Saltabarranca	0.59	80.00	1.17	86.00	3,036.00	170.93
Ixmatlahuacan	0.84	58.64	1.68	86.00	7,485.00	1553.01
Amatitlán	0.48	60.42	0.96	86.00	3,871.00	1303.77
Carlos A. Carrillo	2.95	60.26	5.89	86.00	1,076.00	3020.39

Se presentan los valores de agostadero para la ganadería (GE) por municipio en el 2010 y los valores del rendimiento medio (RM) por hectárea en el cultivo de caña de azúcar (CCA) en el escenario actual (2010) y en el escenario estratégico. Además, los beneficios para la restauración derivados del escenario estratégico, la reducción del 50% por municipio de la superficie destinada a la ganadería y 22% del total del cultivo de caña de azúcar, en este caso, cada municipio tiene proporciones diferentes de reducción y en suma hacen el 22%. El agostadero (cabezas/ha) (2010) se estimó a partir de información del censo agropecuario (INEGI 2007). El rendimiento medio (RM) se calculó con base en la información de SEDARPA y SAGARPA (2010). Para el nuevo agostadero (estratégico), se dividió el agostadero actual (2010) entre la superficie estratégica destinada en la ganadería (superficie actual por municipio/2), es decir la reducción del 50% de la superficie por municipio.

Es importante aclarar que no ha habido una evaluación del índice de agostadero en terrenos de humedales, por lo que se basa en los usos y costumbres de la gente local. Se ha visto que el número de cabezas de ganado varía en función de que tanto se ha transformado el humedal. Si casi no se ha alterado y el periodo de inundación es extenso, solamente se tiene una cabeza por hectárea. Si se ha drenado y/o se han introducido especies de pastos africanos tolerantes a la inundación, el número de cabezas puede aumentar hasta 3 por ha (Rodríguez, 2001, comunicación personal P. Moreno-Casasola).

La desventaja a las acciones planteadas en la Tabla 3-1, es el problema que significa la acumulación y tenencia de la tierra (cantidad de hectáreas por propietario) (Aserca y SAGARPA 2010). Cada propietario o ejidatario tiene diferente cantidad de hectáreas y niveles de productividad media (agostadero-ganadero o RM-cañero), existen desde 1 hasta 150 hectáreas por productor o familia productora (caña de azúcar o ganaderos). Por tal motivo, el presente análisis debe tomarse como base general y de ahí, partir hacia la unidad básica de producción que es el ejido (en México).

En lo que respecta al subíndice de coste de oportunidad económica (SCOE), se expone la siguiente estrategia:

- b) Recuperar y restaurar los humedales para mantener y aumentar los servicios ecosistémicos en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

La Tabla 3-2 explica los beneficios económicos (USD) como incentivo para llevar a cabo la estrategia y sus acciones para el aprovechamiento de los humedales costeros.

Tabla 3-2 Ingresos económicos por el aprovechamiento eficiente y restauración de humedales costeros.

Incentivos	Ingreso medio deflactado por hectárea (IMD) actual (USD)		Ingreso medio deflactado por hectárea (IMD) estratégico (USD)		Ingreso total deflactado (ITD) por restauración de HT (USD)	
	GE	CCA	GE	CCA	GE	CCA
Municipios						
Alvarado	119.90	1,863.06	287.45	2,593.86	28,889,601.31	10,037.87
Lerdo de Tejada	189.80	2,838.91	455.01	3,123.68	1,164,835.01	7,250.18
Ignacio de la Llave	251.41	2,157.84	602.73	3,136.55	13,042,149.98	4,247.93
Acula	158.48	1,943.92	379.93	3,083.88	3,146,632.26	46,656.31
Tlacotalpan	221.67	2,990.94	531.42	3,290.95	14,283,178.36	30,905.18
Saltabarranca	162.61	2,998.15	389.83	3,223.02	2,336,596.68	4,943.30
Ixmatalhuacan	217.67	2,153.54	521.83	3,158.33	5,760,680.55	44,913.18
Amatitlán	136.88	2,325.35	328.15	3,309.83	2,979,237.73	37,704.97
Carlos A. Carrillo	755.46	2,318.49	1,811.12	3,308.83	828,121.88	87,349.61

El IMD actual en ambas actividades se tomó del capítulo dos de la presente investigación. Para estimar el ingreso medio deflactado (IMD) estratégico del cultivo de caña (CCA), se tomó el precio medio deflactado (PMD) por tonelada de caña 2010 (ver capítulo dos) y se multiplicó por el RM estratégico (Tabla 3-1). En el caso de la ganadería (GE), el IMD estratégico se obtuvo multiplicando el agostadero estratégico (Tabla 3-1) por el IMD actual (Tabla 3-1) y el resultado se dividió entre el agostadero actual (Tabla 3-1). 1 USD = \$ 13 moneda nacional (México).

El aprovechamiento eficiente muestra como el cambio de la situación actual (ganadería y cultivo de caña) al escenario de aprovechamiento eficiente, puede aumentar el ingreso medio deflactado (IMD) por hectárea (ganadería y cultivo de caña) debido al aumento de la productividad media (agostadero o RM). Esto muestra los beneficios económicos del aprovechamiento eficiente (Tabla 3-2). Sin embargo, más allá de observar el aprovechamiento como un factor contrario o limitante, abre la posibilidad hacia la restauración debido a la reducción de la superficie utilizada en ambas actividades (GE y CCA), ya que la superficie rescatada podría ser destinada a la restauración de humedales (Tabla 3-1). Además, como incentivo económico se toma el ingreso total deflactado (ITD) por municipio (Tabla 3-2) que se podría obtener si se restauran las hectáreas de humedal costero transformado (HT) que en el escenario estratégico del aprovechamiento eficiente son rescatadas, debido al aumento de la productividad media. Sin embargo, habría que estimar el costo de restauración y los beneficios económicos de éste como restablecimiento de los bienes y servicios ecosistémicos, empleo ofrecido a nivel regional para las personas implicadas en los proyectos y la tasa de rentabilidad de los propietarios de la tierra. La restauración de humedales permitiría recuperar servicios ambientales como almacenamiento de carbono o de agua para reducir inundaciones, lo que permitiría acceder a pagos por servicios ambientales.

En materia de las externalidades ambientales sólo se incluyeron las emisiones de carbono durante el proceso de cultivo de caña de azúcar, en el subíndice de emisiones de carbono (SECO) y se presenta la Tabla 3-3 con los beneficios derivados de la estrategia (a) y (b) en materia de reducción de gases de efecto invernadero (CO₂).

Tabla 3-3 Disminución de las externalidades de carbono emitido por el aprovechamiento eficiente.

Municipio	Emisiones de CO ₂ (t)		Costo total (USD) del CO ₂ e	
	Actual	Estratégico	Actual	Estratégico
Alvarado	2,968.97	2,132.48	35,627.60	25,589.73
Lerdo de Tejada	6,627.50	6,023.32	79,530.00	72,279.82
Ignacio de la Llave	1,134.47	780.48	13,613.64	9,365.71
Acula	10,518.09	6,630.07	126,217.12	79,560.82
Tlacotalpan	28,250.91	25,675.48	339,010.95	308,105.77
Saltabarranca	5,904.50	5,492.56	70,854.00	65,910.70
Ixmatalhuacan	11,764.54	8,021.77	141,174.47	96,261.29
Amatitlán	10,563.68	7,421.60	126,764.17	89,059.20
Carlos A. Carrillo	24,320.34	17,041.20	291,844.07	204,494.46

Las emisiones de CO₂ (actual) se tomaron de los resultados del capítulo dos y las emisiones de CO₂ (estratégico) se estimaron multiplicando el valor por hectárea de caña cultivada (Barretto de Figueiredo et al. 2010) por la nueva superficie utilizada en el cultivo de caña de azúcar (superficie actual SEDARPA y SAGARPA (2010) menos la superficie estratégica de restauración (Tabla 1)). Para el costo estratégico (USD), se multiplicó el precio medio deflactado PMD por tonelada de carbono (Point Carbon 2006) por la cantidad de CO₂ emitido (estratégico).

Cada municipio tiene diferente agostadero y rendimiento medio (RM) (actual). Hay que recordar que este índice de agostadero no obedece a la ganadería en humedales. En el caso estratégico, el agostadero es diferente y dependerá de la eficiencia de cada municipio para llegar a éste. Como solución a las desventajas presentadas por la acumulación y tenencia de la tierra, y el fraccionamiento de los ejidos, así como su capacidad para adaptarse al modelo de aprovechamiento eficiente presentado en la Tabla 3-1 se plantean las siguientes acciones:

- Mediar entre mercado y productor en el sector de la caña de azúcar para asegurar que el precio medio deflactado (PMD) se aprecie conforme índice nacional de precios al consumidor (INPC).
- Direccionar y condicionar los subsidios para el aumento del rendimiento medio (RM) por hectárea (caña de azúcar). También deben condicionarse bajo un aumento en el agostadero (cabezas/ha) (ganadería) y reducción de la superficie destinada por municipio, ejido y productor en los terrenos más aptos y asegurando que se mantiene el funcionamiento del humedal.
- Focalizar los subsidios (cultivo de caña y ganadería) como mecanismo de ayuda e incentivo en los municipios que cumplan el objetivo de la restauración de los humedales costeros, bajo esquemas de buenas prácticas de manejo.
- Establecer los proyectos específicos para el pago por servicios ambientales como compensación a la restauración de humedales costeros, a partir de la integración del

aprovechamiento y uso de suelo eficiente en las actividades como ganadería y cultivo de caña de azúcar.

Ante la situación actual del mercado de la ganadería y la caña de azúcar, donde los productores no tienen control en el precio medio deflactado (PMD), el gobierno debería enfocar los subsidios a esquemas de aprovechamiento eficiente y de esta forma dar paso a la restauración de los humedales costeros. Cual sea la estrategia de conservación y restauración de humedales costeros que no integre los aspectos citados en el presente estudio, seguirá mostrando el vacío entre las metas económicas, demandas sociales y limitaciones ecológicas. A partir de los resultados aquí expuestos, se pueden integrar los proyectos específicos por ejido, como en el caso de Vázquez y Espejel (2011), en donde se trabajó a partir de un ordenamiento comunitario, con esquemas de participación social, información oficial (INEGI) y etnográfica (comunitaria) y a través de esto fue posible generar las estrategias de manejo, traducidas en acciones y proyectos específicos.

Las estrategias aquí expuestas muestran las bases generales y en algunos casos específicas (subíndices e índice) que necesitan ser implementadas por municipio para reducir su vulnerabilidad eco-céntrica capítulo 1 y aumentar su índice de sustentabilidad (ISM), a partir de las opciones económicas capítulo dos y de la eficiencia en el aprovechamiento (Tablas 3-1, 3-2 y 3-3) en la actividad ganadera y cañera (capítulo 3). Cada municipio deberá tomar en cuenta la distribución y acumulación de la tierra con base en la unidad mínima de producción (ejido) y la posibilidad en cada uno de éstos para implementar las estrategias aquí expuestas. Además de elaborar una estrategia de desarrollo regional donde hay diversificación de usos (otros cultivos agrícolas y actividades como ecoturismo), cuestión más sustentable que la especialización del uso del suelo en el monocultivo de caña de azúcar.

CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados del presente estudio (capítulo 1 y 3) funcionan como índices centinela, advierten a las autoridades e instancias gubernamentales acerca de la problemática en el área de estudio y permiten visualizar escenarios para diseñar estrategias de solución. Son la base para posibles ordenamientos ecológicos del territorio de acuerdo con lo establecido por Moreno-Casasola (2005b), SEMARNAT-INE (2006) y SEMARNAT-CONABIO (2008) que resultan impostergables en la cuenca del Papaloapan y en particular en el SLA. Asimismo, debido al modelo conceptual y sus bondades, sirve para evaluar el impacto de proyectos de aprovechamiento como el aumento del cultivo de caña de azúcar y la ganadería extensiva (SEMARNAT 2009). Además, tienen la característica de ser adaptativo, es decir, permite ser ajustado y revalorado de acuerdo al periodo de tiempo (en el caso del índice de vulnerabilidad eco-céntrica) que se desee analizar.

Los municipios del SLA tienen alternativas que permitirían mitigar su vulnerabilidad y alcanzar soluciones en el mediano plazo y transitar hacia el IVE-EE (Figuras 1-9a y 1-9b, donde el cultivo de caña de azúcar puede ser revertido en un 50% de la superficie total. Como alternativa de ingreso se propone el esquema de pago por servicios ambientales, a partir del secuestro de carbono en los humedales propuesto por el World Bank (2011), en especial en el manglar y la selva inundable/selva, a esto deben sumarse los criterios de adicionalidad (World Bank (2011) como la filtración y recarga de agua en los mantos freáticos, ya que ninguno de los municipios cuenta con un sistema de potabilización de agua, y ello representa un criterio indispensable para generar los esquemas de compensación y retribución económico-ecológica.

El SLA tiene como apalancamiento socioeconómico la dependencia en el cultivo de la caña de azúcar (CCA) y la ganadería extensiva, esto supone un IVE-ET (escenario tendencial) irreversible en los próximos años, sin embargo el diagnóstico aquí presentado muestra el IVE-EE (escenario estratégico) y las medidas para conseguirlo, además del pago por servicios ambientales, la diversificación de la agricultura intuye cambiar del monocultivo de la caña hacia los cultivos perennes y aumentar su superficie en 100%, respecto a la mostrada en la actualidad (SEDARPA y SAGARPA 2010).

En lo que se refiere a las acciones y estrategias a tomar, es necesario analizar sus posibilidades y viabilidad económica, por tal motivo, se puede concluir que en el caso de la ganadería, los rancheros tienen rendimientos deficientes en el uso del suelo en función del índice de agostadero (Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial 2009), a pesar de no haberlo estimado, es suficiente con observar los resultados del ingreso total por municipio (ITD) y el ingreso medio por hectárea (IMD) (en cada uno por municipio), en contraste con la cantidad de hectáreas destinadas a la actividad. De esta manera, cabe señalar, que

la ganadería *per se* no es un problema del uso de suelo, sino la forma de practicarla, por tal motivo la intensificación de esta actividad a partir del aumento del índice de agostadero y el cambio en la forma de alimentación del ganado permitiría mayores rendimientos económicos en el corto plazo y la reducción de la superficie destinada (Tablas 3-1 y 3-2), sin embargo esto implica inversión económica en el corto plazo y asumir el riesgo financiero del mercado de carne en canal. Otro factor social y cultural importante, es el arraigo histórico de la ganadería en el SLA (Vergara 1998, Guevara y Moreno-Casasola 2008), además, los subsidios juegan un papel determinante y es una externalidad negativa como lo expone la OECD (2003), debido a que genera un círculo perverso entre productor (ranchero), uso de suelo (humedal costero) y gobierno. Mientras existen rancheros con sólo dos o tres hectáreas subsidiadas, hay quienes reciben ayuda por 100 hectáreas (Aserca y SAGARPA 2010), esto les permite utilizar dichos fondos para otros gastos y no precisamente en la producción de ganado. El dinero otorgado (subsidio) representa una pérdida en términos del objetivo que persigue (ayudar en factores de la producción) y en lo que respecta a las finanzas públicas representa un gasto público que termina absorbiendo la sociedad debido a que éstos provienen de los impuestos.

El coste de oportunidad entre la ganadería y la agricultura de caña de azúcar fue positivo en todos los municipios, esto sostiene que destinar una hectárea de humedal costero (HT o HNT) obtiene un ingreso medio deflactado (IMD) menor al cultivo de caña, por tal motivo, los tenedores de la tierra en el SLA actuarán conforme a los incentivos del mercado como lo menciona Mankiw (2001, 2002). Por ello, aunque la ganadería mostró un aumento lineal en el uso de suelo debido al arraigo histórico que mencionan Vergara (1998) y Aguirre et al. (2007), el cultivo de caña se sostuvo con base en las señales del mercado (PMD por tonelada) (Mankiw 2001). Además, los subsidios y la acumulación de la tierra sostienen el actual esquema en ambas actividades en términos de la deficiencia del uso de suelo. Sin embargo, las externalidades generadas por el cultivo de caña (Figuras 2-37, 2-40 y 2-43) (Cançado et al. 2006, Australian Government 2007, Barretto de Figueiredo et al. 2010, Moreno-Casasola e Infante 2010, Landgrave y Moreno-Casasola 2011) deben ser tomadas dentro de las decisiones de los tenedores de la tierra, en la política económica sectorial (SAGARPA) y en la política ambiental (SEMARNAT y CNA). Así mismo, es necesario re-direccionar los subsidios a esquemas que incentiven la maximización del rendimiento medio (RM) por hectárea, así como la eficiencia dentro de los ingenios en el proceso de la caña de azúcar (Figura 2-44) aunado a una estrategia de industria limpia que puede ser complementada con proyectos de mecanismo de desarrollo limpio y fondos por reducción de emisiones como los mencionados por la OECD (2003), Inclán Gallardo (2005), Carbon Finance (2010), UNFCCC (2011) y World Bank (2011), y que son parte de la estrategia integral en el hacia el manejo de los humedales costeros (HNT y HT), en especial los que aún no han sido transformados (HNT).

De acuerdo al diagnóstico de la vulnerabilidad eco-céntrica municipal en el Sistema Lagunar de Alvarado (capítulo 1) y a los escenarios de eficiencia/conservación y eficiencia restauración, el índice de sustentabilidad municipal indica que todos los municipios muestran un ISM debajo de 0.5, esto significa que el nivel de su sustentabilidad es bajo y su situación es crítica, sin embargo muestran diversos niveles en sus subíndices (Figura 3-7a) por esto, sus estrategias de manejo deben poner mayor énfasis en la disminución de sus subcomponentes mayores a 0.5. Las Figuras 3-7a y 3-7b muestran la evaluación del índice de sustentabilidad (ISM) entre los municipios, aún cuando existen municipios con nivel Muy alto y Alto (Figura 3-7b) no significa que sean sustentables, sino que entre éstos, son los mejores posicionados. Sin embargo, todos se encuentran por debajo de 0.5 (Figura 3-7a) lo que de acuerdo al modelo conceptual de la sustentabilidad se encuentran lejos del óptimo es decir, $x_{ij}=1$. Esto abre la posibilidad para definir la prioridad de cada municipio (subcomponente) y la estrategia general en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA).

Ante la situación actual del mercado de la ganadería y la caña de azúcar, donde los productores no tienen control en el precio medio deflactado (PMD), el gobierno debería enfocar los subsidios a esquemas de aprovechamiento eficiente y de esta forma dar paso a la restauración de los humedales costeros. Cual sea la estrategia de conservación y restauración de humedales costeros que no integre los aspectos citados en el presente estudio, seguirá mostrando el vacío entre las metas económicas, demandas sociales y limitaciones ecológicas. A partir de los resultados aquí expuestos, se pueden integrar los proyectos específicos por ejido, como en el caso de Vázquez y Espejel (2011), las estrategias aquí expuestas muestran las bases generales y en algunos casos específicas (subíndices e índice) que necesitan ser implementadas por municipio para reducir su vulnerabilidad eco-céntrica capítulo 1 y aumentar su índice de sustentabilidad (ISM), a partir de las opciones económicas capítulo dos y de la eficiencia en el aprovechamiento (Tablas 3-1, 3-2 y 3-3) en la actividad ganadera y cañera (capítulo 3). Cada municipio deberá tomar en cuenta la distribución y acumulación de la tierra con base en la unidad mínima de producción (ejido) y la posibilidad en cada uno de éstos para implementar las estrategias aquí expuestas. Además de elaborar una estrategia de desarrollo regional donde hay diversificación de usos (otros cultivos agrícolas y actividades como ecoturismo), cuestión más sustentable que la especialización del uso del suelo en el monocultivo de caña de azúcar.

BIBLIOGRAFÍA

- Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray, and E. Sala. 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:10456–9. doi: 10.1073/pnas.0804601105.
- Acharya, G. 2002. Life at the margins: The social, economic and ecological importance of mangroves. *Madera y Bosques* 8:53–60. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz.
- Acharya, G., and E. B. Barbier. 2000. Valuing groundwater recharge through agricultural production in the Hadejia-Nguru wetlands in northern Nigeria 22:247–259. Elsevier Science B.V.
- Acreman, M. C., R. J. Harding, C. Lloyd, N. P. Mcnamara, J. O. Mountford, D. J. Mould, B. V. Purse, M. S. Heard, C. J. Stratford, and S. J. Dury. 2011. Trade-off in ecosystem services of the Somerset Levels and Moors wetlands. *Hydrological Sciences Journal* 56:1543–1565. University of Waterloo.
- Aguirre León, G., and M. A. De la Torre Loranca. 2005. Ficha Informativa de los Humedales Ramsar. La Laguna La Popotera. Page 56. Ramsar, Xalapa, Veracruz.
- Aguirre León, G., M. A. De la Torre Loranca, and L. G. Sánchez Vigil. 2007. El manejo de los humedales de la laguna Popotera: su importancia para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo regional. Pages 207–222 in G. Halffer, S. Guevara, and A. Melic, editors. *Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica*. Sociedad Entomológica Aragonesa, Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Instituto de Ecología A.C., UNESCO, Ministerio de Medio Ambiente de Esp, Zaragoza.
- Alencar, A., D. Nepstad, and P. Moutinho. 2005. Carbon emissions associated with forest fires in Brazil. Pages 23–33 in P. Moutinho and S. Schwartzman, editors. *Tropical Deforestation and Climate Change*. IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Environmental Defense, 2005., Belem, Pará.
- Alvarez-Icaza Longoria, P. 2005. Manejo de recursos de uso común en regiones costeras. Pages 681–706 in P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa Rojas, and A. C. Travieso-Bello, editors. *Estrategias para el manejo costeros integral: el enfoque municipal*. Instituto de Ecología A.C. y Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Anger, N., and J. Sathaye. 2009. Reducing deforestation and trading emissions: Economic implications for the post-Kyoto carbon market. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 6:252005. doi: 10.1088/1755-1307/6/5/252005.
- Aserca, and SAGARPA. 2010. Padrón de beneficiarios. Retrieved May 5, 2012, from http://www.aserca.gob.mx/artman/publish/article_1424.asp.
- Australian Government. 2007. Precision agriculture options for the Australian sugarcane industry. Page 124. Sugar Research and Development Corporation.

- BANXICO. 2010. Índice Nacional de Precios al Consumidor. Retrieved January 2, 2012, from <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarDirectorioCuadros§or=8§orDescripcion=Índices de Precios al Consumidor y UDIS&locale=es>.
- Barbier, E. B., M. C. Acreman, and D. Knowler. 2005. Economic valuation of wetlands: a guide for policy makers and planners. Pages 439–47 *Journal of environmental biology / Academy of Environmental Biology*, India. Ramsar Convention Bureau, 1997., Gland, Switzerland. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16334281>.
- Barrera-Roldán, A., and A. Saldívar. 2002. Proposal and application of a Sustainable Development Index. *Ecological Indicators* 2:251–256. Elsevier Science B.V.
- Barretto de Figueiredo, E., A. R. Panosso, R. Romão, and N. La Scala. 2010. Greenhouse gas emission associated with sugar production in southern Brazil. *Carbon Balance and management*:3. Retrieved from <http://www.cbmjournal.com/content/5/1/3>.
- Berlanga-Robles, C. A., and A. Ruiz-Luna. 2008. Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones geográficas boletín* 66:25–46. Instituto de Geografía, UNAM.
- Birol, E., K. Karousakis, and P. Koundouri. 2006. Using a choice experiment to account for preference heterogeneity in wetland attributes: The case of Cheimaditida wetland in Greece. Pages 145–156 *Third World Congress of Environmental and Resource Economists*. Kyoto, Japan. doi: 10.1016/j.ecolecon.2006.06.002.
- Brutland, G. H. 1987. *Our common Future*. Page 374. United Nations (UN).
- CNA. 2007. Cuenca del río Papaloapan. Page 28. Comisión Nacional del Agua (CNA), Xalapa, Veracruz.
- CNA. 2009. Ley Federal de Derechos: disposiciones aplicables en Materia de Aguas Nacionales. Page 107. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Gobierno Federal, D.F.
- CONAPO. 2010. Índice de marginación por municipio. Page 24. Gobierno Federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- CSVA. 2006. Disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Papaloapan. Page 11. Consejo del Sistema Veracruzano del Agua, Xalapa, Veracruz.
- Calderón, C., O. Aburto, and E. Ezcurra. 2009. El valor de los manglares. *Biodiversitas*:1–6. CONABIO, D.F.
- Campos C, A., H. M. E., P. Moreno-Casasola, E. Cejudo Espinosa, A. Robledo R., and D. Infante Mata. 2011. Soil water retention and carbon pools in tropical forested wetlands and marshes of the Gulf of Mexico. *Hydrological Sciences Journal* 56:1388–1406. Taylor & Francis. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/loi/thsj20>.
- Cançado, J. E. D., P. H. N. Saldiva, L. a. a. Pereira, L. B. L. S. Lara, P. Artaxo, L. a. Martinelli, M. a. Arbex, A. Zanobetti, and A. L. F. Braga. 2006. The Impact of Sugar Cane–Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. *Environmental Health Perspectives* 114:725–729. doi: 10.1289/ehp.8485.

- Carbon Finance, W. B. 2010. State and Trends of the Carbon Market. Page 78 (A. Kossoy and P. Ambrose, Eds.). Carbon Finance, Washington, DC.
- Cardona A, O. D. 1993. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo. Pages 45–65 in A. Maskrey, editor. Los Desastres No Son Naturales. Red de estudios en prevención de Desastres en América Latina (La Red), Santiago.
- Carpenter, S. R., H. A. Mooney, J. Agard, D. Capistrano, R. S. Defries, S. Díaz, T. Dietz, A. K. Duraiappah, A. Oteng-yeboah, H. Miguel, C. Perrings, R. J. Scholes, A. Whyte, and W. V. Reid. 2009. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. PNAS 106:1305–1312. The National Academy of Sciences of the USA. doi: 10.1073.
- Cejudo-Espinosa, E., A. C. Ramos-Valdivia, P. Moreno-Casasola, and R. Rodríguez-Vázquez. 2008. Short-Term Accumulation of Atrazine by Three Plants from a Wetland Model System. Arch Environ Contam Toxicol:8. □ Springer Science+Business Media, LLC 2008 Abstract This work describes the accum. doi: 10.1007/s00244-008-9193-7.
- Cohen-Shacham, E., E. Dayan, T. Feitelson, and R. S. de Groot. 2011. Ecosystem service trade-offs in wetland management: drainage and rehabilitation of the Hula, Israel. Hydrological Sciences Journal 56:1582–1601.
- Colegio de Postgraduados. 2003. Azúcar. Page 137. FUNPROVER (Fundación Produce Veracruz), Veracruz.
- Costanza, R., R. D'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, and M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387:253–260. doi: 10.1038/387253a0.
- Costanza, R., S. Farber, and J. Maxwell. 1989. Valuation and management of wetland ecosystems. Ecological Economics 1:335–361. Elsevier Science B.V.
- Costanza, R., and J. Farley. 2007. Ecological economics of coastal disasters: Introduction to the special issue. Ecological Economics 63:249–253. Elsevier Science B.V. doi: 10.1016/j.ecolecon.2007.03.002.
- Córdoba Olivares, F. R. 1998. Cristo, Vírgenes y Santos en el bajo Papaloapan. Pages 165–192 in G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro, editors. De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Daily, G. C., S. Alexander, P. R. Ehrlich, L. Goulder, J. Lubchenco, P. A. Matson, H. A. Mooney, S. Postel, S. H. Schneider, D. Tilman, and G. M. Woodwell. 1997. Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. Issues in Ecology:16. Ecological Society of America.
- Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. 2009. Bovino y sus derivados. Page 29. Gobierno Federal, D.F.

- Dong, S., L. Wen, S. Liu, X. Zhang, J. Lassoie, S. Yi, X. Li, J. Li, and Y. Li. 2011. Vulnerability of Worldwide Pastoralism to Global Changes and Interdisciplinary Strategies for Sustainable Pastoralism. *Ecology And Society* 16:10. Resilience Alliance. Retrieved from <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss2/art10/>.
- Escofet, A. maría, and I. Espejel. 2004. Geographic Indicators of Coastal Orientation and Large Marine Ecosystems: Alternative Basis for Management-Oriented Cross-National Comparisons. *Coastal Management* 32:117–128. Taylor & Francis. doi: 10.1080/08920750490276119.
- Ezcurra, E., O. Aburto, and L. Rosenzweig. 2009. Los riñones del mundo: por qué debemos proteger los manglares de México? *Investigación ambiental* 1:202–206. Instituto Nacional de Ecología (INE), D.F.
- Flores Verdugo, F. J., P. Moreno-Casasola, G. de la Lanza-Espino, and C. Agraz Hernández. 2010. El manglar, otros humedales costeros y el cambio climático. Pages 165–189 *in* A. V. Botello, S. Villanueva, J. Gutiérrez, and J. Rojas Galaviz, editors. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del Estado de Tabasco, Secretaría de Gobierno. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Universidad Autónoma de Campeche.
- Fraser, E. D. G., A. J. Dougill, K. Hubacek, C. H. Quinn, and J. Sendzimir. 2011. Assessing Vulnerability to Climate Change in Dryland Livelihood Systems: Conceptual Challenges and Interdisciplinary Solutions. *Ecology And Society* 16:3. Resilience Alliance. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.5751/ES-03402-160303>.
- Füssel, H.-M. 2007. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change* 17:155–167. Elsevier Science B.V. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002.
- Füssel, H.-M., and R. J. T. Klein. 2006. Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. *Climatic Change* 75:301–329. doi: 10.1007/s10584-006-0329-3.
- Gartin, M., B. Crona, A. Wutich, and P. Westerhoff. 2010. Urban Ethnohydrology: Cultural Knowledge of Water Quality and Water. *Ecology And Society* 15:36. Resilience Alliance.
- Gobierno del Estado de Veracruz. 2011. Programa Veracruzano de Protección Civil 2011-2016. Page 66. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- González Absalón, C. B. 1998. San Antonio. Etnografía de un Balneario. Pages 193–210 *in* G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro, editors. De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- González Martínez, J. R. 1998. Sociedades de pescadores ribereños de Alvarado. Cambios y permanencias. Pages 253–297 *in* G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro, editors. De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.

- de Groot, R., M. A. Wilson, and R. M. J. Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41:393–408. Elsevier Science B.V. Retrieved from .
- Guevara, S., and P. Moreno-Casasola. 2008. El dilema de los recursos naturales: La ganadería en el Trópico de México. *GUARAGUAO* 29:9–23.
- Gómez-Baggethun, E., and R. de Groot. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas : explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas* 16:4–14. Asociación Española de Ecología Terrestre. Retrieved from <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=496>.
- Hernández, M. E. 2009. SUELOS DE HUMEDALES COMO SUMIDEROS DE CARBONO Y FUENTES DE METANO. *Terra Latinoamericana* 28:139–147.
- Houghton, R. A. 2005. Tropical deforestation as a source of greenhouse gas emissions. Pages 13–21 *in* P. Moutinho and S. Schwartzman, editors. *Tropical Deforestation and Climate Change*. IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Environmental Defense, 2005., Belem, Pará.
- INEGI. 2010. Censo General de Población y Vivienda. Retrieved February 17, 2012, from <http://www.inegi.org.mx/>.
- Inclán Gallardo, U. 2005. El Cambio Climático y el mercado de Bonos de Carbono. El cambio climático y el mercado de bonos de carbono. SENER.
- Jones, P. J., and R. B. Tranter. 2007. Modelling the impact of different policy scenarios on farm business management, land use and rural employment. Page 52. The University of Reading.
- Juárez Eusebio, A. 2005. La acuacultura rústica. Pages 989–1016 *in* P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa Rojas, and A. C. Travieso-Bello, editors. *Estrategias para el manejo costero integral: el enfoque municipal*. Instituto de Ecología A.C. y Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Juárez Martínez, A. 1998. Tlacotalpan y Alvarado, puertos cuenqueños abiertos hacia El Caribe. Pages 135–166 *in* G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro, editors. *De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan, Veracruz*. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Kaly, U., L. Briguglio, H. Mcleod, S. Schmall, C. Pratt, and R. Pal. 1999. Environmental Vulnerability Index (EVI) to summarise national environmental vulnerability profiles. Page 66. SOPAC.
- Landgrave, R., and P. Moreno-Casasola. 2011. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación Ambiental* 4:19–35. Instituto Nacional de Ecología (INE), D.F.
- Leahy, E., and R. S. J. Tol. 2012. Greener homes: an ex-post estimate of the cost of carbon dioxide emission reduction using administrative micro-data from the Republic of Ireland. *Environmental Economics and Policy Studies*:21. doi: 10.1007/s10018-012-0034-6.

- Li, R., M. Dong, and J. Cui. 2007. Quantification of the Impact of Land-Use Changes on Ecosystem Services: A Case Study in Pingbian County, China. *Environment Monit Assess* 128:503–510. Spr. doi: 10.1007/s10661-006-9344-0.
- Lima, M., M. Skutsch, and G. de Medeiros Costa. 2011. Deforestation and the Social Impacts of Soy for Biodiesel: Perspectives of Farmers in the South Brazilian Amazon. *Ecology And Society* 16:4. Resilience Alliance. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04366-160404>.
- Loehr, D. 2010. External Costs as Driving Forces of Land Use Changes. *Sustainability* 2:1035–1054. doi: 10.3390/su2041035.
- Maldonado Vitae, M. E. 1998. Astronomía prehispánica en el bajo Papaloapan. Pages 87–134 *in* G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro, editors. De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave y Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Mankiw, N. G. 2001. *Macroeconomics*. Page 460, 5th edition. McGraw-Hill.
- Mankiw, N. G. 2002. *Macroeconomía: Principios de Economía*. Page 507, 2nd edition. McGraw-Hill Interamericana de España, Madrid.
- Manson, R., and P. Moreno-Casasola. 2005. Servicios ambientales que proporciona la zona costera. Pages 319–348 *in* P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa Rojas, and A. C. Travieso-Bello, editors. Estrategias para el manejo costero integral: el enfoque municipal. Instituto de Ecología A.C. y Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Marín Muñoz, J. L., M. E. Hernández Alarcón, and P. Moreno-Casasola. 2011. SECUESTRO DE CARBONO EN SUELOS HUMEDALES COSTEROS DE AGUA DULCE EN VERACRUZ. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13:365–372. Universidad Autónoma de Yucatán, Merida, Yucatán. Retrieved from <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=93920942013>.
- Medema, W., B. S. McIntosh, and P. J. Jeffrey. 2008. From Premise to Practice: a Critical Assessment of Integrated Water Resources Management and Adaptive Management Approaches in the Water Sector. *Ecology And Society* 13:29. Resilience Alliance. Retrieved from <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art29/>.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis*. Page 68 World Health. World Resources Institute, Washington, DC.
- Ming, J., L. Xianguo, X. Linshu, C. Lijuan, and T. Shouzheng. 2007. Flood mitigation benefit of wetland soil — A case study in Momoge National Nature Reserve in China. *Ecological Economics* 61:217–223. Elsevier Science B.V. doi: 10.1016/j.ecolecon.2006.10.019.
- Mireri, C., J. Onjala, and N. Oguge. 2008. The Economic Valuation of the Proposed Tana Integrated Sugar Project (TISP), Kenya. Page 72. Consultants.
- Mironga, J. M. 2005. Effect of farming practices on wetlands of Kisii District, Kenya. *APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH* 3:81–91. Penkala Bt, Budapest.
- Mitsch, W. J., and J. G. Gosselink. 2000. *Wetlands*. Page 920. J. Wiley and Sons, Nueva York.

- Monroy, R. C., and A. C. Travieso-Bello. 2005. Herramientas Técnicas para la planificación: índices, mapas, bases de datos y sistemas de información geográfica. Pages 659–680 in P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa Rojas, and A. C. Travieso-Bello, editors. Estrategia para el manejo costeros integral: el enfoque municipal. Instituto de Ecología A.C. y Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Morardet, S., and A. Koukou-tchamba. (n.d.). Assessing trade-offs between agricultural production and wetlands preservation in Limpopo River basin: a participatory framework. International Water Management Institute, Pretoria.
- Moreno-Casasola, P. 2005a. Humedales Costeros. Pages 151–182 in P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa Rojas, and A. C. Travieso-Bello, editors. Estrategia para el manejo costeros integral: l enfoque municipal. Instituto de Ecología A.C. y Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Moreno-Casasola, P. 2005b. Manejo Integral de la Zona Costera. Pages 21–50 in P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa Rojas, and A. C. Travieso-Bello, editors. Estrategias para el manejo costero integral: el enfoque municipal. Instituto de Ecología A.C. y Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Moreno-Casasola, P. 2012. LOS HUMEDALES EN MÉXICO: TENDENCIAS Y OPORTUNIDADES. Cuadernos de Biodiversidad:10–18.
- Moreno-Casasola, P., and D. Infante Mata. 2010. Veracruz. Tierra de ciénagas y pantanos. Page 412. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave y Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Moreno-Casasola, P., J. L. Rojas Galaviz, D. Zárate Lomelí, M. A. Ortiz Pérez, A. L. Lara Domínguez, and T. Saavedra Vázquez. 2002. Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. Madera y Bosques 8:61–88. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz.
- Nijkamp, P., P. Rietveld, and H. Voogd. 1990. Multicriteria Evaluation in Physical Planning. Elsevier Science Ltd.:219.
- OECD. 2003. Environmentally Harmful Subsidies. Policy issues and challenges. Page 215. OECD, Paris.
- OECD. 2011. A Green Growth Strategy for Food and Agriculture. Preliminary Report. Page 82. OECD. Retrieved from www.oecd.org/agriculture/greengrowth.
- Ortiz Pérez, M. A., and A. P. Méndez Linares. 1987. Repercusiones por ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México. Investigaciones geográficas boletín:73–85. Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad de México.
- Ortiz Pérez, M. A., and A. P. Méndez Linares. 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. Investigaciones geográficas boletín 39:68–81. Instituto de Geografía, UNAM.
- Portilla Ochoa, E. 2003a. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar: Sistema Lagunar de Alvarado. Page 19. Universidad Veracruzana, Ramsar, Xalapa, Veracruz.
- Portilla Ochoa, E. 2003b. Sistema Lagunar de Alvarado. Page 19. RAMSAR, Xalapa, Veracruz.

- Portilla-Ochoa, E., G. Silva-López, H. García Campos, and M. Ramírez Salazar. 1998. Paisajes Amenazados en el complejo Lagunar de Alvarado. Pages 257–290 in G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro, editors. De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Posthumus, H., J. R. Rouquette, J. Morris, D. J. G. Gowing, and T. M. Hess. 2010. A framework for the assessment of ecosystem goods and services; a case study on lowland floodplains in England. *Ecological Economics* 69:1510–1523. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.ecolecon.2010.02.011.
- Richards, S. T., M. T. Batte, L. C. Brown, B. J. Czartoski, N. R. Fausey, and H. W. Belcher. 1999. Economics of a Wetland-Reservoir Subirrigation System in Northwestern Ohio. Page 15 the American Agricultural Economics Association annual meeting. Department of Agricultural, Environmental and Development Economics The Ohio State University, Nashville, Tennessee.
- Rodríguez Medina, K. P. 2011. Efecto de la ganadería y la quema sobre la vegetación y uso de suelo de los humedales herbáceos (popales) del municipio de Alvarado, Veracruz. Instituto de Ecología A.C.
- Romero, G., and A. Maskrey. 1993. Como entender los desastres naturales. Pages 6–10 in A. Maskrey, editor. Los Desastres No Son Naturales. Red de estudios en prevención de Desastres en América Latina (La Red), Santiago.
- Rouquette, J. R., H. Posthumus, D. J. G. Gowing, G. Tucker, Q. L. Dawson, T. M. Hess, and J. Morris. 2009. Valuing nature-conservation interests on agricultural floodplains. *Journal of Applied Ecology* 46:289–296. British Ecological Society. doi: 10.1111/j.1365-2664.2007.0.
- Rouquette, J. R., H. Posthumus, J. Morris, T. M. Hess, Q. L. Dawson, and D. J. G. Gowing. 2011. Synergies and trade-offs in the management of lowland rural floodplains: an ecosystem services approach. *Hydrological Sciences Journal* 56:1566–1581. Taylor & Francis. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2011.629785>.
- SEDARPA, and SAGARPA. 2004. Anuario Estadístico. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, SEDARPA, SAGARPA, Xalapa, Veracruz.
- SEDARPA, and SAGARPA. 2010. Anuario Estadístico. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, SEDARPA, SAGARPA, Xalapa, Veracruz. Retrieved from http://www.oedrus-veracruz.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=61.
- SEFIPLAN. 2010. Cuadernillos de Información Municipal. Page 11. SEFIPLAN, Xalapa, Veracruz. Retrieved from <http://www.veracruz.gob.mx/finanzas/cuadernillos-municipales/>.
- SEMARNAT, CONABIO, I. 2008. Inventario Nacional de Humedales (DER). Page 57.
- SEMARNAT-INE. 2006. Manual del proceso de Ordenamiento Ecológico. Page 335. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE), D.F.
- SIAP, and SAGARPA. 2010. Reportes de producción de azúcar. Retrieved February 5, 2012, from <http://www.campomexicano.gob.mx/azcf/reportes/reportes.php?tipo=CIERRE>.

- van de Sand, I. 2012. Payments for Ecosystem Services in the Context of Adaptation to Climate Change. *Ecology And Society* 17:11. Resilience Alliance. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04561-170111>.
- Sanjurjo, E. 2005. Estimación de la Demanda por los Servicios Recreativos del Manglar en Marismas Nacionales: Una Aplicación de la Metodología del Valor Contingente “ La Tobara ”. Page 17 En memorias del Segundo Congreso de la Asociación Latinoamericana de Economistas y de Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología-Dirección general de Investigación en Política y Economía Ambiental, Oaxaca, México.
- Sanjurjo, E., K. Cadena, and I. Erbstoesser. 2005a. Valoración económica de los vínculos entre manglar y pesquerías. Page 16 En memorias del Segundo Congreso Iberoamericano de Desarrollo y Medio Ambiente. Instituto Nacional de Ecología-Dirección general de Investigación en Política y Economía Ambiental, Puebla, México.
- Sanjurjo, E., R. Stefanie, and W. Casas. 2005b. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta Ecológica* 074:55–68. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Santiago Cervantes, E., M. Vázquez Torres, L. Torres Hernández, J. Alejandro Rosas, and H. Barney Guillermo. 1998. Vegetación del humedal de Alvarado. Pages 275–290 in G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro, editors. *De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan*. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Seingier, G., I. Espejel, and J. L. Fermán-Almada. 2009. Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. *Investigación ambiental* 1:54–69. Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Seingier, G., I. Espejel, J. L. Fermán-Almada, O. D. González, G. Montaña-Moctezuma, I. Azuz-Adeath, and G. Aramburo-Vizcarra. 2011a. Designing an integrated coastal orientation index: A cross-comparison of Mexican municipalities. *Ecological Indicators* 11:633–642. doi: 10.1016/j.ecolind.2010.08.009.
- Seingier, G., I. Espejel, J. L. Fermán-Almada, G. Montaña-Moctezuma, I. Azuz-Adeath, and G. Aramburo-Vizcarra. 2011b. Mexico’s coasts: Half-way to sustainability. *Ocean & Coastal Management* 54:123–128. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2010.10.034.
- Silva-López, G. 1998. La pesca ribereña en Costa de la Palma: recursos y problemas. Pages 353–388 in G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro, editors. *De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan*. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Silva-López, G., J. Jiménez Huerta, A. I. Pérez Bello, E. Portilla-Ochoa, and A. Sánchez Hernández. 1998. El papel de los fragmentos remanentes de vegetación en la conservación del Complejo Lagunar y humedales de Alvarado, Veracruz, México. Pages 315–336 in G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro, editors. *De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan*. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.

- Skerritt, D. 1993. Racheros sobre tierra fértil. Page 185. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Travieso-Bello, A. C. 2005. Evaluación de indicadores de sustentabilidad de la ganadería bovina en la costa de Veracruz Central, México. Instituto de Ecología A.C.
- Travieso-Bello, A. C., P. Moreno-Casasola, and A. Campos. 2005. Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales. *INTERCIENCIA* 30:12–18.
- Turner, R. K., and G. C. Daily. 2008. The Ecosystem Services Framework and Natural Capital Conservation. *Media* 39:25–35. Springer Science+Business Media B.V. doi: 10.1007/s10640-007-9176-6.
- Turpie, J., and M. Kleynhans. 2010. Wetland Valuation Volume IV. A protocol for the quantification and valuation of wetland ecosystem services. Page 74 (H. Malan, Ed.). Water Research Commission, Gezina.
- UNCSD-Secretariat. 2012. Information note. Pages 1–6 RIO+20. United Nations Conference on Sustainable Development (UNCSD), Río de Janeiro.
- UNDESA-UN. 2012. Road Map on Building a Green Economy for Sustainable Development in Carriacou and Petite Martinique, Grenada. Page 138. UN, Grenada.
- UNFCCC. 2011. Framework Convention on Climate Change of the Parties to the Kyoto Protocol. COP16. United Nations, Cancún.
- UNSDC. 1997. Proceedings of the First Session on Agenda 21. United Nation's Sustainable Development Commission, New York.
- United Nations. 1998. KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Page 20. United Nations, Kyoto, Japan.
- United Nations. 2008. Report of the conference of the parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 december 2007. Pages 1–60 Framework Convention on Climate Change.
- United Nations. 2009. World Economic and Social Survey 2009. Promoting Development, Saving the Planet. Page 242. United Nations (UN), New York.
- United Nations. 2011. World Economic and Social Survey 2011. The great Green technological Transformation. Page 251. United Nations (UN), New York.
- Vargas Montero, G. 1998. Signos identitarios del ethos cultural, Mixtecos en el Papaloapan. Colonización agraria y estructuración identitaria. Pages 109–164 *in* G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro, editors. De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Vatn, A., D. N. Barton, H. Lindhjem, S. Movik, I. Ring, and R. Santos. 2011. CAN MARKETS PROTECT BIODIVERSITY? AN EVALUATION OF DIFFERENT FINANCIAL. Elanders Novum.
- Velasco, J. 1998. Formación regional y la construcción identitaria de la cuenca inferior del río Papaloapan. Pages 17–58 *in* G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro,

- editors. De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan, Veracruz. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Vergara Ruíz, G. 1998. Continuidad en las reglas establecidas: fin del porfiriato y maderismo en el Cantón de Cosamaloapan, 1911-1913. Pages 209–252 in G. Silva-López, G. Vargas Montero, and J. Velasco Toro, editors. De padre río y madre mar. Reflejos de la cuenca baja del Papaloapan. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Vázquez, C., C. Aguilar, H. Benet, R. Carmona, T. D. Vega, H. Espinosa, and M. Flores. 2011. Twenty Years of Interdisciplinary Studies: the “ MEZA ” Program ’ s Contributions to Society, Ecology, and the Education of Postgraduate Students. *Ecology And Society* 16:19. Resilience Alliance. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04523-160419>.
- Vázquez, C., and I. Espejel Carbajal. 2011. Instrumentos en el desarrollo regional y local: Plan de manejo de recursos naturales para el Ejido Coronel Esteban Cantú, Ensenada, Baja California, México. Pages 1–24 16° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México, AMECIDER 2011. AMECIDER 2011.
- Wainger, L. A., and E. W. Price. 2004. Evaluating quality of life, economic vulnerabilities, and drivers of ecosystem change. *Change*:69–84.
- Wang, Z., B. Zhang, S. Zhang, X. Li, D. Liu, K. Song, J. Li, F. Li, and H. Duan. 2006. Changes of land use and of ecosystem service values in Sanjiang Plain, Northeast China. *Environmental monitoring and assessment* 112:69–91. Springer. doi: 10.1007/s10661-006-0312-5.
- Warner, B. G., R. Aravena, and P. Moreno-Casasola. 2005. Cambio climático y reciclaje de carbono en los humedales costeros. Pages 297–318 in P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa Rojas, and A. C. Travieso-Bello, editors. Estrategia para el manejo costeros integral: el enfoque municipal. Instituto de Ecología A.C. y Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Veracruz.
- Welsh-Rodríguez, C. M., and A. Tejeda-Martínez. 2010. Programa veracruzano de acción ante el cambio climático - síntesis de los estudios. Pages 52–66 in A. Yáñez-Arancibia, editor. Impactos del Cambio Climático sobre la Zona Costera. Instituto de Ecología A. C. (INECOL), Texas Sea Grant Program, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), Xalapa, Veracruz.
- World Bank. 2011. Estimating the Opportunity Costs of REDD+. Page 262 Finance. World Bank Institute, Washington, DC.
- Yáñez-Arancibia, A., J. W. Day, R. R. Twilley, and R. H. Day. 2010. Los manglares frente al cambio climático ¿tropicalización global del golfo de México? Pages 91–126 in A. Yáñez-Arancibia, editor. Impactos del Cambio Climático sobre la Zona Costera. Instituto de Ecología A. C. (INECOL), Texas Sea Grant Program, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), Xalapa, Veracruz.