



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**SUSTENTABILIDAD DE LA ACUACULTURA EN MÉXICO:
VALORACIÓN TECNOLÓGICA, SOCIOECONÓMICA Y
AMBIENTAL DE UN PROYECTO PILOTO EN LA LAGUNA
CORRALERO OAXACA, MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

DAVID EMMANUEL CHIBRAS GUILLERMO



DIRECTOR DE TESIS:

DR. GIAN CARLO DELGADO RAMOS

2015

Ciudad Universitaria, D. F.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Datos del Jurado

1. Datos del Alumno:

Chibras
Guillermo
David Emmanuel
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
406055309

2. Datos del Tutor / Secretario:

Dr.
Gian Carlo
Delgado
Ramos

3. Datos del sinodal 1 / Presidente:

Dr.
Adolfo
Gracia
Gasca

4. Datos del sinodal 2 / Vocal:

M. en C.
Mireya
Imaz
Gispert

5. Datos del sinodal 3 / Tutor suplente:

M. en C.
Patricia
Fuentes
Mata

6. Datos del sinodal 4 / Tutor suplente:

M. en C.
José Ignacio
Fernández
Méndez

7. Datos del Trabajo escrito

SUSTENTABILIDAD DE LA ACUACULTURA EN MÉXICO: VALORACIÓN TECNOLÓGICA, SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE UN PROYECTO PILOTO EN LA LAGUNA CORRALERO OAXACA, MÉXICO, 262 p, 2015.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ciencias.

A mi familia, madre, padre, hermano, abuelos, a quienes les debo todo.

A Alejandra y mi hija, que representan de manera radiante mi compromiso con el futuro y con esta vida magnífica e impredecible, ¡las amo!

Al Dr. Wilfrido Contreras, su familia y colegas y a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, quién desempeñó un papel fundamental en mi formación profesional y personal, y cuyo tiempo dedicado desinteresadamente al proyecto y a mí persona es imposible agradecer de manera suficiente.

Al Dr. Appelbaum y Dr. Fitzimmonz, por la generosa cantidad de tiempo y conocimiento que entregaron al proyecto motivados por la mejora de las comunidades marginadas.

A mi tutor Gian Carlo Delgado por su dirección, confianza, paciencia y por ser una fuente de motivación constante, por sembrar en mí no solo la necesidad de pensar de manera interdisciplinaria, sino también por invitarme a actuar congruentemente con los valores de dicho enfoque; principalmente frente a la evaluación del propio trabajo realizado en campo.

A Ricardo Dubost, el primero que nos abrió las puertas y nos mostró el funcionamiento de una granja de camarón, compartiendo su experiencia en el diseño y manejo de una unidad de varias hectáreas y de los diferentes eslabones de la cadena productiva del cultivo de camarón. Sus recomendaciones técnicas y económicas levantaron los cimientos del diseño inicial de la tecnología MultiCo y continúan impactando hasta este trabajo.

A la M. en C. Julia Carabias y al Dr. Carlos Ramírez por ser una importante fuente de inspiración, apoyo y consejo; y por enseñarme y cuestionarme sobre las oportunidades y responsabilidades involucradas en el desarrollo de proyectos productivos dentro del contexto de sus ecosistemas.

A mis compañeros y profesores del taller "Cultivo de Camarón y Otras Especies Acuáticas", especialmente a la M. en C. Pilar Torres por su apoyo continuo, a la Biól. Erika Palacios y al Dr. Héctor Garduño, quien detonó mi interés inicial por el proceso de evaluación y gestión de impacto ambiental.

A Julio Prieto por su amistad y por acercarme de primera mano a la idea de estudiar Biología. Gracias por encausarme constantemente en mi desarrollo profesional y académico.

A Dr. Gerardo Rivas por brindarme su amistad y ser un impulsor y un promotor clave para mí desde el principio.

A la comunidad La Noria, Minitán, Banco de Oro, sus ejidos y sus autoridades ejidales, que siempre trabajaron unidas en busca de mejorar sus comunidades.

Al equipo de trabajo de la granja de la Noria, especialmente a Marco y Félix y sus familias, que me honraron abriéndome su casa y su amistad, y que construyeron este proyecto desde antes del primer ladrillo, en muchas ocasiones entregando más de lo que recibían.

Al Biól. Rogelio Serna por enseñarme tanto.

A Armando, por las oportunidades de desarrollo, los espacios, la confianza, el conocimiento.

A Alonso por cuestionarme y compartirme comentarios e información de su tesis.

Vic, Eva, Diego, Ricardo, Hammurabi, Eder, Burgos por su apoyo y comentarios clave para este proyecto.

Al jurado por su valioso tiempo y comentarios.

Dedicado amorosamente a:

Luis Mora, Carlos Hesselbart, Carlos Chávez y Héctor Raymundo López

Índice

Datos del Jurado	1
Agradecimientos	2
Índice	4
1 Índice de Tablas	6
2. Índice de Figuras	10
3. Resumen	17
4. Introducción.....	18
Sistemas estudiados y alcances del estudio.....	20
<i>Cultivo de Camarón</i>	20
<i>Sistema MultiCo</i>	21
<i>Alcances de los parques Acuícolas</i>	25
5. Objetivos.....	28
1. Objetivo General	28
2. Objetivos Particulares	28
6. Antecedentes	29
1. Dimensiones del análisis.	29
2. Definición de Sustentabilidad	30
3. Estado del arte e impactos de la acuicultura	33
4. Situación Actual de la Pesca y la Acuicultura en México: Problemas y Oportunidades	39
7. Área de estudio	43
8. Métodos y Resultados.....	47
1. Medición de Flujo de energía y materiales	47
2. Evaluación de la capacidad de carga de la Laguna Corralero desde el enfoque ecosistémico de la acuicultura	59
<i>Capacidad de carga Física para la selección del sitio.</i>	61
<i>Capacidad de Carga Ecológica</i>	76
<i>Diagnóstico de la sustentabilidad del proyecto considerando las capacidades de carga.</i>	81

9. Discusión	84
1. Diagnóstico.....	86
7.2 Reflexiones finales.....	92
10. Conclusiones.....	96
11. ANEXOS.....	97
1. Importancia de la Pesca en México: “Una historia de pobreza crónica”.....	97
2. Comité científico y colaboradores.....	108
3. El Emprendedor Crematista: La Visión detrás de Las Herramientas Socio-Económicas de Valuación de Proyectos.....	111
4. Sustentabilidad en el Contexto de la Acuicultura. “El enfoque ecosistémico de la acuicultura”	130
5. Acuicultura en México: contexto desde los casos de éxito mundial.	133
6. Caracterización de la Laguna Corralero	143
7. Selección de herramientas de evaluación socio-ambiental: Medición de flujos de Materiales y Energía, y Capacidad de Carga.	174
8. Herramientas de Modelación para Sistemas Acuícolas.	178
<i>Necesidad de Información</i>	179
<i>Herramientas de modelación y toma de decisiones</i>	180
<i>Modelos Ambientales</i>	182
9. Prueba de la tecnología MultiCo	189
<i>Metodología de la prueba piloto del modelo MultiCo en La Noria, Oaxaca.</i>	189
<i>Resultados de la prueba piloto de la tecnología MultiCo</i>	194
<i>Discusión</i>	205
10. Modelación de la tecnología MultiCo	211
<i>Modelación de la Capacidad de Carga Productiva: Prueba Piloto</i>	212
<i>Modelación de la Capacidad de Carga Productiva: Sistema MultiCo</i>	212
<i>Modelación de la Capacidad de Carga Productiva: Jaulas</i>	213
<i>Resultados de la modelación en Aquafarm de la prueba tecnológica.</i>	213
<i>Modelación Unidad MultiCo</i>	226
11. Protocolo de Colecta	229
<i>Selección del sitio e identificación de especies</i>	232
12 Referencias.....	234

1 Índice de Tablas

Tabla 1 Características del sistema de cultivo de camarón una granja de 100 hectáreas ubicada en la costa de Hermosillo, Sonora utilizando la estrategia de producción de volumen para el ciclo 2009 (FIRA, 2009).....	21
Tabla 2 Principales escuelas de sustentabilidad y sus diferencias esenciales.	31
Tabla 3 Detalle de Flujos de entrada y salida de energía y materiales al sistema de cultivo de camarón promedio de México.	51
Tabla 4. Impactos potenciales por kilogramo producido (Mungkung, 2007) en el sistema más común de cultivo de camarón en México. Análisis del factor de impacto ambiental por unidad de cultivo en kilogramos y joules por cada kg de biomasa producida.....	52
Tabla 5. Tabla de principales indicadores de desempeño acuícola para el sistema de cultivo de camarón más común en México (FIRA, 2009) (Camarón MX)	53
Tabla 6. Flujos de entrada y salida de energía y materiales en la prueba piloto de la tecnología MultiCo.....	54
Tabla 7. Impactos potenciales por kilogramo producido (Mungkung, 2007) producido en la prueba de la tecnología MultiCo en la Noria. Análisis del factor de impacto ambiental por unidad de cultivo en kilogramos y joules por cada kg de biomasa producida	55
Tabla 8. Comparativo de indicadores de desempeño acuícola: resultados de la Prueba de la tecnología MultiCo y el sistema de cultivo de camarón más común en México (FIRA, 2009). Se premia la intensividad (Kg/Ha y Kg/m ³) y la eficiencia en el uso de los recursos, en rojo los resultados no deseados o menos competitivos con relación al cultivo de camarón en México (Camarón MX).	55
Tabla 9 Flujos de entrada y salida de energía y materiales en la modelación de la tecnología MultiCo.....	56
Tabla 10 Impactos potenciales por kilogramo (Mungkung, 2007). Análisis del factor de impacto ambiental por unidad de cultivo en kilogramos y joules por cada kg de biomasa producida en el modelación de la tecnología MultiCo.	57
Tabla 11 Comparativo de indicadores de desempeño acuícola: resultados de la Modelación de la tecnología MultiCo (unidad terrestre y jaulas flotantes) y el sistema de cultivo de camarón más	

común en México (FIRA, 2009). En rojo los valores por debajo del sistema de cultivo de camarón (Camarón MX) en negro los valores superiores o iguales. Se premia la intensividad (Kg/Ha y Kg/m³) y la eficiencia en el uso de los recursos. Ejemplo; kilogramos de nutrientes por tonelada de producto (Kg/Ton)..... 57

Tabla 12. Flujos de entrada y salida de energía y materiales para 4 unidades MultiCo 58

Tabla 13 Flujos de entrada y salida de energía y materiales para un parque acuícola (32 unidades MultiCo)..... 58

Tabla 14 Indicadores de desempeño de las tecnologías evaluadas..... 59

Tabla 15. Criterios Generales para la Selección de los sitios para la prueba de la tecnología MultiCo y el desdoblamiento externo en jaulas flotantes. Modificado de John E. Huguenin 1997..... 62

Tabla 16. Resumen de las actividades relacionadas con el desarrollo de la acuicultura y sus posibles impactos identificados en los sistemas estudiados 89

Tabla 17. Cuadro comparativo de las diversas escalas en las actividades pesqueras a nivel mundial. Adaptado de Kurien 1996. 101

Tabla 18 *Análisis del contenido del Plan de Negocios ganador del Fondo de Innovación Tecnológica SE-CONACyT 2010 "Validación tecnológica de un sistema de policultivo acuícola sustentable y de alta eficiencia enfocado en especies marinas de alto valor".* 113

Tabla 19 Principales diferencias entre la economía clásica y la economía ecológica. Modificada de Pengue, 2008..... 127

Tabla 20. *Diagnóstico general de la acuicultura en México, (Ton/Ha) por especie cultivada (Elaboración propia con información de CONAPESCA: anuario estadístico de pesca, 2008; Carta Pesquera 2006 y Boletín informativo "Situación Actual y Perspectivas del Camarón en México" de FIRA, 2009)* 133

Tabla 21. *Comparativo del Rendimiento por Hectárea para México y algunos países líderes en acuicultura de Asia y América. (Elaboración propia con información de la FAO 2005- 2010 National Aquaculture Sector Overview; Fishstat 2010 y CONAPESCA Carta Nacional Pesquera 2006).* 133

Tabla 22 Volumen de escurrimiento y producción de sedimento por proceso de lluvia en cuencas de aporte. Modificado de SAGARPA, 2010. 148

Tabla 23 *Prisma de Marea viva y estiaje en la Laguna Corralero en m³. Modificado de SAGARPA, 2010.*..... 149

Tabla 24. Niveles de Marea en Huatulco, Puerto Ángel y 3 puntos estratégicos de la Laguna Corralero en Metros. Modificado de SAGARPA, 2010 con información del Mareográfico (2009) de la UNAM en “Puerto Ángel” y “Huatulco”.	149
Tabla 25 <i>Temperatura en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010)</i>	151
Tabla 26. <i>Salinidad en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010)</i>	151
Tabla 27. Oxígeno disuelto en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010)	153
Tabla 28. pH en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010).....	154
Tabla 29 Amonio en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010).....	157
Tabla 30. Nitratos y Nitritos en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010)	158
Tabla 31. Ortofosfatos en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010).....	159
Tabla 32 Comparativo Estatal y Municipal de población con relación a las Comunidades dentro del SA, SAGARPA (2010).....	167
Tabla 33. Características principales de la Flota Pesquera dentro de la Laguna Corralero, SAGARPA (2010)	169
Tabla 34. <i>Valor de la producción pesquera en la Laguna Corralero. Producción Promedio (2001-2009), Valor de la producción Máxima (2005). Modificado de SAGARPA, 2010.</i>	172
Tabla 35 <i>Beneficios económicos de dos escenarios de pronóstico de incremento en la producción pesquera de la Laguna Corralero debido a obras de rehabilitación y dragado de la boca de la laguna y canales de comunicación.</i>	173
Tabla 36 Comparativo de los métodos de análisis de costos ambientales. Modificado de FAO, 2007.	176
Tabla 37 Ejemplo de los requerimientos de información para diferentes sistemas de cultivo. Esta lista de parámetros es más bien indicativa que exhaustiva. Modificada de Ross, L.G. et al. (FAO, 2013)	180
Tabla 38. Promedio (\pm DE) de los parámetros fisicoquímicos básicos obtenidos de las mediciones <i>in situ</i> durante las semanas de prueba.	199
Tabla 39. Promedio (\pm DE) de los valores de Nitritos de Rango Alto y Bajo obtenidos de las mediciones <i>in situ</i> durante las semanas de prueba.....	199
Tabla 40. Promedio (\pm DE) de los valores de Amonio de Rango Medio y Bajo obtenidos de las mediciones <i>in situ</i> durante las semanas de prueba.....	200
Tabla 41. Promedio de los parámetros fisicoquímicos básicos modelados para el sistema MultiCo por especie.....	219

Tabla 42. Promedio de los parámetros fisicoquímicos de origen orgánicos modelados para el sistema MultiCo por especie.....	219
Tabla 43. Principales resultados de la modelación de la Unidad MultiCo en el sistema Aquafarm.	226
Tabla 44. Necesidades de agua estimada por unidad familiar a lo largo del proceso productivo sin considerar las jaulas.	226
Tabla 45. Características del agua de descarga modelada (tal y como salen del sistema MultiCo) antes del tratamiento preventivo:	227
Tabla 46. Modelación del decremento en sólidos sedimentables producto del sistema de cultivo integrado:.....	228

2. Índice de Figuras

Ilustración 1 Sistema MultiCo Policultivo sinérgico de especies marinas (Chibras et al., 2013)	22
Ilustración 2 Infraestructura construida para la Prueba Piloto en la comunidad La Noria, Oaxaca.	23
Ilustración 3 Modelos de Jaulas flotantes y acomodo espacial dentro de un sistema lacustre.	25
Ilustración 4 Modulo productivo del parque Acuícola con 32 Unidades MultiCo.	26
Ilustración 5. Lagunas Costeras en Oaxaca y superficie en hectáreas (Castañeda, 2003).....	27
Ilustración 6 Dimensiones en tensión.	29
Ilustración 7. Esquema de los tipos de sistemas de cultivo según su intensividad. (Elaboración propia con información de FAO, WFP and IFAD 2012, PNUD, 2004, CONAPESCA, 2010)	37
Ilustración 8. Sistema Lagunar Corralero. Modificado de SAGARGPA, 2010.	43
Ilustración 9. Sitio Prioritario para la Conservación de los Ambientes Costeros y Oceánicos de México. (CONABIO, 2010)	44
Ilustración 10. Principales Comunidades que rodean a la Laguna Corralero y servicios disponibles.	46
Ilustración 11. Frontera de los flujos de Energía y Materiales y Representación de los flujos básicos de energía y materiales requeridos en una unidad hipotética de acuacultura en tierra. La dirección de las flechas representan los flujos físicos; el cálculo funciona en sentido inverso, es decir del producto final a las materias primas. La frontera del sistema no incluye el transporte de los insumos desde el último vendedor. El cuadro rojo encierra la frontera del análisis. Modificado de FAO 2007.....	49
Ilustración 12 Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados. a) Sistema de cultivo de camarón más común en México, b) Modelación MultiCo con Jaulas Flotantes en AquaFarm (Ernst et al., 2000), c) Prueba de la tecnología. En azul fuerte se muestra el agua utilizada para la engorda (44% del total), en azul claro la perdida de agua (56%) que se explica por la toma de agua a más de 4km de la granja. Todos los flujos se muestran en kilogramos (kg) y Joules (J) para la energía (los grosores de los flujos en la imagen están dados por su porcentaje de participación).	50
Ilustración 13 Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados en el sistema de cultivo de camarón más común en México sin considerar el agua utilizada. (Los grosores de los flujos en la imagen están dados por su porcentaje de participación).....	52

Ilustración 14 <i>Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados en la prueba de la tecnología MultiCo en La Noria; sin considerar los flujos agua. Todos los flujos se muestran en kilogramos (kg) y Joules (J) para la energía. Los grosores de los flujos en la imagen están dados por su porcentaje de participación.</i>	54
Ilustración 15 <i>Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados en la modelación de la tecnología MultiCo, sin considerar los flujos agua. (Los grosores de los fluxes en la imagen están dados por su porcentaje de participación). Todos los flujos se muestran en kilogramos (kg) y Joules (J) para la energía.</i>	56
Ilustración 16 Enfoque esquemático a las relaciones y posible secuencia de las diferentes categorías de capacidad de carga, mostrando los diferentes puntos donde un proyecto puede terminar durante el proceso de toma de decisiones. El orden y la prioridad en la segunda fase pueden depender de cada caso. Tomado de Ross, <i>et al.</i> , 2013.....	61
Ilustración 17. Parcela escolar y sitio prestado por la comunidad de La Noria para el área de cultivo experimental.	64
Ilustración 18. Parcela escolar: sitio seleccionado para el área de cultivo experimental y rectángulo del area total prestada.	65
Ilustración 19. Tipos de vehículos permitidos en un camino tipo D. *Largo máximo de vehículos = 14m y con camión remolque =22.5 m. Tomado de GICABO, 2009.....	65
Ilustración 20. Instalación de 4.5 Km de tubería para traer agua de salobre desde playa Banco de Oro hasta la granja experimental de Maricultura Vigas en la Noria.	67
Ilustración 21 Puntos de posible fin del proyecto proyecto según la metodología de Ross, <i>et al.</i> , 2013.....	70
Ilustración 22. Interacción con la comunidad la Noria y la escuela primaria.	71
Ilustración 22. Comunidad de Corralero y la ubicación del area con potencial para la instalación de jaulas dentro de la laguna.	72
Ilustración 23. Matriz de clasificación del sitio. Halmar Halide, 2008. A Cage Aquaculture Decision Support Tool: Software for Marine and Freshwater Cage Aquaculture Managers, Version 1.0; Physics Department, Hasanuddin University, Makassar Indonesia; Australian Institute of Marine Science.....	74
Ilustración 24. Matriz de selección del sitio. Halmar Halide, 2008. A Cage Aquaculture Decision Support Tool: Software for Marine and Freshwater Cage Aquaculture Managers, Version 1.0;	

Physics Department, Hasanuddin University, Makassar Indonesia; Australian Institute of Marine Science.....	74
Ilustración 25. <i>Batimetría del sistema lagunar corralero (enero, 2010). Tomado de SAGARPA, 2010.</i>	75
Ilustración 26. Capacidad de Carga con el modelo de Hanafi et al.....	77
Ilustración 27. Capacidad de Carga con el modelo de Pulatsu et al	78
Ilustración 28. Capacidad de Carga con el modelo de Tookwinas <i>et al.</i>	79
Ilustración 29. Capacidad de Carga con el modelo MOM simplificado	80
Ilustración 31. <i>Número de embarcaciones ribereñas en la Región 2 Pacífico Sur. Tomado de la Carta nacional pesquera 2010</i>	105
Ilustración 32. <i>La economía como un sistema cerrado, visión desde la Economía Neoclásica. Tomado de Martínez Alier, 1998.</i>	126
Ilustración 33. <i>La economía como un sistema abierto, visión desde la Economía Ecológica. Tomado de (Martínez Alier, 1998)</i>	126
Ilustración 34. Pirámide de las dimensiones económicas.....	128
Ilustración 35. <i>Valor de la Producción de acuicultura en Miles de Dólares para el 2008, comparación de líderes de América y Asia con México (elaboración propia con información de FAO Fishstat, 2010)</i>	134
Ilustración 36. <i>Volumen de la Producción de acuicultura en Toneladas para el 2008, comparación de líderes de América y Asia con México (elaboración propia con información de FAO Fishstat, 2010).</i>	134
Ilustración 37. Polígono del Sistema Ambiental (SA) definido para el Área de Estudio. Tomado de SAGARPA 2010.	143
Ilustración 38 Clima del distrito de Jamiltepec, Oaxaca. Tomado de GICABO, 2009.....	144
Ilustración 39. Rosa de los Vientos “Pinotepa Nacional”. GICABO, 2009	145
Ilustración 40. Geomorfología planicie costera Pinotepa Nacional. Tomado de SAGARPA, 2010.	146
Ilustración 41. Principales tipos de suelos en el Sistema Ambiental. Tomado de SAGARPA, 2010.	147
Ilustración 42. Microcuencas en el Sistema ambiental. Tomado de SAGARPA, 2010.	147
Ilustración 43. Linógrafos instalados (2009) por la SAGARPA para el estudio de la MIA para el dragado de la laguna. 1. Boca, 2. Corralero, 3. El Burro	149
Ilustración 44. Distribución de velocidades promedio en m/s para la Laguna Corralero. Tomado de SAGARPA, 2010.	150

Ilustración 45. Distribución de salinidad al paso de 10 días en el escenario actual en estiaje. Tomado de SAGARPA 2010.	152
Ilustración 46 Comparativa de la distribución de salinidad al paso de 13 días en el escenario actual en avenida. Las flechas rosas indican afluentes temporales de entrada de agua dulce. Tomado de SEGARPA 2010.....	152
Ilustración 47. Sedimentología Laguna Corralero. Tomado de Ahumada-Sempoal, 2002.	155
Ilustración 48. Distribución de materia orgánica Laguna Corralero. Tomado de Ahumada-Sempoal, 2002.....	155
Ilustración 49. <i>Batimetría del sistema lagunar corralero (enero, 2010). Tomado de SAGARPA, 2010.</i>	156
Ilustración 50. Distribución de la vegetación dentro del sistema ambiental. Tomado de SAGARPA 2010.....	163
Ilustración 51. <i>Producción pesquera histórica (2001-2008) Laguna Corralero. Tomado de SAGARPA, 2010.</i>	171
Ilustración 52. La acuacultura como un sistema complejo,	178
Ilustración 53. Diagrama de proceso de Modelación en el sistema Aquafarm. Modificado de Ernst, 2000.....	183
Ilustración 54 Metodología de Quantrix Modeler para la construcción de modelos multidimensionales con escenarios y supuestos dinámicos.....	186
Ilustración 55. Estadísticas del modelo construido para análisis el flujo de energía y materiales. 186	
Ilustración 56 Vista de una matriz de cálculo del modelo de flujos de materiales y energía en Quantrix Modeler.....	187
Ilustración 57 Vista de un grupo de matrices de cálculo del modelo de flujos de materiales y energía en Quantrix Modeler.....	187
Ilustración 58 Vista de matriz de construcción de esquema Sankey en Quantrix Modeler	187
Ilustración 59. Proceso de modelación de flujo de energía y materiales desde Quantrix Modeler hasta obtener un diagrama tipo Sankey	188
Ilustración 60. Detalle de la Infraestructura construida en la Noria	189
Ilustración 61. Calendario de semanas de cultivo para las especies introducidas a la prueba tecnológica del sistema MultiCo.	190
Ilustración 62. Peso promedio (\pm EE) de robalos (<i>C. armatus</i>) en las 12 semanas de evaluación (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$).....	194

Ilustración 63. Longitud promedio (\pm EE) de robalos (<i>C. armatus</i>) en las 12 semanas de evaluación (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).....	195
Ilustración 64. Número de robalos (<i>C. armatus</i>) en las 12 semanas de evaluación.	195
Ilustración 65. Peso promedio (\pm EE) de Tilapias (<i>O. niloticus</i>) en las 17 semanas de engorda (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).....	196
Ilustración 66. Longitud promedio (\pm EE) de Tilapias (<i>O. niloticus</i>) en las 17 semanas de engorda (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).....	196
Ilustración 67. Número de tilapias (<i>O. niloticus</i>) en las 17 semanas de evaluación del sistema....	197
Ilustración 68. Peso promedio (<i>O. niloticus</i>) en las 17 semanas de evaluación del sistema contra el crecimiento de referencia o esperado.	197
Ilustración 69. Peso promedio (\pm EE) de camarón (<i>L. vannamei</i>) en las 14 semanas de engorda (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).....	198
Ilustración 70. Longitud promedio (\pm EE) de Camarón (<i>L. vannamei</i>) en las 14 semanas de evaluación del sistema (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).	199
Ilustración 71 Valores observados de Amonio de Rango Bajo NH_3 (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma 1 = Robalos 2 = Tilapia 3 = Camarón 4 = Descarga.....	201
Ilustración 72 Valores observados de Amonio de Rango Bajo $\text{NH}_3\text{-N}$ (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma 1 = Robalos 2 = Tilapia 3 = Camarón 4 = Descarga.....	201
Ilustración 73. Valores observados de Amonio de Rango Bajo NH_4^+ (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma 1 = Robalos 2 = Tilapia 3 = Camarón 4 = Descarga.....	202
Ilustración 74. Valores observados de Amonio de Rango Medio NH_3 (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma 1 = Robalos 2 = Tilapia 3 = Camarón 4 = Descarga.....	202
Ilustración 75. Valores observados de Amonio de Rango Medio $\text{NH}_3\text{-N}$ (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma 1 = Robalos 2 = Tilapia 3 = Camarón 4 = Descarga.....	202

Ilustración 76. Valores observados de Amonio de Rango Medio NH_4^+ (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma 1 = Robalos 2 = Tilapia 3 = Camarón 4 = Descarga.....	203
Ilustración 77. Valores observados de Nitritos de Rango Alto NO_2 (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de la prueba (n=45). 0 = Toma 1 = Robalos 2 = Tilapia 3 = Camarón 4 = Descarga.....	203
Ilustración 78. Valores observados de Nitritos de Rango Alto NaNO_2 (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de la prueba (n=45). 0 = Toma 1 = Robalos 2 = Tilapia 3 = Camarón 4 = Descarga.....	204
Ilustración 79. Comportamiento (\pm EE) de las muestras de pH en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema. 0 = Toma 1 = Robalos 2 = Tilapia 3 = Camarón 4 = Descarga.....	204
Ilustración 80. Variabilidad de las muestras de pH en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema. 0 = Toma 1 = Robalos 2 = Tilapia 3 = Camarón 4 = Descarga.....	205
Ilustración 81. Modelación del sistema MultiCo en el programa Aquafarm 3.0 para una situación ideal (modulo completo). Realización propia. Interfaz visual Ernst, 2000. AquaFarm: simulation and decision support for aquaculture facility design and management planning, Aquacultural Engineering (23)1-3, pp. 121-179.....	212
Ilustración 82. Peso promedio modelado para la especie marina modelo en 12 semanas de engorda.....	214
Ilustración 83. Longitud promedio modelado para la especie marina modelo en 12 semanas de engorda.....	214
Ilustración 84. Número de peces a lo largo del proceso de modelación en las 12 semanas de evaluación.....	215
Ilustración 85. Peso promedio para la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.....	216
Ilustración 86. Longitud promedio para la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.....	216
Ilustración 87. Número de tilapias modelo en las 17 semanas de engorda.....	217
Ilustración 88. Oxígeno disuelto esperado para la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.....	218
Ilustración 89. Peso promedio para el camarón modelo en 15 semanas de engorda.....	218
Ilustración 90. Longitud promedio para el camarón modelo en 15 semanas de engorda.....	219
Ilustración 91. Amonio total disuelto (mg/l) de la especie marina modelo en 12 semanas de engorda.....	220

Ilustración 92. Nitrato disuelto (mg/l) de la especie marina modelo en 12 semanas de engorda.	221
Ilustración 93. Fósforo disuelto (mg/l) de la especie marina modelo en 12 semanas de engorda.	221
Ilustración 94. Suspendidos totales disueltos de la especie marina modelo en 12 semanas de engorda.	222
Ilustración 95. Amonio total disuelto (mg/l) de la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.	222
Ilustración 96. Nitrato disuelto (mg/l) de la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.	223
Ilustración 97. Fósforo disuelto (mg/l) de la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.	223
Ilustración 98. Suspendidos totales disueltos de la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda. .	224
Ilustración 99. Amonio total disuelto (mg/l) del camarón modelo en 15 semanas de engorda	224
Ilustración 100. Nitratos disueltos (mg/l) del camarón modelo en 15 semanas de engorda.	225
Ilustración 101. Fósforo disuelto (mg/l) del camarón modelo en 15 semanas de engorda.	225
Ilustración 102. Suspendidos del camarón modelo en 15 semanas de engorda.	226

3. Resumen

De cara al actual contexto de crisis socio-ambiental, económica y alimentaria por el que cruza el país, el trabajo evalúa la sustentabilidad de dos procesos de acuicultura. Se utilizan herramientas de modelación ambiental – capacidad de carga ambiental y medición y visualización de flujos de energía y materiales– para comparar la sustentabilidad de la tecnología patentada de cultivo acuícola MultiCo (sistema multitrófico integrado o de incorporación explícita de especies de diferentes niveles nutricionales en el mismo sistema, y desdoblamiento de producción a jaulas flotantes) con el sistema predominante de cultivo acuícola en México (monocultivo intensivo de camarón). Se evalúa la viabilidad ambiental del modelo de transferencia (parques acuícolas) analizando los resultados de la prueba de la tecnología y la modelación de sus objetivos productivos. Al comparar los impactos potenciales por kilogramo producido, la tecnología evaluada resulta menos sustentable que el sistema de monocultivo de camarón. Por otro lado, considerando la capacidad de carga ambiental de los sitios evaluados, se concluye que los objetivos productivos no son viables técnica, económica y ambientalmente. El diseño de un sistema acuícola debe partir de la capacidad de carga del sitio donde se ubique y de sus indicadores de desempeño ambiental y no, esencialmente, de sus proyecciones financieras.

Se concluye que el enfoque en voga de la economía verde no es suficiente para responder ante la crisis ambiental y social del país, ni tampoco a la de nuestros sistemas de producción de alimentos. La acuicultura es un ejemplo de por qué no es correcto plantear proyectos productivos sin consideración previa de los límites ambientales y sociales a nivel local. En ese sentido se considera necesario desarrollar nuevas herramientas que, a partir del diálogo entre diferentes disciplinas, apoyen la toma de decisiones ambientales. El presente trabajo enfocado en el caso de la acuicultura es un ejercicio de dicha naturaleza.

Palabras clave: Acuicultura, maricultura, sustentabilidad, flujos de energía y materiales, capacidad de carga, Oaxaca, Laguna Corralero.

4. Introducción

El entorno natural del país se encuentra profundamente dañado, 45% de la superficie del país está afectada por algún grado de degradación de suelo y solo queda el 50% de la vegetación original del país. En el caso de los factores que afectan a las actividades acuícolas, destaca que 73% de los cuerpos de agua nacionales están contaminados, 22% de las pesquerías están sobreexplotadas y 63% que ya llegaron a su límite¹ (Carabias, 2012). Por otro lado, México se ubica entre los países con mayor vulnerabilidad al cambio climático ya que 15% de su territorio, 68.2% de su población y 71% de su Producto Interno Bruto (PIB) se encuentran altamente expuestos a sus impactos adversos (SEMARNAT, 2012).

A la par de esta gran afectación ambiental derivada del desarrollo económico, la pobreza en México continua en aumento: 3.2 millones de personas más entre 2008 y 2010 (Coneval, 2013). De acuerdo con el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social – Coneval (2013), actualmente existen en el país más de 53.3 millones de personas en situación de pobreza y 11.5 millones viven en pobreza extrema. En 2012, uno de cada cuatro mexicanos –alrededor de 28 millones de personas– sufrieron pobreza alimentaria, y alrededor de 11,900 personas murieron por causas relacionadas con la desnutrición (Coneval, 2013).

En lo que toca a los 557 municipios que registran actividad pesquera y acuícola en México, la situación no es alentadora: 6 de cada 10 personas viven en situación de pobreza y 57% del total de los municipios cuentan con un riesgo nutricional extremo, muy alto y alto; así que a diferencia de lo que comúnmente se cree, la pesca no garantiza una conveniente alimentación (Satinelli, 2009). (Anexo. 11.1 Importancia de la Pesca en México: “Una historia de pobreza crónica”). Esto se explica, en parte, por la baja productividad alimenticia en el país que genera escasez y aumento constante en los precios (FAO, 2011). Estos precios provén un estimado del valor de los productos, pero reflejan parcialmente —o no reflejan en absoluto— los costos a la sociedad por la degradación ambiental causada para producir dichos bienes (Bringezu et al., 2003).

¹ Tomando el máximo histórico registrado en 1996 (86.4 Millones de Toneladas) y los últimos datos de producción del 2010 (77.4 Millones de Toneladas) la a producción pesquera mundial presenta una reducción del 10.4% en el volumen de las capturas (FAO, 2012).

El cultivo de especies acuáticas actualmente es el sistema de producción de alimentos con mayor crecimiento a nivel mundial, con un incremento en la producción de 9.3% en el 2012, y con una tasa media anual del 8% en los últimos 10 años (FAO, 2012). De acuerdo con la FAO, la acuicultura seguirá creciendo a tasas significativas hasta el 2025, permaneciendo como el sistema de producción de alimento con mayor crecimiento en el mundo (Ibid). Se plantea que en 2030 habrá un incremento en la demanda de productos pesqueros de 40 millones de toneladas (FAO, 2012), lo que supone, entre otras cosas, una oportunidad de negocio y una solución potencial a la difícil situación que enfrentan las comunidades con actividad pesquera y acuícola en nuestro país.

Dentro de la producción pesquera nacional la industria del camarón presenta el mayor desarrollo acuícola y, desde el punto de vista económico, es la principal pesquería nacional. No obstante, según Rodríguez-Valencia et al. (2010), el desarrollo de la camaronicultura ha producido importantes afectaciones en los ecosistemas estuarinos nacionales, con poca integración y beneficio social. En Sinaloa por ejemplo, se calcula que 583 ha de manglar fueron deforestadas para la construcción de 281 granjas camaronícolas (Ruiz- Luna A et al. 2008).

Esta industria requiere grandes inversiones para alcanzar economías de escala² y rentabilidad, lo que excluye a pequeños productores debido a las barreras de entrada³. Los problemas se ven acentuados por el bajo margen de ganancia (15%) de los sistemas intensivos que vuelven vulnerables a los productores a enfermedades, cambios en el mercado y costos de los insumos (FIRA 2009).

Actualmente el cultivo de camarón en México se encuentra en una crisis importante debido a la presencia recurrente de enfermedades⁴. En Sonora entre 2009 al 2012 la enfermedad de “Mancha Blanca” redujo la producción de 85,000 toneladas a 35,000 toneladas; y en el 2013 una nueva enfermedad, el síndrome de la mortalidad temprana, redujo la producción nacional en un 49%⁵, pasando de 100,000 toneladas en el 2012 a 51,000 toneladas en el 2013 (Téllez, 2014).

² E En Sonora encontramos granjas con más de mil hectáreas de estanquería. Podemos estimar que el promedio nacional es de mínimo 100 hectáreas para una granja de cultivo de camarón con buen margen de rentabilidad (FIRA 2009).

³ El costo de inversión promedio por hectárea de estanquería equipada para cultivo de camarón en la costa de Hermosillo es de \$ 15,000 USD/ha (FIRA, 2009).

⁴ La presencia de enfermedades surge principalmente por aumentar la concentración de organismos en un área o región específica; los sistemas de monocultivo intensivo son especialmente vulnerables (De Silva, 2010; SAGARPA, 2010).

⁵ La falta de coordinación y la presencia de otras actividades en la franja costera, propician la pérdida de calidad del agua, la presencia y diseminación de enfermedades y la generación de conflictos entre usuarios, lo que en conjunto tiene efecto en la reducción de la productividad de los estanques y su posterior abandono (FAO, WFP y IFAD. 2012)

Ante este panorama, cabe preguntarse si la sustentabilidad de una actividad económica puede alcanzarse a través del desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas, confiando en que las más sustentables serán elegidas y propagadas por el mercado, o por lo contrario, considerar que para ser sustentable el diseño de las tecnologías productivas debe asimilar diferentes límites ambientales y sociales, restringiendo el desarrollo y crecimiento de las propias actividades económicas considerando sus impactos locales.

A continuación se aborda esta problemática con una propuesta de integración de herramientas de modelación ambiental y visualización de flujos de energía y materiales. Partiendo de la experiencia del diseño, construcción y operación de la prueba de la tecnología, se evalúa la sustentabilidad de los sistemas comparados considerando sus impactos potenciales por kilogramo producido de cara a la modelación de la capacidad de carga de los dos sitios estudiados: la comunidad La Noria y Minindaca y Laguna Corralero; dentro del distrito de Jamiltepec, en el estado de Oaxaca.

Sistemas estudiados y alcances del estudio

En este trabajo nos limitamos a estudiar el eslabón de la engorda sin considerar los procesos previos de la cadena productiva acuícola (como la producción de alimento o semilla) y los procesos posteriores de la cadena suministro, como su transporte y comercialización hasta el consumidor final. El análisis compara dos sistemas acuícolas con tecnologías contrastantes, por un lado, la tecnología integrada (MultiCo / Desdoblamiento)¹² y, por el otro, el monocultivo (cultivo de camarón), partiendo de la hipótesis de que la primera tecnología es una alternativa viable en tanto que supone un uso más eficiente de los recursos que el sistema de monocultivo intensivo de camarón.

Cultivo de Camarón

Se utiliza información bibliográfica del informe “Situación Actual y Perspectivas del Camarón en México” de FIRA (2009) que detalla los insumos utilizados en un sistema de monocultivo de

¹² En años recientes la idea de la acuicultura integrada ha sido considerada desde un enfoque de “mitigación” del exceso de nutrientes y materia orgánica generada por las actividades acuícolas intensivas (Soto, D. (ed) FAO, 2009). En este contexto, la *acuicultura multitrófica integrada* ha emergido recientemente, donde multitrófico se refiere a la incorporación explícita de especies de diferentes niveles tróficos o niveles nutricionales en el mismo sistema (Soto, D. (ed) FAO, 2009). En el proceso existe integración cuando en una granja los productos de un subsistema, que en otras circunstancias serían desechados, ingresan a otro subsistema, aumentando de esa manera la producción de la tierra y de los cuerpos de agua bajo control del granjero de aquellos productos que para él tienen mayor importancia” (Edwards et al, 1988).

camarón típico de la costa de Hermosillo, Sonora; una granja con una superficie de 100 hectáreas produciendo con estrategia de volumen¹³.

La granja de 100 hectáreas fue sembrada a una densidad de 30 organismos por metro cuadrado obteniendo sobrevivencias del 78% de los camarones sembrados. La duración del cultivo fue de 182 días, donde se suministró alimento balanceado consiguiendo un factor de conversión alimenticia de 2.2 kg, produciendo 560.3 toneladas de camarón, con un rendimiento de 5.6 toneladas/ha (FIRA, 2009).

Tabla 1 Características del sistema de cultivo de camarón una granja de 100 hectáreas ubicada en la costa de Hermosillo, Sonora utilizando la estrategia de producción de volumen¹⁴ para el ciclo 2009 (FIRA, 2009).

Estrategia de producción	Volumen
Superficie de cultivo	100 ha
Densidad de siembra	30 Org./m ²
Sobrevivencia	78%
Factor de conversión alimenticia	2.20:1
Duración del ciclo (inicia 1° de abril)	182 Días
Resumen de producción	
1° Cosecha parcial (20/jun de 12 g)	75,000 kg
2° Cosecha parcial (12/ago de 20 g)	60,000 kg
Cosecha final (30/sep de 30 g)	425,304 kg
Final + Parciales	560,304 kg
Rendimiento por ha	5,603 kg

Sistema MultiCo

El sistema acuícola multitrófico integrado y desdoblamiento de producción a jaulas flotantes (MultiCo) fue desarrollado en 2011 para intervenir comunidades altamente marginadas en los alrededores de la Laguna Corralero en el Estado de Oaxaca (proyecto "Validación tecnológica de un sistema de policultivo acuícola sustentable y de alta eficiencia enfocado en especies marinas de alto valor - ECO-2010-C01-147232").

¹³ Consiste en realizar siembras a altas densidades, desarrollar el cultivo y efectuar cosechas parciales con el fin de cosechar camarones desde los 12 gramos de peso hasta los 18 gramos. Al realizar estas cosechas parciales se baja la población en cultivo y se mejoran las condiciones de cultivo logrando unas cosechas finales con tallas medianas y grandes. Esta estrategia brinda liquidez por la venta del camarón de las cosechas parciales, no obstante, el precio del producto por su talla es menor (FIRA 2009)

¹⁴ la cual consiste en realizar siembras a altas densidades, desarrollar el cultivo y efectuar cosechas parciales a fin de cosechar camarones desde los 12 gramos de peso hasta los 18 gramos. Al realizar estas cosechas parciales se baja la población en cultivo y se mejoran las condiciones de cultivo logrando unas cosechas finales con tallas medianas y grandes. Esta estrategia brinda liquidez por la venta del camarón de las cosechas parciales, no obstante, el precio del producto por su talla es menor (FIRA 2009)

Fue resultado de la colaboración (Anexo 2 (11.2) Comité Científico y Colaboradores) de actores privados con la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), la Universidad Ben Gurion de Israel (UBG) y la Universidad de Arizona (UA). La tecnología quedó sujeta a patente (Chibras et al., 2013) y se concibió tomando en cuenta tres elementos principales: 1. Potencial económico de la acuicultura; 2. Oportunidades para nuevas tecnologías acuícolas sustentables en México; 3. Necesidad de oportunidades de desarrollo y de un modelo de transferencia tecnológica para comunidades marginadas costeras de México. En este último punto se pretendió hacer uso de la clusterización¹⁵ para generar economías de escala considerando otros casos de éxito en el sector acuícola (De Silva et al., 2010). El modelo propuesto de “parques acuícolas”, agrega varias unidades productivas con el objetivo de optimizar costos de construcción, seguridad, mantenimiento, regulación, gestión ambiental y suministro. Se generan volúmenes competitivos agregando el esfuerzo de varias unidades productivas, controlando tallas y ciclos de producción dependiendo de las preferencias del mercado. Las unidades se transfieren como negocios “llave en mano” con micro financiamientos a productores locales que arrendan instalaciones y servicios del parque acuícola.

La tecnología multitrófica integrada patentada, contiene dos componentes de innovación fundamentales (Chibras et al., 2013):

a) MultiCo. Policultivo lineal de especies sinérgicas



Ilustración 1 Sistema MultiCo Policultivo sinérgico de especies marinas (Chibras et al., 2013)

Técnica de producción secuencial de especies marinas basada en la cadena alimenticia y las necesidades nutrimentales de cada especie. Se aprovechan los nutrientes del desperdicio de una especie para alimentar a otra (alimentos no consumidos, heces, fitoplancton, etc.) (Chibras et al.,

¹⁵ Se entiende comúnmente por cluster, a una concentración sectorial y/o geográfica de empresas en las mismas actividades o en actividades estrechamente relacionadas, con importantes economías externas, de aglomeración y especialización – de productores, proveedores y mano de obra especializada, de servicios anexos específicos al sector – con la posibilidad de acción conjunta en búsqueda de eficiencia colectiva

2013). Las especies se colocan de manera secuencial en contenedores diferentes, donde el flujo de agua pasa de un nivel al siguiente. El agua de descarga de 4 tanques de la especie primaria (robalo), se aprovecha para abastecer al estanque de la especie secundaria (tilapia), y se introduce en el estanque de la especie terciaria (camarón) antes de salir del sistema (Ilustración 1.).



Ilustración 2 Infraestructura construida para la Prueba Piloto en la comunidad La Noria, Oaxaca.

El principal beneficio de esta técnica consiste en producir especies secundarias y terciarias aprovechando los insumos de las especies primarias. El aumento gradual en la disponibilidad de materia orgánica generada como desecho por las especies primarias es aprovechado por los organismos ubicados en el siguiente eslabón. Este aprovechamiento gradual se traduce en una reducción esperada de la tasa de conversión alimenticia y por lo tanto de los costos e impactos del alimento procesado (Chibras et al., 2013).

Se espera así que a través del policultivo sinérgico se incremente el volumen de producción y se disminuya el gasto, al distribuirlo entre las diferentes especies. Además la integración, supone la optimización de la calidad de agua, uso de suelo, ciclo nutrimental y gasto de electricidad.

b) Desdoblamiento externo de la producción a jaulas flotantes en sistemas estuarinos

Consiste en trasladar la engorda de la especie primaria (robalo) de los tanques a jaulas flotantes dentro de sistemas lacustres, con el objetivo de externalizar buena parte de los costos de la engorda (luz, bombeo, recambio de agua, entre otros) aprovechando los servicios ambientales de los ecosistemas.

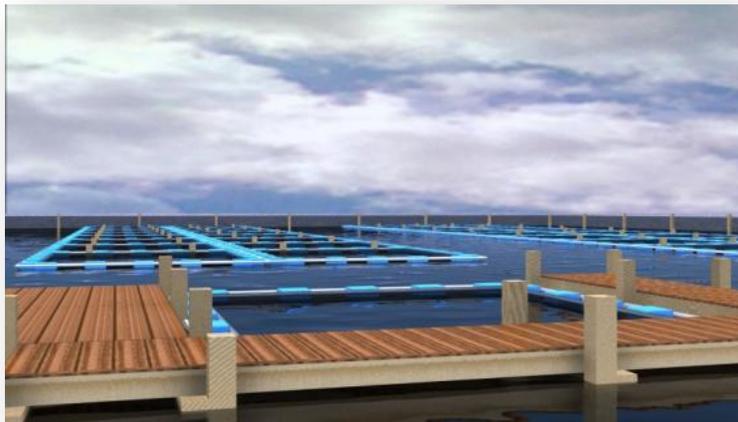
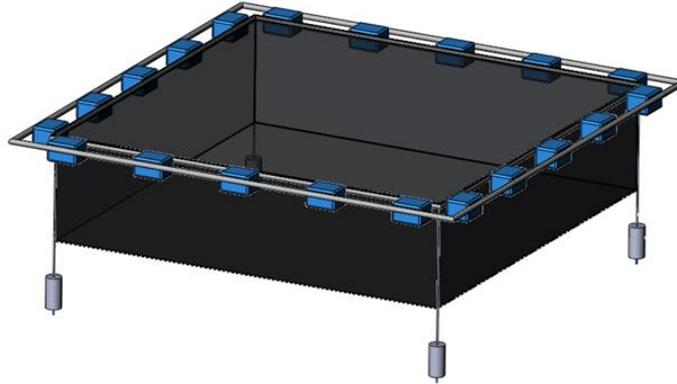




Ilustración 3 Modelos de Jaulas flotantes y acomodo espacial dentro de un sistema lacustre.

La engorda inicial se desarrolla en instalaciones intensivas en tierra (en los tranques secuenciales MultiCo) donde los peces engordan de 5g a 50g. En este punto los organismos son trasladados al sistema semi-intensivo de jaulas flotantes que proporciona los “servicios ambientales” para soportar la engorda de los peces juveniles hasta talla comercial (500 g) (Ilustración 30) (Chibras et al., 2013). Este eslabón permite reducir considerablemente los costos de energía y mantenimiento en la segunda mitad de la engorda y aumenta la capacidad productiva del sistema, lo que permite liberar las unidades de cultivo de la especie primaria cada 3 meses en vez de cada 6 meses (como sucede en la mayoría de los sistemas acuícolas) lo que asimismo permite duplicar los ciclos productivos de la tecnología por año.

Alcances de los parques Acuícolas

En suma, considerando indicadores financieros, con el sistema MultiCo se plantea producir 10.2 Ton de peces marinos cada tres meses, utilizando 24 jaulas por unidad MultiCo, que ocuparían un área aproximada de 426 m² dentro de la laguna costera. Esto implica que cuatro unidades MultiCo (con 96 jaulas) producirían lo equivalente a la pesca anual de la Laguna Corralero (165 Ton/año) y un parque acuícola arrojaría hasta ocho veces la producción anual de dicha laguna (CONAPESCA, 2010).

Asimismo, con base en proyecciones financieras, se estima que un parque acuícola comprendería 32 unidades MultiCo con 768 jaulas flotantes. El objetivo planteado para inversionistas y fondos de gobierno fue construir 10 parques acuícolas en 10 años, incluyendo a 6 mil productores que tendrían un ingreso mensual de \$8,500 pesos cada uno (Anexo 3 (11.3) El Emprendedor Crematista: La Visión detrás de Las Herramientas Socio-Económicas de Valuación de Proyectos).



Ilustración 4 Modulo productivo del parque Acuícola con 32 Unidades MultiCo.

Se identificaron 240 mil beneficiarios potenciales en 160 comunidades marginadas alrededor de lagunas costeras en Guerrero, Oaxaca y Chiapas (INEGI, 2008). En Oaxaca existen 5 lagunas

costeras (125,758 ha (Castañeda et al., 2003)) con potencial para albergar desarrollos acuícolas, una de ellas es la laguna Corralero, que cuenta con una superficie de 3,158 ha, lo que representa el 3% del potencial total del estado.

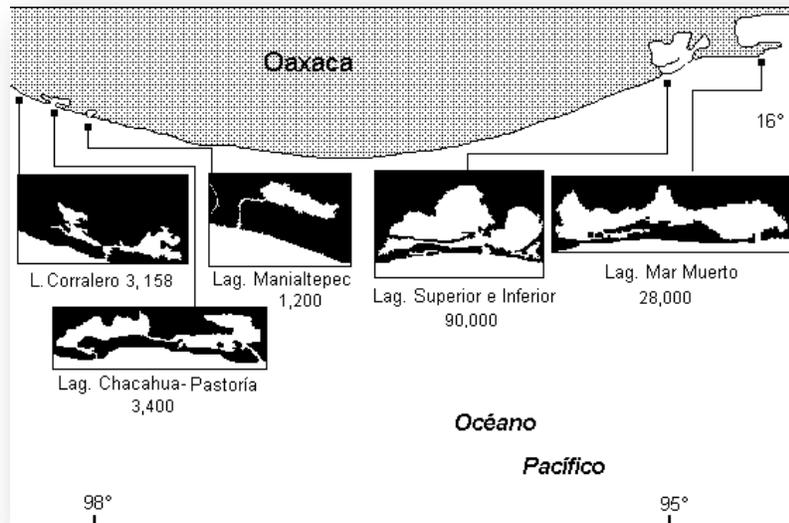


Ilustración 5. Lagunas Costeras en Oaxaca y superficie en hectáreas (Castañeda, 2003).

La hipótesis detrás del proyecto es que si el sistema propuesto es más sustentable que el sistema acuícola predominante a nivel nacional, la cantidad de impactos potenciales producidos por kilogramo de producto será menor. Así mismo para considerarse sustentable, esta tecnología y sus objetivos de desarrollo deben estar alineados con la capacidad de carga de los ecosistemas donde se establezcan.

En este trabajo se utiliza el enfoque ecosistémico de la acuicultura (metodología para desarrollar pautas para la acuicultura sustentable) (Soto, et al., 2008) que ha sido propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) para medir y discutir la sustentabilidad de los objetivos productivos planteados (Anexo. 4 (11.4) Sustentabilidad en el Contexto de la Acuicultura. “El enfoque ecosistémico de la acuicultura”).

5. Objetivos

1. Objetivo General

Evaluar la sostenibilidad del sistema MultiCo con relación al sistema predominante de producción acuícola en México y estimar su potencial de desarrollo considerando la capacidad de carga de los sistemas que lo pueden albergar y sus impactos ambientales potenciales desde el enfoque ecosistémico de la acuicultura.

2. Objetivos Particulares

- Medición de Flujo de Energía y materiales del sistema MultiCo y dimensionamiento de los impactos ambientales con relación al sistema predominante de cultivo en México.
- Evaluación de la capacidad de carga y de los servicios ambientales¹⁶ relacionados con el soporte de procesos productivos acuícolas para la Laguna Corralero desde el enfoque ecosistémico de la Acuicultura (EAA).
- Revisión bibliográfica sobre el estado del arte de la acuicultura en México. Historia, producción, uso de recursos e impactos naturales.

¹⁶ Los servicios ambientales se definen como todos aquellos beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Estos beneficios contemplan servicios de suministro, como los alimentos y el agua; servicios de regulación, como la regulación de las inundaciones, las sequías, la degradación de los desechos, y las enfermedades a través del control de sus vectores; servicios de base o soporte, como la formación del suelo y los ciclos de los nutrientes; y servicios culturales como los beneficios recreacionales, espirituales, religiosos y otros beneficios intangibles (Alcama, 2003). Todas las actividades humanas generan desechos y consumen recursos naturales como espacio, energía, agua, suelo, aire, plantas y animales; haciendo uso de servicios ambientales

6. Antecedentes

1. Dimensiones del análisis.

La tesis presenta dos dimensiones en constante tensión: una dimensión socio económica y una dimensión socio ambiental. La dinámica consiste en describir y discutir los puntos de acuerdo y las diferencias entre ambas dimensiones. Se busca entablar un diálogo que permita evaluar los objetivos, los resultados y el futuro del proyecto de manera relativamente más holística (Ilustración 6).

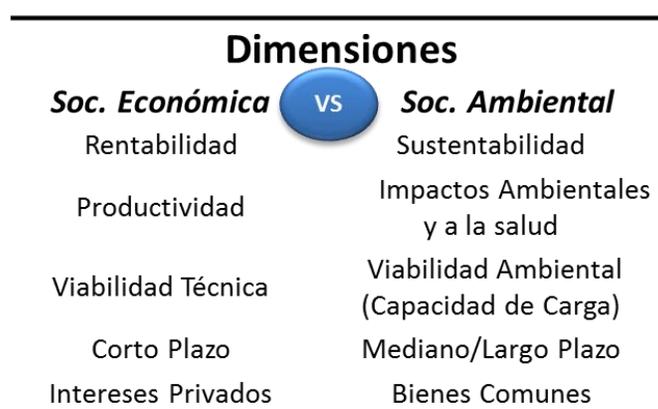


Ilustración 6 Dimensiones en tensión.

¿Cómo pueden nuevos emprendedores, empresas privadas e instituciones gubernamentales mediar los intereses entre ambas visiones? ¿Qué herramientas de medición pose cada visión y cómo pueden complementarse para el caso de la acuicultura?, ¿Cómo nos enfrentamos a las incertidumbres y quién paga los costos después de la toma de decisiones?, ¿Por qué los biólogos deben jugar un papel central en esta discusión?. Este trabajo busca enfrentar estas preguntas con base en la experiencia en campo, la revisión bibliográfica que la acompañó, y el análisis que derivó en el presente trabajo.

Adicionalmente, con el objetivo de poner en contexto el área de estudio y su problemática principal, se abordará en los Anexos no solo la acuicultura sino la pesca artesanal y su historia en México, haciendo especial énfasis en los actores sociales que fundamentan la visión de desarrollo comunitario planteado para los llamados “parques acuícolas” .

2. Definición de Sustentabilidad

A lo largo de este trabajo se utilizará repetidamente el término “sustentabilidad” o “sostenibilidad” por lo que es indispensable acotarlo a los alcances y a las herramientas de medición que se utilizan.

La Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, establecida por las Naciones Unidas en 1983, definió el desarrollo sustentable como el "desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las capacidades que tienen las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades". El concepto se hizo conocido mundialmente a partir del informe "Nuestro Futuro Común", publicado en 1987 con motivo de la preparación para la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, Brasil, en 1992. Obviamente dicha definición tiene alcances prácticos muy limitados pues no da un marco de referencia útil en términos cuantitativos o cualitativos. En la actualidad existen varias escuelas de sustentabilidad basadas en diferentes ideologías políticas, económicas, sociales, ambientales y de visión de bienestar en general. Cada acercamiento tiene diferentes nociones de lo que es el manejo sustentable de los recursos naturales, diferentes bases metodológicas y diversos supuestos para acercarse a sus objetivos (Tabla 2).

Tabla 2 Principales escuelas de sustentabilidad y sus diferencias esenciales. Modificado de Pérez, E. R. (2010)

	Economía ambiental²⁰ y Sustentabilidad débil	Economía ecológica²¹ y sustentabilidad fuerte	Ecología política²² y Biología dialéctica
Bases teóricas	La economía neoclásica se basa en racionalidad, eficiencia y modelos de equilibrio	El límite del crecimiento depende de la naturaleza, mayor escala espacial y temporal, sustentabilidad a largo plazo, complejidad de los sistemas.	Estudio de los seres vivos, sus relaciones y sus cambios evolutivos en un periodo largo de tiempo. La interacción del organismo y el ambiente está en constante cambio y definición.
	El ambiente es parte de la economía	La economía es un subsistema y depende del ambiente	La economía es un subsistema de la biosfera y tiene relaciones de co-construcción con el ambiente
Visión sobre el capital natural	Los recursos se analizan en términos económicos si son relativamente escasos	Todos los recursos son importantes sean escasos o no	Todas las especies son importantes considerando que hay una dinámica cambiante en la cual se generan variedades y se extinguen especies.
	Valor unidimensional de la naturaleza	Inconmensurabilidad entre diferentes valores,	Diferentes órdenes ontológicos
	Los recursos pueden sustituirse entre sí o por la tecnología.	Los recursos tienen poco margen de sustitución	No sustitución de especies por otras, tampoco por otros tipos de capital
	Completa reversibilidad en los intercambios económicos y de la naturaleza	Reducir la entropía debido a la consideración de la 2 ^{da} ley de la termodinámica.	Irreversibilidad de muchos procesos biológicos, algunos son reversibles
	Los límites biofísicos no son considerados	Los límites biofísicos y la complejidad del ecosistema son considerados.	Los límites biofísicos y la compleja dinámica de los ecosistemas son considerados.
Concepto de ambiente	Acervo constante de recursos: ecosistema estable	Flujos de energía y materiales	Cambio constante de recursos de cantidad y cualidad: equilibrio dinámico del ecosistema.
Valoración económica	Basada en las preferencias reveladas y expresadas	Basada en las preferencias reveladas, los valores intrínsecos y las variables de comportamiento.	La valoración económica niega el proceso ontológico del objeto de estudio de la biología y de la ecología.
Crecimiento poblacional	Los factores económicos e institucionales tienen un papel fundamental en la relación entre crecimiento poblacional y deterioro ambiental.	La población es el principal consumidor del capital natural.	
Bienestar	Evitar el deterioro ambiental para tener mayor equidad intergeneracional y con ello mayores oportunidades económicas de bienestar.	La distribución inequitativa es causa del deterioro ambiental y la equidad y la eficiencia se analizan de manera independiente.	El entendimiento de la relación dialéctica sociedad-naturaleza permitiría un manejo y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas

El trabajo partió de la visión clásica de sustentabilidad débil y de la economía ambiental propuesta de “Nuestro Futuro Común” y por lo tanto se considera la visión más convencional respecto al tema, durante el desarrollo del estudio la tensión entre las dimensiones generó la necesidad de complejizar el análisis.

Por lo tanto, aunque se reconoce la complejidad y los límites biofísicos de los sistemas a analizar, algunos de los supuestos de las herramientas utilizadas sugieren modelos de equilibrio y eficiencia basados en la racionalidad de la economía neoclásica. Este trabajo por lo tanto reconoce 2 falacias esenciales detrás de algunas de las herramientas y argumentos utilizados:

- Es posible la valoración económica de los procesos biológicos. Esto significa darle un valor económico a los procesos, organismos o servicios del ambiente.
- Contempla la sustitución de recursos y/o especies y su valor intrínseco por otros similares o en su defecto por diferentes tipos de capital. Bajo esta lógica tiene sentido afectar el ambiente para generar recursos económicos. A su vez estrictamente hablando se niega el valor o la existencia de diferentes tipos de órdenes ontológicos y de valores difícilmente cuantificables como la riqueza y diversidad genética de los sitios afectados.

Adicionalmente se utilizan herramientas de la economía ecológica como la medición de flujos de energía y materiales. La medición de estos flujos servirá para enmarcar y medir los costos ambientales ocultos de los procesos productivos, procurando así una lectura relativamente más compleja. Con lo anterior se busca que la lectura sea una mezcla entre economía ambiental y

²³ "La **economía ambiental** surge del modelo de Pearce-Atkinson basado en la formulación de Hartwick (1977) primero y de Solow más tarde (1986). La idea principal desarrollada por el primero es el requerimiento de reinvertir las rentas obtenidas del capital natural en el país de donde se extraen para mantener el consumo real constante a lo largo del tiempo. Bajo este enfoque, lo que heredan las generaciones futuras es una capacidad general de producir más que un componente específico de capital.

Este es el modelo base de la sostenibilidad débil de inspiración neoclásica donde se asume la sustituibilidad de las formas de capital con el fin de mantener constante el capital en general. Las críticas son varias y procedentes de la economía ecológica en su mayoría. Algunas de ellas son, por ejemplo que la depreciación del capital natural se imputa a los países exportadores y no a los países consumidores, o la difícil cuestión de la valoración monetaria de los recursos naturales como su sustituibilidad por otras formas de capital "(Martínez Alier, 2007)..

²⁴ "La **economía ecológica** estudia las relaciones entre el sistema natural y los subsistemas social y económico, incluyendo los conflictos entre el crecimiento económico y los límites físicos y biológicos de los ecosistemas debido a que la carga ambiental de la economía aumenta con el consumo y el crecimiento demográfico. Los economistas ecológicos adoptan posturas muy críticas con respecto al crecimiento económico, los métodos e instrumentos de la economía tradicional y los desarrollos teóricos que proceden de ésta como la economía ambiental y la economía de recursos naturales. Podemos decir que la Economía Ecológica estudia el metabolismo social para explicar el conflicto entre economía y medio ambiente, y pone en duda que ese conflicto pueda solucionarse con jaculatorias al estilo del "desarrollo sostenible", la "eco-eficiencia" o la "modernización ecológica" "(Martínez Alier, 2007).

²⁵ "La **ecología política** es una corriente ideológica del ecologismo que se estructura principalmente en torno a la dialéctica antiproductivista. La Ecología Política estudia los conflictos ambientales, y muestra que en esos conflictos, distintos actores que tienen distintos grados de poder, usan o pueden usar distintos lenguajes de valoración. Vemos en la práctica cómo existen valores inconmensurables, cómo el reduccionismo económico que es meramente una forma de ejercicio del poder. El poder se expresa en dos niveles. El primero es la capacidad de imponer la decisión sobre los intereses de las personas que habitan los ecosistemas afectados. El segundo es la capacidad de imponer el método de decisión, de decir qué lenguajes son válidos o no son válidos" (Martínez Alier, 2007).

economía ecológica; un llamado a implementar lecturas interdisciplinarias integrales y complejas como la que intenta, a su modo, la economía ecológica y la ecología social (de dónde deriva el concepto de "metabolismo social").

Este trabajo se plantea por lo tanto como un ejercicio de modelación que reconoce las limitaciones de las herramientas utilizadas y el marco epistémico detrás de las mismas, y que encuentra su valor en la interpretación de los resultados obtenidos en campo para un experimento de desarrollo productivo en comunidades de alta marginación; un trabajo que buscaba ofrecer una respuesta a la apremiante necesidad de desarrollo en regiones marginadas de este país, y a la necesidad de instrumentos que promuevan cualquier visión de sustentabilidad que ayude a detener el deterioro de los recursos naturales y el incremento de la pobreza.

3. Estado del arte e impactos de la acuicultura

i. Definición e Importancia de la Acuicultura

La FAO define acuicultura como el “Cultivo de organismos acuáticos en áreas continentales o costeras, que implica por un lado la intervención en el proceso de crianza para mejorar la producción y por el otro la propiedad individual o empresarial²⁶ del stock cultivado” (Crespi, FAO 2008).

Los historiadores consideran que la acuicultura comenzó como una actividad rural a pequeña escala. Existen antecedentes en todo el mundo de pequeños encierros donde se cultivaban peces y bivalvos con distintos propósitos, principalmente para alimentación (Herminio R. FAO, 1988). El primer antecedente claro proviene de China en el año 3500 antes de la era común (a.e.c.)²⁷, donde cultivaban carpa en estanques y se cultivaba también el gusano de seda. Pinturas en tumbas egipcias muestran peces, probablemente Tilapias, mantenidas en estanques hechos por el hombre (2500 a.e.c.). Para el año 1135 a.e.c. Wen Fang, frecuentemente llamado "el primer agricultor de peces", construye estanques, mantiene y alimenta peces, obteniendo crecimiento y conservado registro del comportamiento (Herminio R. FAO, 1988). En México se conoce que los mayas (800-500 a.e.c.) cultivaron peces en sus sistemas de regadores extensivos (Santos-Martínez, 2009)

²⁶ no se hace referencia directa a propiedad comunitaria.

²⁷ Esta designación es utilizada por respeto a la importancia de generar ciencia **conscientemente secular** y debido a su neutralidad, puesto que los términos «a. C.» y «d. C.» denotan un matiz religioso evitable.

Alrededor del año 460 a.e.c. se escribió en China el primer antecedente escrito acerca del cultivo de peces sobre el cual se tenga registro. Existen otros antecedentes en Roma y Galia AEC, donde ya cultivaban ostras para la obtención de perlas (Herminio R. FAO, 1988).

“En la actualidad la meta fundamental de la acuicultura es crear una industria sostenible, capaz de generar grandes producciones de alimentos que puedan satisfacer la demanda en el mercado, dado el constante crecimiento de la población a nivel mundial, y el declive de la pesca internacional” (FAO SOFIA, 2009).

La acuicultura ya ha probado ser una industria económicamente exitosa, una tendencia que no muestra señales de debilitamiento (Ilustración 13). La pesca desde 1984 hasta la actualidad mantiene un promedio de captura de 89 millones de toneladas²⁸; la producción se ha estancado debido al aprovechamiento máximo de las principales pesquerías mundiales (FAO: SOFIA, 2009).

Desde el 2003, se ha estimado que el 52% de las poblaciones pesqueras se hallaban plenamente explotadas y, por lo tanto, producen capturas de dimensiones cercanas a sus límites máximos sostenibles, mientras que aproximadamente una cuarta parte están ya sobreexplotadas, agotadas o recuperándose del agotamiento (Galli, 2007). La proporción de poblaciones sobreexplotadas y agotadas han presentado una tendencia al aumento, pasando de un 10% en 1970 al 25% a comienzos del 2000 (FAO, 2011).

Según la FAO la acuicultura no se presenta únicamente como una actividad altamente lucrativa, también favorece a muchos países en desarrollo en términos económicos (FAO, 2012). Los países en desarrollo actualmente tienen un enorme dominio en la producción acuícola; 72.3 por ciento de todas las capturas y 92.3 por ciento de todos los cultivos ocurren en países en vías de desarrollo (FAO, 2012). Asia es el gran líder productor, China en particular tanto en términos de valor, como de volumen.

Es importante considerar que esta concentración desproporcionada de la producción en países en desarrollo también implica una concentración igualmente significativa de impactos ambientales en sus cuerpos de agua y en su tejido social, aspectos que no se contempla o valora dentro de los costos de producción, ni dentro de los tratados comerciales con países importadores o del primer

²⁸ A escala global se generan 200 millones de trabajos para pescadores e indirectamente otros 150 millones de trabajos en labores de servicios, procesamiento, transporte y comercialización (Galli, 2007).

mundo (Galli, 2007); a ello se le ha calificado como comercio ecológico desigual²⁹. Sin embargo, aun con los altos precios de exportación, alrededor del 75 por ciento de todos los productos acuícolas cosechados en países subdesarrollados son utilizados para autoconsumo (FAO, 2012).

Una forma de entender la importancia de la exportación de pescados y mariscos en los países en desarrollo es comparándolo con otros productos que comúnmente exportan a países de primer mundo. De acuerdo a información de la FAO, en el año 2002 “las exportaciones de productos del mar produjeron más de 56 billones de dólares, lo que generó a los países en vías de desarrollo mayores ingresos (28.1 billones de dólares) que todas las exportaciones de café (5.1 billones de dólares), té (2.4 billones de dólares), bananas (2.9 billones de dólares), arroz (4.5 billones de dólares), y carne (12.9 billones de dólares) combinadas”³⁰. Para el 2004, el valor total de las exportaciones creció a 71.5 billones de dólares (FAO, 2006).

“La industria acuícola tendrá que enfrentar cambios en los próximos años para ser económica, social y ambientalmente sostenible” (FAO, 2012). La demanda mundial de alimento aumentará más que la población mundial en los siguientes años. Mientras la población llegará de 7 a 8.5 miles de millones en 2030 (aumento de 21.4%), la demanda por alimento crecerá 50% (ONU, FAO 2012). Este fenómeno tiene su origen en un cambio estructural de la demanda mundial³¹.

ii. Estado del Arte

1. Indicadores clave de Desempeño en la Acuicultura

La eficiencia de un sistema de producción acuícola se mide por factores críticos estandarizados y comparables. Los más utilizados son (FAO, 2012):

- El peso de la cosecha anual por unidad de superficie, por lo general en hectáreas.

²⁹ Así, los países de América del Norte, de la Unión Europea, y Japón teniendo 1/6 de la población mundial, consumen alrededor del 50% del total de la producción pesquera de exportación. En Japón el consumo es de 70 kilos por habitante al año, en los países de la Comunidad Europea es de 23,5 kilos, y en África del Norte y América Latina es de 8 y 8,5 kilos respectivamente (Galli, 2007).

³⁰ Aún con el tamaño del mercado la participación real en la producción y comercio internacional de la pesca (incluida la acuicultura) es del 1.0%, esto es el 1.5% de las exportaciones y 0.2 % de las importaciones mundiales (Satinelli, 2009).

³¹ “Con el aumento de la clase media en países emergentes en Asia, América del Sur y Europa del Este, aumenta la demanda por productos de mayor valor agregado como los derivados de la carne de distintos orígenes. El aumento de la demanda por este tipo de productos tiene un efecto multiplicador en los precios de los demás alimentos, en particular de los cereales y granos, ya que el alimento para el ganado y el pollo se compone básicamente de éstos” (Galli, 2007).

- La tasa de conversión alimenticia, cuántos kilogramos de alimento se utiliza para convertir un kilo de producto final.
- La supervivencia a lo largo del ciclo. Incluida ausencia de presencia de enfermedades.
- El costo total por kilogramo de producto. Usualmente considera sólo los gastos en alimento, personal, energía y cría. Ningún esquema actual considera las externalidad ambientales y sociales de la producción acuícola en los costos de producción.

El peso de la cosecha anual por unidad de superficie es un indicador de la eficiencia del sistema con respecto al uso de la disponibilidad de tierra o agua. Los cuatro indicadores anteriores nos dan una idea de la eficiencia en el uso de factores variables de la producción. Las tasas de supervivencia y de conversión alimenticia afectan directamente el costo de producción por Kilogramo (Kg).

Es importante destacar que la piscicultura destaca por su eficiencia para producir alimento relativo a otras actividades pecuarias (FAO, 2006). El factor de conversión alimenticio es un buen indicador de eficiencia en este sector pues nos indica cuántos kilogramos de alimento se requiere para producir un kilo de carne. El pollo por ejemplo tiene una conversión de 4:1 kilos de alimento por uno de producto final, la carne de res requiere 10:1 si se trata de grano y 60:1 si se trata de pasto. Además el consumo de agua dulce aproximado para producir un kilo de pollo es de 60,000 y de 150 mil litros para producir 1 kg de carne (FAO, 2009). Para producir un kilo de pescado se necesitan en promedio 1.6:1 y en el caso de las especies marinas, o resistentes a salinidad como la tilapia, no se utiliza agua dulce que serviría para consumo humano (FAO, 2009).

2. Tipos de Sistemas de Cultivo

Por lo general las especies en acuicultura toman de 5 a 6 meses para crecer a una cosecha de talla comercial desde que son introducidos a un sistema de cultivo. En la producción de especies tropicales China del Norte, Estados Unidos y el Norte de México únicamente tienen una cosecha por año, los países semi-tropicales producen dos cosechas por año, mientras que granjas cerca del ecuador han llegado a producir hasta tres veces por año debido a la temperatura y condiciones ambientales constantes (SAGARPA, 2008).

Las operaciones de engorda se realizan en todo tipo de formas y tamaños. En general se clasifican por las densidades de organismos por metro cuadrado o hectárea, y se les llama “extensivas” (con bajas densidades), “semi-intensivas” (densidades medias), “intensivas” (altas densidades) y

“super-intesivas” (con las concentraciones más altas). Mientras las densidades aumentan, las granjas se vuelven más pequeñas, la tecnología se vuelve más sofisticada, los costos aumentan y la producción por unidad de espacio incrementa dramáticamente al igual que los impactos ambientales (PNUD, 2004).



Ilustración 7. Esquema de los tipos de sistemas de cultivo según su intensidad. (Elaboración propia con información de FAO, WFP and IFAD 2012, PNUD, 2004, CONAPESCA, 2010)

Acuicultura Extensiva: Sistema de producción caracterizado por (i) bajo grado de control (por ej., del ambiente, alimentación, depredadores, competidores, agentes patógenos); (ii) costos iniciales bajos, bajo nivel tecnológico, y baja eficiencia de producción (rendimiento no más de 500 kg/ha/año); (iii) alta dependencia del clima y de la calidad del agua local; uso de cuerpos de agua naturales (por ej., lagunas, bahías, ensenadas) y de organismos naturales para la acuicultura a menudo no especificados (Crespi, FAO 2008).

Acuicultura Semi-Intensiva: Sistema de producción caracterizado por una producción de 2 a 20 t/ha/año, que depende fuertemente del alimento natural que es incrementado por fertilización, o también mediante la adición de alimento suplementario, abastecimiento con juveniles silvestres capturados o producidos en hatchery, uso regular de fertilizantes orgánicos o inorgánicos, abastecimiento de agua de mareas o de lluvia, monitoreo simple de la calidad del agua. Se realiza por lo general en estanques tradicionales o mejorados y también en simples sistemas de jaulas (Crespi, FAO 2008).

Acuicultura Intensiva: Caracterizada por (i) producción de hasta 200t/ha/año; (ii) alto grado de control; (iii) altos costos iniciales, alto nivel tecnológico y alta eficiencia productiva; (iv) tendencia a independizarse del clima y de la calidad del agua del sitio; (v) uso de sistemas de cultivo artificiales (Crespi, FAO 2008).

3. Principales externalidades de la Acuicultura

Los principales daños medioambientales de la acuicultura están relacionados a su escala e intensidad. Los sistemas intensivos pueden generar escasez de agua³², contaminación por descarga de afluentes y la modificación de la funcionalidad de los ecosistemas costeros y acuáticos debido a la sobrecarga de nutrientes producto de los desechos de alimento y heces fecales (Goldburg y Naylor, 2005).

El manejo excesivo de animales de cultivo genera un amplio rango de problemas ambientales para los sistemas costeros, incluyendo contaminación por nitratos, fósforo y amonio, incremento en la demanda biológica de oxígeno, florecimientos algales, eutrofización, y contaminación por patógenos fecales (Barbier, 2007).

En el caso de México la SAGARPA reconocen los siguientes tipos principales de daños ambientales ocasionados por la acuicultura (SAGARPA, 2010):

1. Aumento de los residuos orgánicos en las proximidades de la granja y eutrofización
2. Modificación del hábitat costero
3. Pérdida de biodiversidad
4. Enfermedades derivadas del monocultivo y/o la densidad de organismos
5. Amenaza a la población autóctona por utilización de pescado capturado para alimentación de cultivos
6. Captura de larvas (semillas) para su posterior engorde o para su uso como reproductores
7. Escapes de especies introducidas (las especies exóticas introducidas apenas tienen competidores naturales y, una vez libres pueden arrastrar enfermedades y microorganismos al resto del ecosistema).

Adicionalmente el desarrollo de la acuicultura está vinculado directamente con impactos sociales negativos. Los principales efectos negativos reconocidos por la FAO son (FAO, WFP and IFAD 2012):

1. Conflictos por contaminación de las aguas.

³² Cada tonelada de camarón producido en sistemas intensivos requiere entre 50 a 60 millones de litros de agua (Gujjay Finger-Stich, 1996).

2. Salinización de las tierras de cultivo.
3. Disminución de la pesca (lo cual genera conflicto con los pescadores de la zona además de aumentar la inseguridad alimentaria).
4. Competencia por espacio.
5. Falta de valoración y compensación de los servicios ecosistémicos.
6. Competencia por el uso del agua.
7. Conflicto social entre productores grandes y pequeños y conflictos entre los pescadores artesanales y los acuicultores.

“Una de las principales preocupaciones con el crecimiento de la producción intensiva es que la contaminación animal resultante sobrepase la capacidad asimilativa del ecosistema acuático receptor (capacidad de carga)” (Gollehon *et al.*, 2001; Mallin y Cahoon, 2003), modificando su provisión de servicios ambientales valiosos. La pérdida resultante de servicios ecosistémicos varía desde la destrucción de habitats para peces y sitios de crianza, la pérdida de agua potable, impactos en la salud humana, hasta la pérdida de beneficios recreacionales y estéticos, con efectos en el valor de propiedad (Barbier, 2007).

4. Situación Actual de la Pesca y la Acuicultura en México: Problemas y Oportunidades

México cuenta con una ubicación geográfica privilegiada que resulta en una extensa costa de aproximadamente 11,500 kilómetros de litorales, distribuida en cinco mares, además de una zona económica exclusiva cercana a 2.95 millones de kilómetros cuadrados (km²), plataforma continental de 3,580 km² y poco más de 1.5 millones de hectáreas de aguas interiores, esteros, bahías y lagunas costeras (Satinelli, 2009)

La capacidad instalada de engorda en México es de 9,216 unidades, con una superficie de 115,207 hectáreas, siendo las de camarón, carpa, tilapia y trucha las que abarcan el 93% del espacio dedicado a esta actividad (CONAPESCA 2012). Ocupa el lugar número 27 en valor generando por acuicultura a nivel mundial con 531 millones de dólares (0.5% del valor mundial) y el 26 en volumen con 151 mil toneladas (0.2% del volumen mundial) (FAO Fishstat, 2010). Para el año 2030 CONAPESCA planteó la meta de llegar a una producción acuícola de 1 millón de toneladas. Un

millón de toneladas es el volumen promedio que actualmente alcanzan los 10 primeros países productores (sin tomar en cuenta China). (CONAPESCA, 2008).

La historia de la acuicultura en México inicio en 1883 cuando Esteban Chazari (comisionado por Porfirio Díaz) publicó el primer tratado sobre piscicultura en México que sentó las bases para el desarrollo de esta actividad. Se le adjudica la frase “Donde hay agua debe haber peces” (Santos-Martínez, 2009). En esa década se construyó el primer vivero de peces y se introdujo el primer lote de 500,000 huevos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) provenientes de Estados Unidos (CONAPESCA, 2008). Desde inicios del siglo XIX la pesca en las aguas continentales se basó en la adquisición y cultivo de peces exóticos (Rojas-Carrillo & Fernández-Méndez 2006). Aunque en un inicio fueron introducidos localmente, la mayoría de estas especies exóticas se dispersaron a más de la mitad del país en los años siguientes (Mendoza 2002).

A partir de los 60’s se inician las acciones de propagación de carpa en el altiplano del país sin ninguna consideración acerca de las repercusiones de introducir especies invasoras en cuerpos de agua dulce del país. Durante el sexenio del presidente Díaz Ordaz por ejemplo (alrededor de 1967), se introducen especies invasoras o variedades genéticas de Norte América (trasfaunaciones³³) en el centro y sureste de México con el fin de incrementar la producción de los cuerpos de agua naturales; entre estas especies destaca la tilapia, el bagre y la trucha (*O. mykiss*) (Santos-Martínez, 2009).

A principios de los 70’s junto con la formación de la Dirección General de Acuicultura se inician los primeros esfuerzos para la producción de bagre proveniente de Estados Unidos en cuerpos naturales en Sinaloa y Michoacán. Se lleva a cabo también el primer esfuerzo para cultivar langostino en México con la especie invasora *Macrobrachium rosebergii* introduciéndolo en Puerto Peñasco, Sonora.

En la década de 1980 con el objetivo de detonar la actividad acuícola en el país se desarrolló la camaronicultura utilizando la especie local *Litopenaeus vanammei* (camarón blanco). Los modelos de producción extensivos sin consideraciones de sustentabilidad substituyeron zonas de humedales y lagunas costeras por estanques de cultivo (Santos-Martínez, 2009).

³³ Introducción de variedades genéticas muy diferenciadas de una misma especie separada por barreras geográficas o distancias. También puede referirse a la transferencia de parásitos de un organismo huésped a otro.

La historia de introducción de especies invasoras no es exclusiva de México y por el contrario representa una constante en la acuicultura mundial (March, 2007). Un ejemplo interesante es la especie de camarón más cultivada del mundo que es propia de las costas del pacífico mexicano. El camarón blanco o *Litopenaeus vannamei* fue introducido en Taiwán a principios de los noventa para remplazar a la especie asiática problemática, *P. monodon*. Debido al éxito en su producción fue posteriormente transferido a la mayor parte de los cultivos en China, Tailandia, e Indonesia a principios del 2000 (FAO NACA, 2006). Gracias a esta especie de camarón, Asia pasó de producir 1.2 millones de toneladas en el año 2000 a la asombrosa cifra de 2.9 millones de toneladas para finales del 2008 debido a su resistencia y características de cultivo (2008, Guangzhou).

Se estima que la producción de camarón, langostino y pescado (principalmente especies exóticas) en estanques es responsable del 50-80% de la pérdida de la superficie de manglar en el sureste asiático (Valiela, Bowen y York, 2001). El problema se exagera debido a que este tipo de estanques son de vida corta (entre 5-10 años), principalmente debido a problemas de eutrofización, acumulación de toxinas, acidificación relacionada con presencia de sulfatos y presencia de enfermedades (Valiela, Bowen y York, 2001). La tasa de recuperación de estanques abandonados ha llegado a ser mucho menor que la tasa de conversión de áreas de manglar para la creación de nuevos estanques en el mundo (Valiela, Bowen y York, 2001).

La FAO plantea que “el principal obstáculo para el desarrollo de la acuicultura no necesariamente proviene de los productores y las malas prácticas, sino de deficiencias en la administración y regulación del crecimiento de una actividad mal planeada y escasamente regulada” (FAO, WFP and IFAD. 2012.). “Esta falta de coordinación y la presencia de otras actividades en la franja costera, propician la pérdida de calidad del agua, la presencia y diseminación de enfermedades y la generación de conflictos entre usuarios, lo que en conjunto tiene efecto en la reducción de la productividad de los estanques y su posterior abandono” (FAO, WFP y IFAD. 2012). Por ello, “*es ineludible dimensionar el crecimiento de la actividad en función de la capacidad de los ecosistemas de los que depende, analizando no solamente la cantidad y calidad del agua, sino también el efecto que el cambio de uso del suelo tiene sobre estos sistemas, ya que el impacto puede ser mayor e irreversible*” (Okolodko et al., 2007).

Según la CONAPESCA, la regulación ambiental de los últimos diez años en México ha impedido mayores afectaciones sobre los ecosistemas costeros (CONAPESCA, 2008). Sin embargo, la regulación no es una solución final sino una estrategia para disminuir el crecimiento de los

problemas ambientales inmediatos ocasionados por la acuicultura y el resto de las actividades que consumen servicios ambientales. Las lagunas y zonas costeras del país son aprovechadas de manera no sustentable por los pescadores artesanales que las habitan y que por desgracia incrementan su esfuerzo pesquero todos los días en búsqueda de subsistencia; ello debido, entre otras cosas, a la falta de oportunidades productivas alternativas (Esquinca, 2007).

En comparación con países del oriente, (los que han tenido una larga historia en cuanto al uso de la acuicultura como alternativa de subsistencia y producción de especies domesticadas para fines alimentarios) no es hasta los años 1970 y 1980 que en los países de América Latina, comienzan a desarrollarse actividades acuícolas y legislación en respuesta al incremento en las oportunidades de exportación de alimentos marinos con fines comerciales (Santos-Martínez, 2009) (Okolodko *et al.*, 2007), no de subsistencia. Observando ejemplos del desarrollo de la acuicultura en otros países que se consideran "exitosos" podemos aprender lecciones importantes y reconocer los riesgos ambientales y sociales inherentes al desarrollar la actividad. Con este marco de referencia podemos preguntarnos: ¿Qué elementos compartimos y cuáles son particulares de nuestras lagunas costeras y sus poblaciones?. (Anexo 5. 11.5 Acuicultura en México en un Contexto Mundial. Casos de Éxito.)

7. Área de estudio

La laguna Corralero se ubica en el extremo occidental de la costa del estado de Oaxaca, en el municipio de Santiago Pinotepa Nacional, aproximadamente a 33 km de la frontera con el estado de Guerrero, a 183 km de la capital del estado y aproximadamente a 20 km al sur de la ciudad de Pinotepa Nacional. El sistema lagunar tiene una extensión aproximada de 3,158 ha con su eje más largo paralelo a la costa (17 km), en su eje central mide 17.2 km y su ancho máximo es de 2 km, considerando un polígono regular envolvente entre las coordenadas *WGS84-UTM-14*: *NE X = 583.000.00 Y = 1°799.000.00*, *SE X = 600.500.00 Y = 1°789.000.00*. El sistema se comunica con el mar a través de la denominada Boca del Oro (Ahumada-Sempoal, 2002, SAGARPA, 2010).

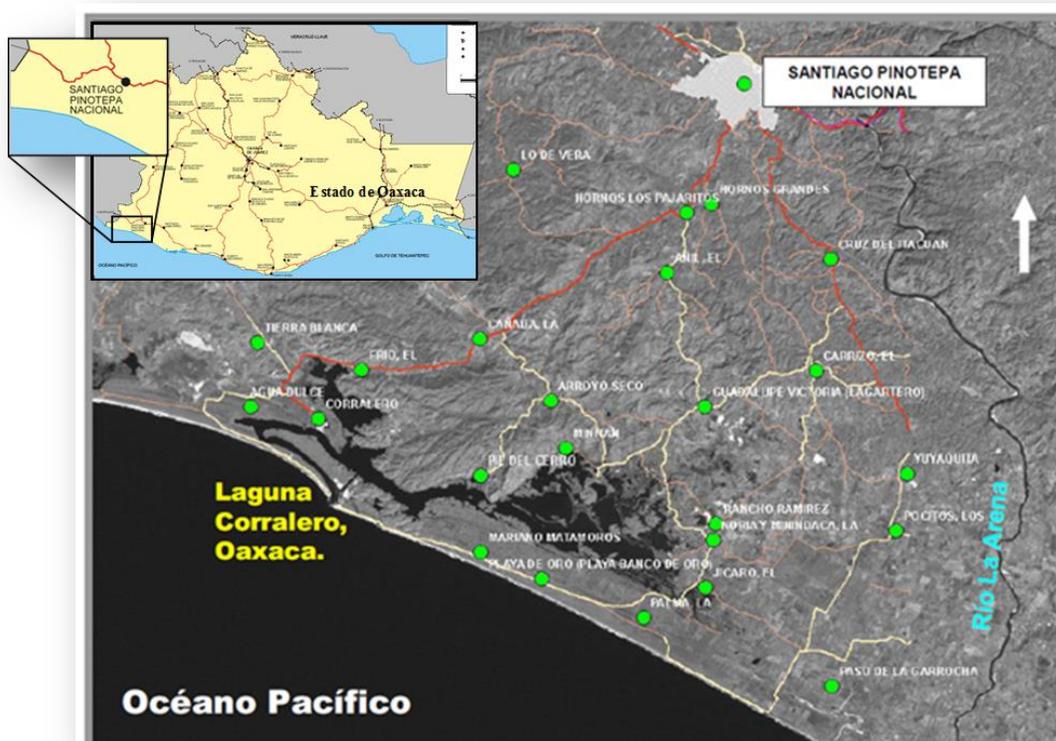


Ilustración 8. Sistema Lagunar Corralero. Modificado de SAGARPA, 2010.

Clima tropical subhúmedo con régimen de lluvias en verano. La temperatura media anual es de 28.7°C con una oscilación térmica de 3.4°C. La precipitación anual fluctúa entre 736.6 y 1514.7mm (Ahumada-Sempoal, 2002).

Laguna costera típica de planicies costeras de bajo relieve con energía de intermedia a alta (SAGARPA, 2010) (Anexo 6 (11.6) Caracterización de la Laguna Corralero). Es un sistema sumamente ramificado, con canales y lagunas de diferente extensión con baja profundidad, se puede hablar de un cuerpo principal del que sale un estero angosto hacia el poniente, el cual comunica el cuerpo principal con la salida al mar. Según Lankford (1977), pertenece a la categoría III-A , “Plataforma de barrera interna por depósito de arena caracterizada por presentar depresiones inundadas en las márgenes internas del borde continental, al que rodean superficies terrígenas protegidas del mar por una barra arenosa originada por olas y corrientes” (2004, Diario Oficial).

La CONABIO estableció a la laguna como Sitio Prioritario para la Conservación de los Ambientes Costeros y Oceánicos de México (sitio 46 denominado “Laguna Corralero”) (Ilustración 35). El Sistema Ambiental considerado no se encuentra dentro de ningún Ordenamiento Ecológico del Territorio ni Área Natural Protegida. Tampoco existen Planes y Programas de Desarrollo Urbano, Programas de Recuperación y Restablecimiento de Zonas de Restauración Ecológica, ni Bandos y Reglamentos municipales aplicables en materia ambiental (SAGARPA, 2010). Los únicos instrumentos normativos en materia ambiental que regulan las obras y actividades en el sistema ambiental son: Ley General de Vida Silvestre (artículo 60TER), y las normas NOM-059-SEMARNAT-2010 y NOM-022-SEMARNAT- 2003 (SAGARPA, 2010).



Ilustración 9. Sitio Prioritario para la Conservación de los Ambientes Costeros y Oceánicos de México. (CONABIO, 2010)

La integridad ecológica de las playas es señalada como alta, mientras que la del manglar y la laguna como media, siendo las actividades de mayor impacto la agricultura, el uso de pesticidas, la tala de mangle, la sobrepesca, el sobrecalentamiento de la laguna por su falta de comunicación con el mar (el azolve de su boca restringe la entrada de agua marina), la construcción de infraestructura de evaporación y cristalización de sal y, la contaminación por basura, aguas residuales y fertilizantes (CONABIO-CONANP TNC-Pronatura, 2007)³⁶. La falta de una adecuada hidrodinámica en el Sistema Lagunar Corralero provoca una disminución de la producción pesquera que trae consigo una disminución en la calidad de vida de la población que depende completamente de la producción del sistema (SAGARPA, 2010).

El área terrestre circundante está ocupada en gran parte por actividades agropecuarias y en menor medida por selvas bajas y medianas, principalmente en las áreas de mayor elevación topográfica. Las áreas terrestres son en su gran mayoría áreas desmontadas o fuertemente perturbadas sin uso aparente (SAGARPA, 2010). La actividad pesquera no cuenta con infraestructura y el desembarque de la producción se hace a pie de playa. No se cuenta con gasolineras y estas se localizan en la cabecera municipal únicamente.

El grado de marginación municipal es “Alto”. A diferencia de otras Lagunas de la región como Chacahua, donde la población se ve orillada a recurrir a actividades productivas complementarias, en el sistema lagunar Corralero-Alotengo se enfocan principalmente a la pesca artesanal (SAGARPA, 2010)³⁷. El crecimiento en la población local y el incremento en la presión (extracción) de los recursos pesqueros favoreció la disminución en las capturas y la eutrofización de la laguna, generando un proceso que ha provocado la pérdida sustancial de hábitats, particularmente para las especies marinas que utilizan esta laguna como área de reproducción y engorda (Ahumada-Sempoal, 2002).

Las 9 comunidades cercanas al sistema lagunar son: El Ciruelo, Corralero, La Noria y Minindaca, La Palma de Coyul, Minitán, Playa Banco de Oro, Pie de Cerro, Mariano Matamoros y El Júcaro (Ilustración 37). En general no cuentan con agua potable entubada, por lo que se abastecen de

³⁶ Como indicadores de los cambios hidrodinámicos se pueden señalar, la reducción del fenómeno de amortiguamiento de la marea al interior de la laguna, 91% - 95% en el área de bajos del extremo oriental del sistema lagunar en condiciones de marea viva (SAGARPA, 2010).

³⁷ La laguna de Corralero se caracteriza por ser una zona turística, aunque el turismo es meramente local y únicamente es visitada en fines de semana y días festivos. No se cuenta con infraestructura turística como hoteles y restaurantes, únicamente se pueden observar palapas donde se oferta comida y se localizan en las playas (SAGARPA, 2010).

pozos. La mayoría cuenta con electricidad y fosas sépticas. Todas las comunidades cuentan con kínder y primaria, la comunidad de Corralero y La Noria Minindaca cuenta además con telesecundaria. El servicio de educación preparatoria solo puede encontrarse en la cabecera municipal y el servicio de educación profesional únicamente en la capital del estado (SAGARPA, 2010).

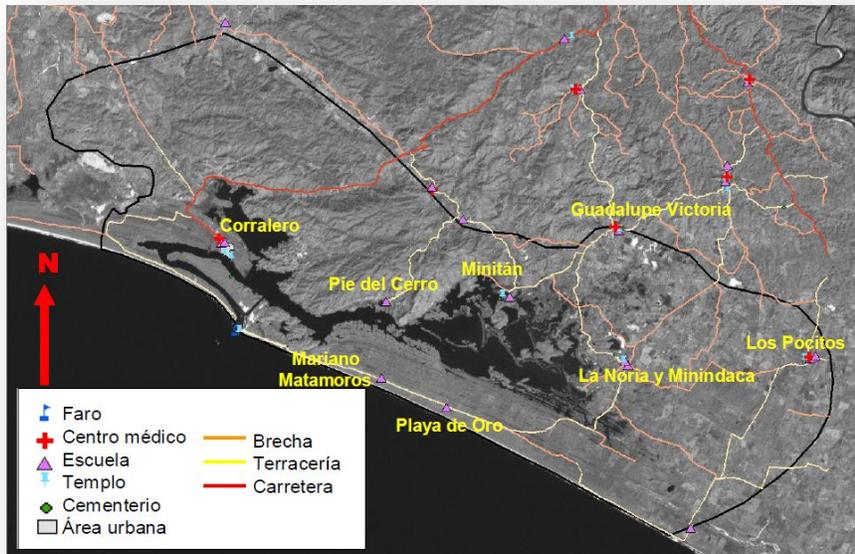


Ilustración 10. Principales Comunidades que rodean a la Laguna Corralero y servicios disponibles.

Las condiciones en las viviendas son precarias. El promedio de viviendas con piso de tierra es del 61.84%. El promedio de viviendas con un solo dormitorio es de 62.74%. El 45.56% de las viviendas cuentan con excusado; el 36.89% disponen de agua entubada; el 20.32% disponen de drenaje y el 76.76% disponen de energía eléctrica. La Noria y Minindaca es la localidad con mayor porcentaje de cobertura de agua potable (86.21%), lo anterior se debe a que la comunidad construyó su propio sistema de bombeo y entubado. Las comunidades alrededor de la laguna se abastecen mediante pozos artesanales (SAGARPA, 2010).

8. Métodos y Resultados

Para el análisis de la sustentabilidad de la tecnología se combinaron diferentes metodologías: Medición de Flujo de Materiales (MFA) y Energía (EA) (Brunner et al., 2004), selección del sitio (Huguenin, 1997) y Medición de capacidad de carga (Ross, et al., 2013) (Anexo. 7 (11.7) Selección de herramientas de evaluación socio-ambiental: Medición de flujos de Materiales y Energía, y Capacidad de Carga.). Para manejar la complejidad del análisis se recurrió a tres herramientas diferentes de modelación (Anexo. 12.8 Herramientas de Modelación para Sistemas Acuícolas):

- a) Productiva / tecnológica: AquaFarm (Ernst et al., 2000), Universidad Estatal de Oregón. AquaFarm es un software de simulación y soporte en la toma de decisiones para el diseño, planeación y manejo de granjas acuícolas. Incluye simulación de procesos físicos, químicos y biológicos; así como de manejo de las instalaciones y del sistema de cultivo.
- b) Capacidad de carga: CADs_TOOL (Halide, H., 2009), basado en los criterios propuestos por John E. Huguenin (1997) y la metodología desarrollada por Halmar Halide (2008) para el Gobierno Australiano (Software for Marine and Freshwater Cage Aquaculture Managers). Este software es una herramienta para calcular la capacidad de carga de cuerpos de agua y para apoyar la selección de sitios adecuados para la instalación de jaulas flotantes para engorda de peces.
- c) Indicadores de desempeño, análisis y visualización de flujos de materiales y energía: Quantrix®, (Cubo OLAP también llamados “hipercubos” de cálculo), un software de análisis y modelación multidimensional para toma de decisiones.

Adicionalmente se estimó el flujo de nutrientes considerando el alimento ingresado, basándose en los criterios propuestos por Islam (2005) para el Sistema MultiCo y las Jaulas Flotantes, y Miranda et al. (2009) para el cultivo de camarón en el norte de México

No se realizó físicamente la engorda en jaulas flotantes, ya que la prueba de la tecnología solo evaluó el primer eslabón con la unidad de tanques integrados en tierra. Por lo anterior, se utilizan proyecciones modeladas en AquaFarm (Ernst et al., 2000) para los resultados del cultivo en jaulas y los resultados de la unidad MultiCo para los parques acuícolas.

1. Medición de Flujo de energía y materiales

Según el concepto de metabolismo social, las sociedades tienen que enfrentar dos problemas principales: la escasez de recursos, y la capacidad limitada de los ecosistemas para absorber los

desechos de la sociedad (Schandl et al. 1999). Esto incluye, en el caso de la producción de alimento; nutrición, consumo de oxígeno y agua, excreción, salida de dióxido de carbono y agua, y también la deposición de cuerpos muertos.

El análisis de flujo de materiales y energía, es una evaluación sistemática de los flujos y stocks de materiales y energía dentro de un sistema definido en el tiempo y el espacio, que conecta los recursos, las rutas y los destinos finales de la materia (sumidero) y la energía degradada (Brunner *et al.*, 2004). Mientras mayores sean estos stocks, mayor será el flujo futuro de materiales necesarios para reproducirlos y mantenerlos creciendo (Schandl *et al.*, 2002).

El balance de entradas y salidas de energía y materiales hace evidentes los flujos de residuos y es posible identificar así la magnitud de los impactos ambientales y las fuentes de origen (Brunner *et al.*, 2004). Este balance nos permite dimensionar los costos ocultos de los productos y servicios que consumimos (Gowing, *et al.*, 2007), apoyando la toma de decisiones en la gestión de recursos naturales, residuos y medio ambiente.

Los flujos se reportan en unidades físicas, usualmente toneladas métricas o Joules por año, que pueden unirse conceptualmente con esquemas de medición económica (utilizando diagramas tipo Sankey sustentados con herramientas de visualización basadas en código abierto). La unidad funcional usada comúnmente para pesquería y acuicultura es “impactos potenciales por kilogramo o tonelada”.

El análisis incluye los flujos de energía y materiales para la prueba de la tecnología, la modelación de una unidad MultiCo en el software AquaFarm (Ernst *et al.*, 2000) (incorporando las jaulas flotantes) y el sistema de monocultivo de camarón en Sonora, México (FIRA, 2009). Utilizamos la metodología de Brunner (2004), definimos las entradas y salidas del sistema “socio-económico” acotando el estudio a una frontera que permita analizar parte del sistema de flujos de energía y materiales ingresados para producir un kilogramo de producto.

Todos los flujos se muestran en kilogramos excepto la electricidad que se maneja en kWatt/h y la energía que se expresará en Joules. Para la gasolina y el aceite se usaron factores de conversión de densidad, al igual que para convertir las emisiones por consumo de energía e hidrocarburos a Kg de CO2 liberado al ambiente.

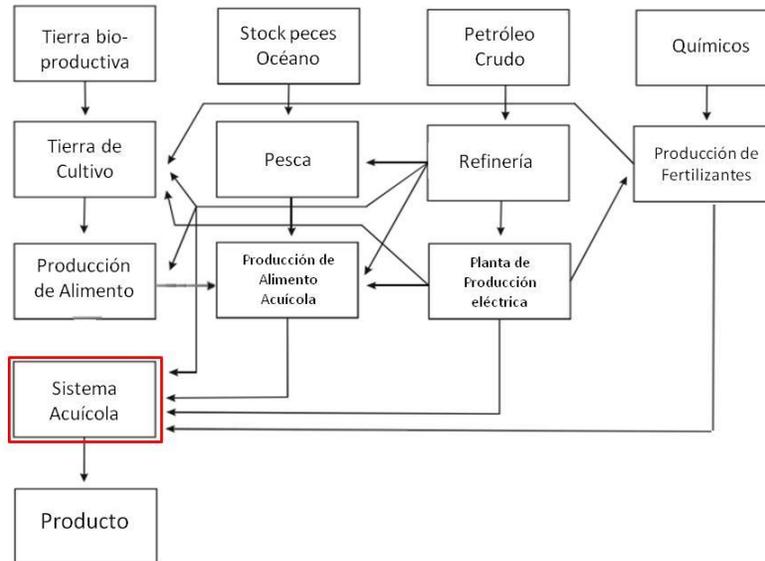


Ilustración 11. Frontera de los flujos de Energía y Materiales y Representación de los flujos básicos de energía y materiales requeridos en una unidad hipotética de acuicultura en tierra. La dirección de las flechas representan los flujos físicos; el cálculo funciona en sentido inverso, es decir del producto final a las materias primas. La frontera del sistema no incluye el transporte de los insumos desde el último vendedor. El cuadro rojo encierra la frontera del análisis. Modificado de FAO 2007.

Como se muestra a continuación (Ilustración 12) al visualizar proporcionalmente los flujos ingresados a los sistemas de cultivo, el agua domina sobre el resto de los materiales y energía, impidiendo ver el resto de los insumos y desechos. El esquema muestra de izquierda a derecha el sentido del flujo de energía y materiales: 1. Entrada materiales y energía, 2. Tipo y cantidad de Insumos, 3. Consumo de insumos por sistema de cultivo (especie), 4. Desechos generados por sistema de cultivo, 5. Salida total de materiales y energía.

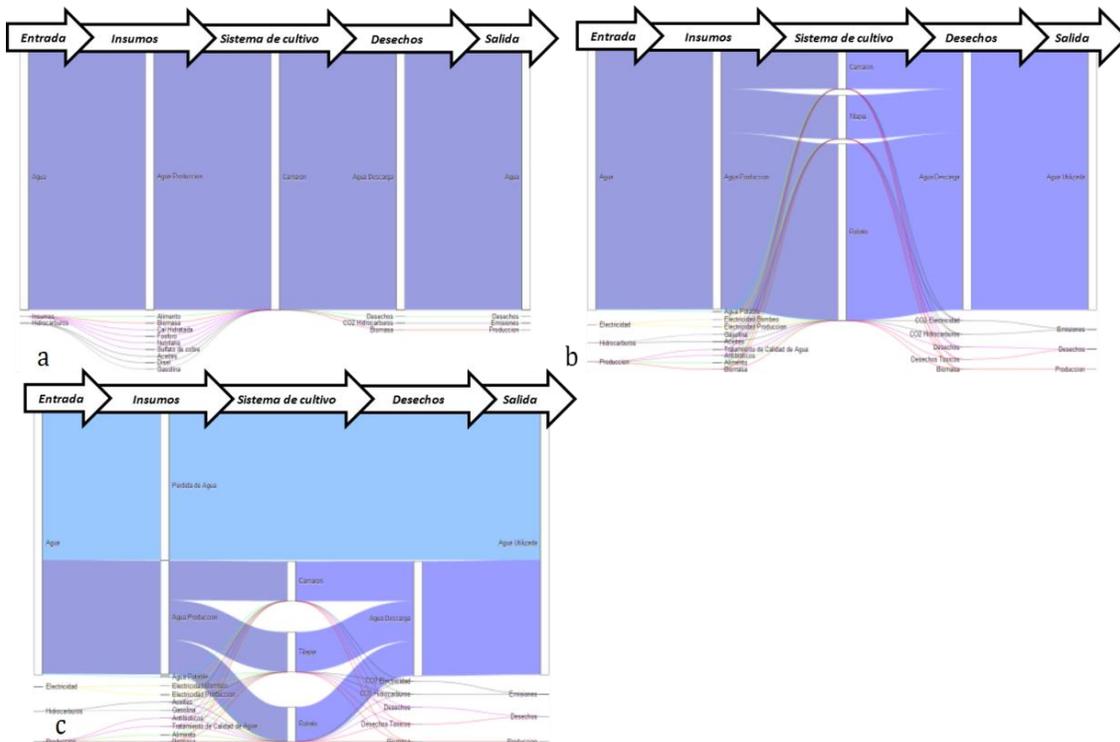


Ilustración 12 Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados. a) Sistema de cultivo de camarón más común en México⁸⁵, b) Modelación MultiCo con Jaulas Flotantes en AquaFarm (Ernst et al., 2000), c) Prueba de la tecnología. En azul fuerte se muestra el agua utilizada para la engorda (44% del total), en azul claro la pérdida de agua (56%) que se explica por la toma de agua a más de 4km de la granja. Todos los flujos se muestran en kilogramos (kg) y Joules (J) para la energía (los grosores de los flujos en la imagen están dados por su porcentaje de participación).

En general se ha calculado que el metabolismo de una sociedad industrializada consiste de 85% agua, 8% aire y 7% del resto de los materiales (Schandl et al. 1999). En los ejemplos estudiados el 99% de los flujos es agua utilizada para la engorda.

Se ha estimado que cada tonelada de camarón producido en sistemas intensivos en Asia requiere entre 50 a 60 millones de litros de agua (Barracough y Finger-Stich, 1996). Otros sistemas requieren hasta 94,318 m³ de agua por cada tonelada de camarón producida Boyd et al. (2006). En muchos casos no solo es agua con salinidades elevadas, según Barracough y Finger-Stich (1996) en un distrito de Tailandia un promedio de 33 m³ de agua dulce es consumida por día por cada tonelada de camarón producido.

Este consumo de agua también puede tener consecuencias ambientales, por ejemplo en el Norte del país se estima que "el bombeo de agua por granjas de camarón con extensiones >4,000 Ha

⁸⁵ El modelo no contempla las pérdidas por evaporación, que llegan a ser importantes en estanques de cultivo de camarón (FIRA, 2009).

puede extraer postlarvas silvestres en cantidad suficiente para reducir la producción local de camarón silvestre" (WWF, 2010), población de la que dependen gran cantidad de pescadores artesanales.

Resultados del Flujo de Materiales y Energía para el sistema de monocultivo intensivo de camarón.

En un sistema de monocultivo de camarón intensivo del norte del país (FIRA, 2009), para producir un kilo de biomasa se consume en promedio 2.31 kg de insumos (incluyendo alimento), 37.5 toneladas de agua⁸⁶, generando 1.02 kg de CO₂ y 1.31 kg de desechos, y utilizando 17.2 millones Joules de energía para mantener la infraestructura intensiva de soporte (principalmente bombeo de agua). Esto implica el ingreso de 874,120 kg de nutrientes de los cuales solo el 12% es convertido en biomasa y el resto desechado al ambiente, en su mayoría fósforo (Miranda *et al.*, 2009):

Tabla 3 Detalle de Flujos de entrada y salida de energía y materiales al sistema de cultivo de camarón promedio de México.

		Valores
Camaron		
Entrada		
Alimento	Kg	1,231,821
Biomasa	Kg	150
Gasolina	Kg	78,989
Disel	Kg	141,572
Aceites	Kg	705
Cal Hidratada	Kg	50,000
Fosforo	Kg	3,200
Sulfato de cobre	Kg	500
Nutrilake	Kg	10,000
Agua Produccion	Kg	21,012,420,000
Salida		
Biomasa	Kg	560,000
Desechos	Kg	736,226
Agua Descarga	Kg	21,012,420,000
CO2 Hidrocarburos	Kg	570,047

⁸⁶ El flujo se obtiene con tres bombas de diesel de flujo axial con 36 pulgadas de diámetro y capacidad de 1.5 metros cúbicos por segundo (FIRA,2009)

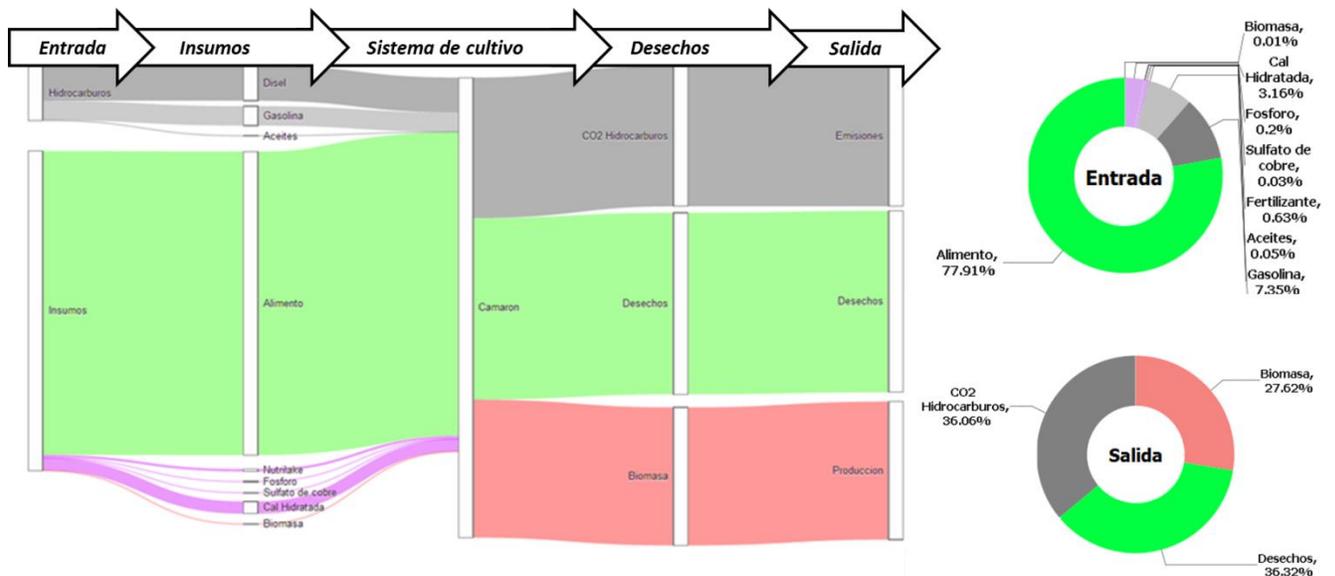


Ilustración 13 Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados en el sistema de cultivo de camarón más común en México sin considerar el agua utilizada. (Los grosores de los flujos en la imagen están dados por su porcentaje de participación)

El análisis de los flujos del sistema de monocultivo de camarón muestra que la mayor parte de los insumos que entran al sistema son alimento (77.81%) y energía (diésel y gasolina: 17.9%). El 72.4 de la salida del sistema corresponde a desechos (CO₂ y desechos orgánicos), lo que permite tener un indicador comparable de rendimiento de la tecnología.

Tabla 4. Impactos potenciales por kilogramo producido (Mungkung, 2007) en el sistema mas común de cultivo de camarón en México. Análisis del factor de impacto ambiental por unidad de cultivo en kilogramos y joules por cada kg de biomasa producida

Producción	Kg	1
Desechos	Kg	1.31
Emisiones	Kg	1.02
Insumos	Kg	2.31
Agua	Kg	37,522.18
Energía	J	17,171,353.25

Miranda *et al.* (2009) estimaron los nutrientes liberados por la industria del cultivo de camarón de los principales estados productores (Sonora y Sinaloa) en alrededor de 3,565 ton de nitrógeno y 620.7 ton de fósforo. Ello representa una contribución superior a la emitida por las descargas municipales combinadas de ambas entidades. Y es que al finalizar un ciclo de cultivo, el agua residual de un estanque puede contener nitrógeno y fósforo en concentraciones comparables a las

aguas negras producidas por 100 personas en un año. Esta descarga puede contribuir significativamente a la eutrofización de las aguas costeras, lagunas y bahías a nivel local (Páez-Osuna *et al.*, 1997).

Tabla 5. Tabla de principales indicadores de desempeño acuícola para el sistema de cultivo de camarón más común en México (FIRA, 2009) (Camarón MX)

	Camarón MX
	Valor
Duración ciclo (meses)	6.0
Ton / Ha	5.6
Ton/Ha/Año	5.6
Kg/m ³	0.0
FCA	2.2
Supervivencia	0.8
Densidad siembra org/m ²	30.0
Insumos Ton/ Kg	0.5
Agua Ton/Kg	37.5
Agua l / Kg	36,535.7
Agua m ³ /Ton	36,535.7
Energía J/Kg	6,685,596.5
Energía KWatts/Kg	1.9
Emisiones Kg CO ₂ /Kg	1.0
Emisiones Kg CO ₂ /ha (GHG)	5,700.5
Desechos / Kg	1.3
Agua m ³ /ha	204,600.0
Nutrientes Kg/ha	8,741.2
Nitrogeno Kg/ha	3,918.6
Fosforo Kg /ha	4,822.6
Nitrogeno g/m ³	326.6
Fosforo g/m ³	401.9
Nitrogeno Kg/Ton	699.8
Fosforo Kg/Ton	861.2

En Tailandia sistemas intensivos de producción de camarón (3 y 6 ton/ha) consumen entre 150,000-300,000 m³/Ha de agua; considerando lo anterior el sistema de producción nacional se encuentra dentro de dicho rango con 204,600 m³/ha con una producción similar.

Resultados del Flujo de Materiales y Energía de la prueba de la tecnología MultiCo

Para producir un kilo de biomasa en el sistema piloto MultiCo en la comunidad La Noria y Minindaca (Oaxaca) se requirió, en promedio, 4.2 kg de insumos (principalmente alimento) y 84.6 toneladas de agua, generando 17.3 Kg de CO₂ y 3.5 kg de desechos, con la utilización de 90.7 millones Joules de energía para mantener la infraestructura intensiva de soporte. Durante el proceso se liberarían al ambiente unos 17.97 kg de fósforo y 82.93 kg de nitrógeno por kilo de biomasa producido (Islam, 2005).

Tabla 6. Flujos de entrada y salida de energía y materiales en la prueba piloto de la tecnología MultiCo

		Robalo	Tilapia	Camaron	Total
		Tanque	Estanque	Estanque	por ciclo
Entrada					
Alimento	Kg	825.10	499.70	105.69	1,430.49
Biomasa	Kg	69.26	8.50	0.15	77.91
Gasolina	Kg	136.00	136.00	136.00	408.00
Aceites	Kg	7.36	7.36	7.36	22.08
Electricidad Bombeo	kWh	408.80	408.80	408.80	1,226.40
Electricidad Produccion	kWh	1,097.40	1,097.40	1,097.40	3,292.20
Antibioticos	Kg	0.17	0.17	0.17	0.50
Tratamiento de Calidad de Agua	Kg	40.00	40.00	40.00	120.00
Agua Potable	Kg	34,857.14	34,857.14	34,857.14	104,571.43
Agua Produccion	Kg	4,335,295.64	4,993,602.64	4,993,602.64	14,322,500.92
Salida					
Biomasa	Kg	94.84	282.31	13.48	390.64
Desechos	Kg	839.68	266.05	132.53	1,238.26
Agua Descarga	Kg	4,370,152.78	5,028,459.78	5,028,459.78	14,427,072.35
Perdida de Agua	Kg	6,226,044.36	6,210,639.36	6,210,639.36	18,647,323.08
Desechos Toxicos	Kg	40.00	40.00	40.00	120.00
CO2 Electricidad	Kg	1,777.32	1,777.32	1,777.32	5,331.95
CO2 Hidrocarburos	Kg	480.80	480.80	480.80	1,442.40

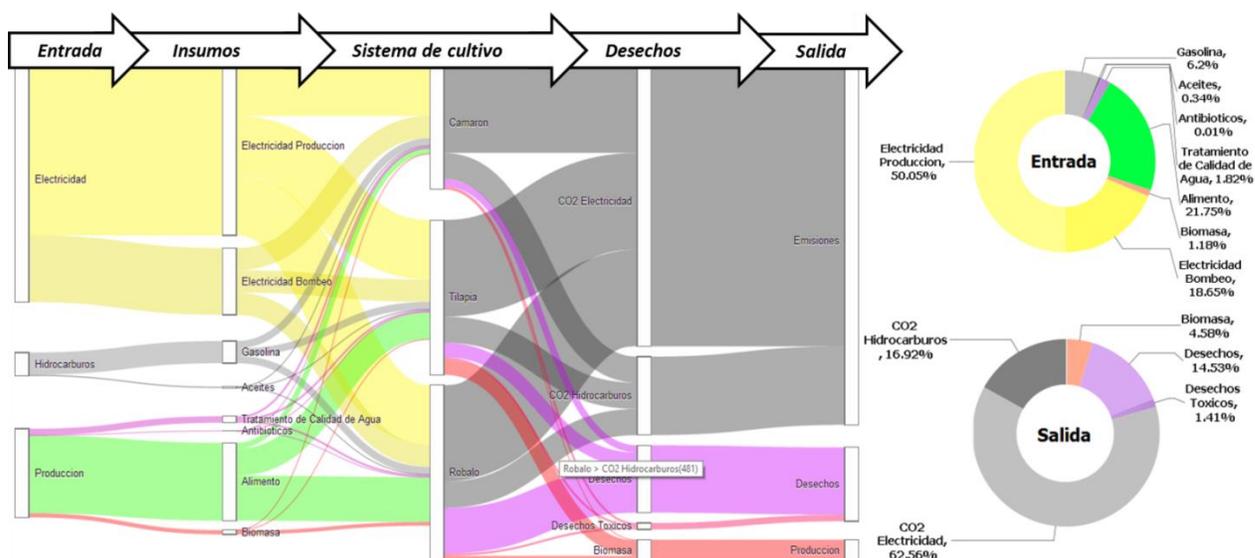


Ilustración 14 Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados en la prueba de la tecnología MultiCo en La Noria; sin considerar los flujos agua. Todos los flujos se muestran en kilogramos (kg) y Joules (J) para la energía. Los grosores de los flujos en la imagen están dados por su porcentaje de participación.

En comparación con el sistema de cultivo intensivo de camarón más utilizado en México, la prueba piloto consiguió mayor producción por m³ y por ha/año y menos emisión de nutrientes (69.7% menos), sin embargo, la mortalidad y FCA fueron mayores (1.7 veces mayor), liberando 1.4 veces más desechos y consumiendo 9.3 veces más insumos. También el consumo de agua fue 1.2 veces mayor para cada kilogramo producido en la prueba piloto. En la prueba de la tecnología, considerando todos los flujos de salida, el sistema resultó muy poco eficiente ya que 95.4% son

desechos, consiguiendo poca producción (4.6% biomasa) en comparación al sistema de monocultivo de camarón (27.2% biomasa).

Tabla 7. Impactos potenciales por kilogramo producido (Mungkung, 2007) producido en la prueba de la tecnología MultiCo en la Noria. Análisis del factor de impacto ambiental por unidad de cultivo en kilogramos y joules por cada kg de biomasa producida

		Robalo	Tilapia	Camaron	Total
		Tanque	Estanque	Estanque	por Ciclo
Producción	Kg	1.0	1.0	1.0	1.0
Desechos	Kg	9.3	1.1	12.8	3.5
Emisiones	Kg	23.8	8.0	167.5	17.3
Insumos	Kg	9.9	2.0	11.4	4.2
Agua	Kg	111,728.0	39,810.6	833,677.9	84,668.3
Energía	J	124,656,398.9	41,876,431.3	876,939,240.0	90,793,091.1

Tabla 8. Comparativo de indicadores de desempeño acuícola: resultados de la Prueba de la tecnología MultiCo y el sistema de cultivo de camarón más común en México (FIRA, 2009). Se premia la intensividad (Kg/Ha y Kg/m³) y la eficiencia en el uso de los recursos, en rojo los resultados no deseados o menos competitivos con relación al cultivo de camarón en México (Camarón MX).

	Camaron MX		Total	
	Valor		Valor	% vs Camarón MX
Ton / Ha	5.6		3.0	-46%
Ton/Ha/Año	5.6		6.0	7%
Supervivencia	0.8		0.5	-39%
FCA	2.2		6.1	177%
Insumos (sin alimento) Kg / Kg	0.5		1.6	216%
Desechos / Kg	1.3		3.2	141%
Agua Ton/Kg	37.5		84.7	126%
Agua l / Kg	36,535.7		82,442.3	126%
Agua m3/ha	204,600.0		254,174.0	24%
Energía MJ/Kg	6.7		58.0	768%
Emisiones Kg CO2/Kg	1.0		17.3	1604%
Emisiones Kg CO2/ha (GHG)	5,700.5		52,060.3	813%
Nutrientes Kg/ha	8,741.2		138.1	-98%
Nitrogeno Kg/ha	3,918.6		82.9	-98%
Fosforo Kg /ha	4,822.6		18.0	-100%
Nitrogeno Kg/Ton	699.8		212.3	-70%
Fosforo Kq/Ton	861.2		46.0	-95%

Resultados de la Modelación sin limitantes⁸⁷ del sistema MultiCo / Jaulas Flotantes

En la modelación del sistema MultiCo (sin limitantes), para producir 1 kg de biomasa se consumen en promedio 2.1 kg de insumos (principalmente alimento) y 2.8 toneladas de agua (debido a la eficiencia esperada de las jaulas), generando 1 kg de CO2 y 1.1 kg de desechos, con la utilización

⁸⁷ Se modeló la unidad tal cual se diseñó para la construcción de los planes de negocio y la solicitud de patente, sin considerar limitantes en lo referente al suministro y calidad del agua, cantidad de organismos y alimentos para el sistema MultiCo y las jaulas flotantes.

de 11.4 millones Joules de energía para mantener la infraestructura intensiva de soporte. Por el proceso anterior se liberan al ambiente 1.6 Ton de nutrientes disueltos, principalmente nitrógeno (Islam, 2005).

Tabla 9 Flujos de entrada y salida de energía y materiales en la modelación de la tecnología MultiCo

		Robalo		Tilapia	Camaron	Total
		Tanque	Jaula	Estanque	Estanque	por Ciclo
Entrada						
Alimento	Kg	3,453.37	40,953.04	986.45	192.07	45,584.92
Biomasa	Kg	232.40	2,360.44	93.51	7.41	2,693.76
Gasolina	Kg	369.92	3,733.20	369.92	369.92	4,842.96
Aceites	Kg	29.44	101.02	7.36	7.36	145.18
Electricidad Bombeo	kWatt/hr	408.80	-	408.80	408.80	1,226.40
Electricidad Produccion	kWatt/hr	1,097.40	-	1,097.40	1,097.40	3,292.20
Antibióticos	Kg	0.67	4.33	0.17	0.17	5.33
Tratamiento de Calidad de Agua	Kg	160.00	-	40.00	40.00	240.00
Agua Potable	Kg	34,857.14	34,857.14	34,857.14	34,857.14	139,428.57
Agua Produccion	Kg	10,561,340.00	34,478,904.10	11,204,242.00	11,204,242.00	67,448,728.10
Salida						
Biomasa	Kg	2,031.39	20,558.75	758.81	160.06	23,509.01
Desechos	Kg	1,815.04	22,759.06	361.32	79.58	25,015.01
Agua Descarga	Kg	10,596,197.14	34,513,761.24	11,239,099.14	11,239,099.14	67,588,156.67
Desechos Toxicos	Kg	40.00	40.00	40.00	40.00	160.00
CO2 Electricidad	Kg	1,777.32	-	1,777.32	1,777.32	5,331.95
CO2 Hidrocarburos	Kg	1,923.20	13,104.63	1,902.80	1,902.80	18,833.43

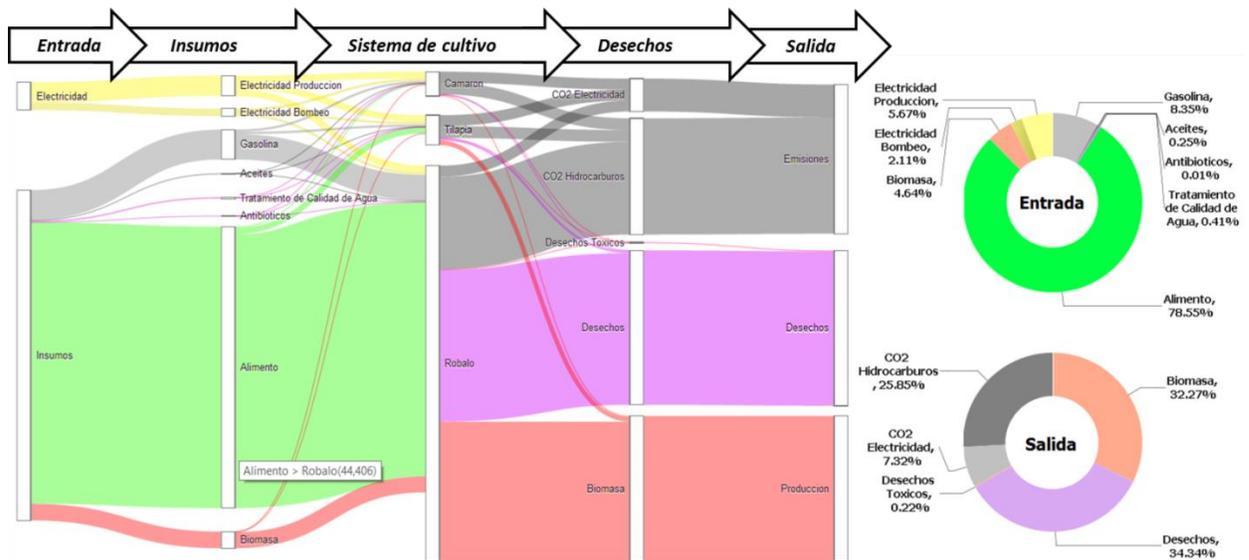


Ilustración 15 Representación proporcional de los flujos totales de energía y materiales ingresados en la modelación de la tecnología MultiCo, sin considerar los flujos agua. (Los grosores de los fluxes en la imagen están dados por su porcentaje de participación). Todos los flujos se muestran en kilogramos (kg) y Joules (J) para la energía.

En la entrada de flujos, según la modelación de la tecnología, destaca el aumento en el consumo de alimento (78.6%), debido a que se contempla la engorda dentro de jaulas flotantes que es donde se completa la mayor parte de la engorda de la especie primaria. Por el lado de los flujos de

salidas, la modelación del sistema indica que es más eficiente que el sistema de monocultivo de camarón (FIRA, 2009) pues genera 32.3% de producción en comparación al 27.2% del camarón.

Tabla 10 Impactos potenciales por kilogramo (Mungkung, 2007). Análisis del factor de impacto ambiental por unidad de cultivo en kilogramos y joules por cada kg de biomasa producida en el modelación de la tecnología MultiCo.

		Robalo		Tilapia	Camaron	Total
		Tanque	Jaula	Estanque	Estanque	por Ciclo ^Σ
Producción	Kg	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Desechos	Kg	0.9	1.1	0.5	0.7	1.1
Emisiones	Kg	1.8	0.6	4.8	23.0	1.0
Insumos	Kg	1.9	2.1	1.5	1.5	2.1
Agua	Kg	5,216.2	1,678.8	14,811.5	70,220.1	2,875.0
Energía	J	15,271,442.7	8,545,264.9	40,882,992.5	193,822,607.4	11,431,657.4

Tabla 11 Comparativo de indicadores de desempeño acuícola: resultados de la Modelación de la tecnología MultiCo (unidad terrestre y jaulas flotantes) y el sistema de cultivo de camarón más común en México (FIRA, 2009). En rojo los valores por debajo del sistema de cultivo de camarón (Camarón MX) en negro los valores superiores o iguales. Se premia la intensividad (Kg/Ha y Kg/m³) y la eficiencia en el uso de los recursos. Ejemplo; kilogramos de nutrientes por tonelada de producto (Kg/Ton).

	Camaron MX	Total	
	Valor	Valor	% vs Camarón MX
Ton / Ha	5.6	67.8	1111%
Ton/Ha/Año	5.6	135.6	2322%
Supervivencia	0.8	0.8	8%
FCA	2.2	1.4	-34%
Insumos (sin alimento) Kg / Kg	0.5	0.6	11%
Desechos / Kg	1.3	1.1	-18%
Agua Ton/Kg	37.5	5.7	-85%
Agua l / Kg	36,535.7	5,590.8	-85%
Agua m3/ha	204,600.0	389,332.7	90%
Energía MJ/Kg	6.7	1.9	-71%
Emisiones Kg CO2/Kg	1.0	2.1	102%
Emisiones Kg CO2/ha (GHG)	5,700.5	139,201.5	2342%
Nutrientes Kg/ha	8,741.2	1,650.3	-81%
Nitrogeno Kg/ha	3,918.6	1,322.2	-66%
Fosforo Kg /ha	4,822.6	286.5	-94%
Nitrogeno Kg/Ton	699.8	112.3	-84%
Fosforo Kg/Ton	861.2	24.3	-97%

La tecnología MultiCo en modelación muestra un rendimiento 11 veces mayor (Ton/Ha) al modelo nacional con un FCA 34.2% menor y utilizando 85% menos agua. Sin embargo, se esperaría liberar hasta 23 veces más emisiones de CO2 por ha.

Considerando los objetivos de desarrollo de la tecnología Multico se plantearon 4 escalas proyectadas: 1 Unidad Multico (cuyos flujos se describieron previamente), 4 Unidades MultiCo, 32

Unidades MultiCo (que equivalen a un parque acuícola) para un total de 10 parques acuícolas. Esperaríamos los siguientes flujos para cada etapa:

Tabla 12. Flujos de entrada y salida de energía y materiales para 4 unidades MultiCo

			Robalo		Tilapia	Camaron	Total
			Tanque	Jaula	Estanque	Estanque	por Ciclo
Entrada	Alimento	Kg	13,813.48	163,812.15	3,945.80	768.27	182,339.70
	Biomasa	Kg	929.60	9,441.78	374.04	29.62	10,775.04
	Agua Produccion	Kg	10,622,960.00	137,915,616.38	13,194,568.00	13,194,568.00	174,927,712.38
Salida	Biomasa	Kg	8,125.58	82,235.02	3,035.23	640.22	94,036.04
	Desechos	Kg	7,260.17	91,036.24	1,445.28	318.33	100,060.02
	Agua Descarga	Kg	10,657,817.14	137,950,473.53	13,229,425.14	13,229,425.14	175,067,140.96

Tabla 13 Flujos de entrada y salida de energía y materiales para un parque acuícola (32 unidades MultiCo)

			Robalo		Tilapia	Camaron	Total
			Tanque	Jaula	Estanque	Estanque	por Ciclo
Entrada	Alimento	Kg	110,507.84	1,310,497.22	31,566.39	6,146.12	1,458,717.58
	Biomasa	Kg	7,436.80	75,534.20	2,992.32	236.98	86,200.30
	Agua Produccion	Kg	11,198,080.00	1,103,324,931.07	31,770,944.00	31,770,944.00	1,178,064,899.07
Salida	Biomasa	Kg	65,004.61	657,880.13	24,281.84	5,121.77	752,288.35
	Desechos	Kg	58,081.36	728,289.96	11,562.21	2,546.66	800,480.19
	Agua Descarga	Kg	11,232,937.14	1,103,359,788.21	31,805,801.14	31,805,801.14	1,178,204,327.64

Los flujos de la tabla 60 deben multiplicarse por 10 para dimensionar la escala total del proyecto.

Comparación del flujo de materiales y energía en ambos escenarios contra el sistema de monocultivo intensivo de Sonora

La prueba de la tecnología MultiCo, al contrario de lo que se esperaba al principio de su desarrollo, no tuvo un uso más eficiente de los recursos pues se consumió más agua por kilogramo producido y por hectárea, más energía y más alimento, generando mayor cantidad de desechos y emisiones por kg y por ha. Esto significa que en la mayor parte de los indicadores evaluados para estimar los impactos ecológicos potenciales, la prueba del sistema MultiCo resultó menos sustentable que el modelo más común de cultivo de camarón a nivel nacional, el cual, como se ha dicho tiene importantes impactos ambientales.

De manera similar, al comparar la eficiencia en el uso de recursos de la modelación del sistema integrado contra el sistema más común de monocultivo nacional, se encontró que la tecnología propuesta consume menos agua por kilogramo, menos energía, y menos alimento, liberando menos nutrientes y desechos al ambiente. Sin embargo, el sistema MultiCo (considerando el desdoblamiento de la producción) consumiría más insumos y más agua por hectárea, generando

más emisiones por kilogramo y por hectárea: hasta 24.4 veces más CO₂ por hectárea que el sistema de cultivo de camarón nacional.

Tabla 14 Indicadores de desempeño de las tecnologías evaluadas

	Monocultivo de Camarón	Prueba MultiCo	Modelación MultiCo / desdoblamiento
Ton / Ha	5.6	3.0	67.8
Supervivencia	78%	47%	84%
FCA	2.2	6.1	1.4
Insumos (sin alimento) Kg / Kg	0.5	1.6	0.6
Agua l / Kg	36,536	82,442	5,591
Desechos Kg / Kg	1.3	3.2	1.1
Energía MJ/Kg	6.7	58.0	1.9
Emisiones Kg CO ₂ /Kg	1.0	17.3	2.1
Nutrientes Kg/ha	8,741	138	1,650
Nitrógeno Kg/Ton	699.8	212.3	112.3
Fosforo Kg/Ton	861.2	46.0	24.3

En términos de energía se estimó en un consumo de 6.7 MJ/kg para el cultivo de camarón en México, como referencia el sistema de cultivo de camarón tailandés utiliza 45.6 MJ/Kg (Mungkung, 2005). En la prueba se consumieron 58 MJ/kg, ligeramente por debajo del cultivo de salmón noruego que ocupa 66 MJ/Kg (Ellingsen y Aanondsen, 2006). Se esperaría consumir 1.9 MJ/kg a escala MultiCo. En Tailandia producciones intensivas de camarón similares a las nacionales (4-6 Ton/Ha) utilizan 4.5 KWatt/hr por kg (16.2 MJ/kg) (FAO, 2008), esto es 58% mas que el sistema de cultivo de camarón en México.

Como muestran los indicadores de la Tabla 14, el modelo MultiCo espera producir hasta 135.6 Ton/Ha/Año, pero en su prueba no superamos las 6 Ton/Ha/Año. Los resultados de la modelación sugieren un gran potencial, sin embargo, su materialización en la realidad requiere un proceso gradual de mejora que debe contemplarse en las proyecciones financieras para ajustar sus expectativas de rentabilidad. El sistema de monocultivo de camarón estudiado tiene, en principio, niveles de producción competitivos, difíciles sin embargo de obtener en campo.

2. Evaluación de la capacidad de carga de la Laguna Corralero desde el enfoque ecosistémico de la acuicultura

Desde hace dos décadas, diversos autores han demostrado que una fuente exógena de energía, como lo es el alimento, puede ocasionar impactos importantes en la materia orgánica y la carga de nutrientes en zonas costeras (Gowen et al., 1987; Folke et al., 1989; Chopin et al., 1999; Cromey, et al., 2002) con efectos adversos en la biodiversidad local.

La capacidad de carga ecosistémica se define como “la capacidad de un ecosistema para asimilar una actividad particular o una tasa de actividad determinada sin impactos inaceptables” (GESAMP, 1986). Por su parte Davies et al. (2003) la definen como “la producción potencial máxima que una especie o población puede mantener con relación a la cantidad de recursos disponibles”.

Se analizó la capacidad de carga de dos espacios distintos: la granja intensiva en tierra (unidad MultiCo) en la comunidad La Noria y Minindaca y las jaulas flotantes dentro de la Laguna Corralero (desdoblamiento de la producción). Para evaluar la capacidad de carga utilizamos la metodología propuesta por Ross, L.G. et al. (Ross, et al., 2013) que se basan en los trabajos de McKindsey *et al.* (2006) que tienen como eje central el enfoque ecosistémico de la acuicultura.

McKindsey *et al.* (2006) propusieron una estructura jerárquica para determinar la capacidad de carga en un área dada, donde la primera etapa involucraría la determinación de la capacidad de carga física, o el potencial del sitio basado en sus condiciones naturales y necesidades particulares por especies y sistema de cultivo, seguido por el cálculo de la capacidad de carga productiva del área disponible utilizando modelos productivos (Anexo 9 (11.9) Prueba de la Tecnología MultiCo). La modelación también sería necesaria en la siguiente etapa, para estimar la capacidad de carga ecológica y evaluar los posibles resultados de la producción, considerando el máximo nivel de producción (Anexo 10 (11.10) Modelación de la tecnología MultiCo). La etapa final sería evaluar los diferentes escenarios basados en los resultados anteriores y después tomar una decisión del nivel de producción aceptable, esto introduciría la capacidad de carga social.

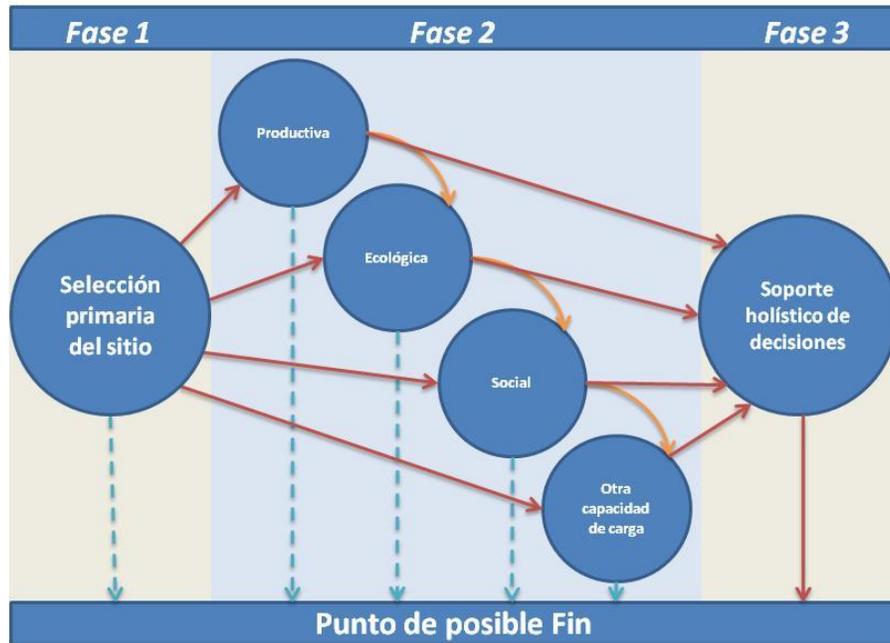


Ilustración 16 Enfoque esquemático a las relaciones y posible secuencia de las diferentes categorías de capacidad de carga, mostrando los diferentes puntos donde un proyecto puede terminar durante el proceso de toma de decisiones. El orden y la prioridad en la segunda fase pueden depender de cada caso. Tomado de Ross, *et al.*, 2013.

De forma consistente con la metodología utilizada (Ross, *et al.* 2013) se evaluaron tres tipos diferentes de capacidad de carga. Mismos que se describen a continuación:

Capacidad de carga Física para la selección del sitio.

Considera el acceso a un suministro constante de energía y agua de calidad (en los volúmenes y con las características necesarias), insumos, acceso, seguridad, certidumbre legal y social.

Después de identificar un sitio con potencial, un trabajo mucho más detallado se requiere para estimar la capacidad de carga en sus diferentes magnitudes incluyendo las influencias sociales, ambientales y productivas con su diferente complejidad (Ross, *et al.* 2013).

Criterios Generales de Selección del sitio

Utilizando la metodología propuesta por John E. Huguenin (1997), se evaluaron cualitativa y cuantitativamente los siguientes puntos para la unidad en tierra y las jaulas flotantes:

Tabla 15. Criterios Generales para la Selección de los sitios para la prueba de la tecnología MultiCo y el desdoblamiento externo en jaulas flotantes. Modificado de John E. Huguenin 1997

Factores Meteorológicos	Vientos	a) Direcciones prevalecientes b) Velocidad c) Variaciones estacionales d) Intensidad y frecuencia de tormentas	<p>La zona se caracteriza por contar con estabilidad climática y presentar ciclos estacionales bien definidos. Esta zona tiene una muy baja incidencia de huracanes y tormentas. A diferencia del Norte del País en esta región podríamos esperar cultivar a lo largo de todo el año en varios ciclos de cultivo.</p> <p>Las variaciones climáticas entre el día y a noche no son grandes, así como entre las diferentes épocas del año lo cual brinda gran estabilidad para el cultivo de especies.</p> <p>Un factor limitante son los cambios bruscos de salinidad en el sistema ya que deja pocas áreas dentro de la laguna con relativa estabilidad en la salinidad para la instalación de jaulas flotantes.</p>
	Luz	a) Intensidad b) Calidad c) Fotoperiodo	
	Temperatura del aire y variaciones		
	Precipitación	a) Cantidad b) Distribución c) Tormentas máximas y frecuencia	
Factores de Localización	Características del cuerpo de agua	Superficie	<p>La laguna tiene buenas condiciones de calidad de agua, no hay núcleos poblacionales ni actividades industriales o productivas relevantes en la región. Se encuentra relativamente cerca de puntos de venta importantes (270 km al este de Acapulco y 170 km al oeste de Puerto Escondido).</p> <p>La introducción de artes de cultivo dentro de la laguna está limitada a un par de sitios cerca de la boca de la laguna donde existe relativa estabilidad en los parámetros fisicoquímicos a lo largo del año y donde además se encuentran las zonas de mayor profundidad. En realidad solo un lugar tiene potencial para colocar jaulas debido a que presenta profundidades máximas de 4 a 5 m. Coincidentemente en las zonas más profundas por su cercanía a la salida principal al mar se encuentra una buena proporción de arena, esto es ideal pues disminuye los riesgos de reducciones dramáticas en el oxígeno por interacciones con el fondo.</p> <p>No existen riesgos importantes para las jaulas ya que tanto el oleaje como la marea dentro de la laguna son de poca intensidad</p> <p>En el sitio en tierra era indispensable tener luz trifásica y teléfono, además de caminos y seguridad pública. Pinotepa Nacional, la ciudad más cercana funciona como un punto de abasto de materiales para toda la región, esta se vuelve una ventaja importante debido al acceso de insumos, materiales, servicios profesionales de construcción y pesca.</p> <p>No existe infraestructura acuícola en la región pero los proveedores de insumos básicos como el alimento pueden abastecer a Pinotepa Nacional.</p>
		Calidad de Agua	
		Hidrografía	
	Afluentes	Profundidad	
		Tipos de suelos	
	Características de los mantos acuíferos	Gradientes físico-químicos del área	
		Oscilación	
		Frecuencia	
	Corrientes	Frecuencia de tormentas	
		Acuíferos presentes	
Profundidad			
Marea	Calidad		
	Magnitud		
Olas	Dirección		
	Variaciones		
Infraestructura existente y características	Tasas de recambio		
	Rangos		
Historia del Sitio	Variaciones estacionales y en condiciones de tormenta		
Factores del Suelo	Tipo de Suelo	a) Perfil b) Características del subsuelo	<p>El suelo predominante en el SA es de tipo arenoso. Este suelo es altamente permeable, esto hace factible el uso de pozos y la inyección del agua utilizada en pozos rústicos. Sin embargo, hace necesaria la utilización de Liners u otro tipo de materiales impermeables para contener el agua de los estanques. La arena requiere necesariamente de bordos prolongados, u otras soluciones de ingeniería civil debido al ángulo de reposo.</p> <p>Al usar geomembrana para evitar la infiltración se reducen los impactos ambientales y los riesgos por toxinas o poblaciones microbiológicas.</p> <p>Al excavar hasta 18 metros se puede encontrar restos de lodo y arcilla de espacios donde la laguna estuvo previamente y existen procesos de descomposición orgánica.</p>
	Tasa de percolación - coeficiente de permeabilidad hidráulica		
	Topografía y distribución de suelos		
	Tamaño y tipo de partículas		
	Ángulo de reposo		
	Fertilidad		
	Población microbiológica		
Toxinas rastreables	a) Pesticidas b) Metales Pesados c) Otros químicos		
Ambiente Biológico	Productividad primaria - actividad fotosintética		<p>La importancia de la productividad primaria se relaciona con el cálculo de la capacidad de carga, el aporte de nutrientes a la laguna derivado del alimento formulado puede producir incrementos en la cantidad de algas por el exceso de nutrientes, lo anterior puede generar bajas drásticas en el oxígeno en ciertos momentos del día. En los modelos para estimar la capacidad de carga el elemento de mayor relevancia es el fósforo ya que influye directamente en la presencia de fitoplancton.</p> <p>Una ventaja de la laguna es la gran cantidad de juveniles de especies con potencial comercial. Existen depredadores en todos los ambientes, principalmente aves. Esto, sin embargo, es un elemento que se puede superar con manejo adecuado. Sobre las enfermedades no existe información bibliográfica ni empírica que indique problemas particulares en este sentido.</p>
	Ecología Local	Número de niveles tróficos	
	Poblaciones locales de la especie deseada	Especies dominantes	
		Adultos	
	Depredadores	Fuentes de juveniles	
	Concentración y presencia de depredadores		
Factores Sociales	Relaciones con la comunidad	Tierra	<p>El trabajo previo de la Fundación en el lugar nos permitió desarrollar lazos y alianzas con los actores más importantes del lugar. Se desarrollaron proyectos productivos que se vincularon con las mujeres lo cual nos permitió ganar la confianza y el respeto de las comunidades; estas relaciones exitosas se reflejan con el préstamo de la parcela escolar de la comunidad La Noria, donde desarrollamos el proyecto.</p> <p>Aunque en primera estancia se involucro laboralmente a muy pocas personas locales, debido al exigente perfil del personal necesario, las comunidades entendieron el potencial de este proyecto y se interesaron en iniciar su capacitación en acuicultura, lo cual se llevó a cabo paralelamente a la prueba tecnológica del proyecto.</p> <p>Un elemento muy importante fue informarles a otros productores acerca de los impactos del proyecto a sus actividades actuales. Los convencimos de que el proyecto no afectaba sus actividades actuales y que por el contrario otorgara nuevas posibilidades, que junto con el monitoreo de la laguna y la atracción de talento, podrán mejorar su situación actual productiva.</p> <p>Esta región de Oaxaca no se caracteriza por presentar problemas particulares de inseguridad, violencia o narcotráfico. Pinotepa Nacional tiene una estable y pacífica presencia militar con un cuartel regional y retenes en la zona, es también relativamente común encontrar a las fuerzas armadas patrullando los caminos.</p>
		Agua	
		Aire	
		Enfermedades endémicas, parásitos y blooms algales	
	Apertura de canales de comunicación	Conocimiento de usos y costumbres	
		Presencia de la Fundación en la comunidad	
	Seguridad Social	Comunicación	
		Interacción	
	Cooperación con las Autoridades Locales y Estatales	Experiencias productivas exitosas previas	
Círculos de Confianza			
Vínculos con los productores y pescadores locales	Interacción con líderes locales		
	Alineación de intereses		
	Oportunidades		
	Impactos del proyecto		
	Expectativas respecto al proyecto		
	Violencia, Narcotráfico, etc		
	Relación con autoridades ejidales y educativas		
	Relaciones a nivel municipal		
	Pescadores		
	Individuos		
	Cooperativas		
	Salineros		
	Ganaderos		
	Agricultores		

Selección del Sitio de la unidad Piloto de MultiCo.

El proceso de selección de sitio llevó al menos un año y medio, y se probaron muchos terrenos desde la metodología de Huguenin (1997), pocos tenían seguridad, infraestructura eléctrica y acceso a agua u otros insumos básicos. Se realizaron levantamientos topográficos en diferentes parcelas y épocas del año, evaluando por ejemplo que tanto se inundaban los terrenos y sus caminos en época de lluvias (terrenos con potencial quedaron descartados por esto). Establecimos relaciones con los ejidos⁸⁸ y sus autoridades para adquirir terrenos de forma segura bajo la ley agraria⁸⁹.

Se realizaron análisis físico-químicos y biológicos para examinar la calidad del agua de los sitios con mayor potencial, incluyendo estudios de suelo, análisis de calidad de agua, entre otros. Una vez que ganamos el fondo de Innovación tecnológica nos vimos obligados a tomar una decisión asumiendo diferentes riesgos dadas las fechas y compromisos establecidos. En ese momento se definió el sitio más adecuado (sin haber aforado los pozos que abastecerían a la granja de agua) para cumplir los requisitos técnicos y los plazos de entrega. Aun cuando el análisis técnico mostraba riesgos importantes, se tomó la decisión de seguir adelante.

La unidad de cultivo experimental se ubicó dentro de la parcela escolar de la escuela federal bilingüe (Mixteco) “Ignacio Manuel Altamirano” Clave de C.T. 20DPB0670Z, de la comunidad La Noria y Mininidaca, Pinotepa Nacional, Jamiltepec, Oaxaca.

El sitio sirvió previamente como una parcela para el cultivo de maíz, ajonjolí, jamaica y otros productos de manera extensiva, los usuarios pagaban una renta mensual al comité escolar. La información específica del sitio fue introducida y modelado en el sistema Aquafarm para validar que las condiciones cambiantes del medio a través del tiempo se ajustaran a las expectativas productivas del modelo tecnológico.

⁸⁸ Me convertí en ejidatario del Ejido Mariano Matamoros y en esta búsqueda de opciones para desarrollar el proyecto en el transcurso de sus años de desarrollo.

⁸⁹ Un tema que merece mucho tiempo y detalle para su análisis y reflexión, pero que no se aborda en esta tesis.



Ilustración 17. Parcela escolar y sitio prestado por la comunidad de La Noria para el área de cultivo experimental.

La parcela escolar⁹⁰ tiene un Área de 123,884m² (12 Ha), de las cuales 2 hectáreas se prestaron (Enero, 2011) por 1 año y medio para realizar el proyecto a cambio de la instalación de 4 computadoras con internet y la capacitación de los alumnos de la primaria⁹¹(Ilustración 18). Esta negociación permitió eliminar los costos de comprar o rentar un terreno durante la prueba reduciendo gastos operativos y riesgos legales agrarios. De las 2 hectáreas destinadas al proyecto únicamente se utilizaron 7,500 m² para instalar y operar la unidad de cultivo experimental.

⁹⁰ el artículo 70 de la Ley Agraria establece que.- “... la parcela escolar... se destinará a la investigación, enseñanza y divulgación de prácticas agrícolas que permitan un uso más eficiente de los recursos humanos y materiales con que cuenta el ejido. El reglamento interno del ejido normará el uso de la parcela escolar”. LEY AGRARIA Última Reforma DOF 09-04-2012

⁹¹ Al terminar la prueba la entrega de las computadoras no se concluyó, ninguna contaba con internet y no se habían realizado los cursos de capacitación.



Ilustración 18. Parcela escolar: sitio seleccionado para el área de cultivo experimental y rectángulo del area total prestada.

Para llegar a la Noria se transitan 3.5 km de carretera tipo C y 10.1 kilómetros de camino rural tipo D (Ilustración 19) desde Pinotepa Nacional. Este camino es de difícil tránsito en la temporada de lluvias, es común atascarse y que los caminos se cierren un par de días en la época más intensa de precipitación, sin embargo funciona relativamente bien el resto del año.

Tipo de vehículo	Descripción
A2  3.00 Automóvil	Automóvil
A'2  3.90 Camión ligero, hasta 3 ton	Camión ligero
B2  11.00 Autobús de dos ejes	15.5 Ton Autobús de dos ejes
C2  12.20 Camión de dos ejes	4.15 15.5 Ton Camión de dos ejes

Ilustración 19. Tipos de vehículos permitidos en un camino tipo D. *Largo máximo de vehículos = 14m y con camión remolque =22.5 m. Tomado de GICABO, 2009.

Además de ofrecernos un terreno sin pagar renta, la comunidad de la Noria tiene 2 particularidades más que influyeron en la toma final de decisión sobre el sitio:

1. La Noria es la segunda comunidad, además de Corralero, donde hay luz trifásica. El servicio de la comunidad se distingue por tener consideraciones especiales de mantenimiento (rara vez la luz se va más de 1 o 2 días, situación excepcional para este tipo de comunidades) debido a la presencia de la clínica rural de zona.
2. A diferencia del resto de las comunidades de la zona que extraen agua dulce de pozos superficiales (1.5 – 3 m), la Noria tiene que bombear su agua dulce desde playa banco de oro a 4 km de distancia; esto se debe a que el subsuelo de la comunidad y sus alrededores tienen agua salobre que es potencialmente aprovechable para cultivo de especies de alto valor.

Una vez iniciada la prueba, los pozos se volvieron inutilizables debido a la enorme cantidad de materia y compuestos orgánicos extraída del subsuelo, que venían acompañados de metales pesados, gran turbidez y olor fétido⁹². No aforar los pozos y someterlos a estudios estacionales ocasionó mortalidades y costos importantes de desgaste, tiempo y recursos. Fue necesario construir un sistema idéntico al que tenía la comunidad para bombear agua dulce, pero en nuestro caso nos extendíamos un poco más (4.5 Km) hacia el mar para traer agua salobre (Ilustración 20.)⁹³. Adicionalmente se rehabilitó otro pozo cercano con salinidades de entre 3-7 g/l. Ambos procesos generaron costos sociales de percepción; la instalación de la tubería (sin los permisos necesarios) afectó caminos rurales dificultando el transporte entre la Noria y otras comunidades, esto generó quejas y cuestionamientos sobre la actitud de la empresa y los trabajos de rehabilitación final del camino.

⁹² **Profundidad:** 12m, **Salinidad:** 12-13 g/l, **pH:** 8, **Nitritos** (Rango Alto): 4 NO₂ mg/l, **Amonio:** 54.7 NH₃-N mg/l, **Fosfatos:** 5.5-15 PO₄⁻³ mg/l, **Cobre** (Rango Alto): 3.6 mg/l, **Hierro** (Rango Alto): 3.1 mg/l

⁹³ La solución para llevar agua desde este pozo hasta las instalaciones consistió en utilizar la infraestructura eléctrica del pozo de agua potable que abastece actualmente de la Noria y hacer un tendido eléctrico subterráneo de 700m hasta el punto en la playa donde se cavo el pozo de agua salada; adicionalmente se debe colocar tubería en este tramo de 700 metros y en los 4.5 km que separan al pozo marino de la parcela escolar en la comunidad la Noria. Esta solución trajo algunos otros problemas posteriores como el robo de 300 m de cable y los costos posteriores de rehabilitación

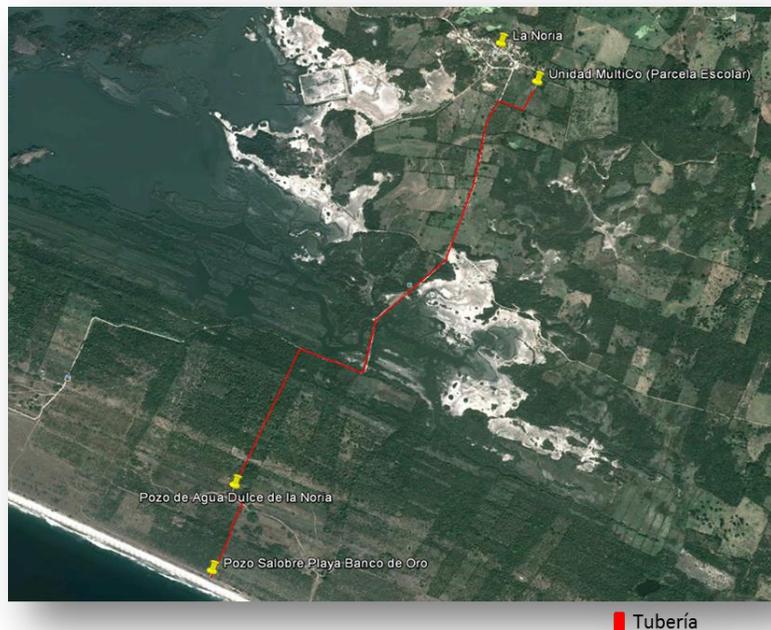


Ilustración 20. Instalación de 4.5 Km de tubería para traer agua de salobre desde playa Banco de Oro hasta la granja experimental de Maricultura Vigas en la Noria.

En un inicio se contemplaba la re-inyección del agua al subsuelo por infiltración después de un proceso sencillo de tratamiento de sedimentación. El sustrato de la parcela escolar tiene una capacidad de absorción mucho menor a las necesidades del sistema (2 l/s). Debido a lo anterior se instaló una línea de desagüe de 450m con tubería de 2" en línea recta desde la granja hasta la laguna (que posteriormente fue remplazado por tubería de 4" y que no pudo ser mayor debido entre otras cosas al diseño deficiente de la granja basado en una estimación inicial poco realista), esta obra de emergencia pasó de ser un proyecto temporal a ser el desagüe permanente del sistema. Aunque se instalaron sistemas simples de tratamiento y bioseguridad (debido principalmente a la Tilapia especie invasora en el sistema), estos fueron improvisados para mantener la operación activa generando riesgos de fuga de especies invasoras y de enfermedades.

La prueba se realizó con la mitad del flujo de agua con la que se modelo y menos de una cuarta parte de la cantidad total de robalos para engorda del diseño inicial; obtener los juveniles para engorda del medio natural no fue nada sencillo. Las instalaciones y el diseño operativo se modificaron varias veces conforme los límites y los impactos de los problemas de suministro, diseño y construcción se manifestaban.

El proyecto se atrasó 6 meses en su realización debido a problemas para la obtención de agua de calidad y por problemas sociales como lo fue el robo del cable de la bomba principal que abasteció al sistema desde la playa Banco de Oro¹⁰⁰. Se cometieron errores graves de manejo debido a la falta de experiencia de la dirección y del personal que construyó y manejó la granja, y de manera particularmente importante, debido a que la infraestructura no pudo ser ajustada previa a la prueba piloto, por lo que se descuidó el manejo y el desarrollo del proyecto pagando grandes costos (incluyendo mortalidades masivas) por solucionar problemas, imprevistos y desabastos constantes ya que la infraestructura se echó a andar sin estar probada y ajustada y sin un plan operativo (y de suministro).

En resumen, bajo los criterios generales para la selección de sitios propuestos por Huguenin (1997), podemos identificar 3 problemas específicos con la selección del sitio y la estimación de capacidad de carga Física del sitio de la Noria:

- (i) *Estudio de los factores de localización; características del cuerpo de agua y calidad del agua.* En nuestro caso acudir a una fuente de agua subterránea de 12 m de profundidad a menos de 1 km de la laguna costera fue imprudente, ya que no contábamos con un estudio de al menos un año del comportamiento del acuífero y el pozo, ni un plan alternativo de suministro.
- (ii) *Evaluación de la historia del sitio.* Aunque no existía historial de posible contaminación para el agua del pozo por una fuente superficial (debido a la naturaleza de las actividades realizadas en la parcela); no consideramos que la contaminación (orgánica) pudiera venir del subsuelo¹⁰¹.
- (iii) *Factores del suelo.* Al basar la infraestructura de descarga en una tasa de percolación (coeficiente de permeabilidad hidráulica) que desconocíamos y donde además ignorábamos las características del subsuelo y sus acuíferos (incluyendo los posibles impactos ambientales de reinyectar el agua).

¹⁰⁰ Que ocasiono problemas sociales, costó de decenas de miles de pesos por reinstalación, ocasionando además mortalidades en los sistemas activos en ese momento.

¹⁰¹Características de la toma de agua: **Profundidad:** 12m, **Salinidad:** 12-13 g/l, **pH:** 8, **Nitritos** (Rango Alto): 4 NO₂ mg/l, **Amonio:** 54.7 NH₃-N mg/l, **Fosfatos:** 5.5-15 PO₄⁻³ mg/l, **Cobre** (Rango Alto): 3.6 mg/l, **Hierro** (Rango Alto): 3.1 mg/l

Un elemento importante fue la falta de planeación de suministro para la temporada de lluvias (incluyendo gasolina para nuestras plantas eléctricas) donde los caminos rurales quedan gravemente afectados hasta por días.

Un efecto inesperado de la diferencia entre el diseño inicial del sistema y su despliegue fue que el alimento solicitado para los peces marinos (basados en recomendaciones de un experto en nutrición de peces marinos y asesor internacional de compañías de alimentos) no era fácil de conseguir y tuvimos que mandar a producirlo “a la medida” meses antes de contar con los organismos. Una orden especial requiere volúmenes elevados, que en nuestro caso superaban las necesidades iniciales. Esto significó sobre adquirir alimento para una prueba que consideraba el triple de biomasa inicial para engorda. El resultado fue que desperdiciamos cuando menos una tonelada de alimento perecedero que fue costoso producir, adquirir, transportar, almacenar y desechar.

Algunas de las afectaciones directas de no planear bien la descarga fue la salinización parcial de áreas de la parcela escolar por fallas en el diseño de la descarga; áreas que renta la escuela como área de cultivo para conseguir recursos. Los errores en la estimación de la capacidad de carga física finalmente generaron problemas de percepción en las comunidades, que se vieron afectadas entre otras cosas por la construcción de nuestra nueva toma de agua que atravesó varios caminos rurales.

La descarga del sistema daba directamente a una salina de la Laguna con presencia de mangle¹⁰² y brechas temporales de uso tradicional. Debido a lo anterior algunos pobladores de La Noria y El Jícaro mostraron inconformidad y exigieron estudios y permisos que demostraran que no se afectaría la laguna con las descarga. No contábamos con estos estudios debido a que no tuvimos claridad en muchas definiciones fundamentales de la infraestructura hasta muy avanzado el proyecto, dejando un margen de tiempo muy limitado para la gestión de trámites. También se pidió controlar el escurrimiento para no afectar el tránsito de campesinos y ganaderos a sus encierros¹⁰³. La descarga del sistema incumplía diversas regulaciones, además de no tener las medidas de bioseguridad suficientes que aseguraran que las especies invasoras engordadas en el sistema (como la tilapia) o sus enfermedades fueran liberadas al ambiente.

¹⁰² Tanto la toma de agua, como la descarga, incumplen normas y legislación aplicable en términos ambientales y de concesión de áreas federales.

¹⁰³ Se corrigió el problema de las brechas pero hasta principios del 2013 no se encontraba en orden el problema de la descarga, ni se presentó la documentación requerida.

Es común escuchar que “en la realidad es difícil que un proyecto tenga los recursos o el tiempo para realizar todos los análisis a detalle”, pero vale la pena preguntarse ¿Qué clase de supuestos es aceptable desconocer, y bajo qué óptica elegirlos? Porque todo proyecto convivirá con esta realidad, a veces los problemas más evidentes se escapan por un diagnóstico equivocado de la situación y las prioridades.

Los mecanismos gubernamentales y los fondos de desarrollo tecnológico tampoco tienen algún enfoque efectivo ante el riesgo común de ignorar la dimensión socio-ambiental. Actúan desde la buena “fe”, asumiendo que el que presenta un proyecto tiene la capacidad de identificar los elementos y los riesgos más importantes de su proyecto, y evaluarlo objetivamente a través de su plan de negocios y una manifestación de Impacto Ambiental.

La dimensión técnica se descuidó desde el inicio del proyecto¹⁰⁵, esto se manifestó en la selección deficiente del sitio para desarrollar el proyecto.

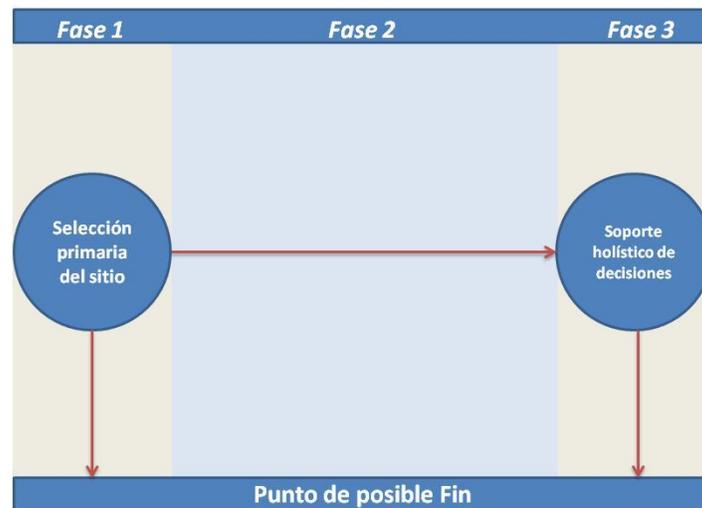


Ilustración 21 Puntos de posible fin del proyecto según la metodología de Ross, et al., 2013.

¹⁰⁵ Las circunstancias tuvieron atados de manos al consejo científico en varios aspectos, primero porque existía un abanico de opciones muy limitadas para la toma de decisiones y segundo, debido a que en varias ocasiones nos faltó efectividad y sensibilidad para enfocar su disponibilidad de tiempo (invertido de manera desinteresada en el proyecto) a los temas más relevantes; debido entre otras cosas a nuestra falta de experiencia y al ambiente vertiginoso propiciado por la situación reactiva del día a día. En el caso de la capacidad de carga física, el sitio ya estaba elegido por la premura de las fechas de entregas, y entre otras cosas, por los complejos y tardados procesos a día, y no a alguna estructura organizada o a las mejores prácticas que nos pudieron recomendar ejidales. Tanto la disponibilidad de agua como la de organismos (que además dependían de un esfuerzo único económico y productivo) no estaban en sus manos, las instalaciones, el presupuesto ingresado a CONACYT (construidos bajo supuestos muy generales), los insumos que pudiéramos adquirir en el tiempo, etc. De tal forma que la implementación estaba sujeta al día.

La prueba de la tecnología MultiCo superó la capacidad de carga física del sitio, por lo cual estaría lejos de soportar los requerimientos de una unidad MultiCo. Debido a las afectaciones sociales y ambientales generadas (como la salinización de partes de la parcela escolar y la posible liberación de especies invasoras) el proyecto fracasó claramente desde el enfoque ecosistémico de la acuicultura.

Una de las grandes fallas del proyecto fue desaprovechar la cercanía con la escuela primaria y las posibilidades de desarrollar un vínculo con los niños en la comunidad. En buena medida nos perdimos la oportunidad de enseñar y de aprender acerca de sus necesidades reales.



Ilustración 22. Interacción con la comunidad la Noria y la escuela primaria.

Con base en la experiencia de los errores de la selección del sitio en tierra, considero que la capacidad de carga física es posiblemente el primer elemento limitante para el desarrollo de la tecnología MultiCo, los diversos intereses sociales exigen un acercamiento más integral. Más allá del esquema de arrendatarios privados explotando servicios ambientales dentro de un ejido, es necesario un plan interdisciplinario de desarrollo sin privilegiar solamente la dimensión socioeconómica.

Selección de sitio para las Jaulas flotantes

Se utilizó la herramienta CADS_TOOL y las recomendaciones de la NOM 022 y la metodología propuesta por John E. Huguenin para buscar sitios adecuados dentro del cuerpo de agua.

El sitio seleccionado para instalar las jaulas se encuentra cerca de la comunidad Corralero y cerca del Canal Artificial que comunica a la Laguna Corralero con la única salida hacia el mar (Ilustración 22.). Esté sitio además de contar con las mejores profundidades de la laguna, es una de las áreas con mayores corrientes y estabilidad en la calidad del agua. En la Ilustración 22. se muestra la comunidad de Corralero y la distancia a las jaulas. La superficie de la poligonal es de 32,500 m² (3.25 Ha), esto representa el 0.1 % de la superficie total de la laguna.



Ilustración 22. Comunidad de Corralero y la ubicación del area con potencial para la instalación de jaulas dentro de la laguna.

Nos guiamos por las recomendaciones de la NOM 022 para evitar cualquier afectación al manglar, el polígono está a más de 120 metros de cualquier área poblada con manglar.

La interacción con Lagunas Costeras es muy delicada, sobre todo desde el punto de vista social, donde tantas personas desarrollan su vida alrededor de los servicios ecosistémicos que proporcionan. Al analizar la capacidad de carga Física de la laguna Corralero es interesante apreciar que en realidad son muy limitados los sitios con potencial acuícola para cultivo en jaulas; no solo en Corralero, sino en el resto de las lagunas costeras del país. En especial resaltaría 4 elementos limitantes: la profundidad, la calidad del agua, la seguridad (social) y la regulación (ambiental, especialmente la NOM-22; de zonas federales y de usos y costumbres locales).

El sitio seleccionado para las jaulas está en una de las zonas de mayor profundidad de la laguna, esto se debe a que previamente esta zona fue afectada significativamente por los dragados realizados para la construcción del canal artificial que comunica la laguna con la boca de la barra.

Una vez identificados varios puntos con potencial para ubicar las jaulas (siguiendo los criterios generales (Huguenin 1997)) se introducen sus valores en una matriz de clasificación que incluye valores reales de calidad de agua, calidad del sustrato y hidrometeorología, así como algunos factores socioeconómicos como se muestra en la Ilustración 23:

The image shows a screenshot of a web-based assessment tool. It is organized into four main sections, each with a title and several input fields with corresponding classification labels in yellow boxes:

- Water Quality:**
 - Oxygen [mg/l]: 6.7, Good
 - Ammonium [mg/l]: 0.27, Good
 - Secchi depth [m]: 0.6, Poor
- Substrate Quality:**
 - Sediment texture: 2.0, Good
 - Redox potential [mV]: 0.0, Good
 - Organic matter [%]: 12.0, Poor
- Hydrometeorology:**
 - Current [cm/s]: 5, Good
 - Significant wave height [m]: 0.3, Good
 - Water depth [m]: 2.5, Poor
- Socioeconomic:**
 - Market: Far (dropdown), Poor
 - Infrastructure: Available (dropdown), Good
 - Regulations: Available (dropdown), Good

Ilustración 23. Matriz de clasificación del sitio. Halmar Halide, 2008. A Cage Aquaculture Decision Support Tool: Software for Marine and Freshwater Cage Aquaculture Managers, Version 1.0; Physics Department, Hasanuddin University, Makassar Indonesia; Australian Institute of Marine Science.

La matriz de clasificación del sitio permite evaluar la idoneidad del sitio con base en referencias bibliográficas de lo que se consideran buenas y malas condiciones para colocar jaulas en un cuerpo de agua.

Como se observa en la Ilustración 24 la información de la clasificación del sitio se aprovecha para asignar porcentajes de importancia a los criterios y subcriterios. En este caso por ejemplo la cercanía del mercado tuvo menor importancia que los niveles de oxígeno y las corrientes.

Criteria	Importance [%]	Sub-criteria	Importance [%]	Site Classification
Water Quality	30.0	Oxygen	40.0	Good
		Ammonium	35.0	Good
		Secchi Depth	25.0	Poor
Substrate Quality	20.0	Textures	30.0	Good
		Redox Potential	45.0	Good
		Organic Matter	25.0	Poor
Hydrometeorology	40.0	Current	50.0	Good
		Wave	10.0	Good
		Water Depth	40.0	Poor
Socioeconomic	10.0	Market	10.0	Poor
		Infrastructure	70.0	Good
		Regulations	20.0	Good
Percentages OK!!				Site Selection Suitable

Ilustración 24. Matriz de selección del sitio. Halmar Halide, 2008. A Cage Aquaculture Decision Support Tool: Software for Marine and Freshwater Cage Aquaculture Managers, Version 1.0; Physics Department, Hasanuddin University, Makassar Indonesia; Australian Institute of Marine Science.

Este polígono de 3.25 Ha fue evaluado como “Viable” por la herramienta CADs_TOOL, aunque advierte que es pobre con respecto a la profundidad. La principal limitante es la profundidad, en la laguna Corralero es menor a 2 metros en promedio (SAGARPA, 2010). Se considera que una profundidad deseable para el cultivo en jaulas es de 20 metros adelante (Huguenin 1997), ya que existen interacciones importantes entre el sustrato del fondo y los desechos (como el alimento); que pueden conducir a bajas drásticas en el oxígeno disuelto (Halide 2008).

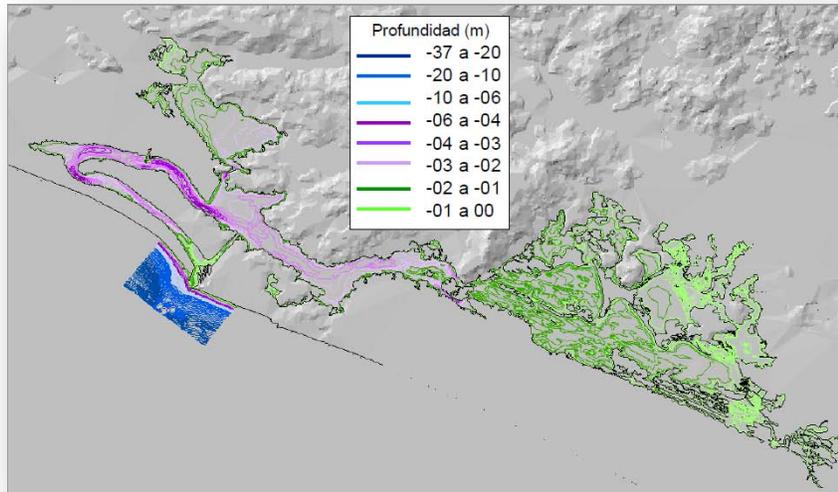


Ilustración 25. Batimetría del sistema lagunar corralero (enero, 2010). Tomado de SAGARPA, 2010.

Las profundidades en la Laguna Corralero no superan los 6 metros (líneas moradas), la mayor parte del cuerpo de agua tiene profundidades menores a los 2 metros (líneas verdes), donde no es posible realizar cultivo en jaulas (con la tecnología actual).

Además del sitio seleccionado solo existe otro sitio con potencial dentro de la laguna Corralero; el canal de salida, que tiene buenas profundidades, pero no es elegible por dos razones:

- a) Considerando la normatividad aplicable respecto al manglar, todo desarrollo debe estar a 100 m de esta vegetación; lo que hace que la mayor parte del canal tampoco sea elegible si respetamos los 100 metros de cada lado donde existe manglar.
- b) Regulación local: los lugareños lo tienen reservado como sitio protegido de crianza y tratan de no pescar ahí.

La superficie de la poligonal del sitio elegido para el cultivo en jaulas es de 32,500 m² (3.25 Ha), esto representa el 0.1 % de la superficie total de la laguna y dados los resultados en la evaluación de sitios, el potencial para engordar en toda la laguna no es mayor a esta pequeña área. Esto representa un reto en la distribución futura y el acceso debido a que habrá pocos beneficiarios de la actividad ya que las áreas de cultivo son un recurso muy escaso

El punto de la profundidad debe tomarse muy en cuenta para estimar el potencial de producción sustentable para el sistema MultiCo. La realidad es que la mayor parte de las lagunas en México son someras sin superar en general los 6-9 m en sus profundidades máximas, tal es el caso de

Teacapan – Agua Brava en Sonora, Cuyutlán en Colima (0.2 - 4.4 m), Mitla en Guerrero (2.5 m), Tecamate Guerrero (0.6 a 1.0 m), Chautengo Guerrero (0.4-5.75), Chacahua – Pastoria en Oaxaca(1-2 m), Manialtepec en Oaxaca (2 – 5 m), Mar Muerto en Oaxaca (2-7m) etc. (Diario Oficial, 2004). Esto implica que la mayor parte de las lagunas contempladas en el plan de negocios de los parques acuícolas de entrada no cuentan la profundidad suficiente como para tener potencial de engorda en jaulas (con la tecnología disponible actualmente). La pregunta importantes es ¿Cuántas lagunas si tienen potencial para engorda en jaulas, que superficie de las mismas puede aprovecharse y quien tendrá derecho a disfrutar de dicho potencial?

Capacidad de Carga Ecológica

Utilizando la herramienta de modelación CADs_TOOL (Halide, 2009), se realizaron dos tipos de análisis diferentes sobre la capacidad de carga: uno a nivel local, evaluando el potencial de las 3.25 Ha con capacidad de albergar jaulas flotantes, y otro considerando todo el cuerpo de agua de la Laguna Corralero, utilizando cuatro metodologías distintas: Stigebrandt et al., (2004), Tookwinas et al. (2004) y Hanafi et al. (2006) y Pulatsü et al. (2003).

Se encontró que los objetivos planteados no superan la capacidad anual (65,509.8 ton/año) o total (9,735.3 ton) de la Laguna Corralero desde los modelos de Hanafi *et al.* (2006) y Pulatsü *et al.* (2003); sin embargo, a nivel local los modelos de Stigebrand *et al.* (2004) y Tookwinas *et al.* (2004) señalan que el diseño de la tecnología y sus objetivos superan la capacidad de carga sustentable en densidades (desde el diseño inicial) y biomasa, a partir de la operación de tan sólo dos unidades MultiCo.

Hanafi et al

Permite estimar la capacidad de carga del cuerpo de agua completo con base en el presupuesto de oxígeno. Según este modelo la capacidad de carga de la Laguna Corralero es de 9,735.3 toneladas (Ilustración 26) de peces en un momento dado.

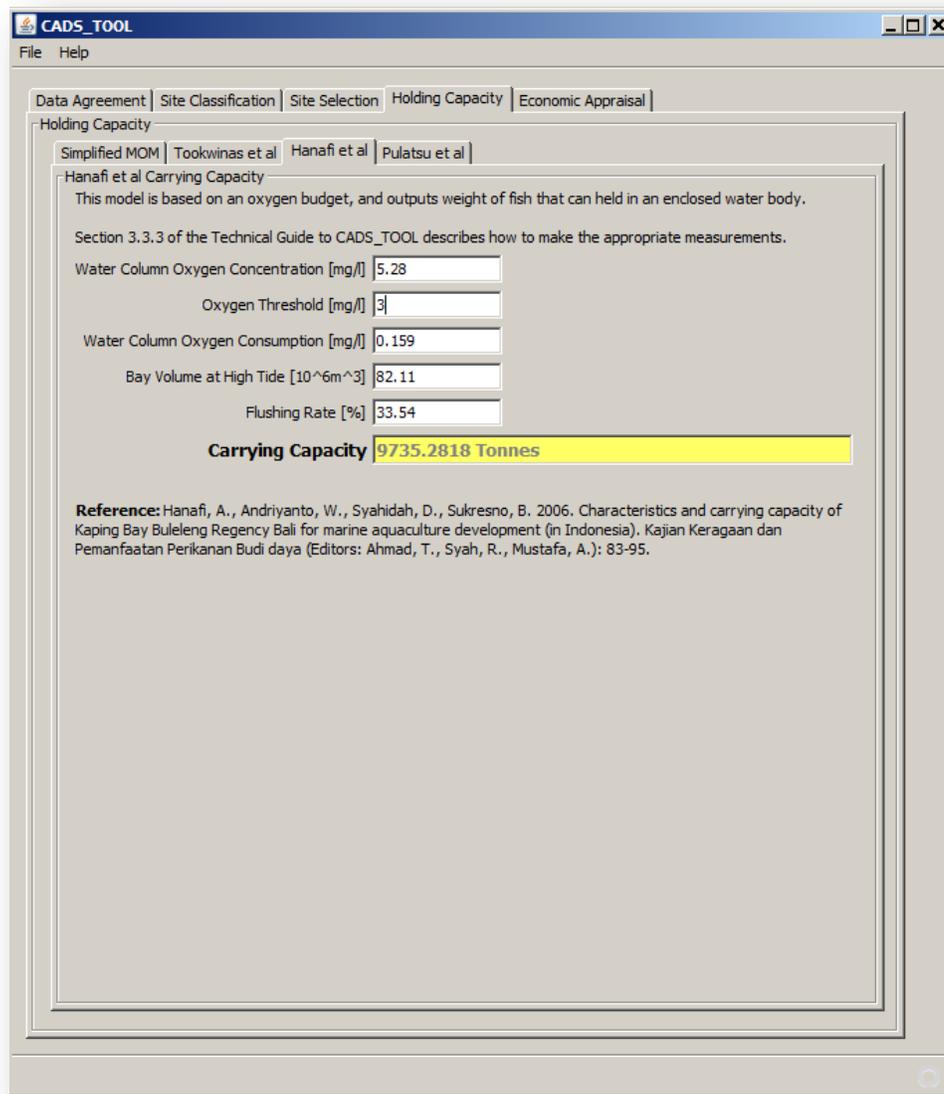


Ilustración 26. Capacidad de Carga con el modelo de Hanafi et al.

Pulatsu et al

El modelo calcula la capacidad de carga anual del sistema en base al fósforo y su relación con la productividad primaria. La capacidad de carga estimada para la Laguna Corralero es de 65,509.8 toneladas anuales de peces de cultivo (Ilustración 27).

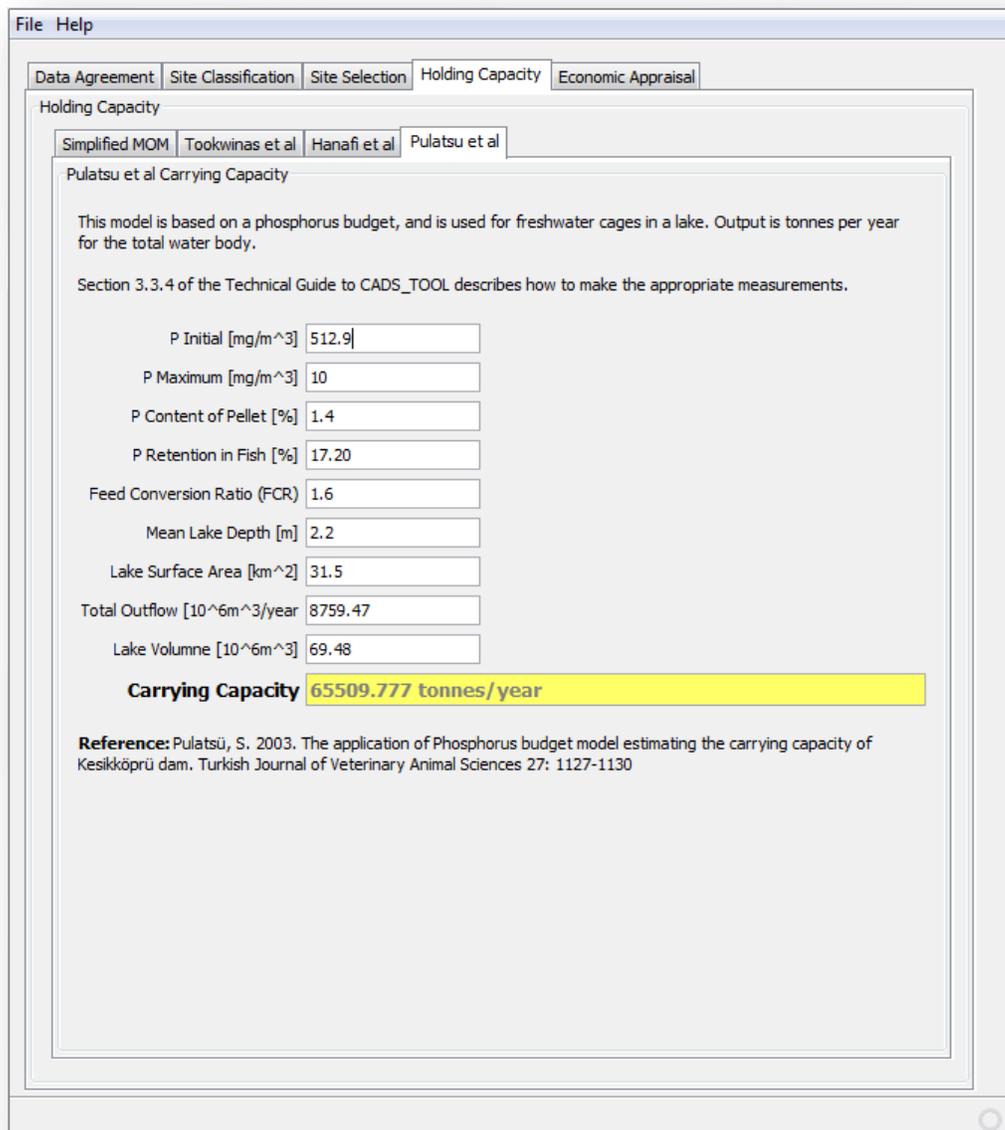


Ilustración 27. Capacidad de Carga con el modelo de Pulatsu et al

Tookwinas et al.

Modelo basado en el presupuesto de oxígeno, delimita la cantidad de biomasa que puede soportar la granja dada el área y las características de la misma. La capacidad de carga del área de cultivo (3.25 Ha) es de 20.9 toneladas (Ilustración 28).

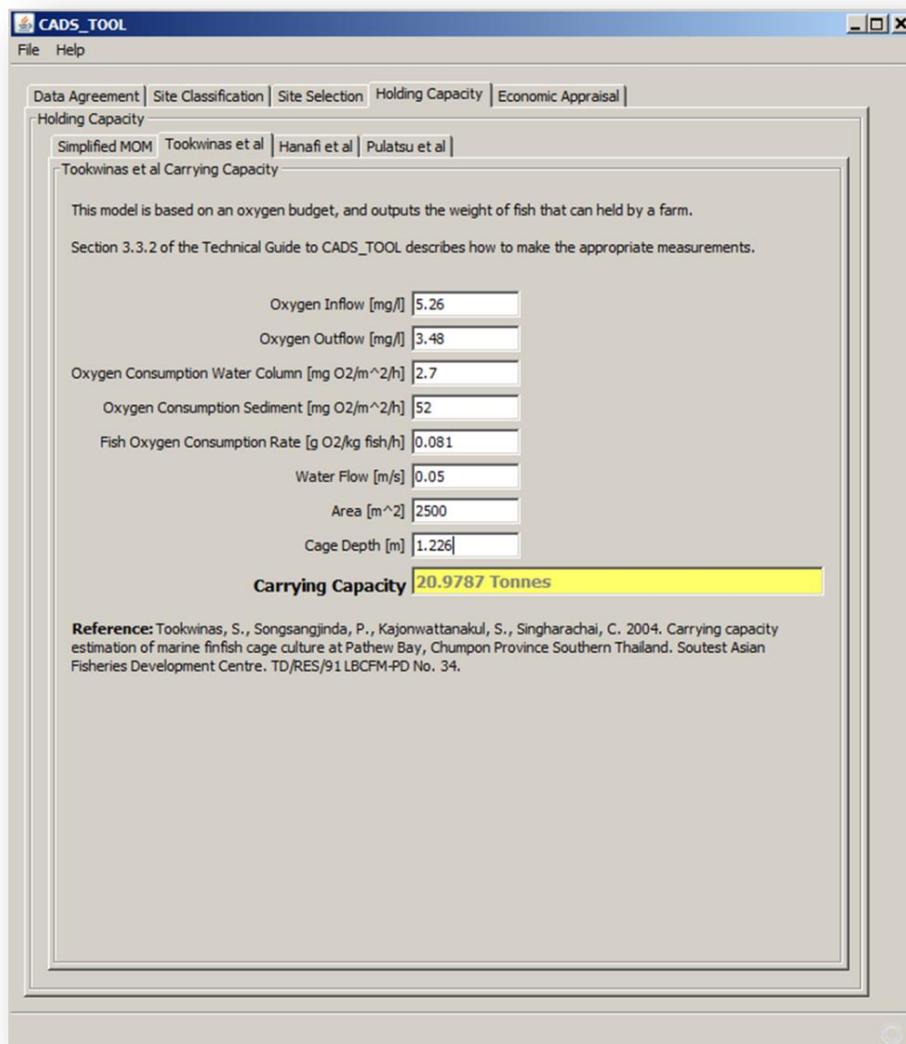


Ilustración 28. Capacidad de Carga con el modelo de Tookwinas *et al.*

Estos resultados limitan el desarrollo del proyecto a poco más de dos unidades MultiCo (más sus jaulas flotantes) para toda la Laguna Corralero; lo que trunca la posibilidad de establecer un parque acuícola, pues de las 32 unidades plantadas, sólo 2 podrían ser soportadas por el ambiente.

MOM Simplificado.

Densidad de peces por unidad de área que puede soportar el sistema dadas sus características ambientales. Permite calcular la densidad de peces que puede sustentar el sistema lagunar por unidad de área de cultivo. Dadas las condiciones lagunares, el modelo señala que es posible

mantener una carga de 19.3 kg/m³ (Ilustración 29) en el área seleccionada¹⁰⁸ para las jaulas flotantes.

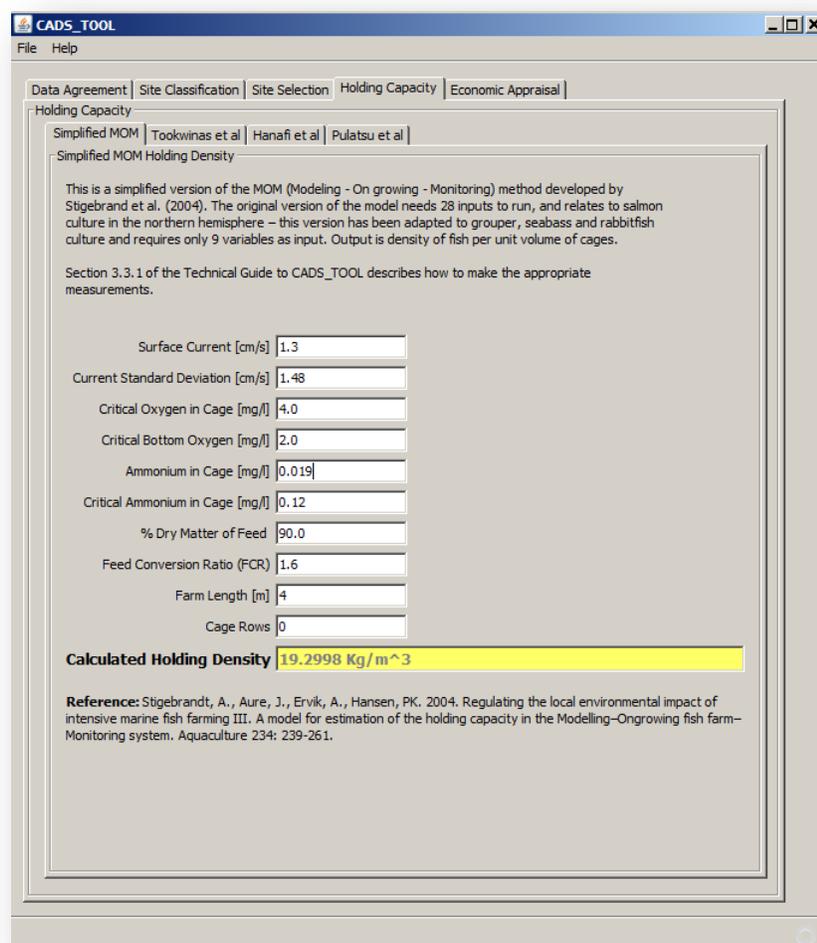


Ilustración 29. Capacidad de Carga con el modelo MOM simplificado

La densidad de engorda objetivo para las jaulas es de 20 kg/m³. Esta densidad está ligeramente por encima de la capacidad de carga del sistema, según los resultados del modelo MOM (19.3 kg/m³). Por tanto, es necesario reducir la intensidad del sistema considerando el principio precautorio, previendo contingencias por eventos de baja de oxígeno y los cambios de temperatura en la Laguna, que podrían conducir a mortalidades masivas.

¹⁰⁸ La superficie de la poligonal es de 32,500 m² (3.25 Ha), esto representa el 0.1 % de la superficie total de la laguna.

Diagnóstico de la sustentabilidad del proyecto considerando las capacidades de carga.

El objetivo de construir un parque acuícola en la Laguna Corralero y cosechar más de 657 Ton de peces marinos por ciclo (utilizando 768 jaulas flotantes), supera 16 veces la capacidad de carga de la laguna (física y ecológica). Esto pone en perspectiva la rentabilidad esperada de la tecnología, sus objetivos productivos y su potencial de transferencia a otras lagunas.

Las cantidades normales en la concentración de los nutrientes en las lagunas costeras de México sitúan a estos ecosistemas como tendientes a la eutrofia, por lo que un suministro adicional de nutrientes pone en serio peligro su ya relativa estabilidad (Contreras B. et al., 1996). Por ejemplo, en un trabajo de muestreo en 5 lagunas costeras de Oaxaca se concluye que dadas sus características físico-químicas son sistemas “que tienden a la hipersalinidad, de temperaturas usualmente elevadas, donde existen áreas con valores bajos de Oxígeno disuelto, ambientes ricos en nutrientes (algunas Lagunas como Manialtepec ya muestran señales de eutrofización), con niveles elevados de fósforo en los sistemas, donde las lagunas analizadas “resaltan por sus valores de productividad primaria altos” (Contreras E, *et al.*, 1997).

No es posible suponer que existe un gran potencial de transferencia a otras lagunas hasta estudiarlas individualmente. No hay pues una receta de sistema de producción sustentable que aplique a todos los casos (o fit-all). Y es que la presencia de sitios con características físicas adecuadas para engorda no implica que tengan la capacidad de carga ecológica apropiada para soportar una producción económicamente rentable, y al mismo tiempo sustentable. De la misma forma, una gran capacidad de carga ecológica a nivel lagunar no necesariamente implica que existan sitios donde las condiciones locales permitan engordar peces. Contrario a la idea inicial del proyecto, se encontró que no es posible sustentar los objetivos de producción con base en el emplazamiento de parques acuícolas. Los límites ambientales del sistema dejan entrever que el proyecto fue diseñado para generar flujos de dinero en hojas de cálculo, pero que dichas proyecciones se plantearon sin considerar las características de los sistemas ambientales.

A diferencia de la acuicultura realizada en tierra, los sistemas de jaulas flotantes emiten sus desechos directamente al ambiente¹⁰⁹, la mayoría son sólidos y partículas sujetas a sedimentación.

¹⁰⁹ Butz and Vens-Cappell (1982) calcularon que la producción de desechos fecales en jaulas de peces es de alrededor de 260 g de peso seco por cada kilogramo producido, es decir, 26% del alimento ingresado termina como desechos.

Al ser un sistema ecológico abierto la producción de gran cantidad de desechos y su liberación al ambiente puede tener efectos en diferentes escalas temporales y espaciales (interna, local y regional) (M.S. Islam, 2005). En Noruega por ejemplo, una granja promedio produce 900 ton de peces en un área de 9,000 m² de jaulas flotantes; sin embargo, debido a que las jaulas son un sistema móvil flotante, el impacto real es de alrededor de 76,000 m², afectando hasta 88% más área que el espejo de agua del cultivo definido (Kutti, *et al.*, 2007). Por lo anterior podemos suponer que el área de afectación del sistema de jaulas flotantes en la laguna corralero será mucho mayor al área donde se ubiquen las unidades de cultivo.

La producción proyectada tendría otros impactos difíciles de evaluar, ya que los impactos negativos de una producción no solamente se manifiestan a lo largo de la engorda, se acumulan y continúan meses después de la producción. Dichos efectos no son capturados en los sistemas de modelación o en análisis tradicionales de costo-beneficio, pues estos suponen que con cada producción hay un “borrón y cuenta nueva” en términos ambientales, lo que podría limitar aún más la capacidad real de producción. Por ejemplo, Brooks et al. (2001) estimaron la pérdida de peces en el ambiente asociada con la disminución de la biomasa de macro invertebrados y la huella ecológica de siete granjas (sistemas de jaulas flotantes) de salmón en Canadá. Sus resultados sugieren que existe una pérdida de entre 309.6 - 484.5 kg de peces silvestres en la cercanía de granjas que producían entre 492.3 y 1,081.6 toneladas. En otro estudio Brook (2007) encontró también que el periodo para la remediación después de un ciclo de producción es de alrededor de 6 meses en la parte química y de 9-12 meses en la remediación biológica. Además sugiere que los sedimentos son afectados negativamente hasta por 44 meses. Esto devela nítidamente que los ciclos económicos y los ciclos biogeoquímicos suelen tener temporalidades distintas, mismas que en muchas ocasiones limitan la dimensión productiva de los proyectos cuando se quiere que éstos sean sustentables.

Además de los impactos en el sistema lagunar, es necesario considerar los impactos terrestres asociados a la producción. Estudios realizados en Canadá señalan que la producción de una tonelada de salmón del Atlántico supone la interacción (huella ecológica), asociadas principalmente a la obtención de materias primas para el alimento balanceado y a la fijación de dióxido de carbono, de un área marina de 10,6 ha y una terrestre de 3 ha (Weber, 1999). Si consideráramos una huella similar para el sistema de producción nacional o el sistema MultiCo

veríamos un parque acuícola produciendo hasta 752.2 Toneladas por ciclo generaría un impacto o huella en 7,973.32 ha de área marina y 2,256.6 ha terrestres. Una unidad promedio de cultivo de camarón (100ha) bajo esta referencia generaría una huella de 5,936 ha marinas y 1,680 ha terrestres.

Los efectos al sustrato en cuerpos de agua con poca profundidad son difíciles de precisar y podrían variar mucho con respecto a los trabajos reportados. Adicionalmente en la laguna Corralero, por su abundancia, las especies dominantes son en su mayoría organismos juveniles en fase de crianza (Ahumada-Sempoal, 2002), por lo tanto cada kilogramo perdido puede generar un efecto multiplicativo que podría agudizar la disminución de la pesca que ya afecta a los pescadores locales.

9. Discusión

Autores como Chopin y colegas (2001) han señalado que es probable que los sistemas multitróficos integrados sean más sustentables que los sistemas de monocultivo ya que al depender de una fuente exógena de alimento y energía podrían generar un impacto ambiental menor, aun cuando no cuenten con procesos de mitigación. “La integración multitrófica es el paso lógico a seguir en la evolución de la acuicultura” (Soto, 2009), además de la bio-remediación se esperan ventajas adicionales importantes; mayor producción, un negocio diversificado, mayor seguridad y mayor rentabilidad¹⁶⁸. No obstante, como muestran los resultados de la medición de flujos de energía y materiales para nuestro caso de estudio, esto no es necesariamente cierto, más aún si el diseño inicial de la tecnología no contempla la optimización de dichos flujos. Lo que no se cuantifica no se puede mejorar o controlar, por lo que no existen evidencias que nos permitan suponer que los beneficios de la integración estarán presentes en una tecnología si no es a través de un esfuerzo consciente y claramente asociado a la aplicación del principio precautorio y a nociones de sustentabilidad.

La tecnología MutiCo plantea márgenes de ganancia de hasta 25% por kilogramo en la especie marina sin considerar externalidades, por lo que, de compensar por la afectación ambiental, ¿qué margen de ganancia quedaría? Smearman, et al. (1997) estimaron los costos externos de la producción de trucha en EU en un escenario de producción constante de 10 años. Con medidas de mitigación (sistema de filtración) estimaron un costo equivalente al 5.6% del costo total de producción. Sin medidas de mitigación, los daños ambientales ascienden a 25.2% del costo total de producción. Otro estudio similar estimó el costo por eutrofización de la producción de una granja promedio (jaulas flotantes) de salmón noruego (100 toneladas) (Folke, et al., 1994), encontrando que el daño ocasionado por la liberación de nutrientes equivale al 15-16% de los costos de producción de la granja. Existe también un debate sobre el tratamiento que se le debe dar a el costo de oportunidad del espacio ocupado por el cultivo de jaulas, su ubicación puede impedir la pesca, recreación u otras actividades generando una externalidad no propiamente

¹⁶⁸ Como ejemplo podemos citar el cultivo de salmón, mejillones y macroalgas, en donde el salmón es el cultivo principal, y los mejillones y macroalgas se usan para aprovechar los desechos orgánicos (alimentos no consumidos) y los desechos inorgánicos (nitrógeno y fósforo) producto de la descomposición de las heces y el alimento no consumido (FAO, 2012)

internalizada en los costos privados a través de un esquema de compensación (Hoagland, Jin y Kite-Powell, 2003).

Si el camarón producido en México se vende con un 15% de margen (FIRA, 2009), de considerarse el costo por afectación ambiental en el precio —usando una perspectiva de economía ambiental, propiamente de sustentabilidad débil o que reduce todo valor ambiental a valor monetario—, el margen de ganancia podría no superar los costos ambientales ocasionados por la producción.

El argumento de la compensación depende de la existencia de bienes alternativos que puedan adquirirse para sustituir lo que se ha perdido. Sin embargo, aún no es claro cuáles podrían ser los bienes sustitutos (Martínez Alier, 2007). El objetivo por lo tanto no es castigar a quienes contaminan, sino evidenciar la importancia del entorno natural y la imprevisibilidad de su gestión y manejo (Krutilla et al., 1985). Desde el punto de vista social, el dinero también puede llegar a ser un factor disonante en el contexto de las comunidades marginadas en tanto que el aumento súbito del ingreso no necesariamente garantizará el bienestar de los actores involucrados.

En el 2008 la Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) planteó la meta de llegar a una producción acuícola de 1 millón de toneladas para 2030, partiendo de una producción de 151 mil toneladas. Es difícil estimar el impacto de los objetivos de producción planteados, sin embargo se espera un aumento en el esfuerzo pesquero (o importación) para la obtención de harinas de pescado, así como la emisión agregada de contaminantes (como nutrientes y dióxido de carbono). Y es que es necesario capturar entre 5 a 10 kg de peces de alto valor proteico (jurel, anchoveta, sardina, merluza) para transformarlo en 1 kg de harina de pescado (Cárdenas, 2004), que será utilizada para producir alimento procesado. Por tanto, se puede suponer un aumento en la pesca de peces no comerciales para alimentar a peces de valor comercial, cuestión que acarrea todo con un costo energético y material considerable a lo largo de la cadena productiva que si bien económicamente puede ser atractivo, ello no necesariamente es así visto desde la dimensión socio-ambiental.

Por otro lado, se puede prever que el desarrollo de nuevas tecnologías competirá por espacio y recursos con los sitios naturales de crianza de peces silvestres y con los pescadores que dependen de estos. Es necesario, por lo tanto, desarrollar la regulación pertinente para el empuje de un manejo ambiental que ayude a mitigar los conflictos sociales y ambientales inherentes al desarrollo de la acuicultura en México.

El gobierno, la iniciativa privada y la academia tienen un rol crucial en garantizar la disponibilidad de información confiable para el desarrollo de nuevos modelos y de poner a disposición de las partes interesadas las herramientas necesarias para el monitoreo de la actividad. Uno de los riesgos de no contar con estas herramientas es que los proyectos acuícolas de desarrollo comunitario, que aparentan ser “sustentables” (y rentables), generen no sólo pérdidas económicas, sino daños ambientales y sociales, yendo de un sitio a otro y de una solución tecnológica a otra en busca de recursos para la concentración de riquezas, sin evitar o cuando menos reparar los daños. Es posible preguntarse si bajo el paradigma actual tenemos las herramientas para filtrar los proyectos verdaderamente innovadores (en términos sociales y ambientales), o si estamos sesgados por una sola visión, esto es, la visión que justifica la búsqueda egoísta del bien individual para desde ahí eventualmente alcanzar el bien común.

No cabe duda de que la acuicultura constituye una importante alternativa para mitigar la pobreza y combatir la falta de alimentos, pero es necesario pensar a largo plazo y considerar que un proyecto mal planteado puede generar impactos graves a diferentes escalas, tanto espaciales como temporales; como hubiera sucedido con el sistema MultiCo y el modelo de parques acuícolas de haber continuado.

Debido a la gran cantidad de insumos que moviliza la acuicultura, se puede afirmar que su metabolismo es equivalente al de las poblaciones humanas (Miranda et al., 2009) por lo que requiere de un flujo constante de insumos para mantenerlo y hacerlo crecer. Considero que es justo comunicar con oportunidad estos flujos y sus efectos a las personas que habitan en las comunidades que compartirán el uso de los servicios ambientales con estas tecnologías.

1. Diagnóstico

Considerando la metodología de Ross, et al. (2013) *El proyecto tiene un balance negativo final en términos de sostenibilidad en todas las escalas estudiadas.*

El sistema Multico es menos sostenible que el sistema de producción nacional ya que existe gran incertidumbre sobre la lógica que sustenta los objetivos de crecimiento y su viabilidad en términos ambientales. En el uso de recursos la modelación de la tecnología muestra el potencial de los sistemas integrados pero también sus impactos, como la emisión de gases de efecto invernadero y consumo de insumos (sin considerar su transporte y destino final).

A continuación se describen los elementos considerados para este diagnóstico:

- a. Fallamos evaluando la capacidad de carga física; es decir, la competitividad o idoneidad de la comunidad la Noria para establecer el proyecto, supusimos mayor potencial acuícola del que en verdad poseía. Las decisiones se basaron en criterios personales y fechas de entrega arbitrarias, en vez de criterios técnicos u operativos. Esta lectura deficiente de la situación generó gastos adicionales, pérdida de tiempo, afectaciones ambientales, salinización de áreas de la parcela escolar; y un despliegue entorpecido desde el comienzo que propició diversos abusos sobre los acuerdos con las comunidades y los trabajadores.
- b. La capacidad de carga física muestra que los sitios con potencial para el desarrollo de la tecnología son muy escasos. En el caso particular de las jaulas flotantes existen pocas áreas con potencial para cultivo con la tecnología propuesta; en México las lagunas costeras son someras, con altas concentraciones de nutrientes y materia orgánica. Además es importante resaltar que estos ecosistemas actualmente son aprovechados por varios grupos humanos con diferentes intereses ¿Quién tendrá acceso para aprovechar las áreas con potencial?.
- c. No se pudo probar la unidad base como fue diseñada y por lo tanto los objetivos o beneficios del sistema MultiCo aún no poseen sustento técnico robusto que los valide. El diseño original se transformó radicalmente para ajustarse a las constricciones de la realidad, por lo que la prueba de la tecnología no se basó en la disponibilidad de organismos adecuados para engordar, en la presencia de agua de calidad y de una descarga adecuada (buscando mitigar los impactos o reducir los riesgos de introducir especies invasoras), o en las posibilidades de estar dentro de una escuela rural en una comunidad con alta marginación. Una consecuencia de lo anterior es que los resultados de la simulación de la escala MultiCo y los flujos (y objetivos financieros que sustentan), puede en la realidad variar mas de lo proyectado para su despliegue.
- d. La capacidad de carga ecológica mostró que el diseño del desdoblamiento externo no es viable en la Laguna Corralero. Además con base en los límites del sistema modelados en la herramienta CADs_TOOL, el desarrollo del proyecto se limita a poco más de 2 unidades MultiCo en toda la Laguna Corralero (y no las 32 planteadas para dicha laguna, equivalentes a 1 parque acuícola), poniendo en perspectiva el potencial de desarrollo en otras lagunas y la viabilidad financiera del modelo de parques acuícolas.
- e. La tecnología no tuvo un uso más eficiente de los recursos en la prueba. En la prueba se consumió más agua por kg producido y por hectárea, más energía y más alimento,

generando mayor cantidad de desechos y emisiones por kg y por ha. Esto significa que en la mayor parte de los indicadores evaluados para estimar los impactos potenciales, la prueba del sistema resultó menos sostenible que el modelo más común de cultivo de camarón a nivel nacional.

- f. Al comparar la eficiencia en el uso de recursos de la modelación del sistema integrado MultiCo contra el sistema más común de monocultivo nacional, se encontró que la tecnología MultiCo consumiría menos agua por kg, menos energía, menos alimento, liberando menos nutrientes y desechos al ambiente. Sin embargo, consumirían más insumos y más agua por hectárea (ejerciendo mayor presión en términos hídricos en la zona donde se establezca), generando más emisiones por kg y por ha (hasta 24.4 veces más CO₂ que el sistema de cultivo de camarón nacional). Los resultados ayudan a identificar oportunidades para optimizar el consumo y flujo de energía y materiales dentro de un sistema acuícola, sustentando la necesidad y beneficios de diseñar tecnologías integradas.

En resumen: El proyecto no es sostenible ni favorecerá a los actores involucrados a menos de que se reconsideren sus objetivos y diseño con base al análisis de la capacidad de carga de los sitios que los sustentan.

Lo dicho contrasta con la visión de FAO pues sostiene que, *“...todo proyecto acuícola nuevo debe asegurar el bienestar de los participantes, los grupos rurales y los grupos sociales vulnerables deben tener beneficios (o al menos no deben ser afectados), especialmente si existen costos ambientales”* (FAO, 2008).

Existen otras restricciones importantes en la capacidad de carga productiva como conseguir o producir los juveniles de peces marinos, ya que la colecta de peces silvestres o su importación no es viable. No es trivial conseguir las cantidades de insumos necesarios (muchos de ellos importados) incluyendo alimento de calidad en tiempo y forma en un área remota, además pueden suscitarse reacciones inesperadas si no existe una buena comunicación con la gente que observa y transita los caminos que transportaran los flujos de energías y materiales necesarios para operar una unidad como ésta.

Adicionalmente, cada kilogramo ingresado tiene una serie de flujos previos (de producción, transporte) y ocultos (como pesca de acompañamiento) que no consideramos en esta medición,

ya que nos enfocamos únicamente al eslabón productivo. No se incluyó tampoco el consumo de energía y materiales para la construcción de las instalaciones o el transporte del personal por más de 6 años, ni los más de 4 km construcción y mantenimiento adicional de tuberías para la toma de agua. Otro proceso que no se cuantifica es la captura y aclimatación de miles de juveniles de robalos colectados en la laguna, y el proceso que le antecedió para aprender a capturar y transportar con éxito los juveniles desde zonas remotas de la laguna (Anexo 11 (11.11) Protocolo de Colecta)

Tabla 16. Resumen de las actividades relacionadas con el desarrollo de la acuicultura y sus posibles impactos identificados en los sistemas estudiados

Posibles impactos socio económicos y ambientales del desarrollo de la acuicultura				
Actividades	Posibles Impactos	Cam	MX	Prueba MultiCo
Conversión de manglar a estanques de cultivo y	Disminución en los productos y servicios derivados del manglar	X		
Conversión de tierras de cultivo a estanques	Reducción en la producción agrícola		X	X
Uso de Agua superficial y subterránea	Intrusión de agua salada	X	X	X
	Salinización de acuíferos		X	X
Descarga de Efluentes	Reducción de la producción de granjas aledañas	X	X	X
	Auto contaminación	X	X	X
	Contaminación de cuerpos de agua continentales y costeros	X	X	X
Uso de Químicos, Antibióticos, etc.	Riesgos en la salud pública	X	X	X
Especies exóticas o nuevas	Alteración de la biodiversidad		X	X
	Esporcimiento de enfermedades	X	X	X
Cultivos intensivos de gran escala	Conflictos con granjas más pequeñas y pescadores		X	X
	Distribución no equitativa de las ganancias	X	X	
	Reducción de la oferta de empleo para mano de obra no capacitada	X		
Cultivo en Jaulas o Encierros	Aumento de la presión sobre la tierra y los cuerpos de agua continentales	X	X	X
	Reducción de la pesca en las área de cultivo	X		X
	Conflictos con la navegación, recreación y población local		X	X
Demanda de alimento y fertilizantes	Competencia que promueve aumento en los precios	X		X
	Incremento en la oferta de empleo en estas industrias	X	X	X
Incremento en la producción acuícola	Mas peces a menor precio			X
	Incremento en el empleo en varios sectores	X		X
	Incremento en las ganancias por exportación	X		X
	Conflictos con otras actividades económicas.	X	X	X

En algún momento comenzamos a planear la captura de más organismos para instalar otro tanque para engorda de juveniles de robalo. Las cooperativas pesqueras se opusieron rotundamente cuando reiniciamos las capturas, manifestando su desaprobación al proyecto y culpándonos de una posible afectación a la pesca de ese año ya que hubo “menos camarón” (en reuniones ejidales tensas). Este incidente subraya lo delicado que es intervenir un sistema donde tanta gente tiene

intereses de primer orden en un ecosistema, evidencia también el fracaso del proyecto en términos sociales; antes de terminar la prueba la mayoría de las cooperativas de al menos 3 comunidades (incluyendo Minitán), no querían saber más del proyecto y lo identificaban como un agente negativo.

Al igual que con la tecnología MultiCo la sustentabilidad del cultivo de camarón en México se debe cuestionar, aun considerando que la piscicultura destaca por su eficiencia para producir alimento relativo a otras actividades pecuarias (FAO, 2006). Ambos son productos o commodities "de lujo" cuyo desarrollo involucrara (como se discutió al analizar los flujos de energía y materiales) diversos impactos ambientales y socio-económicos adversos que son difíciles de estimar, por ejemplo el incremento del esfuerzo pesquero (y su correspondiente pesca de acompañamiento y afectación a pescadores rurales) y la liberación de nutrientes y gases de efecto invernadero previos y posteriores a la engorda. El acelerado ritmo de crecimiento de la industria de camarón escapó de la planeación y regulación que cualquier ejercicio de ordenamiento territorial pudo haber sugerido (WWF, 2010). Un ejemplo de la falta de regulación y métodos de valoración de los impactos de la producción es la cantidad de nutrientes desechados al mar por esta industria, (Miranda A. *et al*, 2009).

“No obstante su éxito económico, sería deseable que la camaronicultura estableciera y cumpliera metas ambientales” (WWF, 2010). Sobre todo por los impactos a nivel local, donde ya se han presentado enfermedades y abandono de áreas de cultivo (Ruiz Luna, 2003). Algunos organismos internacionales han planteado que el cultivo de camarones aumenta los ingresos de los trabajadores que se vinculan a ello, pero según autores como Galli, *“se pierde más con la ocupación de la tierra, los desalojos por este concepto y el cambio de vocación productiva, esto sin contar los impactos ambientales a las zonas costeras”* (Galli, 2007)

La maximización de los volúmenes de producción del camarón cultivado ha encontrado su mayor obstáculo en la saturación de los mercados y la caída de los precios por sobreoferta (WWF, 2010). Aunque los precios pagados a los productores son bajos (sin incluir compensaciones por externalidades que pueden ser de hasta el 25% del costo de producción), el costo de compra para el ciudadano común sigue siendo alto (WWF, 2010).

La producción nacional de robalo según el anuario estadístico de SAGARPA¹⁸⁸ (2013) fue de 8,086 Ton a nivel nacional (equivalente a \$ 379 Millones de pesos) un volumen muy cercano a la producción proyectada para 10 parques acuícolas de la tecnología MultiCo. Podemos suponer entonces que los volúmenes de producción planteados para el modelo de parques acuícolas afectarían el mercado de una forma difícil de predecir y competirían contra pescados como el Barramundí asiático, el jurel (*Seriola rivoliana*) y otros pescados de carne blanca.

La producción de alimentos siempre generará desechos, sin embargo, desde la sustentabilidad débil se argumenta que “es posible minimizar sus efectos en el ambiente abatiendo los niveles de contaminación y monitoreando que los desechos liberados permanezcan dentro de la capacidad asimilativa del ambiente”. Cuando esto no se consigue, es necesario definir la cantidad “correcta” de daño o contaminación que será liberada al ambiente, en función del costo social de remediar el daño; cada unidad incremental de contaminación debe ser al menos igual al beneficio social que genera dicha afectación” (Bartley, , 2007).

Lo anterior supone un mercado que funciona adecuadamente con derechos de propiedad bien definidos, donde los contaminadores y los afectados negociarían una compensación. Según esta visión cuando ambos grupos tienen el mismo poder de negociación y se llega a acuerdos ya que el sistema tiende al óptimo social, sin importar quien posea los derechos sobre la propiedad. Según Coase (1960) una vez que los derechos de propiedad quedan establecidos, la intervención pública deja de ser necesaria para tratar el problema de las externalidades.

Sin embargo, en el mundo real no existe la competencia perfecta y generalmente los poderes de negociación no son iguales entre los afectados y los que contaminan, se contempla además que quienes tienen la propiedad de los recursos pueden identificar la causa de los daños a su propiedad e impedirlos por medios legales; lo anterior por ejemplo, no es cierto en el contexto de una comunidad altamente marginada de la costa de Oaxaca, frente a los diversos y complejos impactos de un proyecto acuícola.

“La consecuencia en términos de contaminación vinculada a actividades productivas es que el “óptimo” nunca será alcanzado, con degradación no compensada ocurriendo en ventaja del que posee mayor poder de negociación. La posibilidad de negociaciones justas es aún más remota en

¹⁸⁸ Disponible en http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2013

el contexto de los recursos “comunales” donde los contaminadores, los usuarios de los recursos, los beneficiados y los afectados pueden ser las mismas personas” (Bartley, 2007).

Otras complicaciones pueden surgir cuando la información es conocida por una parte pero no por la otra, o cuando los desarrolladores son poderosos y poseen influencias que los afectados no poseen. Estas razones explican en parte porque el “equilibrio” no se alcanza espontáneamente y por qué la degradación ambiental continua ocurriendo. El gobierno y las instituciones en teoría son responsables de corregir este desbalance, sin embargo por lo general no están en posición de lograrlo (Bartley, 2007).

Los cambios en el marco regulatorio internacional se han encaminado a tener mayor control sobre la liberación de permisos para desarrollo de la pesca y la acuícola en el mundo, sin embargo, en pocos países ha existido el interés por estimar la capacidad de carga a nivel sistema para identificar y calificar el potencial real de las zonas con vocación productiva antes de liberar permisos (Ross, *et al.*, 2013). Según la FAO (2013) “estimar la capacidad de carga es una de las herramientas más importantes para evaluar no solamente la sostenibilidad ambiental de la acuicultura, ya que no se limita a asuntos de la escala de una granja o una población, sino que también se puede aplicar a ecosistemas y escala global”.

Podemos imaginar entonces que todas las actividades humanas tienen límites similares a los de la pesca o los de un sistema acuícola (como una pecera, una laguna costera, una nave espacial o el planeta tierra), donde hay un metabolismo con una cantidad limitada de recursos y una capacidad limitada para asimilar desechos, la existencia de cualquier proceso requerirá a su vez un flujo constante de energía y materiales para mantenerlo creciendo, generando diversas interacciones con el resto del sistema. Nuestras tecnologías de producción de alimento deben reflejar este entendimiento para abastecer las generaciones presentes y futuras de proteína y alimentos de calidad.

7.2 Reflexiones finales

La humanidad enfrenta grandes retos ambientales, destacando el cambio climático, la escasez de recursos y la pérdida de biodiversidad. Desde el punto de vista social observamos un incremento en la desigualdad y la pobreza. Al mismo tiempo, nuestra dependencia en el modelo de

crecimiento económico, la innovación y las soluciones tecnológicas podrían generar una situación “sin salida” dentro del sistema; limitando la capacidad de respuesta frente a estos retos o inclusive contribuyendo a empeorar la situación actual (Lorek et al., 2007). Por ejemplo, aun cuando el mundo produce suficiente alimento para alimentar a 7 mil millones de personas¹⁸⁹ (toda la población mundial), una de cada ocho padece hambre. Por otro lado, en algunos países uno de cada tres niños tiene padece obesidad (FAO, WFP & IFAD, 2012).

Enfrentamos una inundación de alimentos industriales de bajo costo y deficiente calidad nutricional. El consumo inducido por la mercadotecnia de estos alimentos “chatarra” trae como consecuencia la otra cara de la desnutrición: la obesidad y la malnutrición (Rivera et al., 2012). El enfoque es producir dinero, no alimentos en tanto que, como commodities, todos los bienes son intercambiables bajo la escala única del valor monetario (Levins, 2009). ¿Qué sucedería si la agricultura y la acuicultura estuvieran enfocadas en mejorar directamente la calidad de vida de las personas y no solamente en producir dinero?, ¿Qué clase de agricultura y acuicultura serian estas?, dicha postura supera el enfoque actual de maximizar la producción sin consideración de límites ambientales (Levins, 2009).

Bajo el enfoque productivo actual se considera que “más” implica “mejor”, sin embargo, como se muestra en este trabajo, el aumento en la productividad se traduce en mayor presión y riesgos ambientales (para abastecer recursos, absorber desechos y evitar enfermedades). Ya que es complejo evaluar los impactos reales de la generación de un producto, aun las tecnologías que buscan un uso más eficiente de los recursos deben partir del entendimiento de su interacción con los ecosistemas que afectarían.

En este sentido, la noción convencional de desarrollo sustentable supone que para que haya sustentabilidad es necesario también el crecimiento económico. Se acepta de manera generalizada la sustitución de recursos y/o especies y su valor intrínseco por otros “similares” o en su defecto por diferentes tipos de capital. El desarrollo se plantea en un solo eje que va de más desarrollado a menos desarrollado. La tarea de los menos desarrollados es avanzar lo más rápido que puedan sobre este camino, de la misma forma que los países desarrollados lo hicieron en el

¹⁸⁹ Alimentar al mundo implica la liberación de aproximadamente 17 mil mega toneladas de CO2 a la atmosfera anualmente, contribuyendo al cambio climático (CGIAR, 2012).

pasado (Levins, 2009); crecer primero y limpiar después¹⁹⁰. Este discurso propone la ‘despolitización’ de la vida social, al presentar los problemas desde una perspectiva técnica y al limitarse a plantear remedios de esta misma índole. Pocas veces pretende descubrir las causas de la pobreza que describe, sus orígenes (parece que ésta existiera desde tiempos inmemoriales o que se precipitara sin razón aparente). Sólo se detiene en sus consecuencias y en las posibles soluciones, las cuáles —incluso cuando las formulan ONGs— no escapan del marco exclusivo que definen la economía y la tecnociencia (Guadarrama Sánchez, 2001). El desarrollo sustentable es en esencia de modalidad arriba-abajo, lo que choca con las realidades locales, que lejos de ser uniformes, son heterogéneas y complejas. Tal vez una mirada más eficaz sea empujar procesos de arriba-abajo y de abajo-arriba en paralelo y con la misma relevancia.

El bienestar de los individuos se percibe como la meta de la intervención social, lo cual implica el mejoramiento de las condiciones de vida y tener cubiertas las necesidades esenciales: alimento, techo, vestido, sentirse seguro y libre, no estar enfermo y no vivir en condiciones degradantes de pobreza. Según la sustentabilidad débil "lo anterior se configura con salarios suficientes, seguridad social, servicios públicos, acceso a la cultura, la recreación y el deporte, lo que es distinto en cada época y entre los individuos" (Guadarrama Sánchez, 2001:52-54). De esta forma, es necesario tener en mente que, a menudo, las nociones de bienestar se derivan del pensamiento liberal, cuya universalidad también es necesario cuestionar; ¿la erradicación de la pobreza y la sostenibilidad debe ser un producto de la conciencia y la moralidad individual o debe ser el gobierno quien asegure un cuerpo de derechos inalienables al ser humano?

Frecuentemente se asume que se puede alcanzar un consumo sustentable con mejoras en la eficiencia (energética) a través de soluciones tecnológicas, y que estas soluciones tecnológicas se esparcirán gracias a que serán demandadas por el mercado (Lorek et al. 2007). Dicho acercamiento, propio del discurso de la economía verde, es limitado en su capacidad de proveer soluciones a los retos actuales de sustentabilidad, por su incapacidad de asimilar el concepto de “límites” ambientales, de reconocer las limitaciones del efecto rebote (cuando las eficiencias ganadas a nivel relativo son sobrepasadas por el aumento en los patrones de consumo en términos absolutos), y por la falta de atención a temas como la justicia socio-ambiental.

¹⁹⁰ Así definen autoridades Chinas su propio patrón de crecimiento, el mismo patrón que logró en su momento el desarrollo de Inglaterra, América y Japón (The Economist, 2013)

La demanda de productos “verdes” o alimentos producidos éticamente puede forzar a los productores a implementar medidas para minimizar la contaminación y los daños ambientales de sus mercancías o servicios y de esta forma generar un estándar por encima de la regulación gubernamental (e incluso presionando a que ésta sea eventualmente más exigente). Sin embargo este enfoque tampoco es suficiente ya que no plantea mecanismos para monitorear la salud de los ecosistemas considerando los impactos acumulados de las diferentes actividades productivas que soportan.

La conclusión que se hace más evidente cada día, es que la solución a esta situación de desequilibrio debe originarse en un cambio de paradigma basado en un nuevo contrato social, en el que se replanteen la relación y la jerarquía entre los derechos individuales y los derechos sociales; se entienda que los derechos y las responsabilidades deben ir de la mano, y se rescate y se ubique en el más alto nivel el valor del interés colectivo y el sentido de lo público (Guhl, 2002), y en sí, de la vida misma.

La materialización de estos nuevos conceptos requiere cambios culturales profundos que permitan la transformación de las actitudes y comportamientos de la sociedad, mediante la apropiación de una visión diferente de su relación con la naturaleza y de su papel en ella: una tarea enorme y de largo plazo que debe emprenderse de inmediato.

En el corto plazo, se requiere una forma diferente de gestión ambiental mucho más proactiva, participativa, y con mejores herramientas, que permita una gestión y regulación más estricta; inspirada en la búsqueda de mejores condiciones de vida con justicia socio-ambiental a partir de lo local y lo regional, que es donde, al fin y al cabo, se materializan los problemas.

10. Conclusiones

No existe evidencia de viabilidad técnica, económica o ambiental para los objetivos y proyecciones de la tecnología MultiCo bajo su diseño inicial o cualquier otro que no incorpore la capacidad de carga en sus diferentes dimensiones. La tecnología no es más sostenible que el sistema de cultivo de camarón más común a nivel nacional.

La medición de flujos de energía y materiales permite identificar oportunidades en el diseño de tecnología para la producción de alimentos diseñados desde el enfoque ecosistémico de la acuicultura. Aunque los resultados de modelación de flujos muestran un potencial interesante en la tecnología; su implementación no es viable y requiere un redimensionamiento total basándose en las capacidades de los ambientes objetivo que la podrían albergar. Para la dimensión socio-ambiental, es tan importante considerar el impacto de la producción como su rentabilidad.

Desde ambas dimensiones (socio-económica y socio-ambiental) la medición y el análisis de estos flujos es un tema central de competitividad que irá cobrando cada vez más relevancia. Un proyecto integrador no solamente se enfocaría en la optimización y la generación de ingresos desde la dimensión socio económica, debe considerar muchas otras dimensiones para alcanzar una toma de decisiones más efectiva, inteligente y humana. Lo anterior cada vez es más necesario y factible dadas las diferentes herramientas tecnológicas disponibles para la toma de decisiones (financieras, productivas y ambientales), donde suponemos un futuro con mayor entendimiento de los ecosistemas y de nuestra interacción y relación con el planeta.

Los resultados muestran las posibilidades de los sistemas integrados en el contexto de una comunidad de alta marginación y los riesgos e impactos de su implementación. Una dirección con capacidad de adaptación al cambio es un elemento central en el éxito de un proyecto acuícola.

Finalmente, aunque un consejo científico sobresaliente respalde un proyecto, esto no garantiza su éxito si las condiciones iniciales y las tomas de decisiones directivas no se basan en los elementos técnicos y socio ambientales disponibles.

11. ANEXOS

1. Importancia de la Pesca en México: “Una historia de pobreza crónica”.

Los pescadores artesanales son importantes para este trabajo debido a que son los principales usuarios de los servicios ambientales necesarios para desarrollar acuacultura en zonas costeras. Además, son parte de los actores que aprovecharían la tecnología propuesta considerando que actualmente presentan niveles elevados de marginación y desnutrición debido a la falta de oportunidades. Según el enfoque ecosistémico de la acuacultura *“la acuacultura debe mejorar el bienestar humano y la equidad para todas las partes involucradas”* (FAO, 2008). Tiene sentido preguntarse entonces; sobre todo si se plantea una propuesta productiva de “desarrollo comunitario”, ¿Cuál es su contexto y su historia?, ¿Cómo llegaron ahí?, ¿Por qué sufren marginación?, ¿Cómo les afectará la sobre explotación pesquera y el cambio climático?, ¿Qué impactos de la acuacultura los perturbarán y que servicios ecosistémico compartiremos?.

Por definición un pescador es una persona que se dedica a la pesca por oficio o por afición, y en México se distinguen tres tipos:

- Pescador Artesanal, es aquel que utiliza artes de pesca poco tecnificados y embarcaciones menores o de pequeño calado (cayucos, pangas, lanchas de fibra de vidrio) y que capturan en aguas ribereñas patrimoniales y los volumen de captura se destinan principalmente a la subsistencia y/o a la venta en un mercado local o regional.
- Pescador Industrial, es el que trabaja en embarcaciones de mediano o gran calado equipadas con tecnología pesquera y sistemas de orientación imprescindibles en mar abierto, y cuyo producto se destina mayoritariamente a la venta en un mercado más amplio (nacional y/o internacional).
- Pescador Deportivo, es el que realiza la pesca con fines recreativos o deportivos. Las embarcaciones tienen características diversas que pueden realizar la actividad con equipo mínimo y austero hasta contar con una tecnología avanzada.

La CONAPESCA en el 2011 registra 271,431 personas relacionadas con la actividad pesquera, donde 222,744 se dedican a la captura (82%²⁰³) y el resto, (18%) se dedica a la acuicultura equivalente a 48,687, (CONAPESCA 2012). De las 82,069 embarcaciones registradas, 3,181 son de pesca de altura y 78,888 de pesca ribereña.

La actividad pesquera contribuye aproximadamente con el 0.18 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, el aporte al PIB agropecuario es igualmente discreto (periodo 1998-2004), ocupando el último lugar (3%) con una tendencia a la baja para el último año (2.1%) (Satinelli, 2009). Por su parte, la agricultura participó con más del 60%, la ganadería con el 25%, y la silvicultura con poco más del 4%. Esta condición económica repercute en la atención que se le da al sector (Satinelli, 2009).

Los pescadores enfrentan un reto complejo; por un lado deben utilizar los recursos marinos (cuyo acceso se considera “libre”) de manera sustentable y por el otro, deben convencer a las autoridades en turno de que su actividad es alimentaria y socialmente relevante, cuando en realidad no tienen estadísticas que los soporte por falta de regulación.

Esta falta de información²⁰⁴ contribuye a que los recursos de los programas gubernamentales para productores artesanales sean escasos y se proporcionen de manera tardía y/o no les lleguen. Adicionalmente los productores generalmente no comprenden las Reglas de Operación publicadas por el Ejecutivo Federal para concursar por recursos. En el caso de los apoyos gubernamentales tenemos el ejemplo del programa de Acuicultura y Pesca 2003- 2006 donde de un total de 265

²⁰³ En el año 2011, el volumen de la producción pesquera registrada en peso desembarcado asciende a 1,660 mil toneladas en peso vivo (CONAPESCA, 2012).

²⁰⁴ La recolección de estadísticas pesqueras se efectúa a través del sistema integral de registro de información pesquera de la Comisión Nacional de Pesca. Los pescadores registran información sobre su actividad en las oficinas de pesca de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en formatos conocidos como “avisos de arribo”. La información, además de la fecha y lugar en que se efectúa el registro, comprende lo relacionado con la captura por especie o grupo de especies, por lugar de pesca y por lugar de desembarco. Esta información es la base en que se apoyan las autoridades pesqueras para la toma de decisiones y que se materializa en los anuarios estadísticos de pesca y los informes técnicos que las sustentan. (CONAPESCA / Ramírez-Rodríguez, 2009). Los problemas de la recolección de estadísticas oficiales de producción pesquera comprenden desde la definición de variables a considerar, hasta la capacitación de los primeros involucrados en el sistema: pescadores y oficinistas. Existe incertidumbre asociada a valores estimados a partir de los “avisos de arribo” ya que pueden existir errores en procedimientos seguidos por los productores y al momento de efectuar los registros por las autoridades locales. (CONAPESCA / Ramírez-Rodríguez, 2009). El sustento de la información que rige las decisiones en torno a la pesca en el país es parcial en lo relacionado con la definición de áreas de pesca y unidades funcionales de manejo, especialmente en el campo de las pesquerías artesanales o de pequeña escala, donde los “avisos de arribo” constituyen en la mayoría de los casos la única fuente de información disponible. En pesquerías industriales, como las de atún, sardina o camarón de alta mar, además de los “avisos de arribo”, se utilizan bitácoras de pesca y en algunos casos, observadores técnico-científicos a bordo (Satinelli, 2009); sin embargo también se registra venta en negro.

proyectos apoyados, sólo 57 se hicieron para zonas de muy alta y alta marginación; “el programa no se enfocó en ayudar a los pescadores y acuicultores que se encontraban en sitios con pobreza a pasar de que ese fuera su objetivo primordial” (Satinelli, 2009).

La importancia de la pesca ribereña se debe a que el volumen de producción se orienta fundamentalmente al mercado regional y cubre las necesidades del consumo interno nacional de la población que tiene menos recursos. El monto de inversión y costo de operación son relativamente bajos, y sus requerimientos técnicos son mínimos. Consecuencia de la baja inversión inicial requerida, la flota ribereña ha presentado un crecimiento acelerado y desordenado (Satinelli, 2009).

Según el informe de la FAO sobre pautas técnicas para la pesca responsable: «La mayoría de los pescadores en pequeña escala viven en los países en desarrollo y muchos de ellos pertenecen a comunidades caracterizadas por la pobreza y la inseguridad alimentaria. Estas comunidades se enfrentan a una serie de problemas graves, entre los que destacan la sobreexplotación y el agotamiento de los recursos, la falta de fuentes alternativas de empleo, el rápido crecimiento de la población y la emigración, su desplazamiento de las zonas costeras debido al desarrollo industrial y el turismo, la contaminación y la degradación ambiental y los conflictos con las grandes empresas pesqueras.» (FAO, 2002)

La pesca ribereña es una actividad sumamente dinámica: se estima que el mayor porcentaje (90%) de la captura se destina al consumo humano directo, sin procesarse y se consume en su región de origen. Una reducida proporción se usa para carnada y otra se transporta a localidades turísticas (INAPESCA, 2006). “Tal parece que el reducido volumen de las capturas no permite que el sector productivo pueda invertir y promover instalaciones apropiadas que fortalezcan la actividad, a la vez que impulsen su desarrollo” (INAPESCA, 2006). En México la edad promedio de los pescadores es de 41 años, lo anterior denota además que han dejado de integrarse jóvenes a la actividad (Satinelli, 2009).

En entidades como Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Guerrero y Tabasco al menos 6 de cada 10 personas enfocadas a esta actividad reciben de 0 hasta un salario mínimo, en los estados del norte el promedio es de 2 salarios mínimos. Messmacher comenta al respecto que a partir del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) se dio un “efecto regional diferenciado” provocando un aumento en la desigualdad, puesto que los estados del norte se han visto más

beneficiados con respecto a los del sur-sureste que sufren de insuficiencia en el acceso a infraestructura, productividad laboral, servicios de telecomunicaciones, estabilidad social y de gobierno (Messmacher, 2000).

De manera particular destacan Oaxaca, Veracruz, Guerrero y Chiapas donde está el 60 % de los municipios con mayor grado de marginación del país y donde viven el 28% de los pescadores ribereños de México. En 318 de estos municipios la población es rural, esto es más de la mitad del total de los municipios. En 110 de esos 557 municipios existen pescadores y/o acuicultores con una intensidad migratoria muy alta y alta. La edad promedio de los migrantes relacionados con esta actividad es de 28 años (Satinelli, 2009).

Por otro lado, las instituciones creadas para apoyar al sector han ido desapareciendo paulatinamente; por ejemplo, el Fondo Nacional para el Desarrollo Pesquero, FONDEPESCA (que operó durante el periodo 1973 a 1982); el Banco de Fomento Cooperativo, BANFOCO, que posteriormente se transformó en Banco Nacional Pesquero y Portuario BANPESCA (el cual tenía capacidad para captar fondos de depósitos, fungir como fiduciario del Gobierno Federal y obtener capital de préstamos internacionales), “Productos Pesqueros Mexicanos”, e “Industrias Pesqueras Paraestatales del Noroeste” (las cuales agrupaban veintiocho filiales), “Ocean Garden Products” (creada en 1957 a 2006) y “Exportadores Asociados”, las cuales eran encargadas de apoyar la exportación de algunos productos pesqueros, mismas que fueron privatizadas recientemente (Mobarak, 2004).

En el caso de financiamientos, los créditos otorgados al sector presentan una tendencia a la baja y se debe fundamentalmente a que las instituciones de crédito consideran a la pesca y acuicultura como actividades de muy alto riesgo. Los productores aseguran que “No hay suficiente financiamiento disponibles para el sector y los créditos, la mayor parte de las veces, son inaccesibles” (Satinelli, 2009).

En nuestro país se favorece al capital privado y a los grandes pescadores industriales en detrimento de los pescadores cooperativistas y artesanales. La pesca de altura concesionada a privados, puede tomar los recursos que los pescadores locales no pueden alcanzar debido a barreras tecnológicas, lo anterior fomenta un mayor esfuerzo pesquero en los cuerpos lagunares por los pescadores ribereños. (Galli, 2007)

La desigualdad en la pesca es un tema de común discusión y tiene diferentes dimensiones, por ejemplo en el Mediterráneo en Europa, los acuerdos pesqueros negociados por la Unión Europea con los países empobrecidos han sido objeto de duras críticas debido a que se permitió el acceso subsidiado de la industria pesquera europea, estimulando capturas por sobre los límites de la sustentabilidad. En muchos casos, los barcos de la UE han operado bajo acuerdos pesqueros donde competían directamente por espacios y recursos con los sectores pesqueros locales. (Galli, 2007)

La flota privada está sobrecapitalizada, lo que significa que existen más embarcaciones de las que el recurso puede soportar, por lo que está dejando de ser una actividad rentable, sin mencionar que es una flota obsoleta (con más de 21 años de servicio) con alta dependencia a los subsidios. (Satinelli, 2009). Respecto a esta situación un pescador de la Laguna Corralero me decía que "de nada servía que dejaran de pescar ya que los grandes barcos seguramente no dejarían nada"²⁰⁵, el problema de esta pesca concesionada es que no dejan ningún beneficio para los pobladores locales que son responsables del estado general del ambiente que la sustenta.

A diferencia de la pesca de altura, donde a nivel nacional el porcentaje del volumen pescado que no llegó al puerto (es decir, que fue descartado) alcanzó 11.9% de la producción pesquera nacional, (por ejemplo en el caso del camarón "por cada kilogramo capturado se pescaron en promedio 14.7 kilogramos de fauna de acompañamiento" (SEMARNAT, 2005) que es desechada), la pesca artesanal y en pequeña escala tiende a utilizar aparejos selectivos; se considera que es menos perjudicial para los ecosistemas marinos porque se utiliza menos cantidad de equipo y está mayormente diversificado. Con frecuencia son artefactos pasivos y selectivos, adecuados para la captura de los recursos disponibles en las pesquerías según las estaciones (Galli, 2007).

La Tabla 11 muestra un comparativo mundial de las diferentes escalas en la pesca y su potencial para contribuir a la sostenibilidad a largo plazo de los recursos pesqueros y la protección de los hábitats de la vida marina, además de mostrar su contribución al fomento del empleo, los ingresos y la seguridad alimentaria (Galli, 2007).

Tabla 17. Cuadro comparativo de las diversas escalas en las actividades pesqueras a nivel mundial. Adaptado de Kurien 1996.

²⁰⁵ Félix Bernal, pescador de la comunidad Minitan de 54 años de edad, entrevista realizada a principios del 2011.

Criterios socio-económicos	Escala de las actividades		
	Grande	Mediana	Pequeña
Personas empleadas a tiempo completo (en millones)	0,2 – 0,3	0,9 – 1,0	15 – 25
Inversión de capital por puesto de trabajo	US\$ 30.000 US\$ 300.000		US\$ 20 US\$ 300
Puestos de trabajo por millón de dólares invertido	1 a 5	5 a 15	50 a 5000
Ingreso anual por pescador (en dólares)	20,000	10,000	500 – 2,500
Pescado destinado al consumo humano (en millones de toneladas)	15 a 20	15 a 20	20 a 30
Pescado destinado a pienso (en millones de toneladas)	10 a 20	10 a 20	Insignificante
Capturas colaterales indeseadas (en millones de toneladas)	5 - 15	5 - 15	Insignificante
Consumo anual de combustible (en millones de toneladas)	10 - 15	5 - 10	1-2.5
Captura de pescado (en toneladas) por tonelada de combustible	3 a 4	5 a 10	10-20

Los productores artesanales dependen de intermediarios comerciales (esto fue posible cuando se retiró el Estado) ya que encuentran obstáculos para la comercialización directa de sus productos. En general los pescadores ribereños no cuentan con organización y/o capacidad instalada para el procesamiento, mantenimiento y comercialización de los productos que pescan. Los acaparadores fijan el precio y se quedan con la mayor parte de la ganancia, adicionalmente fungen como prestamistas y por lo tanto mantienen “cautivos” a los pescadores al generar una deuda constante (Satinelli, 2009).

“El sector pesquero rural es uno de los más marginados y pobres del país; no cuentan con organizaciones sólidas y las que existen, no siempre los representan, y generalmente no están familiarizadas con la problemática de los otros pescadores en las diferentes regiones del país” (Satinelli, 2009). De esta problemática surge también la idea de clusterizar a los productores en nuestra tecnología, lo anterior con el objetivo de generar economías de escala que puedan entregar un suministro y tallas constantes al mercado, mejorando su competitividad y presencia social (y política).

En la pesca ribereña no existe desarrollo tecnológico; en los últimos años se ha invertido poco o nada en desarrollar nueva tecnología para este sector (Satinelli, 2009). El uso de artes de pesca inadecuados tiene repercusiones graves que incluyen deterioro ambiental, prácticas extractivas no selectivas, incremento del esfuerzo pesquero y mayor consumo de recursos. La falta de cumplimiento a las vedas, aparejado con la escasa vigilancia que se le da al sector ha propiciado la pesca excesiva de muchas especies (Satinelli, 2009).

Los pescadores también son vulnerables a los cambios oceanográficos impredecibles (y al cambio climático) como es el caso de los efectos del “niño” y a un medio biológico poco conocido donde hace falta información adecuada para el manejo de los recursos y para la planeación en caso de eventos climáticos²⁰⁶ poco comunes (Satinelli, 2009).

La sobreexplotación pesquera es parte de los problemas que provocan la pobreza existente en las zonas costeras de México. Este tipo de pobreza es considerada como pobreza crónica (Hulmeet *et al.*, 2001), donde además del problema del ingreso, se da una privación de los sistemas de salud, aislamiento, falta de educación, fallos en la atención y falta de seguridad.

“El fenómeno de la sobrepesca (como el de la degradación de bosques o el sobrepastoreo) puede tener varias causas. Una de ellas es el avance de la tecnología, que abarata el esfuerzo de la recolección. Por ejemplo, subsidios en la gasolina, motores más potentes en los barcos de pesca y nuevas redes de arrastre. En segundo lugar influye en la sobrepesca el régimen de derechos de propiedad. En un régimen de acceso abierto hay un incentivo a pescar más y más, por temor a que pesque otro, pero eso se puede regular bajo control comunitario o privado. En tercer lugar, una causa de la sobrepesca puede ser la infravaloración de los ingresos futuros (tal como ocurre en el caso de los recursos agotables)” (Martínez Alier, 1998).

Desde el punto de vista histórico, podemos decir que la pesca tiende a la privatización de los recursos y al abandono en las áreas costeras. Algunos presidentes de la república han manifestado más interés en la actividad pesquera que otros, pero la constante ha sido que esta actividad no ha encontrado su lugar dentro de la administración pública. Aunque en el país existen tres niveles de gobierno (nacional, regional y local) que dictan la política pesquera; es la nacional en donde se establecen los grandes lineamientos (DeWalt, 2002).

Según Satinelli (2009) podemos señalar que la política pesquera mexicana desde 1917 hasta 2006 ha atravesado por seis fases principales:

²⁰⁶ Reconociendo la vulnerabilidad de estas comunidades frente al cambio climático y los fenómenos meteorológicos en mayo de 2003 la SAGARPA creó el Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC) en cumplimiento a la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, el objetivo era apoyar a los productores de bajos ingresos de las áreas de temporal afectadas por fenómenos climatológicos y que, como es el caso de la mayoría de los pescadores, no cuentan con un seguro contra dichos daños. Durante los años del 2003 al 2008 los fondos del FAPRACC empleados para apoyar a pescadores y acuicultores fue menor al 1 por ciento, lo anterior denota que este programa no se enfoca en favorecer al sector más vulnerable (pesquero y acuícola) a pesar de que supone haber sido diseñado para eso.

- 1) 1917 a 1928, se caracterizó por la creación de organismos y reglamentación tendientes a la administración pesquera;
- 2) 1929 a 1932, se fomentó la administración de la actividad;
- 3) 1933 a 1946, se favoreció la organización de pescadores;
- 4) 1946 a 1970, se distinguió por apoyar a pesquerías industriales y favorecer la migración hacia las costas;
- 5) 1970 a 1988, se crearon instituciones federales como la Secretaría de Pesca y se benefició la organización de pescadores y la pesca industrial,
- 6) 1988 a 2006, se cancelaron especies reservadas a cooperativas, desaparecieron los bancos de ayuda a la pesca, se cerró la Secretaría de Pesca y la administración pasó de una dependencia de naturaleza ambiental a otra productiva y de fomento; además de que pesquerías industriales, como la de camarón se encontraban ya en crisis; por factores como la sobre capitalización de la flota, sobreexplotación del recurso y una flota mayormente obsoleta.

En resumen; las cinco primeras fases se enfocaron en crear instituciones, reglamentar la actividad, promover las organizaciones de pescadores y apoyarlos en la actividad, y la última se caracterizó por el retiro del Estado dejando a la actividad en condición de crisis y entonces a merced de las dinámicas e intereses de los grandes capitales privados operando en el país.

En tal contexto, las cooperativas pesqueras tuvieron poca oportunidad de desarrollar una pesca sustentable y mucho menos de emprender en la acuicultura. El inicio del desarrollo de la acuicultura coincidió con la remoción de los esquemas de financiamiento y el apoyo cooperativista.

“La flota ribereña es sin duda uno de los retos más importantes en materia de ordenación pesquera y competitividad, no sólo por el número de embarcaciones existentes y el impacto social en términos de empleos, sino también por su complejo funcionamiento que dificulta su efectiva inspección y vigilancia, así como por el potencial que tiene para diversificar su producción pesquera (capturas), que se ve disminuido por su rezago tecnológico y limitados esquemas de organización competitiva, principalmente en el contexto del sector social” (CONAPESCA, 2008).

¿Es posible transferir tecnología de cultivo intensiva a pescadores artesanales en México? ¿Cómo superar los problemas sociales que surgirán de la distribución de los permisos y acceso limitado para el aprovechamiento sostenible del sistema (servicios y acceso que en realidad es de

propiedad comunal)?, ¿Cuál sería la respuesta de estos pescadores si se excede el límite sustentable de desarrollo para nuestro sistema de cultivo o cualquier otro, afectando su producción?.

i. Panorama de la pesca y la Acuicultura en el Estado de Oaxaca

Por su ubicación geográfica, el Pacífico tropical mexicano se caracteriza por presentar principalmente pesquerías de pequeña escala, también llamadas de subsistencia, con escaso desarrollo en infraestructura y un fuerte rezago social y económico (INAPESCA, 2006).

En todo el pacífico se emplean 203 embarcaciones mayores²⁰⁷ y 56,412 menores²⁰⁸ (Carta nacional pesquera 2010). En la Ilustración 20 se observa el número de embarcaciones ribereñas en la Región 2 Pacífico Sur por estado (CONAPESCA 2010):

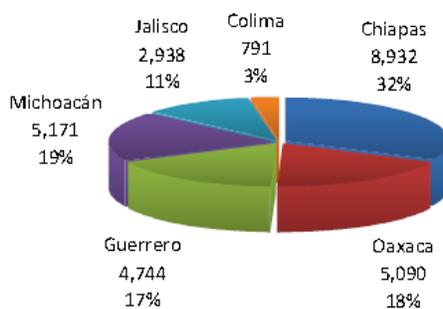


Ilustración 31. Número de embarcaciones ribereñas en la Región 2 Pacífico Sur. Tomado de la Carta nacional pesquera 2010

²⁰⁷ Según la Ley de Navegación, buque o embarcación mayor, o artefacto naval mayor: “es todo aquel de quinientas unidades de arqueado bruto o mayor, que reúna las condiciones necesarias para navegar”. Este tipo de barcos constituyen el 3 por ciento de la flota nacional. Sus características físicas y materiales de construcción son diferentes en función de su objetivo de pesca, y se clasifican en: atuneros, sardineros, anchoveteros, camareros y escameros o de pesca múltiple (Arredondo 2006).

²⁰⁸ Conforme a la Ley de Navegación, se entiende como “embarcación menor o artefacto naval menor, a todo aquel de menos de quinientas unidades de arqueado bruto, o menos de quince metros de eslora, cuando no sea aplicable la medida por arqueado” (Ley de Navegación y Comercio Marítimo, artículo 10 fracción II). Del total de la flota, 97 % está conformada por embarcaciones menores. Estas se caracterizan por estar hechas de material fibra de vidrio, con o sin motor fuera de borda de promedio 75 caballos de fuerza; conservación del producto con hielo en contenedores, y artes y métodos de pesca poco tecnificados. Estas cualidades provocan que la actividad se lleve a cabo generalmente, en la zona costera o ribera teniendo autonomía de un par de días (Anteriormente los ribereños sólo salían por un día, pero el producto cada vez se hace más escaso por tanto tienen que alejarse de la costa en la búsqueda del recurso). Se obtienen bajas capturas con elevados costos de producción y esfuerzo. En promedio, el porcentaje de participación de las embarcaciones de ambos litorales es la misma; 96.5 por ciento. (Satinelli, 2009)

Los ribereños que representan más del 90% del total de pescadores del litoral Pacífico (2009) aportan en promedio solamente el 6% de la captura regional, volumen que ha disminuido a partir de la década de los noventa en donde su aporte era aproximadamente del 9% (Satinelli, 2009).

Oaxaca cuenta aproximadamente con 13,860 individuos registrados dedicados a la actividad, 98 por ciento son pescadores ribereños y para estos pescadores la fuente más importante de producto proviene de las lagunas costeras.

Adicionalmente existen aproximadamente 7,200 pescadores libres o no registrados, se estima que al menos 30% de la explotación pesquera ribereña se realiza de manera ilegal (WWF, 2009). Estos pescadores “ilegales” ejercen alrededor del 50% del esfuerzo pesquero, sin que su producción se registre, a menos que entreguen a alguna cooperativa o permisionario. Son necesarios mecanismos para que su trabajo sea considerado en las estadísticas oficiales y no sea solo rubricado como ilegal (WWF, 2009).

Oaxaca es de las entidades que menos producto aporta al litoral del pacífico; (1.43% pesca y 0.6 % acuicultura); es la única entidad en la región que no cuenta con espacios para engorda en granjas comerciales (Alvarez-López *et al.*, 2002). Las principales zonas de su captura están comprendidas desde Salina Cruz a la comunidad Corralero en los límites con el estado de Guerrero (Alvarez-López *et al.*, 2002).

Cruz-Romero *et al.* (1989) han estimado para esta área que el rendimiento de un viaje equivale a una jornada de trabajo (captura por unidad de esfuerzo). Para la pesca general de escama con la cuerda o línea de mano se calcula 23.4 kg/viaje, con la red agallera (trasmallo) 23.8 kg/viaje, con el palangre 25.4 kg/viaje. La captura por viaje de huachinango es mucho menor: en promedio 10 kg/viaje. En comparación para Jalisco, Espino-Barr *et al.* (2002) calcularon los rendimientos con la línea de mano en 20 kg/viaje, con red agallera en 30 a 35 kg/día. Por buceo hasta 30 kg/viaje, con muy amplios márgenes de variabilidad por ejemplo para huachinango se calculó un promedio de 17 kg/viaje.

La actividad pesquera y acuícola en estados como Oaxaca no logra superar los rezagos nutricionales, tiene una evaluación negativa en el Índice de Riesgo Nutricional Nacional. El producto es vendido regionalmente a bajos precios por motivos de subsistencia (Satinelli, 2009). En Oaxaca y Chiapas el producto desembarcado se transfiere al comprador una vez pesado y pagado por el permisionario o la cooperativa (INAPESCA, 2006)

En relación con la sobreexplotación pesquera, Pikitch *et al.* (2004), señalan “la necesidad de una visión de manejo holística, usando el manejo ecosistémico, con un objetivo centrado en la salud del ecosistema marino y las especies que allí viven, consiguiendo así actuar sobre los impactos de las pesquerías. Con un manejo ecosistémico, se puede planear, desarrollar y manejar a las pesquerías, en forma tal, que se conduzcan las múltiples necesidades y deseos de la sociedad, sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones, beneficiando todos los bienes y servicios proveídos por los ecosistemas marinos” (FAO, 2003).

En el caso del camarón, principal recurso pesquero de las pesquerías artesanales de esta región, el programa rector de acuicultura y pesca recomienda “aplicar vedas en sistemas lagunares así como el mejoramiento del sistema de registro y datos de captura. El esfuerzo pesquero debe controlarse debido al estado de sobre explotación bajo el cual se encuentra dicha pesquería actualmente” (CONAPESCA, 2008).

La pesca de escama en el Pacífico está compuesta por más de 130 especies y no hay medidas oficiales de manejo. Las familias con mayor presencia son: *Scombridae*, *Mugilidae*, *Lutjanidae*, *Carangidae* y *Centropomidae*, donde el grueso de estos recursos se encuentra en su máximo rendimiento (Alvarez-López *et al.*, 2002). La carta nacional pesquera 2010 señala que acorde a la tendencia observada y utilizando el enfoque precautorio, para todas las pesquerías de escama en general, no debe incrementarse el esfuerzo pesquero. Adicionalmente señala que es necesario un cambio administrativo fundamental a través de permisos por grupos de especies y de ser posible por usuario. Se recomiendan también vedas temporales y especiales así como tallas de primera captura, cuotas de captura e integración de variables cíclicas ambientales. Para aquellas especies asociadas a sistemas lagunares, se sigue la implementación de áreas protegidas (CONAPESCA, 2010).

Debido al enfoque de las herramientas de valuación de los proyectos y la asignación de tasas de descuento, la importancia estratégica de los recursos pesqueros debe visualizarse en términos de valoración social; dado que con base en criterios económicos resulta poco relevante (WWF, 2009).

2. Comité científico y colaboradores

La tecnología desarrollada fue fruto de la colaboración y recomendaciones de varios actores relevantes a nivel nacional e internacional en acuicultura.

Comité científico del modelo MultiCo / Desdoblamiento:

- Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) (México). Dr. Wilfrido Contreras, Director de la Unidad de Vinculación Académica, investigador en acuicultura. Él y su equipo de trabajo cuentan con experiencias exitosas de reproducción de Robalo, actualmente trabajan en su alimentación temprana. También dominaron el ciclo productivo del Peje lagarto en cautiverio e impulsaron su desarrollo en el Estado de Tabasco. A nivel institucional se contó con la aceptación de un convenio de colaboración en desarrollo tecnológico con la UJAT.
- Universidad de Arizona (EUA). Dr. Kevin Fitzsimmons. Fue presidente de la Sociedad Mundial de Acuicultura. Cuenta con una experiencia inigualable en el desarrollo de proyectos acuícolas internacionales, fue encargado de la reconstrucción de la infraestructura acuícola en Indonesia y Malasia después del Tsunami del 2004.
- Universidad Ben Gurion (Israel). Dr. Shmuel Appelbaum, Investigador y Director del Centro Bengis de acuicultura del desierto. Es considerado fundador de la acuicultura del desierto a nivel mundial. Es asesor del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo de la ONU. Experto en nutrición. Cuenta con experiencia con Robalo Asiático, (barramundi), anguila, entre otras especies. Actualmente trabaja en el desarrollo de sistemas de acuicultura en pequeña escala.

Expertos que emitieron recomendaciones:

- Dr. Marco Linné Unzueta Bustamante, Director General de Investigación en Acuicultura del INAPESCA. Visitó el sitio y nos brindó su opinión experta sobre las mejores opciones para desarrollar acuicultura de manera sustentable en el sitio.
- Dr. Carlos Ramírez Martínez, Director de Programas para la Sustentabilidad, Secretaria de Desarrollo Sustentable Universidad Autónoma de Nuevo León. Ex Director General de Acuicultura de la SEMARNAP. Visitó el sitio junto con el Dr. Unzueta y nos compartió su

visión para el fomento de la actividad de manera sustentable en la región, realizando especial énfasis en el riesgo de introducir especies invasoras.

- Laboratorio Marino Mote (EUA). Dr. Carlos Yanes-Roca, científico posdoctoral con especialidad en reproducción y nutrición, ha trabajado con especies de Robalo desde el 2003. Visito el sitio en el 2012 para evaluar la factibilidad de reproducir las especies locales de robalo.
- Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Proyecto de Engorda Intensiva de Pargos en un sistema Multitrófico Integrado para Tanques de Liner (MultiCo). Proporcionó pargos para una prueba posterior de engorda en el sistema MultiCo.

Adicionalmente dos expertos de la industria del cultivo de camarón del norte del país nos compartieron su experiencia e impresiones del sitio: Oceanólogo Francisco Miguel Sánchez Valero, técnico con más de 20 años de experiencia, coordinador técnico de la granja de cultivo de camarón Acuícola Boca, S. A. de C.V. con 1,065 ha a su cargo en Cd. Obregón, Sonora; y al Maestro Francisco Antonio Álvarez Gil, Director de Administración y Finanzas Grupo Mahr (Laboratorio Productor de Larva Camarón, Granja de camarón y Alimentos para larvas) La Paz, B.C.S.

Colaboradores

En este documento se presentan algunos elementos del trabajo que realicé con Maricultura Vigas SAPI (MV) por lo cual es necesario agradecer y reconocer el aporte del equipo de trabajo a esta tesis. Específicamente, elementos desarrollados para el plan de negocios con el que MV consiguió su capital inicial, que involucraron la participación de Daniel Russek, socio y co-fundador de la empresa.

La mayor parte de la información capturada en campo se realizó por el equipo que capacité y se encontraba a mi cargo, principalmente Urbano Gonzales Gasga y Felix Bernal de la comunidad Minitan y Marco Antonio Pérez de la comunidad la Noria.

Es importante mencionar también el apoyo del Biol. Rogelio Serna que participó al inicio del proyecto, en la primera etapa de la construcción de las instalaciones y la captura de juveniles de robalo en la laguna Corralero. Además, su sistema de cultivo de camarón “carrusel” inspiró el concepto de unidades que optimizaran el espacio y la exploración del manejo secuencial que dio origen al sistema MultiCo.

Adicionalmente presento en este trabajo renders 3D del parque acuícola y elementos de la tecnología MultiCo, estos esquemas de la infraestructura con fines ilustrativos fueron realizados por el equipo de ingeniería de Maricultura Vigas para el plan de negocios disponible en la página de Maricultura Vigas²⁰⁹: Ing. Jorge Moreno y Ing. Luis Felipe Luna.

El proyecto piloto finalizó por completo en el 2012 y los resultados de la prueba fueron evaluados positivamente por el comité del fondo de innovación tecnológica a través de un reporte técnico que realicé dirigido por el Dr. Wilfrido Contreras después de concluida la prueba. Dicho reporte incluye un análisis tecnológico y biológico del desempeño de la engorda y el sistema integrado (Contenido en el Anexo 9 “Prueba de la Tecnología MultiCo”), pero no incluye un análisis de los costos ambientales o los alcances del proyecto considerando los límites biofísicos del sistema y su capacidad de carga.

Es necesario agradecer también a los inversionistas y mentores por su invaluable aporte al proyecto.

²⁰⁹ <http://mariculturavigas.com/>

3. El Emprendedor Crematista: La Visión detrás de Las Herramientas Socio-Económicas de Valuación de Proyectos.

Desde el punto de vista de un empresario emprendedor el diseño de cualquier proyecto requiere dos elementos principales: alta rentabilidad y viabilidad técnica.

Para compensar los riesgos inherentes a cualquier emprendimiento la rentabilidad debe ser suficientemente atractiva. El inversionista debe tener incentivos suficientes que aseguren que en caso de éxito se compensará el riesgo que asumió. Estos beneficios por lo tanto deben ser cuando menos mayores a la tasa de interés²¹⁰ anual en el mercado, dicho de otra forma, es necesario convencer al inversionista de que tiene sentido arriesgar su capital en un proyecto en vez de disfrutar de los intereses que ya tiene asegurados si conserva su dinero en el banco, intereses que muchas veces sólo son ligeramente superiores a la inflación²¹¹. Debe existir la promesa de que la rentabilidad se alcanzará en los primeros años de desarrollo del proyecto ya que un peso tiene mayor valor hoy que el día de mañana dado un costo de oportunidad²¹².

Cualquier individuo que actúe con racionalidad económica prefiere recibir dinero en el momento presente que postergar su recepción un cierto periodo de tiempo. Así, la práctica del descuento²¹³

²¹⁰ En economía y finanzas, una persona o entidad financiera que presta dinero a otros esperando que le sea devuelto al cabo de un tiempo espera ser compensado por ello, en concreto lo común es prestarlo con la expectativa de que le sea devuelta una cantidad ligeramente superior a la inicialmente prestada, que le compense por la dilación de su consumo, la inconveniencia de no poder hacer uso de ese dinero durante un tiempo. Además esperará recibir compensación por el riesgo asociado a que el préstamo no le sea devuelto o que la cantidad que le sea devuelta tenga una menor capacidad de compra debido a la inflación. El tipo de interés indica qué porcentaje de ese dinero se obtendría como beneficio, o en el caso de un crédito, qué porcentaje de ese dinero habría que pagar. A mayor tasa de inflación mayor tasa de interés.

²¹¹ Esto se explica porque quien suministra el dinero considera que debe recuperar el poder adquisitivo de su dinero y ganar un poco más, por encima de la inflación.

²¹² Todo inversionista exigirá un coste de oportunidad expresado como un rendimiento esperado en función de: $\text{rendimiento esperado} = \text{tipo de interés libre de riesgo} + \text{compensación por riesgo}$. La medición de la compensación por riesgo se puede efectuar por diversos métodos o modelos de valoración de activos financieros, y todos ellos se diferencian sólo en las modalidades que emplean para el cálculo de dicha compensación por riesgo.

²¹³ La tasa de descuento o tipo de descuento o costo de capital es una medida financiera que se aplica para determinar el valor actual de un pago futuro. La tasa de descuento se diferencia de la tasa de interés, en que esta se aplica a una cantidad original para obtener el incremento que sumado a ella da la cantidad final, mientras que el descuento se resta de una cantidad esperada para obtener una cantidad en el presente. (Martínez Alier, 1998). En el tipo de descuento el divisor en la fórmula del tipo de interés es la inversión original. Los proyectos no tienen tasa de descuento, la tasa de descuento es propia de un evaluador: persona, firma, organización.

en la evaluación de proyectos y políticas surge debido a que los individuos dan menos peso a los beneficios o costos en el futuro del que le dan a los beneficios o costos en el presente. La impaciencia o “preferencia” en el tiempo es una razón; otra es que, como el capital es productivo, una unidad monetaria de recursos ahora generará más de una unidad monetaria en bienes y servicios en el futuro (Dinwiddy y Teal, 1996). En otras palabras, al usar el tipo de interés como una medida de descuento del futuro, comparamos el rendimiento del proyecto en consideración con el posible rendimiento de otros proyectos que compiten por la inversión de capital (Martínez Alier, 1998).

La herramienta más utilizada para valorar dicha rentabilidad es la tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) que es el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica el supuesto de una oportunidad para "reinvertir". En términos simples, diversos autores la conceptualizan como la tasa de descuento con la que el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN²¹⁴) es igual a cero (Bonta, 2002, Ehrhardt, 2007).

Para convencer a los inversionistas, el emprendedor utiliza un plan de negocios²¹⁵ donde justifica la TIR de su proyecto y describe su viabilidad técnica. Un plan de negocios es una herramienta económica de Análisis Costo Beneficio (ACB) que dimensiona entre otras cosas el mercado presente y futuro y los principales riesgos asociados al proyecto. Este tipo de análisis involucra la identificación de toda la gama de beneficios y costos de una acción, para luego monetizarlos utilizando herramientas del mercado que le ayudan a determinar el impacto neto de dicha acción.

Implícito en dicho mecanismo se encuentra el objetivo de maximizar los beneficios económicos netos; la eficiencia económica involucrada (Ehrhardt, 2007). Comúnmente este tipo de análisis no

²¹⁴ Si tenemos un proyecto que requiere una inversión X y nos generará flujos de caja positivos Y a lo largo de Z años, habrá un punto en el que recuperemos la inversión X . Pero claro, si en lugar de invertir el dinero X en un proyecto empresarial lo hubiéramos invertido en un producto financiero, también tendríamos un retorno de dicha inversión. Por lo tanto a los flujos de caja hay que recortarles una tasa de interés que podríamos haber obtenido, es decir, actualizar los ingresos futuros a la fecha actual. Si a este valor le descontamos la inversión inicial, tenemos el Valor Actual Neto del proyecto. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado. Tienes limitaciones para considerar circunstancias imprevistas o excepcionales de mercado. Si su valor es mayor a cero, el proyecto es rentable, considerándose el valor mínimo de rendimiento para la inversión (Brealey, 2006).

²¹⁵ Un plan de negocios está enfocado sobre todo al análisis financiero, y por lo tanto está interesado en los flujos de dinero, ya sea como ganancia o costo, y solo es útil para responder preguntas específicas relacionadas con estos flujos y con la rentabilidad y viabilidad general.

involucran impactos ambientales, especialmente cuando estos impactos afectan a alguien más (Knowler, D. 2007).

El plan de negocios de nuestro proyecto resultó ganador del fondo de innovación SE-CONACyT 2010 justificando una TIR mayor a 96% (que es muy elevada), su contenido estaba enfocado en un 88% al desarrollo de la dimensión socio-económica y solo en un 4% a la dimensión socio ambiental (medido en extensión del contenido, véase Tabla 18).

Tabla 18 Análisis del contenido del Plan de Negocios ganador del Fondo de Innovación Tecnológica SE-CONACyT 2010 "Validación tecnológica de un sistema de policultivo acuícola sustentable y de alta eficiencia enfocado en especies marinas de alto valor".

Tema	Paginas	Porcentaje
Resumen ejecutivo	2	3%
Dimensión socio ambiental (Impactos y riesgos socio/ambientales)	2.5	4%
Dimensión socio económica (mercado, viabilidad técnica, proyección financiera)	51	88%
Otros (ubicación, recursos humanos, regulación)	2.5	4%
TOTAL	58	100%

“El factor humano juega un papel crucial en todas las determinaciones, el emprendedor a través de los conocimientos y las herramientas financieras con las que dispone determina de manera relativamente arbitraria la importancia de cada uno de estos riesgos y lo refleja en la tasa de interés que fija para calcular la TIR” (Beca, 2010). En el estudio técnico hay más propensión a cometer errores humanos, ya que la mayoría de las técnicas empleadas son técnicas de ingeniería para la optimización del uso de recursos, y el concepto de optimización es demasiado sutil (Beca, 2010).

De esta forma el análisis financiero que determina la viabilidad de un proyecto sólo toma el punto de vista de una empresa o un individuo y mide el costo beneficio desde su interés considerando los siguientes elementos (Knowler, D. 2007):

- Ganancia esperada, determinada por precios de mercado
- Costos de producción, gasto corriente y gasto de inversión
- Impuestos y otros pagos relacionados con gobierno

Cuando un inversionista percibe un alto riesgo²¹⁶ en una inversión, tiende a protegerse contra ese riesgo y una forma de hacerlo es exigir una mayor compensación por asumirlo; esto es, que entonces exige una mayor tasa de interés. En otras palabras, a mayor riesgo, mayor tasa de interés (Beca, 2010).

Desde el punto de vista social, el análisis costo-beneficio es muy similar pero se centra principalmente en las decisiones de inversión de los recursos públicos. Los gobiernos deben decidir si invierten o no recursos públicos en diversos proyectos, ya sean de infraestructura, productivos o de respaldo a los sectores agrícola o industrial, además de decidir si apoyan la asignación de recursos para mejorar, proteger y conservar áreas de importancia ambiental (Correa, 2006). Al igual que en los proyectos privados a este tipo de proyectos se les asigna una tasa de descuento (social)²¹⁷ para evaluar el rendimiento de la inversión, generalmente a escalas temporales más flexibles (Correa, 2006).

En el caso social descontar (o infravalorar) el futuro significa valorar los costos y beneficios que tengan las generaciones futuras menos que los costos y beneficios actuales. En el análisis costo-beneficio, los beneficios y costos son medidas de satisfacción y no-satisfacción de preferencias. Descontar el futuro implica por tanto que las preferencias de las generaciones futuras cuentan menos que la de las actuales. Así, si suponemos que tendrán una preferencia por la ausencia de residuos tóxicos, expresada por su eventual disposición a pagar para no tener esos residuos o en su disposición a aceptar compensación por soportarlos, esa preferencia se valora menos que la de las generaciones actuales según estas herramientas financieras (Martínez Alier, 1998).

En el año 2008 el mundo tuvo una nueva crisis económica provocada por muchos factores, entre ellos la especulación y la falta de regulaciones en el mercado. Todos los países, incluso los desarrollados, sufrieron los efectos de esta crisis originada en Estados Unidos, y de acuerdo a los

²¹⁶ Se habla de decisiones bajo riesgo si se puede estimar (con datos históricos o con estimaciones subjetivas) la distribución de probabilidad de los eventos; esto es, que se conocen las probabilidades asociadas a cada evento. Por el contrario, una decisión bajo incertidumbre significa que, aunque se puedan prever o predecir los eventos futuros posibles, no se sabe cuál es la distribución de probabilidad asociada a los resultados; esto es, que no se conocen las probabilidades de cada evento.

²¹⁷ El análisis costo-beneficio (económico y social) suele también dar peso distinto a los costos y a los beneficios según el tiempo en que tengan lugar. Los beneficios y costos futuros son valorados menos que los actuales, cada vez menos a medida que son más distantes en el tiempo. Se infravalora el futuro, se descuenta. Así, aplicando una tasa de descuento (socialmente elegida, no necesariamente el tipo de interés del mercado), el analista convierte los beneficios y costos futuros en valores actualizados. El valor es menor cuanto más alejado en el tiempo (Correa, 2006).

expertos, esta crisis fue similar en magnitud a aquella que sufrió Estados Unidos en 1929. La nueva crisis dejó, entre otras cosas, millones de desempleados en todo el mundo (Beca, 2010).

Con excepción de los siete principales países desarrollados y tal vez de China, el resto de los países sufrieron las consecuencias de la globalización de los mercados. Fluctuaciones en el precio de materias primas importadas, en las tasas de interés bancario, en la paridad monetaria de las monedas débiles respecto de las monedas fuertes, etcétera (Beca, 2010). En el caso de México, que había sostenido tasas de crecimiento económicas positivas desde 2005, a partir del cuarto trimestre de 2008 y durante todo 2009 tuvo crecimiento económico negativo, lo cual sucedió en el contexto de la crisis económica mundial y el aumento de precios de los alimentos (Coneval, 2013).

La evaluación de proyectos propone una metodología general de planeación de una nueva empresa y una serie de prácticas o técnicas para resolver cada una de las partes que constituyen esa metodología general (Beca, 2010). Ante la situación de crisis antes descrita, “tanto investigadores como inversionistas pueden poner en duda, con justificada razón, la validez tanto de una metodología como de los resultados de un estudio de factibilidad, pues si las condiciones económicas bajo las cuales una inversión se declara económicamente rentable cambian drásticamente con el tiempo, es probable que la rentabilidad pronosticada también cambie, y esto implica un determinado riesgo, no considerado ni cuantificado en un estudio de factibilidad” (Beca, 2010).

Aún con estas incertidumbres, el modelo económico financiero es responsable del gran crecimiento en la demanda de productos en el mundo. Entre 1950 y 2007 el consumo de agua se ha triplicado, el de combustibles fósiles se ha quintuplicado, el de carne creció un 550%, las emisiones de dióxido de carbono han aumentado un 400%, el PIB²¹⁸ mundial aumentó un 716%, el comercio mundial llegó a un 1,568%, el gasto mundial en publicidad creció un 965%, el número de turistas que salieron de sus fronteras aumentó un 2,860%, el número de automóviles pasó de 53

²¹⁸ El Producto Interno Bruto según el Banco Mundial es “El valor de todos los servicios y bienes finales producidos en un país en un año”. El PIB se puede medir sumando todos los ingresos de una economía (salarios, intereses, utilidades y rentas) o los gastos (consumo, inversión, compras del Estado y exportaciones netas [exportaciones menos importaciones]). De ambas formas se debería llegar al mismo resultado, porque el gasto de una persona es siempre el ingreso de otra, de modo que la suma de todos los ingresos debe ser igual a la suma de todos los gastos.

millones en 1950 a 565 millones en 2002 hasta más de 1,200 millones en la actualidad, y el consumo de papel saltó un 423%, en este caso entre 1961 y 2002 (Pengue, 2008).

Este crecimiento tiene dos interpretaciones, un ejemplo desde la dimensión socio económica es el reporte de enero del 2014 de la fundación “Bill y Melinda Gates”²¹⁹ (BMGF), donde Bill Gates; uno de los hombres más ricos del mundo señala que: “Desde prácticamente todos los puntos de vista, el mundo nunca había estado tan bien como hoy. Los seres humanos viven más años y gozan de mejor salud, y muchos países que dependían de la ayuda exterior son hoy autosuficientes (como México). Uno pensaría que este asombroso progreso sería motivo de gran celebración, pero lo cierto es que nos sorprende constatar cuánta gente está convencida de que el mundo va a peor. La creencia de que el mundo no puede hacer nada para erradicar la pobreza extrema y las enfermedades es no solo errónea, sino también dañina” (BMGF, 2014).

Según este reporte, que se basa en gran parte en la información del Banco Mundial, muchos de los países que considerábamos pobres ahora presentan economías fuertes. “El porcentaje de personas extremadamente pobres²²⁰ se ha reducido a menos de la mitad desde 1990. “Para el 2035, casi no quedará ningún país pobre en el mundo²²¹” (BMGF, 2014).

“Un bebé nacido en 1960 tenía un 18 % de probabilidades de morir antes de cumplir cinco años; para un bebé nacido hoy en día, la probabilidad es de menos de un 5 %. En el 2035, será de menos de un 1.6 %. No se me ocurre ningún otro avance en el bienestar de la humanidad logrado en 75 años que se le pueda ni tan solo comparar” (BMGF, 2014).

Además, según Gates “es un mito que solo Asia este creciendo, ya que siete de las diez economías con un mayor ritmo de crecimiento en el 2013 se encuentran en África²²²”. En resumen, desde esta visión, los “impresionantes cambios positivos” que se han dado en los últimos años (como la reducción de la mortalidad infantil), justifican el modelo de desarrollo, y en realidad; lo que se

²¹⁹ Disponible en <http://annualletter.gatesfoundation.org/>

²²⁰ Los economistas definen la pobreza extrema como un ingreso menor a \$1.25 dól por día (Rosling, 2013)

²²¹ Según Gates “Hay unos pocos Estados fallidos, sin embargo, que apenas experimentan desarrollo alguno. La mayoría de los países se encuentran en algún punto intermedio. Por ese motivo, hoy resulta mucho más útil pensar en términos de países de ingresos bajos, medianos o altos. (Algunos expertos incluso dividen la categoría de países de ingresos medianos en dos subgrupos: el de ingresos medianos bajos y el de ingresos medianos altos.)” (BMGF, 2014)

²²² En concreto, se refiere a que en 2035 no habrá casi ningún país tan pobre como los 35 países que actualmente el Banco Mundial clasifica como países de ingresos bajos, incluso después del ajuste por la inflación.

necesita hacer es continuar reduciendo la pobreza promoviendo el crecimiento económico de los países pobres, “tomando el ejemplo de China, India y Brasil”, y apoyándose de organizaciones de ayuda internacional para fomentar el desarrollo y el bienestar humano.

La dimensión socio-ambiental tiene un diagnóstico complementario que incluye otros niveles de valoración, considerando por ejemplo la distribución de la riqueza y la degradación ambiental generada por dicho crecimiento. Según esta visión en realidad el modelo de desarrollo económico ha generado, entre otros problemas, una alta y creciente desigualdad de ingresos, evidente en varios países de América Latina (UN, 2010). Incluso en China, que ha experimentado una enorme disminución de la pobreza, la reducción va acompañada del aumento de la desigualdad de ingresos (Ravallion y Chen, 2007). La realidad es que en los países africanos “exitosos” existen considerables disparidades en términos de la capacidad de los gobiernos para traducir el crecimiento económico en reducción de la pobreza (Fosu, 2009). Botswana por ejemplo, experimentó un enorme crecimiento de ingresos, incluso para los estándares globales; pero dicho crecimiento se ha traducido en sólo una disminución mínima de la pobreza (UN, 2010). Dividir el ingreso generado por el país por su número de habitantes no parece ser un indicador incluyente o suficiente.

China comúnmente es señalada como el milagro del desarrollo, sin embargo, el sesgo hacia la dimensión socio-económica ha generado repercusiones ambientales y sociales especialmente graves. Según el propio ministerio de protección ambiental de China²²³ una cifra optimista del costo por degradación ambiental generado para obtener su crecimiento económico en el 2010 fue de 230 mil millones de dólares, o lo equivalente al 3.5% de su PIB. Esto es cuatro veces el costo por degradación ambiental generado en el 2004. La cifra se basa en los costos por contaminar y afectar los ecosistemas; “es el costo que paga China por su rápida industrialización” (NYTimes, 2013). Y, desde luego, cuál fue el precio que se fijó por la pérdida de bienes comunes es algo siempre cuestionable, no sólo técnica y metodológicamente, sino epistemológicamente.

“La actividad económica de China en los últimos años ha sido cavar un hoyo para después taparlo, recurriendo a cualquier medida, simplemente ignorando las "externalidades" del crecimiento económico. Actualmente dicho país tienen el reto doble de transformar el

²²³ Actualmente dicho país tienen el reto doble de transformar el crecimiento explosivo de los últimos 30 años en crecimiento sostenible para los próximos 30 años” (NYTimes, 2013). Disponible en http://www.nytimes.com/2013/03/30/world/asia/cost-of-environmental-degradation-in-china-is-growing.html?_r=2&

crecimiento explosivo de los últimos 30 años en crecimiento sostenible para los próximos 30 años” (NYTimes, 2013). En Beijín por ejemplo en enero del 2013, la contaminación atmosférica supero 40 veces las concentraciones consideradas “seguras” según la organización mundial de la salud (The Economist, 2013). El problema es tan grave que se especula que China invertirá al redor de 275 mil millones de dolares en los próximos 5 años para limpiar el aire. “Una cifra importante equivale al PIB de Hong Kong o a dos veces el presupuesto anual de defensa” (The Economist, 2013). Algunos ambientalistas dentro y fuera del país argumentan que ya es tarde; un estudio de la Academia Americana de Ciencias estimó que la contaminación del aire del norte de China ya reduce la expectativa de vida de sus habitantes en cinco años y medio (The Economist, 2013).

"Se estima que al menos 10% de sus tierras está contaminada con metales pesados como el cadmio. El 40% de sus mamíferos se considera en peligro de extinción. Sus principales ríos (como El río Amarillo o Huang He) están demasiado contaminados para utilizarse en la agricultura. Es necesario considerar también que el valor futuro de los servicios ecosistémicos se enfrenta al problema de la “irreversibilidad”. La pérdida de los servicios ambientales puede generar una pobreza mucho peor a la pobreza material, esta pobreza priva de los servicios básicos a la población más vulnerable poniendo en riesgo su subsistencia (la falta de agua ya es otro de los grandes retos de China (The Economist, 2013)). Es posible también que los beneficios (y el valor) de los servicios ecosistémicos sean mayores en el futuro, pues existirá más información científica disponible sobre cómo aprovecharlos. Como lo señaló Krutilla y Fisher (1985) El objetivo no es “el que contamina paga”, sino evidenciar la importancia del entorno natural y la imprevisibilidad de su gestión y manejo.

Desde el comienzo del debate sobre el desarrollo sustentable (Brundtland, 1987; Norwegian Ministry for the Environment, 1994; Naciones Unidas, 1992) la situación ambiental difícilmente ha mejorado si observamos el panorama global. La Humanidad consume 40% más recursos de los que la tierra es capaz de generar en un año (Ewing et al., 2010). Recursos no renovables como el petróleo (el centro de industria económica global), ya alcanzaron su pico de producción potencial. Un estudio detallado en más de 800 mil yacimientos de petróleo en el planeta, cubriendo tres cuartas partes de la reserva mundial, encontró que la mayoría de los sitios importantes ya son explotados; la tasa de reducción en la explotación petrolera se está acelerando al doble de la velocidad máxima estimada. Los nuevos yacimientos son más pequeños y en muchos casos más difíciles y costos de explotar (Campbell and Laherrère, 1998; Hirsch, 2005, 2008, 2010; IEA, 2008),

de manera similar el problema de la acuicultura y el alimento con harina de pescado, con el petróleo se puede llegar a invertir un barril para sacar 1.5 barriles o menos, con las correspondientes afectación ambiental y emisiones de CO₂.

Muchas alternativas existentes también enfrentan algún tipo de escasez material o efectos colaterales difíciles de estimar. Por ejemplo, algunos de los minerales críticos requeridos para la producción de celdas fotovoltaicas son escasos y su demanda calculada supera por 6 veces su tasa de extracción actual (Kreibich, 2009). A su vez, el avance en las tecnologías de energía solar térmica y eólica²²⁴ podría tener un efecto colateral inesperado sobre la biodiversidad. Según un informe de la U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS)(2014)²²⁵ el Ivanpah Solar Electric Generating System (ISEGS) ubicado en el desierto de Mojave en California, la planta solar más grande del mundo con 350 mil espejos; incinera en pleno vuelo a 28 mil aves al año (incluyendo halcones en peligro de extinción), con una media de un ave cada dos minutos. Es considerada también una “mega trampa” de insectos y ha sido relacionada con la reducción de la población de mariposas monarca en el sureste del desierto (USFWS, 2014).

No hay suficiente tierra para satisfacer la demanda de energía con biocombustibles, ya que compite con la producción de alimento en términos de aprovechamiento de tierras fértiles (Heinberg, 2003; Kunstler, 2006). Dada la amenaza por el cambio climático, optar por otros tipos de hidrocarburos no es una alternativa viable. El panel internacional de cambio climático advierte que “estamos lejos de reducir las emisiones para permanecer dentro del rango de 2 °C en el aumento de la temperatura global; los gobiernos tiene hasta el 2015 para introducir los cambios necesarios” (Pachauri, (IPCC) 2007). Retos similares existen para el suministro sostenible de alimento, la pérdida de biodiversidad, pérdida de suelo, escasez de agua y deterioro de la salud general de los ecosistemas (Lorek *et al.*, 2011). El problema de fondo es la distribución asimétrica de la riqueza del modelo estructural económico²²⁶ (PNUD, 2004).

El 15 % de la población mundial que vive en los países de altos ingresos, es responsable del 56% del consumo total del mundo; mientras que el 40 % más pobre, en los países de bajos ingresos, se acredita solamente el 11% del consumo, de hecho el consumo del hogar africano medio es un 20

²²⁴ La American Bird Conservancy estima que las turbinas eólicas matan cerca de 500 mil aves cada año, incluyendo a más de 800 mil murciélagos (USFWS, 2014)

²²⁵ Disponible en <http://alternativeenergy.procon.org/sourcefiles/avian-mortality-solar-energy-ivanpah-apr-2014.pdf>

²²⁶ Uno de cada diez mexicanos no tiene acceso a agua potable, pero absolutamente todas las localidades rurales tienen a su alcance la posibilidad de adquirir refrescos (Coneval, 2012).

% inferior al de hace 25 años (Pengue, 2008). La misma desigualdad observamos en las emisiones de dióxido de carbono, causa principal del cambio climático. Las emisiones de CO2 per cápita aumentan invariablemente a medida que crece el ingreso (Tamiotti *et al.*, 2009). Un ciudadano de Estados Unidos emite 15 veces más en promedio que uno de la India (Pengue, 2008).

El comercio internacional²²⁷, si bien desempeña un importante rol en el desarrollo económico de los países y reduce la distancia entre productores y consumidores, es el responsable por el 21.5% de las emisiones globales de CO2 (Schneider, 2009). Otro 20% se debe al flujo de carbono antropogénico asociado a los respectivos procesos productivos (Schneider, 2009). La agricultura y la producción de alimentos por su parte contribuyen al 29% de las emisiones mundiales de gas invernadero (CGIAR, 2012).

Si toda la población del mundo viviera como un habitante medio de los países de altos ingresos, necesitaríamos otros 2.6 planetas por año, es decir diez veces más que el consumo de los países en desarrollo (Pengue, 2008). El factor más determinante para el crecimiento reciente de la huella ecológica global, que la ha llevado a rebasar los límites de la sustentabilidad, ha sido precisamente el componente “huella de carbono”, es decir la capacidad planetaria de absorber las emisiones de gases de efecto invernadero y regular el cambio climático (SEMARNAT, 2012).

Lo anterior indica que pese al importante crecimiento económico y aumento del bienestar de determinados sectores²²⁸, “son varias las cuestiones que desde la economía neoclásica aún no tienen respuesta o siquiera han sido planteadas” (Pengue, 2008).

Como disciplina académica la economía²²⁹ tiene dos siglos. Adam Smith publicó el libro, “La riqueza de las naciones”, en 1776. El aporte de Smith consistió en analizar el modo en que los mercados organizaban la vida económica y conseguían un rápido crecimiento económico. A su manera, intentó mostrar que el sistema de precios y de mercados era capaz de coordinar a los

²²⁷ De acuerdo a la WWF (2008), la huella ecológica relativa a las importaciones en los países de ingresos altos creció de un 12% a un 61%, entre los años 1961 y 2005. En los países de ingresos medios, creció de un 4% a un 30% entre 1961 y 2005, mientras que la huella de las importaciones en los países de ingresos bajos fue equivalente a 13% de su huella de consumo en el 2005, cuando en 1961 ésta alcanzaba sólo un 2% de su huella total (Schneider, 2009).

²²⁸ “... junto con la expectativa “positivista” que se tiene de las soluciones futuras ofrecidas por la tecnología y el aprovechamiento - ad infinitum - de los recursos naturales ...” (Pengue, 2008)

²²⁹ Según Lionel Charles Robbins "La economía es la ciencia que se encarga del estudio de la satisfacción de las necesidades humanas mediante bienes que, siendo escasos, tienen usos alternativos entre los cuales hay que optar"

individuos y a las empresas sin la presencia de una dirección central (Pengue, 2008). Adam Smith proponía “un orden” en el sistema económico y proclamaba el principio de la “mano invisible”²³⁰, según el cual, todo individuo, al buscar egoístamente sólo su propio bien personal, actúa como si fuera dirigido por una mano invisible que también orientaría el lograr lo mejor para todos. La doctrina de la mano invisible de Smith explica por qué parece tan ordenado el resultado del mecanismo del mercado (Pengue, 2008). Su idea sobre la función rectora de dicho mecanismo ha influido a los economistas modernos, tanto a los admiradores del capitalismo como a sus detractores.

Las empresas venden bienes y servicios, y con esto remuneran los factores de producción (tierra, trabajo y capital) (Martínez Alier, 1998) (Tabla 3). Ni la contabilidad empresarial ni la contabilidad macroeconómica restan los “pasivos ambientales” que les son invisibles. “Los servicios que la naturaleza presta a la economía humana no están bien valorados en el sistema de contabilidad crematística²³¹ propio de la economía neoclásica, que tiene una concepción metafísica de la realidad económica suponiendo que funciona como un *perpetuum mobile* lubricado por el dinero, un sistema cerrado que se alimenta de la oferta y la demanda únicamente” (Martínez Alier, 1998). En 1970 Kapp desde la tradición de la economía ecológica escribió:

“Dar valores monetarios y aplicar una tasa de descuento (¿cuál?)²³² a las utilidades o desutilidades futuras para expresar su valor actual capitalizado, puede darnos un cálculo monetario preciso, pero ello no nos sacará del dilema de la elección y del hecho que nosotros tomamos riesgos con la salud y supervivencia humanas (y ambiental). Por esta razón, estoy inclinado a considerar que el intento de medir los costos y beneficios sociales simplemente en términos de valores monetarios o de mercado está condenado al fracaso. Los costos y beneficios sociales tienen que ser considerados

²³⁰ Richard Norgaard, ex presidente de la Sociedad Internacional de Economía Ecológica, en 1984 diría sobre este concepto que “las invisibles manos del mercado, muchas veces tienen que tener quien las mueva y oriente”, en alusión a la indelegable función del estado y las regulaciones sobre un modelo tan impredecible.

²³¹ Aristóteles, hacía uso del concepto de crematística (del griego khrema, la riqueza, la posesión), en el sentido que hoy día damos a la economía. Para el filósofo, la crematística respondía a un conjunto de estrategias que permitían a quién las desarrollara acumular dinero sobre dinero y por tanto poder y con este llevar adelante, las decisiones más recalcitrantes. La crematística de Aristóteles, era por cierto una actitud condenable, contra natura que deshumanizaba a aquellos que la desarrollaban. Aristóteles ya concebía el riesgo de que la crematística se independizara de la economía y buscara, no ya satisfacer la necesidad, sino un enriquecimiento ilimitado. Eran los riesgos de confundir al medio (el dinero) con un fin en sí mismo (Pengue, 2008).

²³² Una tasa de descuento cero no es sustentable pues implicaría que no hay pasivos ambientales que permanecen largos periodos de tiempo, es decir, que se acumulan.

como un fenómeno extra-mercado; ellos son sufridos o se acreditan a la sociedad como un todo; son heterogéneos y no pueden ser comparados cuantitativamente entre ellos mismos y con otros, ni siquiera en principio” (Kapp, K.W., 1970).

“Usar el tipo de interés como tasa de descuento para comparar proyectos (a partir de la TIR), es un argumento que supone además que todos los bienes son conmensurables²³³, que sea cual sea la pérdida de cualquier bien, los perdedores estarán siempre dispuestos a aceptar un cierto nivel de compensación, y eso no es cierto en un momento dado, y resulta aún menos cierto intertemporalmente” (Martínez Alier, 2007). Ese argumento de la compensación depende de la existencia de bienes alternativos que uno pueda adquirir para sustituir a los perdidos. El dinero en sí mismo no sirve. Dada la pérdida actual de recursos ambientales básicos, como el suelo agrícola, el aire limpio, el agua limpia, una atmósfera que filtre los rayos dañinos, etc., no se ve nada claro cuáles pueden ser los bienes sustitutos (Martínez Alier, 2007). La hipótesis de la sustituibilidad es parte de la teoría económica habitual, y también se recoge en la noción de El Serafy de inversiones que compensan el agotamiento de recursos naturales o en la noción de David Pearce de sustentabilidad débil (Martínez Alier, 2007).

Adicionalmente la ciencia económica convencional no ve la economía en términos del metabolismo social²³⁴ (Martínez Alier, 2007). Según el metabolismo social, las sociedades tienen que enfrentar dos problemas principales: escasez de recursos en el lado del ingreso, y capacidad de los ecosistemas locales para absorber los desechos en el lado de la salida. Esto incluye, en el caso de la producción de alimento; nutrición, consumo de oxígeno y agua, excreción, salida de dióxido de carbono y agua, y también la deposición de cuerpos muertos. Una vez que estos componentes son reconocidos (humanos, alimento y artefactos) todos los flujos que producen o reproducen estos componentes deben integrarse como metabolismo social (Schandl et al. 1999).

Estos flujos de materiales y energía se ponen en movimiento a través de las actividades humanas para producir y mantener el stock de materia de la sociedad. Mientras mayores sean estos stocks, mayor será el flujo futuro de materiales necesarios para reproducirlos y mantenerlos. Esta

²³³ La inconmensurabilidad está en la tradición de la economía ecológica desde Otto Neurath y William Kapp.

²³⁴ La presión sobre el ambiente es ocasionada al metabolismo socio-económico (Fischer-Kowalski 1997). Este “metabolismo socio-económico” implica la extracción de materiales y energía, su transformación en los procesos de producción, consumo, transporte y su eventual liberación en el ambiente (Schandl, 2002).

retroalimentación positiva también puede esperarse para el uso futuro de recursos energéticos, inversión en trabajo²³⁵ y gastos monetarios (Schandl, 2002).

Existen dos tipos de “flujos ocultos” que también contribuyen a los impactos ambientales de la sociedad. El primero tiene que ver con la extracción doméstica de materiales, el otro con flujos del mercado²³⁶. El primero, “extracción doméstica no utilizada” se refiere a materiales intencionalmente movilizados pero no utilizados posteriormente, tal es el caso de los desechos de la minería, los productos secundarios de la producción agrícola, y la pesca de acompañamiento²³⁷. Estos flujos ocultos, que generalmente no se toman en cuenta, implican mayores impactos a nivel doméstico de lo estimado (Schandl, 2002).

Al hacer los cálculos de flujos de materiales, se observa por ejemplo que América Latina está exportando seis veces más toneladas de las que importa (minerales, petróleo, carbón, soja...), mientras la Unión Europea funciona al revés, importando cuatro veces más toneladas que lo que exporta. Esto lleva a la idea de que existe un comercio ecológicamente desigual²³⁸ (Martínez Alier, 2007). China por ejemplo, para producir el 16% de las salidas materiales del planeta, consume entre el 40-50% del carbón, cobre, acero, níquel, aluminio y zinc del mundo. (The Economist, 2013). “Las repercusiones del crecimiento de China son globales, desde el 2000 sus emisiones representan dos terceras partes del crecimiento total de las emisiones mundiales²³⁹. Alrededor de una cuarta parte de sus emisiones se deben a la producción de bienes para exportación (The Economist, 2013).

²³⁵ Se identifican ciertos elementos materiales como componentes físicos al usar el concepto de trabajo como punto de partida. En este sentido, se considera que cada parte del mundo material que es producido por, o periódicamente mantenido por labor humano, pertenece al componente material de la sociedad. (Schandl, 2002)

²³⁶ Que como se menciono previamente es responsable por el 21.5% de las emisiones globales de CO2 (Schneider, 2009)

²³⁷ En el proceso de captura, ya sea por cuestiones del arrastre o por las artes de pesca empleadas, además de la especie objetivo pueden atraparse organismos de otras especies, lo que se denomina “pesca incidental o de acompañamiento”, pudiendo encontrarse especies en estado de riesgo como las tortugas marinas, tiburones y cetáceos. En algunos casos la pesca de acompañamiento puede ser aprovechada, sin embargo, en muchos otros es descartada y devuelta al mar muerta o severamente lastimada. A nivel nacional en el 2003, el porcentaje del volumen pescado que no llegó al puerto (es decir, que fue descartado) alcanzó 11.9% de la producción pesquera nacional, siendo mayor en el Pacífico, donde la cifra alcanzó 14%. En la costa sur de Sinaloa por ejemplo, durante el periodo 1992-2004, por cada kilogramo de camarón capturado se pescaron en promedio 14.7 kilogramos de fauna de acompañamiento. (SEMARNAT, 2005)

²³⁸ Según la visión de la economía ecológica La Deuda Ecológica se puede expresar en dinero pero tiene también aspectos morales que no quedan recogidos en una valoración monetaria. (Martínez Alier, 2007)

²³⁹ Entre 1999 y 2050 sus emisiones acumuladas emitidas por producir energía, serán equivalente a 500 mil millones de toneladas de CO2” (The Economist, 2013).

En el caso de México, aun con los altos y bajos de la economía, la extracción de materiales ha incrementado de manera consistente en los últimos 30 años, triplicándose de 349 M toneladas en 1970 a 1,148 M de toneladas en el 2003 (Eisenmenger y Schandl, 2006). En el mismo periodo las importaciones anuales pasaron de 8.5 a 185 M de toneladas y las exportaciones crecieron de 14 a 234 M de toneladas (Bringezu 2003), dejando un saldo negativo de salida de materia. En México el crecimiento promedio real del PIB entre 1995-2003 fue de 2.5%; aunque, hasta el 2000 la pobreza extrema se mantenía en el mismo nivel que el observado en 1968 (Székely, 2005).

El crecimiento del PIB per cápita anual promedio del país de 1990 a la fecha (2013) fue de sólo 1.2 por ciento. Además, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH), el ingreso laboral promedio real en el país no ha crecido entre 1992 y 2010. En términos reales, el ingreso real se redujo²⁴⁰ y la carencia de acceso a la alimentación aumentó y, por tanto, la pobreza se incrementó en 3.2 millones de personas entre 2008 y 2010 (Coneval, 2013). Podemos decir que la población pobre esta interesada en la inflación desde un enfoque muy distinto al de los inversionistas.

Algunos de los flujos de materiales que ingresan al país son muy relevantes desde el contexto de la pobreza; en la actualidad casi la mitad de los alimentos que consumimos en México son comprados en el exterior, lo que representa un gasto de aproximadamente 20 mil millones de dólares al año (Romero, 2011). Cada vez que el país sale de compras a los mercados internacionales regresa con una bolsa de mandado cargada con 33% del maíz que requerimos, 55% del trigo, 95% de la soya, 72% del arroz, 25% de la carne de res, 34% de la carne de cerdo, 35% de la carne de aves y 12% de la leche que tomamos (Romero, 2011).

La soberanía alimentaria se perdió a partir de 1974, cuando México importó por primera vez 50 mil toneladas de maíz siguiendo directrices emanadas del Fondo Monetario Internacional (FMI) y el Banco Mundial (BM) que establecían que “era mejor importar barato que producir caro”. Por seguir dichas pautas del FMI y el Banco Mundial, el país gasta 20 mil millones de dólares al año en alimentos comprados en el exterior (Romero, 2011). Según pronósticos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) para 2020, la dependencia

²⁴⁰ Debido a que los salarios en general se ajustan con la inflación promedio, cada vez que el crecimiento de los precios de los alimentos es mayor que la inflación, hay una pérdida importante del poder adquisitivo del ingreso respecto a los alimentos.

alimentaria de México crecerá de 50 a 80% (Romero, 2011). En México cada año mueran en promedio 11,900 personas por causas relacionadas con la desnutrición (Coneval, 2012).

La gente tiene hambre y la capacidad de producción de alimentos está en deterioro, este deterioro es compensado liberando mas fertilizantes y químicos al ambiente, y continuando la expansión horizontal a áreas cada vez menos propicias para la producción de alimento (Levins, 2009). Históricamente el problema de la escasez ha sido abordado a través del enfoque tecnológico, el argumento principal es que "mientras exista energía suficiente, la disponibilidad de recursos siempre estará solucionada a través de soluciones tecnológicas". Solo hasta la década de los 70s este problema adquirió otras dimensiones como respuesta frente a los problemas derivados de la contaminación (Schandl, 2002).

En la economía ecológica²⁴¹ en lugar de sólo percibir un flujo de materiales o dinero de forma circular (como la economía neoclásica (Ilustración 32. *La economía como un sistema cerrado, visión desde la Economía Neoclásica. Tomado de Martínez Alier, 1998.*) (Tabla 19)), se mira al conjunto movilizado por un ingreso permanente de energía desde un contexto mayor (Ilustración 32) (Pengue, 2008).

"Nada podría estar más alejado de la verdad que afirmar que el proceso económico es una cuestión aislada y circular, tal como lo representa el análisis tradicional... El proceso económico está cimentado sólidamente en una base material sujeta a determinadas restricciones. En razón de estos obstáculos, el proceso económico tiene una evolución unidireccional irrevocable. En el mundo de la economía, sólo el dinero circula en dos direcciones de un sector económico a otro (...)" (Georgescu-Roegen, N., 1971).

²⁴¹ La Economía Ecológica estudia el creciente metabolismo social (Martínez Alier, 2007).

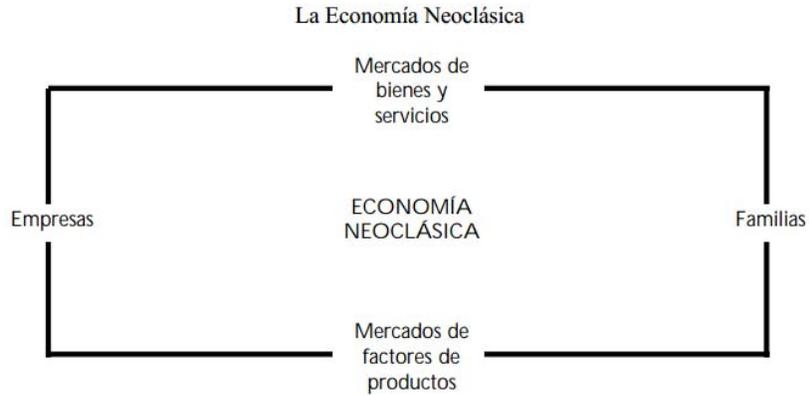


Ilustración 32. La economía como un sistema cerrado, visión desde la Economía Neoclásica. Tomado de Martínez Alier, 1998.

La economía ecológica (Tabla 19) ve el planeta Tierra como un sistema abierto (Ilustración 33). La economía necesita entradas de energía y materiales generando dos tipos de residuos: el calor disipado (por la Segunda Ley de la termodinámica), y los residuos líquidos y sólidos, que mediante reciclaje algunos pueden volver a ser parcialmente utilizados (con un costo energético de por medio). El funcionamiento de la economía exige un suministro adecuado de energía y materiales (y el mantenimiento de la biodiversidad), y también exige poder disponer de los residuos de manera no contaminante o no tan contaminante (Martínez Alier, 1998).

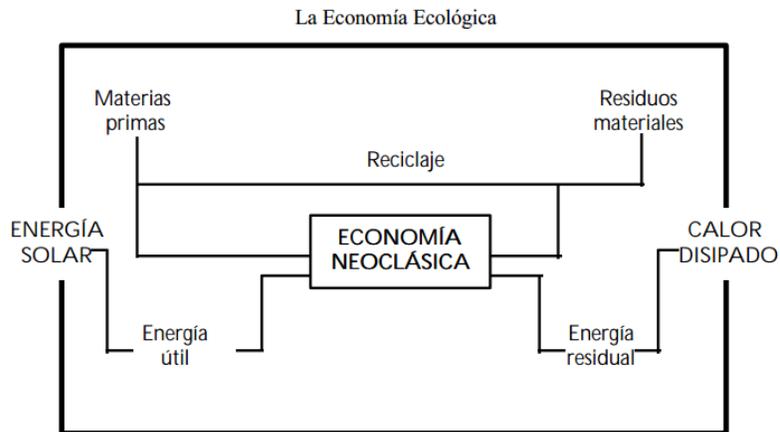


Ilustración 33. La economía como un sistema abierto, visión desde la Economía Ecológica. Tomado de (Martínez Alier, 1998)

La economía ecológica supera el enfoque económico de la gestión de lo útil y lo escaso para considerar toda la biosfera y los recursos que, pueden ser a la vez escasos y de alguna manera hoy o en el futuro, útiles. Desde el punto de vista social, la economía ecológica hace de la discusión de la equidad, la distribución, la ética y los procesos culturales, un elemento central para la comprensión del problema de la sustentabilidad. Es por tanto una visión sistémica y interdisciplinaria que trasciende el actual paradigma económico y de sustentabilidad (Pengue, 2008).

Tabla 19 Principales diferencias entre la economía clásica y la economía ecológica. Modificada de Pengue, 2008.

	Economía convencional	Economía ecológica
<i>Visión del mundo</i>	Mecánico, estático y atomístico	Dinámica sistemática y evolucionaria
<i>Dimensión temporal</i>	Corto plazo	Escala múltiple. Desde días hasta eones.
<i>Dimensión espacial</i>	Desde lo local a lo internacional	Desde lo local a lo global.
<i>Especie considerada</i>	Especie humana	Los ecosistemas
<i>Objetivo básico a nivel macro</i>	Crecimiento de la economía	Sostenibilidad económica ecológica. Decrecimiento o Economía Estacionaria
<i>Objetivo básico a nivel micro</i>	Maximización del beneficio (empresas) o utilidad (individuos)	sostenibilidad económica ecológica
<i>Hipótesis sobre el progreso tecnológico</i>	Muy optimista La tecnología como solución	Prudencia. Abordaje desde la incertidumbre. Tecnopatogías. La tecnología como ilusión.
<i>Estatus Académico</i>	Disciplinar. Centrado en la utilización de instrumentos matemáticos	Transdisciplinar. Pluralista, basado en el análisis integral del problema
<i>Métodos de valoración</i>	Monocriteriales basados en el dinero	Multicriteriales. Utiliza múltiples lenguajes de valoración.
<i>Indicadores Físicos</i>	No los utiliza	Utiliza Indicadores Biofísicos para revisar el estado del ecosistema.
<i>Relaciones con el entorno natural</i>	No las tiene. Desconoce las funciones del entorno.	Busca y analiza las relaciones entre los sistemas económico y ecológico.
<i>Análisis del sistema</i>	Estático. Basado en métodos mecánicos de maximización de la utilidad individual presente	Enfoque dinámico, "inmortal" y multigeneracional (Georgescu-Roegen): Maximiza la felicidad de la humanidad presente y futura
<i>Sobre la base de recursos</i>	Ilimitada Limitada. Pero propone sustituciones.	Advierte sobre los riesgos de desaparición de ecosistemas y pérdidas de servicios ambientales.
<i>Principal mecanismo de análisis</i>	Cálculo de costos y beneficios según las preferencias subjetivas	Sistemas Multicriteriales de análisis. Teoría de Sistemas
<i>Tipos de sostenibilidad</i>	Sostenibilidad débil. Capital natural se puede transformar a capital hecho por los humanos.	Sostenibilidad fuerte. No existe sustitución. No es lo mismo. Segundo principio de la termodinámica.
<i>Tasas de descuento</i>	Altas. Maximización del interés financiero	Tasas bajas, similares o iguales a las tasas de reposición o de renovabilidad de la naturaleza. Bajo los preceptos de la Ecología Productiva. No extraer más del ecosistema de lo que el ecosistema puede dar, sin colapsar.
<i>Servicios Ambientales</i>	No los reconoce	Reconoce el alto valor de su existencia, tanto a la especie humana como a las otras especies.
<i>Posición frente a la deuda externa</i>	Pretende resolverlo desde el crecimiento y el pago de intereses de la misma, asociados a la capacidad de pago del país	Creación del concepto de deuda ecológica, para el reconocimiento de la insostenibilidad del actual mecanismo de reproducción del capital global, y la sobre explotación de los recursos de los países más pobres.
<i>Equidad Intergeneracional</i>	No lo contempla	Manifiesta su preocupación y el derecho de las generaciones venideras al mismo usufructo de la naturaleza
<i>Posición frente a las otras especies</i>	No lo considera	Considera su derecho a la supervivencia, a su propio ambiente y a su desarrollo completo como especie en su propio ecosistema.
<i>Democracia participativa</i>	No lo considera	Propone que las decisiones sobre los límites ecológicos de la economía, estén basados en debates científicos políticos de carácter democrático y abierto, del cual surjan las verdaderas políticas de Estado que conduzcan a un verdadero desarrollo.
<i>Sobre la energía</i>	Se insiste en la era del petróleo y la energía nuclear	Era postpetróleo. Pretende la reducción global del consumo energético. Economía estacionaria.

Considerando lo anterior podemos decir que los mecanismos actuales de valuación de proyectos están centrados en herramientas financieras derivadas de la visión económica neoclásica que niega la dimensión socio-ambiental o en el mejor de los casos la marginaliza (Tabla 18). Si pensamos esto esquemáticamente veríamos que las herramientas financieras flotan por encima de la realidad sin necesidad de incorporarla dentro de su lógica para funcionar (Ilustración 34).

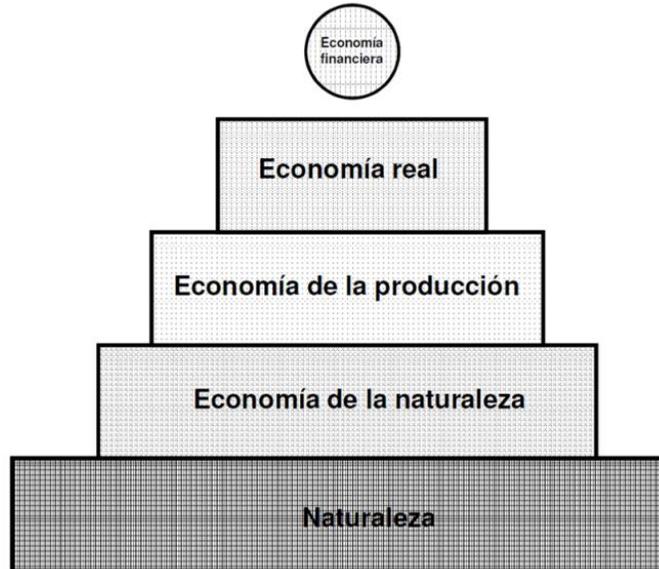


Ilustración 34. Pirámide de las dimensiones económicas

El sistema económico está inserto entonces en un sistema mucho mayor que es el sistema social, este último incluye y respeta la diversidad y diferentes necesidades humanas. Que también es diverso en lo cultural. El primer gran piso es el de la naturaleza, que tiene fronteras y límites: las denominadas fronteras ecológicas.

La economía ecológica utiliza distintos lenguajes de valoración, que admiten una comparabilidad débil de valores, muy diferentes a la comparabilidad fuerte de los análisis costo beneficio convencional como el plan de negocios. Sin abandonar la utilización de elementos monetarios, los relativiza o neutraliza su poder expresivo, haciendo que pierdan su posición de privilegio, y sea generadora de decisiones parciales, facilitando un análisis integrador y superador (Pengue, 2008).

Desde el enfoque de la dimensión socio-ambiental “el estado tan desigual de distribución de la riqueza, la degradación del ambiente y las constantes crisis económicas nos reafirman que es necesario comprender a los ecosistemas del planeta, como sistemas complejos, dentro de los cuales, la especie humana es una más y no es el centro de transformación y/o explotación de la naturaleza, por lo menos, a perpetuidad” (Pengue, 2008).

La visión de economía financiera acota la realidad y su complejidad al ejercicio subjetivo de formular flujos financieros con base en supuestos y buenos deseos, para posteriormente asignarles un riesgo como interés ignorando diversos enfoques de valoración y bienestar ambiental y social.

Tanto los emprendedores como los líderes de opinión y las personas que controlan el capital (incluyendo el gobierno), no necesariamente poseen el tiempo, la comprensión, las herramientas científicas y técnicas, o la capacidad interdisciplinaria necesaria para equilibrar la dimensión socio económica y socio ambiental. Es posible preguntarse si bajo el paradigma actual estamos filtrando los proyectos verdaderamente valiosos en términos sociales y ambientales, sesgados por una sola visión; la visión del emprendedor crematista que justifica la búsqueda egoísta del bien personal para desde ahí supuestamente alcanzar el bien común.

4. Sustentabilidad en el Contexto de la Acuicultura. “El enfoque ecosistémico de la acuicultura”.

Existen marcos de referencia bien establecidos sobre lo que se considera acuicultura sostenible. Las herramientas de modelación y las metodologías utilizadas para estimar la sustentabilidad de los sistemas estudiados en este trabajo se fundamentan técnicamente en el marco internacional propuesto por la FAO, que se ha venido desarrollando desde 1995 a través de diferentes talleres internacionales y documentos técnicos de dicha organización (FAO, 2008).

Tomando la definición de sustentabilidad de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU, la FAO ha desarrollado su propia metodología para desarrollar pautas para la acuicultura sostenible, llamó a su acercamiento “enfoque ecosistémico de la acuicultura” (EAA, por sus siglas en inglés) (FAO, 2008), que se define como: “un enfoque estratégico para el desarrollo y manejo del sector que busca integrar a la acuicultura dentro del contexto más amplio de los ecosistemas, de forma tal que promueva la sustentabilidad de los sistema interrelacionados “social-ecológico” (FAO, 2008). Esto implica el uso de instrumentos, procesos y estructuras adecuadas para atender apropiadamente los problemas, ecológicos, tecnológicos, económicos, sociales y políticos derivados del desarrollo de la actividad (FAO, 2008).

“El enfoque ecosistémico de la acuicultura es un estrategia para la integración de la actividad dentro de su ecosistema, de tal forma que promueva el desarrollo sustentable, generando ganancias y manteniendo la resiliencia de los sistemas interrelacionados social/ecológico” (Soto, D. (ed.) FAO, 2009)

Esto básicamente es aplicar el “manejo basado en ecosistemas” propuesto por la conversión de diversidad biológica (UNEP/CBD/COP/5/23/ decisión V/6, 103-106) a la acuicultura, siguiendo además las indicaciones del código de conducta para la pesca responsable (CCRF por sus siglas en inglés) (FAO, 2008).

El EAA “es una estrategia para el manejo de la tierra, el agua y los recursos vivientes que promueve la conservación y el uso sustentable, de manera equitativa (UNEP/CBD, 2000). Busca el uso sustentable de los ambientes acuáticos, tratando a la acuicultura como una parte del sistema socio-económico y ecológico, y no como una unidad aparte (FAO, 2007). Al hacer esto los humanos y sus actividades se vuelven componentes integrados en el ecosistema”.

Aunque los principios en los cuales se basa el EAA no son nuevos, la interpretación general del enfoque ecosistémico trajo cuatro puntos previamente ausentes en el análisis tradicional ecológico de la acuicultura (FAO, 2007):

- i) Representa la institucionalización del concepto – forma parte de la legislación internacional de la Convención de Biodiversidad Biológica;
- ii) Resalta que las decisiones se basaran en las preferencias sociales;
- iii) Reconoce la complejidad del mundo real y los problemas de la gestión de recursos en una era de globalización, tecnología, recursos naturales limitados y una población humana en crecimiento.
- iv) Refleja el hecho de que los desarrolladores, ecólogos y administradores de los recursos, nunca tendrán toda la información necesaria para entender y predecir cómo responderá un ecosistema frente al desarrollo.

Para el análisis se necesitan tres componentes: a) bienestar humano, b) bienestar ecológico, y c) buena gobernanza; esto es la habilidad para obtener tanto a como b (FAO, 2007).

Se considera al enfoque ecosistémico como “la estrategia que asegurará que la acuicultura contribuya al desarrollo sostenible futuro”, guiada por tres principios básicos que también se encuentran interrelacionados (FAO, 2008):

1. *“El desarrollo y manejo de la acuicultura debe tomar en cuenta el rango completo de funciones y servicios ecosistémicos, sin amenazar la entrega sostenida de dichos elementos a la sociedad futura”* (FAO, 2008).

Un aspecto clave es definir o estimar la capacidad de resiliencia o los límites aceptables de cambio ambiental²⁴² derivados del desarrollo de la actividad. Entender la acuicultura en el contexto de las funciones y servicios ambientales es un reto que involucra entre otras cosas definir las fronteras del ecosistema (al menos a nivel operativo), estimar algún tipo de capacidad de carga y adaptar la producción a dicha estimación (FAO, 2008)

²⁴² Una gama completa de términos han sido acuñados para expresar la idea de límites aceptables de cambio ambiental, incluyendo la capacidad de carga ambiental, capacidad ambiental máxima, límites ecosistémicos, salud ambiental, integridad ecosistémica, etc. Todos estos conceptos a menudo son muy difíciles de aplicar en la práctica debido a que dichas definiciones están sujetas a decisiones humanas consensadas (FAO, 2008).

2. *“La acuicultura debe mejorar el bienestar humano y la equidad para todas las partes involucradas”* (FAO, 2008).

Este principio busca asegurar que la acuicultura provea oportunidades iguales de desarrollo y que sus beneficios se repartan apropiadamente sin afectación para los grupos sociales involucrados, especialmente los más pobres.

“Todo proyecto acuícola nuevo debe asegurar el bienestar de los participantes, los grupos rurales y los grupos sociales vulnerables deben tener beneficios (o al menos no deben ser afectados), especialmente si existen costos ambientales” (FAO, 2008). Sin embargo, actualmente los efectos sociales, económicos y ambientales de la acuicultura (a diferentes escalas), rara vez se consideran o evalúan en conjunto para determinar el balance final de un proyecto y definir si es positivo o negativo en términos generales (FAO, 2008).

3. *“La acuicultura debe desarrollarse en el contexto de otros sectores, políticas y metas”* (FAO, 2008).

Este principio reconoce la interacción entre la acuicultura y los sistemas mayores que la contienen, en particular, la influencia del ambiente social y ecológico de los alrededores en las prácticas y resultados de la actividad. “La acuicultura no se encuentra aislada y en la mayoría de los casos no es la única actividad humana en el sistema” (FAO, 2008).

De esta forma las medidas de manejo propuestas por la FAO para asegurar los principios del EAA y la contribución de la acuicultura al desarrollo sustentable son (FAO, 2009):

1. Aplicar el principio precautorio y el manejo adaptativo
2. Promover investigación proactiva enfocada en objetivos de largo plazo, guiada por un proceso participativo, enfocado en los sistemas ecosistémico y sus servicios
3. Promover la integración sectorial²⁴³
4. Ampliar la participación de diferentes actores y la repartición de beneficios
5. Implementar incentivos adecuados
6. Promover el entendimiento y la inclusión de los valores sociales en su contexto local
7. Promover la educación y la disseminación de información y mejores prácticas considerando el ecosistema como marco de referencia

²⁴³ Por ejemplo disseminando el uso de mejores prácticas y tecnologías por el bien de todos

5. Acuicultura en México: contexto desde los casos de éxito mundial.

En general el modelo de producción acuícola nacional opera con baja intensidad tecnológica, bajos rendimientos por hectárea en comparación a otros países (Tabla 9, Tabla 10) y costos poco competitivos de producción (FIRA, 2009). La (Tabla 20) ilustra la productividad por hectárea promedio de la acuicultura en México.

Tabla 20. Diagnóstico general de la acuicultura en México, (Ton/Ha) por especie cultivada (Elaboración propia con información de CONAPESCA: anuario estadístico de pesca, 2008; Carta Pesquera 2006 y Boletín informativo "Situación Actual y Perspectivas del Camarón en México" de FIRA, 2009)

Especie	Cantidad en el 2008 (ton)	Unidades de Producción Comercial	Superficie cultivada (ha)	Producción (Ton/Ha)
Bagres	970	88	123	7.9
Trucha arco iris	4,698	827	675	7.0
Tilapias	3,689	570	753,00	4.9
Atún aleta amarilla	730	9	168	4.3
Camarón blanco	133,014	1,168	66468	2.0
Total Nacional	283625	2,655	51869	5.5

En la Tabla 21 se muestran los países líderes en acuicultura a nivel mundial (excluyendo China), en general manejan una productividad promedio de entre 16 y 8 Ton/ha/año, situación que coloca a todas las especies que se cultivan en México por debajo de la media de los líderes mundiales.

Tabla 21. Comparativo del Rendimiento por Hectárea para México y algunos países líderes en acuicultura de Asia y América. (Elaboración propia con información de la FAO 2005- 2010 National Aquaculture Sector Overview; Fishstat 2010 y CONAPESCA Carta Nacional Pesquera 2006).

País	Ton/ha/año	Año
Chile	16,5	2006
Tailandia	15	2003
India	8-12	2003
Brasil	8,7	2003
México	3,1	2006

Las siguientes gráficas muestran que varios de los países que hoy se consideran líderes en el mundo partieron del mismo punto que México a finales de los ochentas. Sin embargo, la diferencia de enfoques ha dado resultados que se traducen en ventajas competitivas y mayor productividad (Ilustración 35 e Ilustración 36):

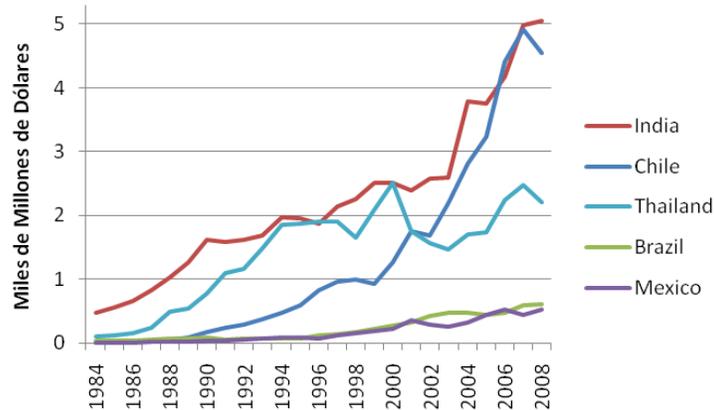


Ilustración 35. Valor de la Producción de acuicultura en Miles de Dólares para el 2008, comparación de líderes de América y Asia con México (elaboración propia con información de FAO Fishstat, 2010)

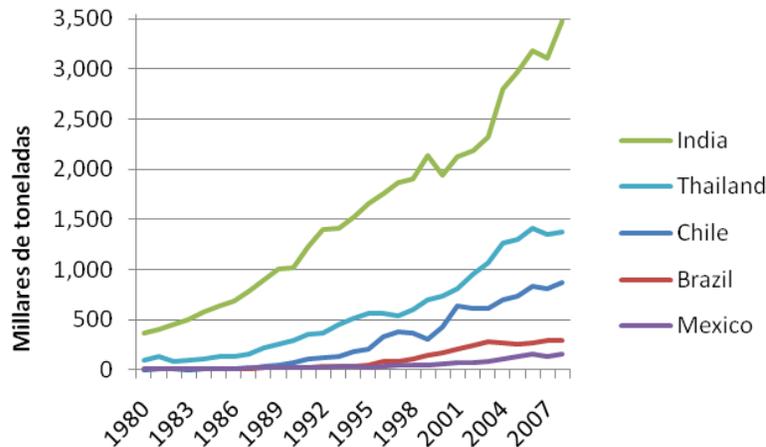


Ilustración 36. Volumen de la Producción de acuicultura en Toneladas para el 2008, comparación de líderes de América y Asia con México (elaboración propia con información de FAO Fishstat, 2010).

¿Qué factores influyeron el aumento de la productividad en los países líderes en acuicultura?, ¿Qué impactos ambientales fueron ocasionados por este desarrollo? y ¿Cómo contrastan con las estrategias adoptadas en México que se basan en el monocultivo semi-intensivo de camarón?:

- **India**

En el 2008 fue el segundo país más importante en valor después de China (6% mundial con 5 mil millones de dólares) y el tercero en volumen después de Indonesia (6% mundial con 3.5 millones de toneladas) (FAO Fishstat, 2010). Gran parte de su éxito se debe a que han apostado por tecnología de policultivo con Tilapia y Camarón en agua dulce con un modelo innovador de organización comunitaria (que se detalla más adelante en el texto)

implementado por el gobierno local y la FAO a principios del siglo XXI (FAO 2005-2010. National Aquaculture Sector Overview) (De Silva, 2010).

Un estudio de 1996 para la Corte suprema de la India describió algunos de los problemas del crecimiento de la actividad en el país, el estudio describe que: «*Grandes áreas de tierras costeras y extensiones de mar abierto, que estaban bajo el control jurídico del estado y/o sobre los cuales las comunidades locales tenían algunos derechos consuetudinarios de acceso, están siendo entregados a intereses industriales para criar camarón o cosechar pescado. Esto ha iniciado un moderno movimiento de cerramientos, desplazando de las tierras costeras y el mar a las personas que tradicionalmente han conseguido su sustento de estos recursos naturales*» (Kurien, 1997: 16). Un ejemplo de lo anterior es en Killai, en el distrito de Cuddalore, estado de Tamil Nadu, donde unas 8.000 familias que subsisten de la pesca y la agricultura conviven con cerca de 60 granjas camaroneras que se encuentran dentro de 303.5 Ha de terrenos comunales cultivables (patta y paramboke), "el agua se encuentra contaminada debido a los estanques camaroneros" (NACA, De Silva, 2010).

Por otro lado en India existe un problema grave con respecto a las enfermedades, un estudio realizado en el 2003 sobre una muestra nacional mostró que el 83% las granjas camaroneras presentaban enfermedades, un caso emblemático es el del distrito de Krishna de Andhra Pradesh donde a finales de los noventas una tercera parte del área de cultivo fue abandonado debido a la presencia de enfermedades (De Silva, 2010).

Las discusiones constantes alrededor de la sustentabilidad de la camaronicultura obligaron a que en 1996 la Corte suprema Hindú prohibiera el desarrollo de la actividad en zonas costeras en un radio de 500m de la marea más alta. Adicionalmente se establecieron agencias nacionales para control de la sanidad acuícola y para regular el desarrollo de nuevos complejos en zonas costeras (De Silva, 2010). El gobierno estaba convencido que nuevos productores no serían capaces de adoptar las buenas prácticas básicas que aseguran el éxito de un cultivo y que en realidad los productores no comprendían la complejidad de los problemas asociados a los impactos sinérgico y el desarrollo de nuevas granjas (De Silva, 2010).

Ocho años después de la prohibición el gobierno junto con la FAO inicio un estudio para comprender mejor a las enfermedades en las granjas camaroneras ya establecidas, este

estudio se convirtió de una prueba piloto con un clúster²⁴⁴ de 5 granjas que producían 4 toneladas al año; a una organización de empoderamiento de pequeños productores. Cuatro años después del inicio de la prueba 730 granjas ya estaban organizadas en clústers, produciendo más de 870 toneladas y gozando de (De Silva, 2010):

- 30% de incremento en la producción (Ton/Ha)
- 8% de incremento en la talla del camarón (g)
- 30% de incremento en sobrevivencia
- 31% de reducción en presencia de enfermedades

Por cada \$25 USD invertidos los productores organizados tenían \$13 USD de ganancia, con la misma inversión productores no organizados obtenían únicamente \$6 USD de ganancia, esto significa más del doble de ganancia por cada dólar invertido para las granjas organizadas en clústers (De Silva, 2010).

Gracias al modelo de clústers en cada región los pequeños productores establecieron economías de escala atenuando los principales riesgos asociados a una producción acuícola (operación, mantenimiento, sanidad, inocuidad y oferta al mercado entre otras). De esta forma consiguieron mayor competitividad, mejor acceso a información, y sobre todo fueron capaces de generar valor agregado en sus productos. Los productores ahora cuentan con un suministro constante en volumen y calidad para el mercado siempre demandante (De Silva, 2010).

La contaminación ambiental también se redujo considerablemente debido a que los clústers dejaron de utilizar sustancias químicas prohibidas y comenzaron a manejar mejor los desechos de sus granjas por acuerdo mutuo (De Silva, 2010), lo anterior no significa que dejaron de producir impactos ambientales.

Este modelo posteriormente fue adoptado por otros elementos de la cadena productiva además de la engorda y por otros países asiáticos incluyendo Vietnam. Un caso de éxito especialmente impactante es el de los laboratorios de producción de post-larvas quienes organizados en clústers producían hasta 1.5 veces más con precios de venta producto hasta 40% mayores a los de los laboratorios no organizados (De Silva, 2010), ya que eran

²⁴⁴ Concentraciones de empresas e instituciones interconectadas en un campo particular para la competencia, pudiéndose observar en el mundo gran variedad de clústeres en industrias como la automotriz, tecnologías de la información, turismo, servicios de negocios, minería, petróleo y gas, productos agrícolas, transporte, productos manufactureros y logística, entre otros.

capaces de garantizar calidad y ausencia de enfermedades en sus larvas. Aun con este importante caso de éxito, en India la camaronicultura representa el 10% de su producción de pescados y mariscos, y 16% de su volumen (De Silva, 2010).

Pese a las similitudes que tiene México con India en términos sociales y climáticos, este modelo de organización no se ha planteado para el desarrollo de las comunidades costeras del país, tampoco “se ha conseguido organizar a los pequeños productores acuícolas dispersos a lo largo de la república para aumentar su competitividad” (SAGARPA/INAPESCA, 2008). Como se discutirá mas adelante, el modelo de negocios de "Parques Acuícolas y Granjas Familiares" de MV es una adaptación con fines privados para este caso de éxito en Asia, la diferencia principal es que MV fungiría como bróker, creador de nuevos clústers y núcleo distribuidor de la tecnología inyectando inversión privada y pública y controlando el eslabón del mercado. En el caso de India el gobierno solo organiza a los productores en clústers regionales y los capacita para tener buenas prácticas dándoles independencia en el manejo de su tecnología y en sus procesos de comercialización, estos clústers a su vez interactúan mutuamente y comparten información para mejorar sus procesos.

- **Chile**

En el 2008 fue el cuarto país más importante en valor (5% mundial con 4.5 mil millones de dólares) y el onceavo en volumen (1% del volumen mundial con 870 mil toneladas; FAO Fishstat, 2010).

A finales de los ochenta optaron por el cultivo intensivo de peces de alto valor como el salmón y el lenguado (FAO 2005-2010. National Aquaculture Sector Overview). En la actualidad la acuicultura contribuye al 1 % de su PIB nacional (Banco Central de Chile. Anuario de Cuentas Nacionales, 2003). Desde sus inicios la salmonicultura chilena (~1970) experimentó un explosivo crecimiento, siendo actualmente, junto a la industria Noruega, responsable de más del 70% de la producción salmoacuícola mundial (FAO, 2005).

En Chile esta actividad da empleo a más de 53 mil personas y está vinculada con la disminución de la pobreza. Las regiones con desarrollo de salmonicultura se sitúan por debajo de la media de pobreza nacional, pero se mantiene la inequidad en la distribución de ingresos (WWF, 2006). De hecho la producción de salmón está dominada por una sola organización llamada “Asociación de la Industria del Salmón de Chile A.G” (SalmonChile)

integrada por 24 empresas que juntas acaparan el 82% del mercado. Este mercado destina el 99.5% de la producción exportaciones²⁴⁵ y sólo un 0.5% al consumo interno del país (WWF, 2006).

Sobre el empleo, un estudio realizado por Fundación Terram sobre la base de encuestas a 139 dirigentes laborales, detectó seis tipos de problemas presentes en la salmonicultura Chilena (WWF 2006):

- (1) Remuneraciones bajas y mal establecidas.
- (2) Subcontratación.
- (3) Deficiente protección a la vida, seguridad y salud de los trabajadores.
- (4) Condiciones de trabajo e higiene deficientes.
- (5) Condiciones laborales desfavorables para la mujer.
- (6) Dificultades para la acción sindical.

La WWF en el 2006 concluyó sobre este tema que: “Es preocupante que el crecimiento de la industria tenga aparejado un aumento en las infracciones en términos laborales... se tiene un mundo sindical cada vez más limitante y una industria que está repartiendo sus beneficios con una desigualdad de ingresos creciente” (WWF, 2006).

El costo ambiental del desarrollo de la salmonicultura en Chile es difícil de estimar, originalmente los ecosistemas acuáticos, continentales y oceánicos de Chile no exhibían la presencia de especies salmonidos. Esta condición prístina comenzó a cambiar significativamente a finales del siglo XIX, cuando, con el objeto de potenciar e incentivar la pesca recreativa, se introdujeron ovas de trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) y trucha Café (*Salmo trutta*) en la mayoría de los sistemas lacustres de la zona centro-sur de Chile (Soto et al., 1997). Análogamente, entre los años 1930 y 1970, se realizaron otras introducciones destinadas principalmente a la liberación de alevines y posterior captura de salmónidos adultos. Estas actividades se concentraron fundamentalmente a fines de la década del '60 en la zona sur austral de Chile (Zama & Cárdenas, 1984; Méndez & Munita, 1989). Finalmente, a partir de los años setenta se dieron los primeros pasos tendientes a la

²⁴⁵ Tres de las mayores salmoneras del país -AquaChile, Multiexport y Australis- cerraron el año 2012 en rojo. Las compañías en conjunto sumaron pérdidas por US\$145 millones, un vuelco respecto a las utilidades que todas tuvieron en 2011 y que en total superaron los US\$100 millones. El principal factor que impactó sus resultados fue la fuerte baja en el precio del salmón a nivel internacional, producto de la sobreproducción chilena tras la crisis del virus ISA entre los años 2008 y 2009, que generó millonarias pérdidas para la industria y miles de trabajadores despedidos. (Portal de Acuicultura y Pesca, 2013).

consolidación de la salmonicultura, implementándose entre los años 1973 y 1976 las primeras pisciculturas comerciales del país, ubicadas a orillas del lago Llanquihue, Décima Región de Los Lagos (Méndez & Munita, 1989).

En Chile se escapan anualmente alrededor de 1.7 millones de salmónidos desde sus centros de cultivo al mar. Estos escapes de salmones, generan impactos negativos tanto a nivel ecológico como social²⁴⁶, incluyendo: (i) efectos sobre los ecosistemas y sobre especies nativas, (ii) “asilvestramiento” de los salmones escapados, y (iii) transmisión de patógenos y enfermedades (WWF, 2009).

Estudios realizados en Canadá señalan que la producción de una tonelada de salmón del Atlántico supone la interacción (huella ecológica) de un área marina de 10.6 ha y una terrestre de 3 ha, asociadas principalmente a la obtención de materias primas para el alimento balanceado utilizado en estos cultivos y a la fijación de dióxido de carbono (Weber, 1999). “Considerando el alimento asociado a las 488 mil toneladas de salmónidos producidos en Chile durante el año 2003 se estimó una descarga anual de nutrientes a los sistemas acuáticos correspondiente a 36 mil 600 toneladas de nitrógeno y 4 mil 600 toneladas de fósforo” (Niklitschek et al., 2006).

Otras investigaciones estiman que la producción de una tonelada de salmón produce incrementos en las concentraciones de nitrógeno y fósforo, equivalentes a las realizadas por 9 a 20 personas (Ellis & Associates, 1996). Lo anterior se explica ya que el 25% del nitrógeno y el 23% del fósforo que entra al ecosistema por medio del alimento asociado a salmonicultura es removido con la cosecha, el 75% restante permanece. En específico, el fósforo se sedimenta, mientras que el nitrógeno (principal limitante para la productividad primaria) queda disuelto en la columna de agua (WWF 2006). Las perturbaciones físicas, químicas y biológicas de los sedimentos bajo los sitios de cultivo presentan incrementos del amonio en la columna de agua próxima a los centros de cultivo y áreas colindantes, y un decrecimiento de la riqueza de especies, del orden del 50%, en el sedimento bajo sus jaulas (Soto & Norambuena, 2004). Sin embargo, no existe información respecto de estos efectos a una escala espacial mayor (Niklitschek et al., 2006).

²⁴⁶ Debido por ejemplo a las afectaciones en las poblaciones naturales por enfermedades contagiadas de los animales liberados.

Las enfermedades y los manejos deficientes también son un grave problema en la industria Chilena, por ejemplo en el año 2005, más de 800 centros asociados a estos cultivos (aproximadamente 824) reportaron procesos productivos (smoltificación²⁴⁷, inicio de engorda), de los cuales sólo 323 registraron actividades de cosecha (Sernapesca, 2006). Menos de la mitad reportaron éxito en su producción.

Investigaciones a nivel mundial señalan que entre un 75 y 93% de los antibióticos suministrados en salmonicultura, no son consumidos o defecados” (Burd, 1995), en este sentido históricamente uno de los principales cuestionamientos que se le han realizado a la industria salmonera chilena ha sido la utilización desmedida del fungicida Verde Malaquita, químico que al ser suministrado de forma directa, sin un debido tratamiento sanitario, que podría estar ocasionando un impacto significativo sobre los cuerpos de agua receptores (Buschmann, 2001).

“El modelo productivo chileno es ineficiente en lo energético y excluyente en lo social, en promedio se transforma entre 1.3 a 2 kg de harina de pescado en 1 kg de salmón. Se debe capturar entre 5 a 10 kg de peces de alto valor proteico (jurel, anchoveta, sardina, merluza de cola)²⁴⁸ para transformarlo en 1 kg de harina de pescado “(Cárdenas, 2004). Se estima por que la generación de un kilo de salmón de cultivo demanda aproximadamente entre 3.1 a 3.9 kg de peces silvestres (Tacon, 2004). Debido a la dieta de harina de pescado con alto contenido proteico, la actividad de la salmonicultura intensiva se ha constituido como uno de los principales elementos responsable de la sobreexplotación de los recursos pesqueros en ese país (Galli, 2007); generando un “importante incremento de la presión extractiva sobre las biomásas de las pesquerías pelágicas del Pacífico suroriental” que ha comenzado a generar problemas sociales importantes²⁴⁹ (Cárdenas, 2004).

²⁴⁷ Durante la transición, desde el estado embrionario a estado juvenil, en los peces anádromos, del linaje de *Salmo salar*, ocurren una serie de cambios fisiológicos, morfológicos, conductuales y de dieta, acompañados con cambios de hábitat, desde agua dulce a un ambiente marino que, en su conjunto, reciben el nombre de smoltificación (<http://www.mundoacuicola.cl/comun/?modulo=3&cat=9&view=1&idnews=359>)

²⁴⁸ Según el Servicio Nacional de Pesca de Chile, 73% de los desembarques de jurel y alrededor de 99% de anchoveta y sardina se destinan a la fabricación de harina de pescado (Marín, 2013).

²⁴⁹ Las protestas de pescadores se diseminaron a lo largo de todo Chile, coincidiendo con una crispación social pocas veces vista ante la renovación de esta Ley. El 19 de abril (2012), los pescadores aiseninos volvieron a cerrar el acceso a Puerto Chacabuco, la principal vía de abastecimiento de la región de Aysén. Ese mismo día, unos 2 mil pescadores de la región del Maule (centro sur de Chile) bloquearon caminos y se enfrentaron a granaderos en las cercanías del puerto de Constitución. En las semanas previas hubo grandes

El actual modelo de extracción pesquera de Chile se estableció en la Ley de Pesca de 2001, que se caracteriza por concentrar en un pequeño grupo de grandes empresas la mayor parte de las cuotas de pesca. La Ley de Pesca de 2001, que impone la “privatización de los peces”, surgió luego de que se desató una “crisis del jurel” (Hace 20 años había unas 30 millones de toneladas, mientras que actualmente sólo quedan 3 millones), el principal recurso pesquero del Pacífico Sur. Con el argumento de protegerlo, las autoridades establecieron un sistema de cuotas anuales con el aparente objetivo de reglamentar su extracción. Como resultado de la citada ley, nueve grupos económicos se apoderaron de 90% de la pesca industrial de sardina, jurel y anchoveta, los principales recursos del mar chileno. Estos mismos grupos intentan mantener sus prerrogativas a pesar de que en diez años de explotación han provocado la crisis en la mayor parte de las pesquerías. El actual modelo de administración ha provocado la desaparición de 70% de la biomasa de todos sus recursos pesqueros (Marín, 2013).

- **Tailandia**

En el 2008 fue el octavo país más importante en valor (3% mundial con 2.2 miles de millones de dólares) y el séptimo en volumen (2% mundial con 1.35 millones de toneladas). La acuicultura representa más del 2% del producto interno bruto de este país (Pongsri *et al.*, 2005), generando más de \$1.46 miles de millones de dólares en exportaciones y creando alrededor de 662 mil empleos (Pongsri, C., & Sukumasavin, N., 2005). Los Tailandeses apostaron por el cultivo de especies exóticas especialmente crustáceos (principalmente Tilapia y camarón) en sistemas intensivos de hasta 7 toneladas por hectárea (FAO 2008, Lem Guang Zhou); en este sentido en México predominan sistemas de producción 3.5 veces más ineficientes (Tabla 9, Tabla 10).

En total se han introducido 163 especies exóticas con fines productivos incluyendo 3 especies de camarón, 100 especies de peces ornamentales y 20 especies diferentes de peces para engorda. Las especies exóticas (principalmente la Tilapia) representan el 41.6% (12 kg/persona/año) del total de pescados y mariscos que se consumen en ese país y casi

protestas de pescadores en la región del Bío Bío y en la de Los Lagos. El 25 de abril, unos 3 mil manifestantes, entre pescadores y estudiantes, marcharon por Temuco pidiendo “fin a la educación de mercado y a la privatización de los peces”, como rezaba el lienzo que encabezaba la manifestación (Marín, 2013).

el 46% del pescado que se consume en áreas rurales (13.8kg/persona/año) (Boonchuwong, 2002) (Amararatne, 2005).

El poder de devastación ambiental de la acuicultura encuentra uno de sus mejores ejemplos en Tailandia, quien fue el primer productor y exportador de camarón industrial del mundo durante muchos años. Desde sus inicios en 1961, el desarrollo de la camaronicultura ha causado la destrucción de cerca de 353.000 de las 380.000 hectáreas de manglares que tenía el país (WRM, 2002). Solo entre 1975-96 se perdió entre 1,500 a 2,000 km² de manglares en las costas, o el equivalente al 50-60% del área original (Wilkie and Fortuna, 2003) (Aksornkoe and Tokrisna, 2004).

Al inicio, el desarrollo de la actividad registró un espectacular crecimiento del orden del 400% (Galli, 2007); sin embargo los problemas de la sobre carga de sistemas lacustres como el delta del Chao Phraya generó un crecimiento y caída frenética de la producción evidenciando la falta de planeación y la susceptibilidad de estos ambientes frente a la sobre explotación (Galli, 2007).

Al igual que en Chile, en Tailandia también aumentó considerablemente el esfuerzo pesquero con el objetivo de producir harina de pescado, solo entre los años 1985 y 1995 el volumen de pescado con destino a alimento animal incremento en un 25%. Este aumento se debió principalmente al desarrollo de pesca de biomasa o pesca basura, que consiste en el dragado indiscriminado del fondo marino (Rosa Martínez y Prat, 1995), dicho método también es utilizado en México con el mismo fin. Si bien en un principio, la especie objetivo era el camarón, luego se comenzó a capturar y desembarcar toda la fauna acompañante con el objetivo de ser convertido en alimento para los camarones de cultivo (Galli, 2007). Esto es un despropósito desde el punto de vista ambiental y socio-económico, no sólo dado el impacto en el ecosistema que producen estas actividades, sino también con la importancia de algunas de las especies que son capturadas y convertidas en harina en vez de ser usadas en los mercados locales (impactando también en la disponibilidad de alimentos locales).

Según J. H. Primavera (1997) la cultura de la camaronicultura tiene severas consecuencias, tales como: "conversión, expropiación y privatización de manglares, salinización de agua y suelos, perdida de seguridad alimentaria, marginación de comunidades costeras, desempleo, migración urbana y conflictos sociales" (p. 815). Todos estos efectos se pueden observar tanto e Tailandia como en nuestro país.

6. Caracterización de la Laguna Corralero

A continuación se muestra una revisión de la información bibliográfica disponible para la laguna Corralero. Los principales trabajos revisados son: Estudio de caracterización ambiental realizado por la Universidad del Mar entre el año 1996-1999 (Ahumada-Sempoal, 2002), Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) realizada por la SAGARPA en el 2010 para el dragado de la Laguna, MIA para ampliación y modernización de un camino rural realizada por la empresa Gestión e Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de los Recursos Bióticos de Oaxaca, S. C. (GICABO, 2009), y los trabajos realizados por el Laboratorio de Acuicultura y producción Acuática de la Facultad de Ciencias de la UNAM en el periodo de 1994-1998 (Pacheco, 1998, Zarate *et al.* 1997) en la laguna Corralero.

La delimitación para esta tesis se realizó tomando los criterios geomorfológicos, hidrológicos y de uso del suelo, dados por la SAGARPA en la Manifestación de Impacto Ambiental del proyecto de Dragado de la Laguna (SAGARPA, 2010). El polígono resultante es de 19,436.4 ha que se muestra en la Ilustración 37.

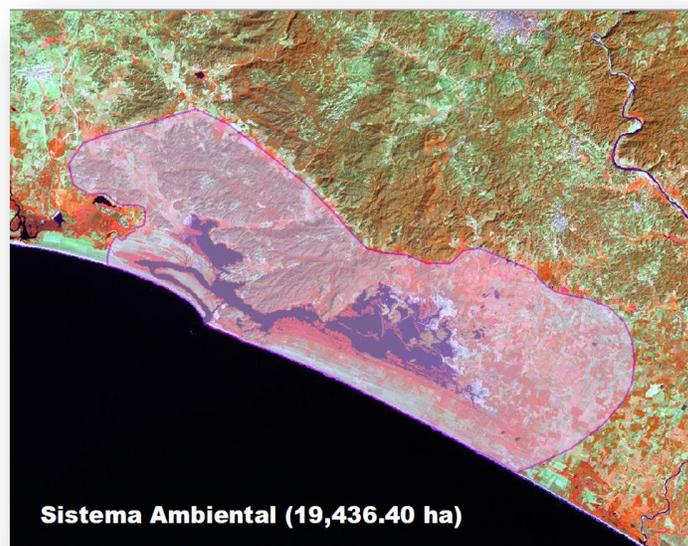


Ilustración 37. Polígono del Sistema Ambiental (SA) definido para el Área de Estudio. Tomado de SAGARPA 2010.

1. **Clima:** De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1981), se encuentra dentro de la región Aw0 (Ahumada-Sempoal, 2002) (Ilustración 38), que corresponde a un clima tropical subhúmedo con régimen de lluvias en verano. La temperatura media anual es de 28.7°C con una oscilación térmica de 3.4°C. El mes de mayo es el más cálido, con temperatura media de 30°C y enero el menos cálido, con 25.6°C. La precipitación anual fluctúa entre 736.6 y 1514.7mm (Ahumada-Sempoal, 2002). La temporada de lluvias normalmente inicia a mediados de mayo y finaliza a principios de noviembre, periodo en el que precipita el 97% del total anual (GICABO, 2009).

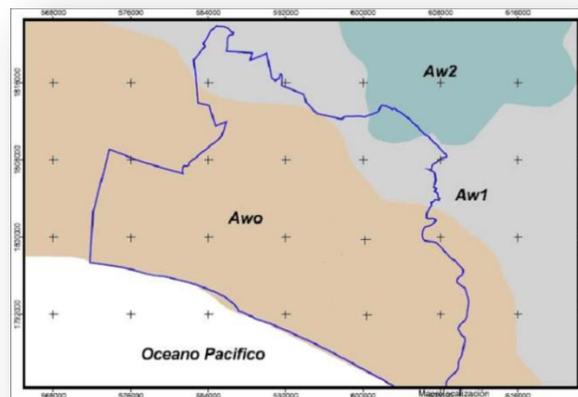


Ilustración 38 Clima del distrito de Jamiltepec, Oaxaca. Tomado de GICABO, 2009

- La humedad ambiental varía a lo largo del día, su valor más alto es de 70% en la mañana (alrededor de las 10am) y el más bajo de 40% se presenta a medio día (1pm). En promedio hay 90 días nublados a lo largo de todo el año, el viento del norte que se presenta como consecuencia de frentes polares continentales, se mantiene sobre el territorio a alturas que fluctúan entre los 4000 y 700 metros, de esta forma evitan la condensación (Álvarez, 1994). El régimen de precipitación es de verano, con porcentaje de lluvia invernal bajo (menor al 5%). La precipitación media va de los 1,000 a 1,200 mm.
2. **Vientos:** Los vientos dominantes a lo largo del año provienen del sur oeste y el sur este, soplando la mayoría del tiempo a velocidad que varían entre 5 y 25 km/h (Ilustración 39). La estación climatológica más cercana se encuentra en Pinotepa Nacional (16° 20' 59" N, 98° 03' 09" W) y tiene un enlace para monitorear las condiciones climáticas las 24 horas del día. Esta es una zona con riesgo de Ciclones (GICABO, 2009).

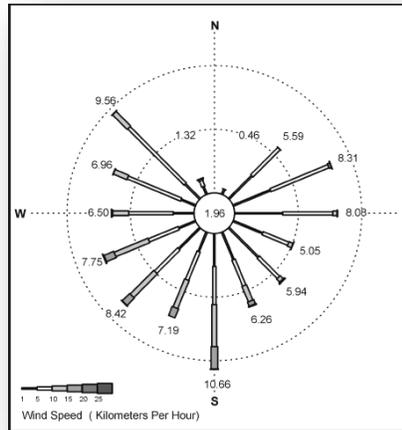


Ilustración 39. Rosa de los Vientos "Pinotepa Nacional". GICABO, 2009

3. Geología Y Geomorfología: La Laguna se encuentra ubicado en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, subprovincia Costa del Sur de la entidad, en el terreno tectonoestratigráfico Xolapa (Ilustración 40) el cual se encuentra formado por rocas mesozoicas y posiblemente paleozoicas, que quedaron atrapadas en las zonas de desplazamiento lateral de grandes bloques llamadas fallas transcurrentes (SAGARPA, 2010). Las rocas que conforman el terreno Xolapa se formaron en un arco volcánico submarino activo durante el Cretácico, en la actualidad en la zona solo se observan las rocas que se cristalizaron a gran profundidad, las cuales son la raíz de los edificios volcánicos, cuya litologías más abundantes son granitos y migmatitas, con localidades escasas de rocas metasedimentarias y metavolcanicas (Centeno, 2004). Los rasgos morfológicos sobresalientes son la presencia de lomeríos con elevación máxima de 200 m, así como el cuerpo lagunar.

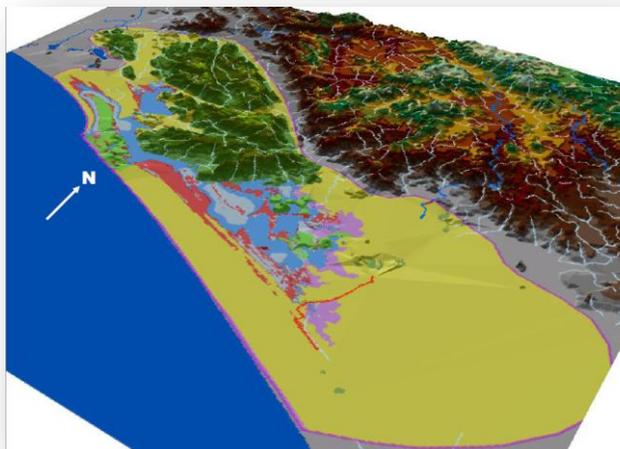


Ilustración 40. Geomorfología planicie costera Pinotepa Nacional. Tomado de SAGARPA, 2010.

La región se caracteriza por ser una planicie por debajo de los 200msnm, para acceder a la laguna desde Pinotepa Nacional se atraviesa lomearía. Se observa la presencia de una planicie costera sobre la que se formó el sistema lagunar Corralero

4. Suelo: Para el distrito de Jamiltepec se reportan suelos tipo Cambisoles²⁵⁰, básicos y alcalinos con erosión moderada de 20 al 40% con rocas metamórficas. Tomando en consideración la capa vectorial edafológica disponible en el portal de CONABIO (Ilustración 41), los suelos en el sistema ambiental son: Cambisol dístrico en el área de lomeríos, Cambisol éutrico en la porción oriental de la planicie costera, Luvisol crómico en el extremo occidental de la región litoral y Regosol²⁵¹ éutrico en las riberas del sistema lagunar y barras arenosas. La zona de la playa presenta arena y cantos rodados (Ahumada-Sempoal, 2002). El suelo cercano a la orilla de la laguna, tiene una permeabilidad de $K_{20}=8.03E-05$ cm/seg y una composición de arena en un 43% y Finos en un 57% (Estudio propio, Iniciativa Minitán, 2009). Esta zona es en general de suelo tipo salino sódico, con un escurrimiento de 200 a 300mm (2002, Ahumada-Sempoal). Estas condiciones de suelo impiden construir estanques sin una capa impermeable en el fondo.

²⁵⁰ Son suelos claros, con desarrollo débil, que presentan cambios en su estructura o consistencia debido al intemperismo. Frecuentemente presentan todavía características del material que les dio origen. Dependiendo del clima, pueden sustentar una vegetación de matorral, pastizal, bosque o selva

²⁵¹ Son suelos poco desarrollados, constituidos por material suelto (en este caso arena), muy semejante a la roca de la cual se originó; dependiendo del tipo de clima sustentan cualquier tipo de vegetación.

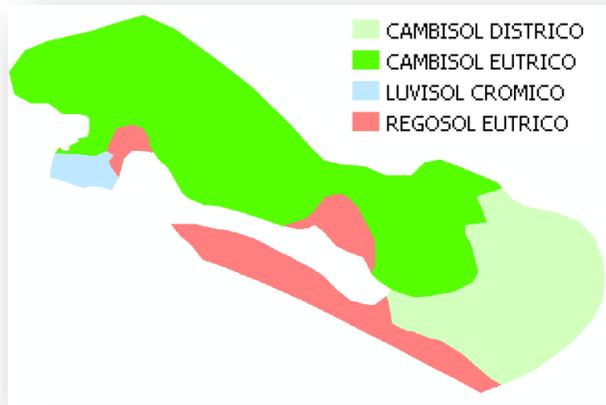


Ilustración 41. Principales tipos de suelos en el Sistema Ambiental. Tomado de SAGARPA, 2010.

5. Hidrología superficial: El sistema lagunar se ubica en la Región Hidrológica RH20 “Costa Chica – Río Verde”, está formado por 6 micro cuencas (Ilustración 42) (SAGARPA, 2010). Entender el aporte de agua dulce y de sedimentos por parte de cada microcuenca es importante para calcular el recambio de agua en la laguna y para estimar el aporte de nutrientes provenientes de los principales afluentes. Esta información combinada es esencial para estimar la capacidad de carga del sistema (Tabla 14).

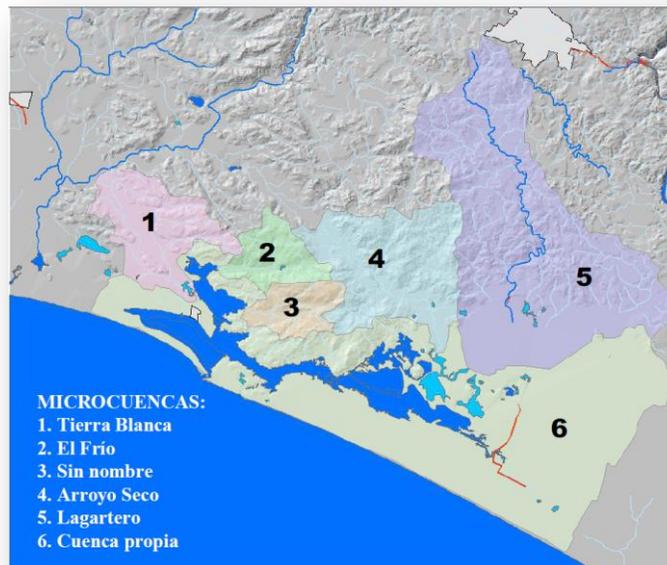


Ilustración 42. Microcuencas en el Sistema ambiental. Tomado de SAGARPA, 2010.

Tabla 22 Volumen de escurrimiento y producción de sedimento por proceso de lluvia en cuencas de aporte. Modificado de SAGARPA, 2010.

Nombre Cuenca	Escurrecimiento Anual (Mm³)	Producción de Sedimento (miles de m³)
<i>Tierra Blanca</i>	5.13	2.8
<i>El Frio</i>	2.08	1.5
<i>Sin nombre</i>	1.58	0.88
<i>Arroyo Seco</i>	6.88	3.82
<i>Lagartero</i>	29.26	16.27
<i>Laguna de Corralero</i>	49.05	27.27
Total Laguna Corralero	93.98	52.54

El sistema sólo tiene capacidad para regular un volumen de 24.35 Millones de m³ en un evento, sin que se produzcan problemas de inundación.

6. Mareas: Se tiene una marea mixta semidiurna. Las corrientes marítimas más cercanas fluctúan entre el Sureste (SE) y el Este-Sureste (ESE) en el invierno y entre el Noroeste (NO) y el Oeste-Noroeste (ONO) en el resto del año de acuerdo con los cambios en la dirección de los vientos predominantes, presentándose una contracorriente pegada a la costa derivada de la Corriente de California, una corriente fría que recorre el Pacífico del país de Norte a Sur (Álvarez, 1994). La temperatura superficial promedio del agua en el mar es de 28 a 30 °C y la salinidad de 33-34 ppm (González, 1999).

La posición Geográfica del estado, que configura una saliente continental hacia el Océano Pacífico, permite que la incidencia de las corrientes contribuya a regular la salinidad, concentraciones de plancton y bentos, temperaturas y vientos superficiales, los que son determinantes para crear ciclos en que aguas profundas sean impulsadas hasta la superficie (Álvarez, 1994). Asociados a estas características están los movimientos migratorios de varias especies de peces (atún, anchoveta, merluza, etc.) y las concentraciones de cardúmenes de éstas y otras especies en lugares particularmente ricos en plancton y bentos (Álvarez, 1994). En la playa también es común encontrar arribadas de tortugas como la golfina y la prieta.

Para el estudio de las mareas dentro de la laguna y de los principales parámetros físico-químicos se toma la información de 3 estaciones Limnográficas ubicadas por la SAGARPA en la laguna en el año 2009 (1. Boca, 2. Corralero, 3. El Burro) (Ilustración 43).

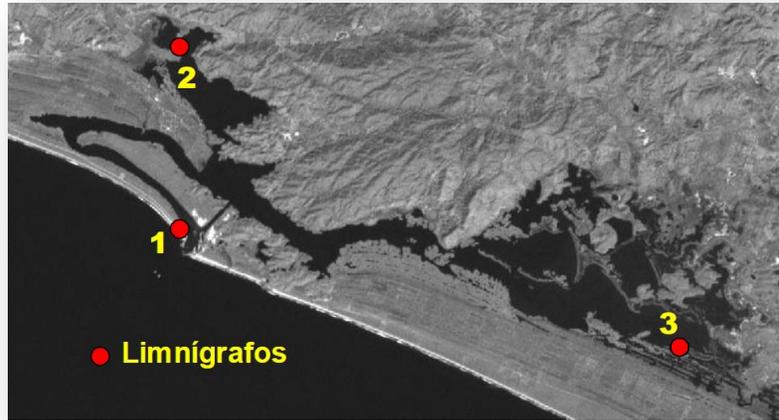


Ilustración 43. Linógrafos instalados (2009) por la SAGARPA para el estudio de la MIA para el dragado de la laguna. 1. Boca, 2. Corralero, 3. El Burro

El prisma de marea que ingresa y su distribución se puede dimensionar en la Tabla 23 . La mayor parte del volumen de agua que ingresa con la marea permanece en área de la boca; solo un porcentaje menor se distribuye en el resto de la laguna.

Tabla 23 Prisma de Marea viva y estiaje en la Laguna Corralero en m³. Modificado de SAGARPA, 2010.

	PRISMAS DE MAREA VIVA Y ESTIAJE (m ³)			
	Acceso Total	Área Boca	Área Burro	Área Corralero
Flujo	1,234,935	1,093,317	458,075	151,555
Reflujo	-493,168	-473,939	-134,169	-69,199
Porcentaje	100%	88.53%	37.09%	12.27%

Las estaciones mareográfica más cercana se encuentran en Puerto Ángel y Huatulco (2009), sus planos de referencia se comparan en la Tabla 24 con los resultados de las 3 estaciones limnográficas instaladas dentro de la laguna por la CONAPESCA (2010).

Tabla 24. Niveles de Marea en Huatulco, Puerto Ángel y 3 puntos estratégicos de la Laguna Corralero en Metros. Modificado de SAGARPA, 2010 con información del Mareográfico (2009) de la UNAM en "Puerto Ángel" y "Huatulco".

NIVEL	Huatulco	Puerto Ángel	Boca	El Burro	Corralero
Nivel de Pleamar Máxima Registrada (NPMR)	1.5	1.058	0.79	0.56	0.53
Nivel de Pleamar media Superior (NPMS)	1.058	0.546	0.75	0.5	0.48
Nivel de Pleamar Media (NPM)	0.946	0.441	0.73	0.48	0.47
Nivel Medio del Mar (NMM)	0.495	0	0.47	0.46	0.45
Nivel de Bajamar Media (NBM)	0.039	-0.444	0.21	0.42	0.43
Nivel de Bajamar Media Inferior (NBMI)	0	-0.477	0	0	0
Nivel de Bajamar Mínima Registrada (NBMR)	-0.71	-0.923	-0.03	-0.02	-0.01

7. Corrientes lagunares: Las mayores velocidades se encuentran en la boca, donde pueden observarse velocidades hasta de 1.1 m/s. Las velocidades más bajas se aprecian en la estación el Burro (0.003 m/s) (Ilustración 44. Distribución de velocidades promedio en m/s para la Laguna Corralero. Tomado de SAGARPA, 2010. (SAGARPA, 2010).

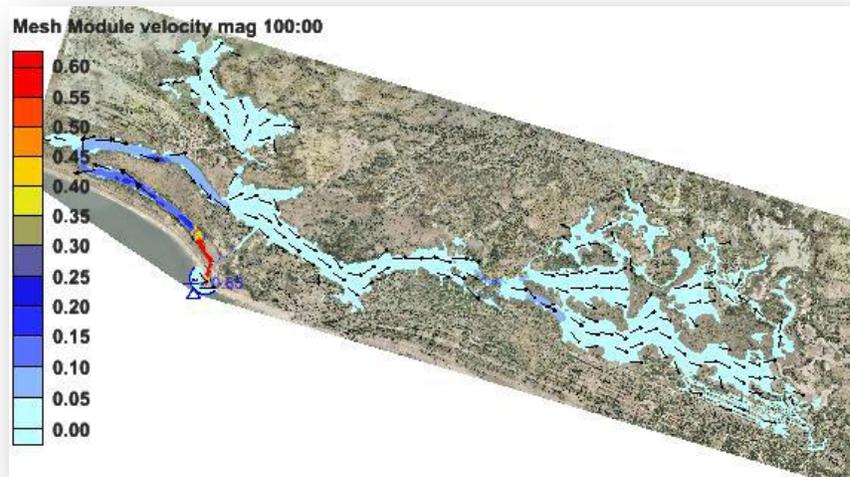


Ilustración 44. Distribución de velocidades promedio en m/s para la Laguna Corralero. Tomado de SAGARPA, 2010.

8. Temperatura Espejo de Agua Laguna: El agua presenta gradientes térmicos, verticalmente de 2°C mientras que horizontalmente se dan diferencias hasta de 7°C. Las temperaturas máximas horizontales se registran hacia la región más interna del sistema y las mínimas hacia el canal de comunicación con el mar adyacente (Tabla 25). Temporalmente, los meses de marzo, mayo, julio y octubre presentan temperaturas promedio por arriba de 30°C mientras que diciembre y enero registran temperaturas promedio por debajo de este valor (Ahumada-Sempoal, 2002, Pacheco, 1998, Zarate et al. 1997)).

Tabla 25 Temperatura en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010)

Estación	Temperatura (°C)			
	Flujo		Reflujo	
	Sup	Fdo	Sup	Fdo
Boca	28.8	28.5	29.3	29
El Burro	28.7	28.6	29	29.2
Corralero	28.8	28.9	29	29

El calentamiento desigual, entre las zonas próximas a la boca y las regiones más internas, podría ser consecuencia de posibles diferencias en las tasas de recambio de agua, aspecto que Aldeco-Ramirez y Salas de León (1994) asocian al grado de penetración de la onda de marea y al gradiente de presión hidráulica que se establece entre los extremos de los cuerpos lagunares por los aportes fluviales. En cuanto a la tendencia térmica temporal, no es posible distinguir entre lluvias y secas, pues no corresponde exactamente con los meses considerados de una temporada y otra. Sin embargo, es factible caracterizar dos épocas; una donde las temperaturas se mantienen por arriba de 30°C y otra con temperaturas menores a este valor, correspondiendo la primera a lo que podría considerarse como la condición de verano y la segunda a la condición de invierno (Ahumada-Sempoal, 2002).

9. Salinidad. Una condición predominante en la estructura salina del sistema lagunar es la presencia de gradientes, tanto horizontales como verticales (Tabla 26).

Tabla 26. Salinidad en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010)

Estación	Salinidad (ups)			
	Flujo		Reflujo	
	Sup	Fdo	Sup	Fdo
Boca	26.5	27.3	24.2	26.4
El Burro	35	28.1	26.9	36.1
Corralero	33.5	28.5	18	27.8

En el primer caso en marzo y mayo, las concentraciones aumentan de la boca hacia las zonas conocidas como El Burro, Minitán, y Los Caños (Ilustración 45), y en julio, octubre, diciembre y enero el gradiente cambia de sentido (las concentraciones aumentan hacia la boca). También la magnitud de estos gradientes varía de un mes a otro, octubre registra la

diferencia máxima (30 %) y enero la mínima (1.2 %) (Ilustración 46) (Ahumada-Sempoal, 2002, SAGARPA, 2010).

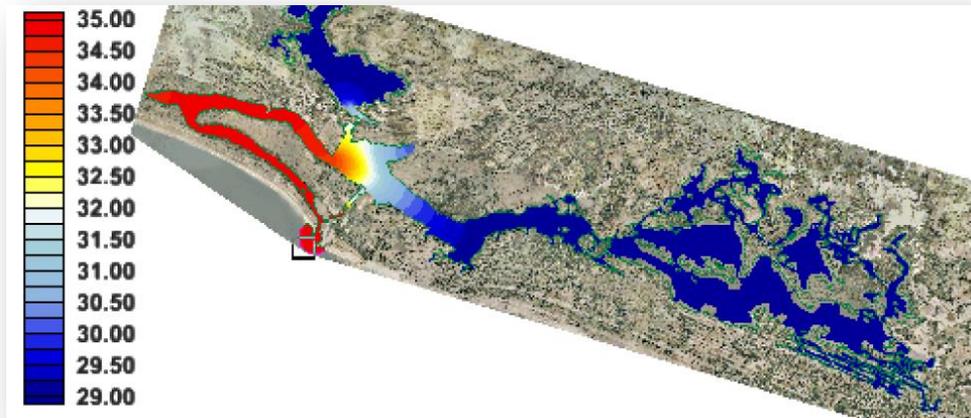


Ilustración 45. Distribución de salinidad al paso de 10 días en el escenario actual en estiaje. Tomado de SAGARPA 2010.

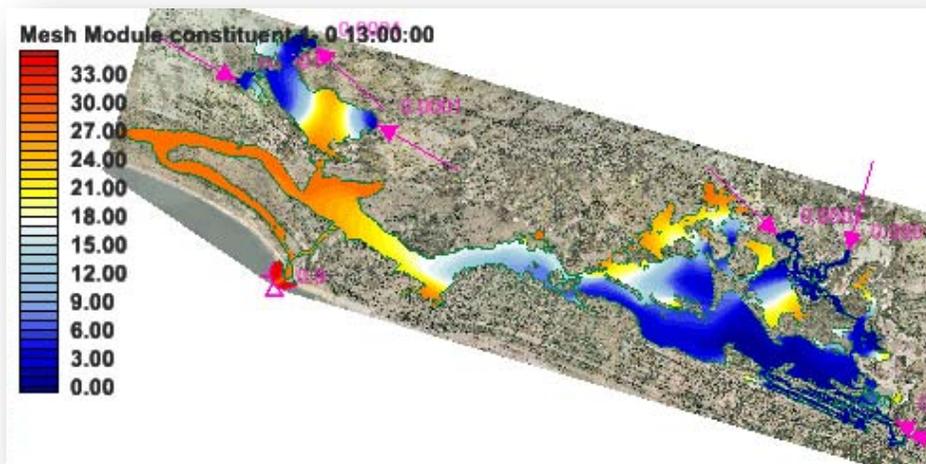


Ilustración 46 Comparativa de la distribución de salinidad al paso de 13 días en el escenario actual en avenida. Las flechas rosas indican afluentes temporales de entrada de agua dulce. Tomado de SEGARPA 2010.

En la zona del Burro se localiza el aporte fluvial más importante, aunque solo se limita a la temporada de lluvias (Ahumada-Sempoal, 2002).

10. Oxígeno Disuelto. Aun cuando se registran valores de oxígeno disuelto cercanos a 1 mg/l en algunas zonas, la mayor parte del sistema mantiene concentraciones por arriba de 4

mg/l. La concentración de gas también cambia con la profundidad de la columna de agua llegando a presentar diferencias hasta de 2 mg/l entre la superficie y el fondo. La región que registra menor variabilidad vertical es la zona de los canales de comunicación con el mar adyacente. Temporalmente, el mes de julio presenta las concentraciones más bajas seguido del mes de octubre y diciembre (Tabla 27) (Ahumada-Sempoal, 2002, SAGARPA, 2010). Las concentraciones generalmente son mayores hacia la temporada de secas.

Tabla 27. Oxígeno disuelto en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010)

Estación	Oxígeno disuelto (mg/l)			
	Flujo		Reflujo	
	<i>Sup</i>	<i>Fdo</i>	<i>Sup</i>	<i>Fdo</i>
Boca	7.66	7.64	7.89	7.84
El Burro	6.75	6.89	8.81	8.69
Corralero	5.38	5.26	6.02	5.95

Por su parte, el oxígeno disuelto en esta Laguna no presenta una clara relación con la distribución térmica y salina, condición que ha sido señalada como un rasgo sobresaliente en las lagunas costeras (Ahumada-Sempoal, 2002). Al respecto de la Lanza-Espino (1994) menciona que los elementos determinantes en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua de las lagunas costeras, son la fotosíntesis y la respiración, con variantes muy locales que resultan de la influencia de las características geomorfológicas y de circulación. Existe evidencia de la dominancia de procesos de oxidación hacia las áreas centrales y de mezcla hacia los extremos. El primer caso se explica por la acumulación de material orgánico e inorgánico que probablemente resulta del encuentro del flujo y reflujo de la marea. En el segundo caso es muy evidente la influencia que el viento tiene sobre las aguas del extremo opuesto a la boca, ya que la poca profundidad propicia que el proceso de mezcla sea más eficiente. En contra parte, en zonas aledañas a la boca la mezcla resulta por la entrada y salida de la onda de marea (Ahumada-Sempoal, 2002).

11. pH. Este parámetro muestra normalmente una distribución de valores crecientes de la boca hacia las zonas más internas del sistema, siendo típicamente gradientes horizontales de magnitud menor a 1 unidad por superficie y fondo, y verticales no mayores a 0.5 unidades (Tabla 28) (Ahumada-Sempoal, 2002).

Tabla 28. pH en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010)

Estación	Potencial Hidrógeno			
	Flujo		Reflujo	
	Sup	Fdo	Sup	Fdo
Boca	7.4	7.4	7.5	7.5
El Burro	7.3	7.3	7.3	7.4
Corralero	7.4	7.4	7.3	7.3

El pH se mantiene en rangos alcalinos (7.4 a 9.2 unidades), sin una tendencia clara entre una época climática y otra. No obstante, de la distribución espacial es posible ver algunas diferencias que pueden ser atribuidas a procesos en escala de tiempo corta ya que los valores mínimos no se limitan exclusivamente a la presencia de agua dulce. De acuerdo con Contreras-Espinosa (1994) las variaciones de pH hacia la alcalinidad (mayor de 8.5) son una evidencia de que la oxidación de materia orgánica y la liberación de ácidos no son los procesos dominantes, y en cambio, la actividad de organismos que participan en el ciclo del CO₂, como los moluscos, son mencionados por este autor como causantes de la tendencia alcalina del pH en cuerpos costeros. Por su parte de la Lanza-Espino (1994) señala que el pH alcalino se debe a la asimilación fotosintética diurna del CO₂, y con respecto al intervalo tan amplio en las lagunas costeras tropicales, lo atribuye a efectos resultantes de la mezcla de agua dulces aunadas al aporte de materia orgánica en diferentes estados de descomposición.

12. Sedimentología y materia orgánica. El sistema Corralero-Alotengo presenta una diferencia muy marcada entre épocas. En enero existe un predominio de arenas de tamaño medio y fino, la mayor parte de la superficie del fondo lagunar presenta una textura de arena lodosa mientras que en las zonas internas las condiciones de baja energía permiten la acumulación de limos y arcillas, reflejando la textura de lodo predominantemente y una área muy pequeña y protegida por la forma del contorno de la laguna, con textura de arcilla (Pacheco, 1998, Zarate *et al.* 1997) (Ilustración 47)

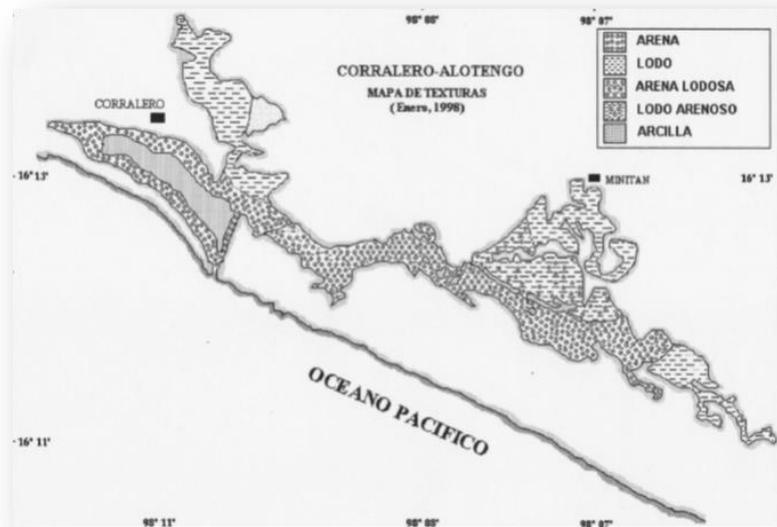


Ilustración 47. Sedimentología Laguna Corralero. Tomado de Ahumada-Sempoal, 2002.

El contenido de materia orgánica presenta valores mínimos de 2% en la zonas abiertas con alta circulación de agua marina y valores entre 14 y 16% en las zonas internas protegidas con menor influencia marina (Ilustración 48) (Ahumada-Sempoal, 2002).

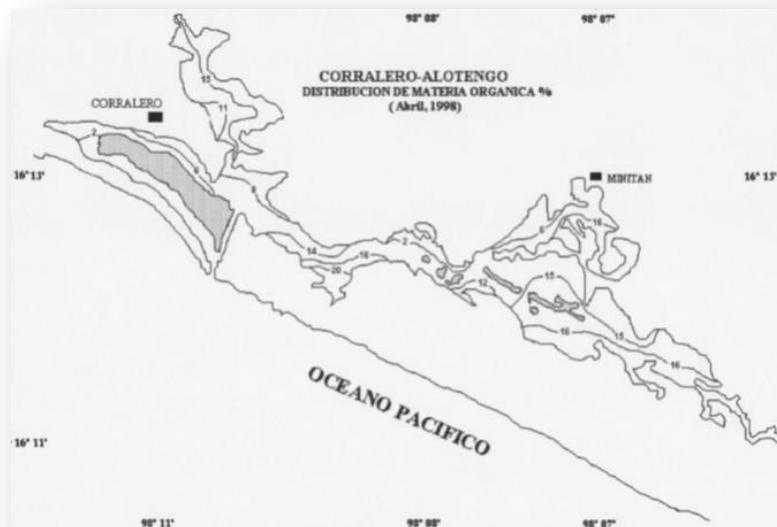


Ilustración 48. Distribución de materia orgánica Laguna Corralero. Tomado de Ahumada-Sempoal, 2002.

13. Batimetría. De acuerdo con la batimetría realizada en enero de 2010 por la SAGARPA y los estudios de la Universidad del Mar, la laguna Corralero es considerada un cuerpo de agua somera, particularmente en los vasos más alejados de la boca de comunicación, donde las profundidades son inferiores a los 2 metros (Ilustración 49). En el canal de acceso natural y el vaso principal, las profundidades alcanzan los 6 metros aunque de forma no continua, sin embargo hacia la boca de comunicación y en el canal artificial (dragado SEMARNAP de 1994) se observan fuertes azolves dando por resultado profundidades inferiores a los 2 metros (SAGARPA, 2010).

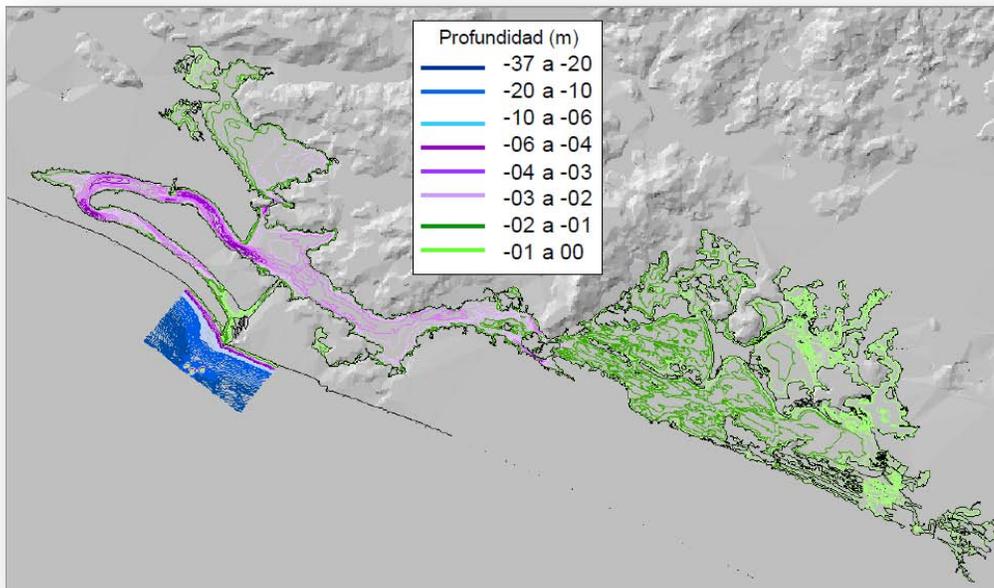


Ilustración 49. Batimetría del sistema lagunar corralero (enero, 2010). Tomado de SAGARPA, 2010.

El Sistema Lagunar Corralero cuenta con dos escolleras colocadas a cada extremo de la Boca del Oro, el principal objetivo es el de mantener la estabilidad de la boca y evitar su azolvamiento, objetivo que no se está cumpliendo debido a la falta de mantenimiento. La escollera norte tiene una longitud de aproximadamente 330 m, la escollera sur tiene una longitud de 230 m aproximadamente y están construidas completamente de piedra (SAGARPA, 2010).

Sobre la línea de costa se tiene un espigón para protegerla de la erosión; el espigón está completamente construido de piedra y tiene una longitud de aproximadamente 100 m y se encuentra en buenas condiciones (SAGARPA, 2010).

El deterioro de las escolleras, particularmente el de la escollera sur, permite el paso de sedimento litoral a la boca de comunicación creando depósitos de material que disminuyen su radio hidráulico y con esto, la capacidad de propagación de la onda de marea al interior del cuerpo lagunar. La disminución del prisma de marea y de las velocidades de las corrientes generadas por la marea aceleran los procesos sedimentarios mermando el recambio de agua, por lo que durante el estiaje la temperatura y salinidad de los vasos más alejados de la boca de comunicación incrementan atípicamente sus valores, favoreciendo la presencia de salinas. Este diagnóstico coincide con el planteado por CONABIO a través de la ficha del sitio prioritario “Laguna Corralero”, en la que concluye que la integridad ecológica para el mangle y la laguna es media (SAGARPA, 2010).

14. Amonio. El intervalo promedio en lagunas costeras de México ocurre generalmente entre 0.07-0.140 mg/l (Contreras et al., 1996), la Laguna Corralero presenta valores por encima del promedio para todo el sistema excepto la boca (Tabla 29).

Tabla 29 Amonio en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010)

Estación	Amonio (Mg/l)			
	Flujo		Reflujo	
	Sup	Fdo	Sup	Fdo
Boca	0.066	0.096	0.022	0.020
El Burro	0.404	0.112	0.536	0.348
Corralero	0.240	0.088	0.066	0.076

El amonio es una forma muy común en estos ecosistemas y su permanencia es constante a lo largo del ciclo anual. Al calcular la relación entre el amonio y el resto de las formas nitrogenadas (N-NH₄⁺/N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻/N-NO₂⁻) en la mayoría de los casos, el valor oscila entre 50 y 90%, en ocasiones su disminución está relacionada con una mayor actividad fotosintética o una mayor oxigenación del agua, aunque no es una regla (Contreras et al., 1996).

Los valores máximos promedio detectados en México están ligados a sistemas de características distróficas como es el caso de la zona pantanosa del río Calzadas en Veracruz con 7.36 mg/l (Contreras et al., 1996). En ecosistemas relativamente comunicados con el mar como lo son las lagunas costeras, los promedios más elevados corresponden a sistemas con problemas de alteración ambiental; los mínimos están relacionados con sistemas con una mayor influencia de aguas oceánicas. En general la cantidad de amonio presente en las aguas lagunares, está íntimamente relacionada con procesos biológicos de características heterotróficas, tanto en la columna de agua como en los sedimentos (Contreras et al., 1996).

15. Nitratos y Nitritos. Los valores promedio de estas formas nitrogenadas tienden a ser más bajos comparados con los del amonio (Tabla 30). Frecuentemente los máximos se alcanzan durante la época de lluvias (Contreras et al., 1996).

Tabla 30. Nitratos y Nitritos en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010)

Estación	Nitratos (mg/l)			
	Flujo		Reflujo	
	Sup	Fdo	Sup	Fdo
Boca	0.10	0.08	0.07	0.12
El Burro	0.14	0.11	0.19	0.13
Corralero	0.09	0.11	0.11	0.05

Estación	Nitritos (mg/l)			
	Flujo		Reflujo	
	Sup	Fdo	Sup	Fdo
Boca	0.004	0.005	0.001	0.003
El Burro	0.006	0.002	0.004	0.003
Corralero	0.003	0.001	0.004	0.003

La laguna Corralero se encuentra entre las 6 Lagunas con valores más elevados de nitratos y nitritos a nivel nacional, en general quienes presentan los promedios más elevados, son

ecosistemas que reflejan una influencia dulceacuícola dominante a lo largo del año (Contreras et al., 1996).

16. Ortofosfatos. El intervalo Nacional para este tipo de sistemas fluctúa entre los 0.0003 y los 0.15 mg/l. Las lagunas con mayores valores por parte del Pacífico, a excepción de Corralero (Tabla 31), corresponden a sistemas situados en la parte meridional del estado de Chiapas (Contreras et al., 1996).

Tabla 31. Ortofosfatos en tres linógrafos instalados en Laguna Corralero, SAGARPA (2010)

Estación	Ortofosfatos (mg/l)			
	Flujo		Reflujo	
	Sup	Fdo	Sup	Fdo
Boca	0.030	0.034	0.018	0.015
El Burro	0.024	0.016	0.040	0.038
Corralero	0.032	0.027	0.023	0.022

Un efecto de las concentraciones de fosfatos es la respuesta que se detecta en la presencia de la clorofila “a”, con quien guarda una estrecha relación (Vollenweider y Kerekes 1982, Contreras y Kerekes 1993). Los fosfatos son la causa fundamental de los fenómenos de eutrofización tan comunes en los sistemas costeros (Mee 1977).

Las cantidades normales en la concentración de los nutrientes en las lagunas costeras de México sitúan a estos ecosistemas con tendencias a la eutrofía, por lo que un suministro adicional de éstos, pone en serio peligro su ya relativa estabilidad (Contreras et al., 1996).

La eutrofización ha sido planteada como una alteración grave en muchos ecosistemas acuáticos incluyendo zonas costeras y donde el aumento de sales nutritivas ha ocasionado, indirectamente, severos problemas de salud (Vollenweider et al. 1992).

Además de lo anterior e independientemente de la importancia que como recurso natural poseen estos ecosistemas, son muchas las incógnitas alrededor de las interacciones entre los productores primarios y los nutrientes, base fundamental de la trama trófica acuática (Contreras et al., 1996).

i. Medio Biótico

ii. Vegetación terrestre

Dentro del sistema ambiental (SA) estudiado, la vegetación natural relevante está constituida por mangle, selva baja caducifolia y selva mediana subperennifolia. Como unidad no natural se tienen los terrenos agrícolas (GICABO, 2009).

- a) **Selva baja caducifolia.** Dominada por árboles de menos de 15 metros de altura, los cuales pierden casi por completo sus hojas en la época de secas. Dentro del SA este tipo de vegetación se encuentra en toda la planicie costera y algunas de las islas que presentan cierta altura al interior de la laguna. La característica principal que distingue esta comunidad vegetal es la pérdida de sus hojas durante un periodo de entre 5 a 8 meses (Rzedowski, 2006).

A finales de la época de sequía muchas de las especies leñosas del bosque tropical caducifolio florecen, pues la mayoría de estas plantas nunca poseen hojas y flores al mismo tiempo (Rzedowski, 2006), algunas especies presentes en esta comunidad vegetal son *Bursera simaruba*, *Bursera fagaroides*, *Conzattia multiflora*, *Lonchocarpus emarginatus*, *Lysiloma acapulcense*, *Lysiloma divaricata*, *Havardia campylacantha*, *Ceiba aesculifolia*, *Ceiba parvifolia*, *Pseudobombax ellipticum*, *Cordia elaeagnoides*, además de formas arrosetadas y cactáceas de los géneros *Agave*, *Cephalocereus*, *Escontria*, *Myrtillocactus*, *Neobuxbaumia*, *Pereskiaopsis* y *Stenocereus* (Torres, 2004). La estructura del bosque tropical caducifolio presenta por lo general solo un estrato arbóreo, aunque en algunas ocasiones puede haber dos. Las especies dominantes en este estrato son *Bursera aff. Schlechtendalii*, *Bursera morelensis*, *Bursera excelsa*, *Bursera heteresthes*, *Lysiloma divaricata*, *Ceiba parvifolia*, *Amphipterygium adstringens*, *Plumeria rubra*, *Cercidium praecox*, en las laderas altas se desarrolla un estrato arbóreo cerrado y denso compuesto por árboles de especies de *Bucida wigginsiana*, *Bursera macrostachya*, *Tabebuia palmeri*, *Lonchocarpus ssp.*, *Amphipterygium adstringens*, además de elementos espinosos como *Pereskia konzattii* y *Ziziphus amole* (Rzedowski, 2006).

- b) **Selva mediana subperennifolia.** Es variada en especies, dominada por árboles de menos de 30 metros de altura, abundantes bejucos y epífitos. Se caracteriza porque del 25 al 50 % de los árboles pierden sus hojas en lo más acentuado de la época de secas. Dentro del SA este tipo de vegetación se encuentra exclusivamente los lomeríos o pie de cerro. Las

especies características son: *Brosimum alicastrum*, *Calycophyllum candidissimum*, *Mirandaceltis monoica*, *Bumelia persimilis*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Pterocarpus acapulcensis*, acompañadas de otras especies como; *Andira inermis*, *Albizia caribaea*, *Albizia guachapele*, *Albizia tomentosa*, *Bursera simaruba*, *Caesalpinia coriácea*, *Caesalpinia velutina*, *Ceiba pentandra*, *Hymenaea courbaril*, *Lafoensia punicaefolia*, *Licania arbórea*, *Lysiloma acapulcensis*, *Manilkara zapota*, *Morisonia americana*, *Orbignya guacuyule*, *Parmentiera edulis*, *Cordia alliodora*, *Goldmania aesculifolia*, *Hura poliandra*, *Ficus tecolutensis*, *Psidium sartorianum*, *Swietenia humilis*, *Trichilia havanensis*, *Vitex mollis* (Rzedowski, 2006).

- c) **Manglar.** Se trata de una comunidad con una composición florística simple, cuya altura general es de 3 a 5 metros, pudiendo alcanzar hasta 25 metros. La especie más abundante de esta asociación es el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), que se encuentra bordeando toda la laguna y con una penetración de uno a dos kilómetros en la barra que divide a la laguna del mar. Alejándose de la orilla de las lagunas se encuentra el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), el saladillo (*Avicennia germinans*) y el botoncillo (*Conocarpus erectus*) (GICABO, 2009).

De acuerdo con CONABIO (2009), las raíces de los mangles proporcionan un sustrato adecuado para muchas de las especies de fauna como caracoles, ostras, percebes, erizos y esponjas, y a sus estadíos juveniles. Una gran diversidad de especies comerciales como cangrejos, jaibas, camarones y langostinos viven en el agua de los manglares, al igual que las etapas juveniles de una gran cantidad de peces como bagre, lisa, mojarra, pargos, robalo y sábalo.

La compleja estructura vertical de los manglares es utilizada para descanso y anidación de diversas especies de aves. Algunas especies consideradas Sujetas a Protección Especial (NOM-059 SEMARNAT-2010) también frecuentan y anidan el manglar. Otras muchas especies de aves migratorias pequeñas como los chipes, habitan el manglar durante su estancia en México en los meses de invierno. Además, sobre las ramas de los manglares viven varias especies de iguanas consideradas en la categoría de Especies Amenazadas o Sujetas a Protección Especial. En el suelo acuático y terrestre del manglar viven los cocodrilos de río (*Crocodylus acutus*), especie también Sujeta a Protección Especial. En la

parte terrestre, varios mamíferos incluyendo mapaches, coatíes, monos y jaguares utilizan este ecosistema (SAGARPA, 2010).

Otros servicios ambientales brindados por estas comunidades vegetales son: barrera natural de protección que contiene vientos y mareas; ecosistemas altamente productivos que exportan nutrientes a ecosistemas adyacentes (pastos marinos y arrecifes de coral); zona de protección y crianza de especies comerciales de peces, crustáceos (camarones, cangrejos, langostinos, etc.) y moluscos; amortiguamiento de los impactos del acarreo de tierra y contaminantes por ríos sobre arrecifes de coral; mantenimiento de la línea de costa y saneamiento de arenas sobre playas; filtro biológico, retención y procesamiento de algunos contaminantes agrícolas; filtración de agua y abastecimiento de mantos freáticos; captura de gases de efecto invernadero y sumideros de bióxido de carbono; material de construcción y herramientas, etc. (SAGARPA, 2010).

La pesquería del camarón, una de las más importantes en México, existe gracias a la gran cantidad de lagunas costeras que albergan importantes humedales, como áreas de manglar y marismas, en donde se refugian las postlarvas de camarón y se desarrollan durante varios meses hasta alcanzar sus fases juveniles, momento en el cual migran al mar para completar su ciclo de vida (SAGARPA, 2010).

Las poblaciones de manglar, pese a ser consideradas con una integridad media, conservan funciones esenciales como hábitat de fauna silvestre, particularmente de avifauna residente y migratoria; sin embargo, la laguna muestra evidencias de una mayor pérdida de su integridad funcional, debida también en gran medida a la remoción de vegetación aledaña a la costa para poner potreros improductivos (SAGARPA, 2010). Es difícil pensar en reforestación ya que los pobladores locales no ven valor económico o beneficios actualmente en el “monte”, como llaman al mangle y la vegetación no productiva.

- d) **Pastizal inducido y zona agrícola.** El área de pastizal está compuesta en su mayoría por dos especies de pastos forrajeros, *Setaria parviflora* *Chloris virgata* (GICABO, 2009). Esta composición vegetal se encuentra de manera secundaria en varias regiones del estado, en la Mixteca se conocen pastizales en los distritos de Nochixtlan, Coixtlahuaca y Juxtlahuaca, en la Planicie Costera del Pacifico, en el Istmo de Tehuantepec, en el Valle de Tehuacán – Cuicatlán, y en la Sierra Madre de Oaxaca donde abarca los distritos del Centro, Mixe,

Ixtlán y Tehuantepec. La mayoría de los pastizales presentes en la entidad están dedicados a la alimentación de ganado vacuno (Torres, 2004).

Los pastizales se desarrollan sobre suelos profundos derivados de rocas ígneas, en suelos alcalinos o salinos, el disturbio ocasionado por el hombre es un factor importante en la formación de esta comunidad vegetal, las cuales están formadas por plantas herbáceas donde las gramíneas son abundantes especies como; *Aegopogon cenchroides*, *Aegopogon tenellus*, *Muhlenbergia emersleyi*, *Trisetum deyeuxiodes*, *Panicum pilosum*, *Panicum jaliscanum*, *Bouteloua laguroides*, *Schizachyrium sanguineum*, *Sporobolus splendens* y *Stipa ichu*; además de otros géneros de hierbas como; *Euphorbia*, *Plantago* y *Tagetes* (GICABO, 2009).

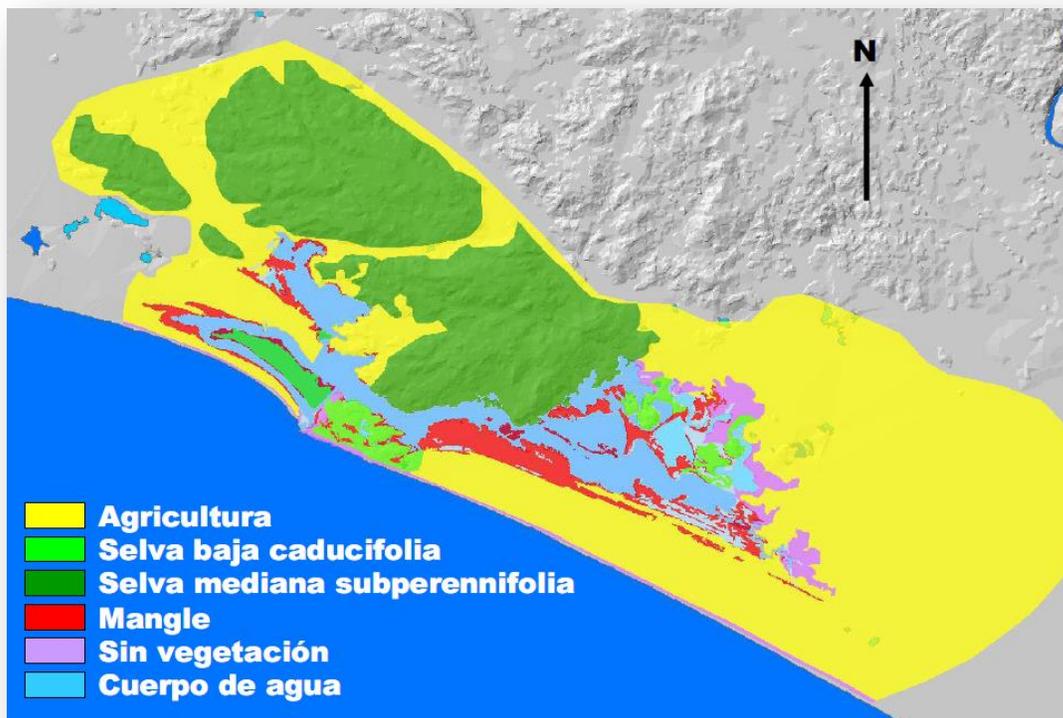


Ilustración 50. Distribución de la vegetación dentro del sistema ambiental. Tomado de SAGARPA 2010.

Tomando como referencia el uso del suelo, se aprecia que la mayor parte del área es con fines agrícolas y agropecuarios (55.3%), seguido de la selva baja con vegetación secundaria (27.56) y en una menor proporción el pastizal (10.83%) y el área urbana (6.22%). En los pastizales y zonas

urbanas se encuentran plantas ruderales y arbóreas las cuales incluyen a especies indicadoras de perturbación, producto de las actividades humanas, entre este tipo de plantas podemos mencionar a *Commelina erecta*, *Porophyllum coloratum*, *Ipomoea purpurea*, *Ipomoea murucoides*, *Apodanthera aspera*, *Tagetes sp.* *Lantana cámara*, *Datura stramonium*. Otro tipo de plantas, son las utilizadas como cercos vivos por los lugareños, entre estas podemos mencionar a *Erythrina coralloides*, *Bursera sp* (GICABO, 2009).

El sistema ambiental se encuentra alterado ya que las especies más abundantes encontradas en el área de influencia son plantas herbáceas, destacando *Commelina erecta* como especie abundante, seguida de *Ipomoea murucoides* y *Porophyllum coloratum* las cuales son especies de vegetación secundaria e indicadora de perturbación ambiental (Rzedowski y Rzedowski, 2004).

iii. Fauna

Conformada por: 13 especies de anfibios, agrupadas en 5 familias; 30 especies de reptiles en 14 familias, entre las que se encuentran tortugas, lagartijas y gekos, cocodrilo de río, serpientes y tortugas marinas; 42 especies de moluscos en 21 familias; 47 especies de mamíferos terrestres (16 familias); 8 especies de mamíferos marinos (3 familias) y 244 especies de aves en 49 familias. Para el caso de las aves en alguna categoría de riesgo, se tomó como fuente la ficha de CONABIO relativa al Sitio Prioritario para la Conservación de los Ambientes Costero y Oceánicos de México (CONABIO-CONANP-TNC Pronatura, 2007.) De las especies enlistadas, 4 especies de aves, 3 anfibios, 11 reptiles terrestres y 2 mamíferos terrestres se encuentran dentro de la NOM- 059-SEMARNAT 2010. Así, se tienen 20 especies en la norma. De éstas, 5 se clasifican como amenazadas, 14 sujetas a protección especial y 1 en peligro de extinción.

Las especies de fauna más comunes son la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), culebra (*Leptodeira nigrofasciata*), zopilote (*Cathartes aura*), tortolita (*Columbina inca*, *Columbina talpacoti*, *Leptotila verreauxi*) que son especies que tolera altos grados de perturbación (GICABO, 2009). Es importante destacar que estas especies tienen preferencia por zonas abiertas ya que se distribuyen principalmente en terrenos de cultivo y orillas de camino debiéndose principalmente a que su alimentación es mayormente insectívora y granívora, alimentos que encuentran en pastizales y potreros (Peterson y Chaliff, 1989), este tipo de ecosistemas son predominantes en la zona de influencia del SA debido a la acción antropogénica. En el caso de las aves la especie más abundante es la *Crotophaga sulcirostris*.

La actividad agropecuaria está limitada a ganado vacuno y en una menor proporción de ganado equino, este último utilizado con fines de transporte, en las áreas agrícolas tienen cultivos permanentes y anuales, los primeros se componen de maíz y chile de agua, los permanentes se componen de cocotero, plátano y papaya (GICABO, 2009).

Respecto a las aves, de marzo del 1998 hasta abril del 1999 se realizó un estudio ornitológico en el sistema Corralero-Alotengo a cargo de la Universidad del Mar, el cual obtuvo una abundancia de 6,868 aves (valores máximos en todo el año de muestreo) y 70 especies registradas. Fue mayor el número de especies acuáticas (68%) respecto al de terrestres, y la mayoría se consideró especies residentes (63%) en relación a las aves migratorias. (Ahumada-Sempoal, 2002).

El Plancton está representado por un total de 58 especies fitoplanctónicas, de las cuales 32 correspondieron a las diatomeas (55.17%), 9 a las cianofitas (15.52%), 7 a las clorofíceas (12.07%), 6 a los dinoflagelados (10.34%) y 4 a las euglenofitas (6.90%). En cuanto a la abundancia total, la mayor abundancia la presentan las diatomeas con el 53.59% y a continuación las cianofitas con el 22.69%, los dinoflagelados con el 10.69%, las euglenofitas con el 5.72% y finalmente las clorofíceas con el 7.32%. Las comunidades de fitoplancton se distribuyen según la turbulencia y fertilidad del agua. En aguas pobres y estratificadas predominan los dinoflagelados (Pacheco, 1998, Zarate et al. 1997).

Para el caso del zooplancton, la diversidad o riqueza específica está compuesta por 9 grupos y un total de 31 especies, de las cuales a los copépodos representan el 35.48% con 11 especies, a continuación se encuentran los estadios larvales de crustáceos con el 25.81% y 8 especies, los rotíferos con el 9.68% y 3 especies y el resto de los grupos participan con el 6.45% (Ahumada-Sempoal, 2002).

Para la Ictiofauna en total se tiene registro de 40 especies de peces. Cuatro especies provenientes de aguas dulces, 4 especies son estuarinas y 32 especies marinas, 19 de ellas en crianza (Ahumada-Sempoal, 2002). El comportamiento general de la biomasa tiende a los valores más elevados al final de la época de lluvias y durante la estación seca y los más bajos durante la de lluvias. Las familias *Centropomidae* y *Geneidae* presentan las especies más abundantes y frecuentes, todas ellas eurihalinas y euritémicas. Las especies consideradas dominantes, por conformar como mínimo el 80 % del total de la captura son *Diapterus peruvianus*, *Centropomus robalito* y *Genesci nereus* (Ahumada-Sempoal, 2002).

En la Laguna Corralero es notorio que el componente ecológico marino es el dominante, lo cual recalca la importancia de la conexión permanente al mar, de ellos 19 utilizan los sistemas estuarinos como áreas de crianza, de acuerdo a lo reportado por Yáñez-Arancibia (1978). Las especies netamente estuarinas *Arius seemani*, *Gobionellus microdon* y *Lle stolifera* tienden a ser frecuentes. Sin embargo, no compiten con las marinas en crianza por su abundancia. *Anchovia macrolepidofa* es otra especie estuarina muy frecuente. El componente ecológico menos representado en el dulceacuícola, lo cual muy probablemente se explique por la cada vez menor afluencia de agua dulce a las lagunas, debido a su utilización con fines de riego (Ahumada-Sempoal, 2002).

La afluencia de agua dulce se da durante un periodo relativamente corto, en la época de mayor precipitación, aunque con aportes considerables, provocando bajas abruptas y considerables en la salinidad, alta turbidez y una marcada dirección del flujo hacia el mar. Esto impone condiciones extremadamente difíciles a las poblaciones que habitan estas lagunas, considerando que en su mayoría se trata de juveniles de especies marinas, lo cual explica la tendencia general de los sistemas a presentar las biomásas más bajas en la época de lluvias. En contraparte, la época de secas propicia condiciones más estables, principalmente en las lagunas con comunicación permanente con el mar, favoreciendo la repoblación e incremento en la biomasa, así como actividad alimentaria y reproductiva más eficiente. Las variaciones ambientales en los ecosistemas marinos y costeros son determinantes en las características de cada una de sus comunidades (Ahumada-Sempoal, 2002).

Las especies dominantes, por su abundancia y por tratarse de organismos juveniles fase de crianza, revisten un alto potencial para su cultivo, al igual que algunas otras especies marinas de menor abundancia, pero de alto valor comercial, como las especies del género *Lutjanus*. Los estadios juveniles y preadultos de las especies más importantes pueden también ser una fuente de alimento de otras de tallas mayores y mayor importancia comercial, lo cual recalca la importancia de la conservación de los ecosistemas costeros para el sustento de las pesquerías en la plataforma adyacente (Ahumada-Sempoal, 2002).

iv. Medio socioeconómico

Con base en las estimaciones de CONAPO, los indicadores socioeconómicos e índice de marginación para el municipio ubican a éste con un grado de marginación Alto. El lugar que ocupa

el municipio en el contexto nacional es el 1000, donde el número 1 representa el municipio con el mayor grado de marginación (Cochoapa el Grande, Guerrero) y el 2454 el municipio con el menor grado de marginación (Delegación Benito Juárez, en el D.F.)(SAGARPA, 2010).

Tabla 32 Comparativo Estatal y Municipal de población con relación a las Comunidades dentro del SA, SAGARPA (2010)

ENTIDAD	MUNICIPIO	LOCALIDAD	POBLACIÓN
OAXACA			3,506,821
	Pinotepa Nacional		44,441
		Pinotepa Nacional	25,871
		El Ciruelo	2,185
		Corralero	1,301
		La Noria y Minindaca	261
		La Palma del Coyul	137
		Minitán	122
		Playa Banco de Oro	108
		Pie del Cerro	96
		Mariano Matamoros	69
		El Jícara	16

Del cuadro anterior se desprende que la población del municipio corresponde al 1.27% del total estatal. Por otro lado, al interior del municipio, la localidad de El Ciruelo representa el 4.92% del total municipal, seguido de El Corralero (2.93%), La Noria y Minindaca (0.59%), La Palma del Coyul (0.31%), Minitán (0.27%), Playa Banco de Oro (0.24%), Pie del Cerro (0.22%), Mariano Matamoros (0.16%), El Jícara (0.04%). En la comunidad la Noria y Minindaca 171 de sus 261 habitantes son Indígenas (Mixtecos), esta es la mayor cantidad de indígenas en una localidad, le sigue el Ciruelo con 131 habitantes Indígenas (SAGARPA, 2010).

La población económicamente activa (PEA), se considera aquella de 14 años y más. Dado que no se tienen estadísticas a nivel localidad para este indicador, la estimación del dato se realizó considerando la población de 15 años y más, dando por resultado un total de 2,620 habitantes para las 9 localidades estudiadas. Obteniendo los porcentajes de esta población en relación al total por localidad, se tiene un promedio de 66.56%²⁵². Dada la carencia de estadísticas oficiales a nivel localidad, la población ocupada por rama de actividad no fue posible obtenerla, sin embargo,

²⁵² Los porcentajes para Minitán (68.85%) y La Noria y Minindaca (65.13%) coinciden con esta cifra, reafirmando la necesidad de generar fuentes de empleo ya que existen pocas actividades productivas en la zona.

durante los trabajos de campo se pudo constatar que todas las localidades muestran una vocación eminentemente pesquera y ganadera. Las comunidades de Corralero, El Júcaro, Minitán, Pie de Cerro y Playa Banco de Oro dependen completamente de la pesca. Por otro lado, considerando que el número de pescadores suma un total de 585, la población promedio dependiente de esta actividad será de 3,510 personas, que equivale al 81.72% de la población total donde se tienen registrados pescadores activos (SAGARPA, 2010).

En cuanto a los bienes existentes en las viviendas (televisión, refrigerador, lavadora y computadora), se tiene que el porcentaje de viviendas sin ninguno de los anteriores es en promedio del 27.82%. Los bienes más comunes en las viviendas son los televisores y refrigeradores (61.92% y 45.21% respectivamente), siendo el menos común las lavadoras (5.56%) e inexistentes las computadoras (0%) (SAGARPA, 2010).

La población de las localidades en su conjunto, tienen un bajo nivel de escolaridad, siendo en promedio de entre 4° y 6° grado de primaria. Se observa que el grado de escolaridad promedio decrece en relación directa con el tamaño de la población. Para el grupo de población de 15 años y más, el analfabetismo representa entre el 11.40% y el 31.82% (también reportada como población sin escolaridad), mientras que la población con instrucción básica completa representaba del 2.56% al 13.64%. Para el mismo grupo, la educación posbásica va del 0% al 5.81%. Para estudio de media o superior hay que trasladarse a la cabecera municipal, a San Pedro Tututepec o hasta Puerto Escondido (SAGARPA, 2010).

La mayor parte de la población no cuenta con servicios de salud (70.81% al 87.18%) (SAGARPA, 2010).

v. Situación de la Pesca en la Laguna Corralero

De acuerdo con el Registro Nacional de Pesca y encuestas en la zona de estudio, en el sistema lagunar Corralero operan un total de 13 organizaciones y 441 socios pescadores, así como 8 permisionarios con 144 empleados. El número de embarcaciones totales es de 256, siendo 206 de las sociedades cooperativas y las restantes 50 de los permisionarios (SAGARPA, 2010).

La jornada de trabajo para el pescador es de un día, con horarios diferenciales de acuerdo con el área de pesca:

- 7 - 8 am a 12 - 13 pm en el Sistema Lagunar

- 3 - 4 am a 10 - 11 am en el mar

La tripulación de las embarcaciones varía también de acuerdo al área de pesca. Al interior del Sistema Lagunar es de 2 pescadores y fuera de ésta es de 3-4 pescadores (SAGARPA, 2010).

Respecto al impacto ambiental de esta actividad en términos de emisiones de CO₂, el consumo de combustible es de 30 a 40 litros por día por embarcación en la bahía y de 70 a 100 litros en el mar (SAGARPA, 2010).

La principal actividad que se lleva a cabo dentro del Sistema Lagunar Corralero es la captura de escama, aunque existen también permisos para captura de jaiba, mantarraya y tiburón. Actualmente todos permisos de pesca de todas las organizaciones pesqueras se encuentran vencidos y aunque los presidentes de las diferentes organizaciones indican que ya han hecho los trámites correspondientes, no han recibido notificación alguna de sus permisos, por lo que los registros quedarán en blanco y no se sabrá el comportamiento de la producción y organizaciones pesqueras del Sistema Lagunar Corralero (SAGARPA, 2010).

La flota pesquera de la laguna Pastoría está compuesta por un total de 256 embarcaciones (lanchas de fibra de vidrio con motor fuera de borda). En la Tabla 33 muestra las características principales de la flota pesquera (SAGARPA, 2010).

Tabla 33. Características principales de la Flota Pesquera dentro de la Laguna Corralero, SAGARPA (2010)

Área de pesca	Material	Dimensiones (pies)	Motor	Potencia (hp)	Capacidad
Sistema Lagunar	Fibra de Vidrio	20-22	Fuera de borda-remo	20-75	600 kg
Cayuco	Madera	14-16	-	-	200 kg
Mar	Fibra de vidrio	22-25	Fuera de borda	75-90	1 ton

Las embarcaciones llevan hieleras para mantener fresco el producto (300 a 500 kg). Al interior del sistema lagunar no se requiere de equipo de navegación, sin embargo, fuera de ésta, están equipadas con GPS y radio (SAGARPA, 2010). De acuerdo a los registros pesqueros que se tienen en las oficinas de pesca en Santiago Pinotepa Nacional, Oax., las artes de pesca empleadas son:

- Redes Agalleras,
- Atarrayas,

- Cuerdas Simples,
- Trasmallos,
- Cimbras Pesqueras,
- Cordeles y,
- Trampas Jaiberas.

De las cuales, las cuerdas simples son las más empleadas con 226 unidades, seguida de los trasmallos con 222 unidades y las atarrayas con 178 unidades (SAGARPA, 2010).

Existen dos Programa de Apoyo a la actividad pesquera en la Laguna (SAGARPA, 2010):

- Subsidio a gasolina y diésel marino.
- Restitución de motores.

Aunque ninguna de las organizaciones pesqueras cuentan actualmente con ese beneficio porque no se les ha renovado los permisos correspondientes y solicitados para poder trabajar libremente en el Sistema.

Para dar seguridad a la navegación, en la Boca del Oro se tiene un faro que previene a las embarcaciones de la aproximación de las obras de protección y de la cercanía del continente.

Solamente en la comunidad de Corralero se cuenta con un muelle para embarcaciones menores, aunque todas las embarcaciones atracan directamente sobre la playa pues les es más fácil debido a que descargan su producto cerca de sus casas donde el producto es alineado y dispuesto para su venta a los intermediarios (SAGARPA, 2010).

En la comunidad de Corralero únicamente se cuenta con una fábrica dispensadora de hielo, a la que recuren los pescadores para preservar su producto.

No existe alguna estación de combustible cercana a la Laguna de Corralero, lo que dificulta en gran medida el traslado del combustible. El combustible únicamente se puede obtener en la cabecera municipal o por reventa a un mayor costo. La producción pesquera es procesada en cada una de las viviendas de los pescadores o en las diferentes sociedades cooperativas, donde es puesta para su venta (SAGARPA, 2010).

vi. Volumen y valor de la Producción pesquera.

Debe señalarse que los datos de producción pesquera deben ser tomados con reserva debido a los sesgos identificados, principalmente por la falta de sistematización de los registros de captura. Las cifras a manejar, son el resultado de un esfuerzo de integración de los registros oficiales de reportes y encuestas entre los pescadores (SAGARPA, 2010). La principal actividad que se desarrolla dentro del sistema lagunar como se dijo, es la captura de escama, de donde destaca la captura de huachinango (47.53% de la captura total), aunque también se tiene la pesquería de jaiba

La producción parece mantenerse constante pero con algunos mínimos, siendo el principal el del último período (2008-2009) (Ilustración 51). Este cambio parece coincidir con el vencimiento de los permisos de pesca para algunas sociedades cooperativas, que hasta la fecha de este estudio, no se les ha renovado (SAGARPA, 2010).

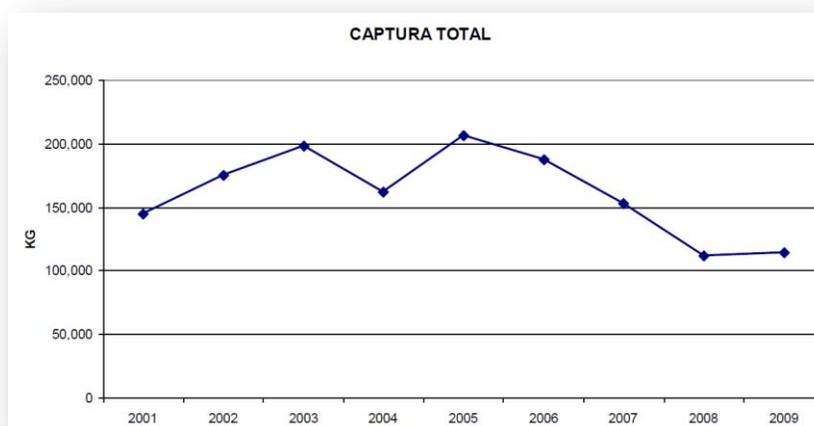


Ilustración 51. Producción pesquera histórica (2001-2008) Laguna Corralero. Tomado de SAGARPA, 2010.

El potencial de la producción podría considerarse en este caso como el valor de la producción máxima (\$5,876,411 pesos) y es el resultado de la mejor producción observada en el registro de captura en el Sistema Lagunar Corralero (SAGARPA, 2010). En la Tabla 34 podemos observar el valor de la producción pesquera de la laguna

Tabla 34. Valor de la producción pesquera en la Laguna Corralero. Producción Promedio (2001-2009), Valor de la producción Máxima (2005). Modificado de SAGARPA, 2010.

Especie	Precio (Pesos)	Producción		
		Promedio (Kg)	Valor promedio	Valor Máximo
Jaiba	10	2,376	23,764	43,500
Huachinango	35	76,697	2,684,407	3,525,025
Blanco	25	14,334	358,356	712,425
Pargo	28	11,292	316,182	410,088
Cocinero	20	7,496	149,922	91,600
Robalo	22	7,190	158,173	153,538
Jurel	18	6,773	121,914	68,940
Pijolin	18	7,528	135,509	91,170
Mojarra	22	4,927	108,399	134,310
Cuatete	18	4,079	73,414	83,160
Sierra	22	3,311	72,837	41,140
Frel	15	2,461	36,915	3,000
Tiburón	15	2,277	34,158	46,950
Mantarraya	18	3,151	56,712	84,960
Boba	22	1,667	36,679	84,700
Flamenco	32	1,451	46,444	136,896
Ronco	18	1,223	22,010	28,440
Salema	18	968	17,420	15,480
Charra	12	982	11,784	5,964
Malacapa	15	892	13,380	18,780
Lisa	25	651	16,269	42,975
Palometa	12	520	6,245	5,688
Corvina	18	555	9,998	8,640
Cabezuda	22	602	13,237	21,428
Carpa	25	889	22,219	11,250
Cazon	25	226	5,646	4,000
Otras	12	531	6,372	2,364
Total		165,050	4,558,363	5,876,411

Aunque la estadística oficial no presente información sobre el camarón y langostino, los pescadores de la zona obtienen la mayor parte de sus ganancias de la pesca de camarón, o así lo perciben. De hecho, el uso de los trasmayos camaroneros es, en opinión del presidente de las cooperativas pesqueras de la Laguna Corralero el Sr. Máximo Mayren, “uno de los principales agentes de desgaste en las poblaciones de peces”. Según observé con pescadores de la comunidad Minitan, por cada kilo de camarón pescado en trasmayo se desechaban o 2 o 3 Kg de juveniles de peces.

Aun con lo anterior, y tomando como referencia las estadísticas oficiales, se observa una pérdida de producción (Ilustración 51) asociada con el proceso de azolve²⁵³, particularmente con el de su boca de comunicación (SAGARPA, 2010).

²⁵³ Los pescadores locales apoyaban esta visión y aseguraban que la pesca venía empeorando (cada vez requerían más esfuerzo para obtener tallas menores), debido al cierre de la boca de la laguna.

Según la SAGARPA, para las obras de rehabilitación de la escollera²⁵⁴ se tienen dos escenarios de pronóstico de la producción que afectarán de manera positiva el ingreso de los pescadores (Tabla 35), (SAGARPA, 2010).

Tabla 35 Beneficios económicos de dos escenarios de pronóstico de incremento en la producción pesquera de la Laguna Corralero debido a obras de rehabilitación y dragado de la boca de la laguna y canales de comunicación.

Ingresos (\$ pesos)				
Actuales (2009)	Escenario 1	Escenario 2	Marginales escenario 1	Marginales escenario 2
3,362,535	4,558,363	4,391,385	1,195,828	1,028,850

Así, la SAGARPA establece un indicador del beneficio integral en el caso de mejorar las condiciones de la laguna. Se plantea cuando menos la recuperación en los volúmenes promedio de captura por la actividad pesquera, esperándose recobrar como mínimo la producción máxima histórica de los últimos 10 años en un escenario positivo, lo cual implica un volumen de captura 1.8 veces mayor, con un incremento en el ingreso mensual de los pescadores de entre 30.60 y 35.56%.

Es importante mencionar que estos escenarios no contemplan la implementación de planes de manejo pesquero en la laguna o de mejora en el registro de las cooperativas y en sus métodos de producción, o el desarrollo de nuevas oportunidades productivas; solamente se plantean en base a la obra de rehabilitación de la escollera.

²⁵⁴ Que suponen un incremento del prisma de marea de aproximadamente 10 y 8 veces el prisma actual en el Burro y de 7.5 a 8 veces el valor de la magnitud de las corrientes promedio en la Laguna. SAGARPA, 2010.

7. Selección de herramientas de evaluación socio-ambiental: Medición de flujos de Materiales y Energía, y Capacidad de Carga.

"La mayor parte de los trabajos dedicados al análisis del desarrollo sustentable en países en desarrollo, y en particular en América Latina, son índices monetarios y económicos (como el PIB), sin verdaderos indicadores que evalúen los procesos productivos en términos del consumo de recursos y los impactos ambientales relacionados con las actividades económicas" (Bringezu 2003).

Los precios del Mercado provén un estimado del valor real de los productos, pero reflejan solo parcialmente, o no reflejan en absoluto, los costos a la sociedad por la degradación ambiental causada para producir dichos bienes. Para corregir esto desde la visión de la sustentabilidad débil, es necesario estimar los servicios ambientales perdidos en los procesos de producción, monetizar está pérdida y reflejarla en los precios de mercado (Bartley, et al. 2007).

La principal dificultad en este sentido, se relaciona con una adecuada valuación de los impactos, su reflejo en el costo verdadero en el ambiente (o en el stock natural de una población) y su reflejo en el costo del producto. La segunda dificultad se relaciona con la formulación de políticas públicas que aborden de manera adecuada los "trade-offs" con el ambiente, para evaluar cuáles son coherentes a nivel económico y ambiental, particularmente cuando las realidades económicas y los niveles de desarrollo varían ampliamente entre países (Bartley, *et al.* 2007). Además, muchas cosas no pueden compararse de manera útil (o justa) debido a las diferencias entre "commodities" y los ambientes donde son producidos. Como "commodities", todos los bienes son intercambiables en la escala única de la rentabilidad (Levins, 2009). Por ejemplo, comparar el costo ambiental de producir ganado en Chile²⁵⁵ con la producción de Tilapia en Tailandia, tal vez no tenga sentido para la creación de políticas públicas, pero puede ser relevante para los

255 La demanda de productos animales a nivel mundial creció de 15 Kg per cápita en 1982 a 28 Kg en el 2002 generando importantes impactos ambientales. Se espera que la demanda alcance 37 kg para el 2030 (FAO, 2003). El cultivo de Ganado es considerado la causa principal de conversión de tierra por causas humanas, se estima que es responsable por el 18% de las emisiones de gases de efecto invernadero (más que el transporte), siendo además un actor principal en el incremento de uso de agua (representando el 8% del uso total de agua por el hombre), la mayoría para irrigar cultivos forrajeros. Se considera que es uno de los principales factores de pérdida de biodiversidad (Gerber, 2007). Al comparar la acuicultura con la producción de ganado, el alimento utilizado en ambos sectores es muy importante para evaluar sus costos ambientales. En el caso del cultivo de salmón, el costo ambiental del producto aumenta cuando el costo de la pesca y los procesos necesarios para la producción de alimento con base en harina de pescado son contemplados (FAO,2007).

consumidores que desean saber qué sistema de producción tiene mayor efecto en términos de cambio climático (FAO, 2007).

Existe por lo tanto una demanda creciente de métodos de análisis integrado para los sistemas socio-ambientales (Martinez-Alier, 1999). En este sentido, los métodos de contabilidad integrada “ambiental-económica” están comenzando a ser utilizados para analizar la relación entre las actividades económicas y el ambiente. (Haberl, 2007). El principal problema (propio de la sustentabilidad débil) es la adecuada monetización del valor de los servicios ecosistémicos y la cuestionable sustituibilidad del capital natural.

La comunidad internacional también ha reconocido la necesidad de evaluar los impactos ambientales del desarrollo con herramientas metodológicas estandarizadas. La Convención de Diversidad Biológica (CDB, 1994) y el Código de Conducta de Pesquerías Responsables de la FAO (FAO, 1995), son instrumentos internacionales clave que demandan que “el desarrollo atienda la agenda ambiental y ayude a la protección de la diversidad biológica” (Bartley, et al. 2007). Los métodos de análisis de costos ambientales sugeridos por la FAO se muestran en la Tabla 36

Tabla 36 Comparativo de los métodos de análisis de costos ambientales. Modificado de FAO, 2007.

Método	Atributos Clave	Fortalezas	Debilidades	Rigor Científico	Facilidad para aplicar y comunicar
Manifestación de Impacto (MIA)	Estudio descriptivo, específico del sitio, basado en un proyecto	Planeación pública y procesos transparentes; basado en criterios múltiples y puede usarse en análisis de sensibilidad, identifica riesgos e impactos, permite el rediseño del proyecto para reducir impactos	No cuantifica trade-offs o efectos, no da un solo indicador comparable, problemas con como identificar la información	variable (de alto a muy bajo). Mucha incertidumbre debido a la falta de información. A menudo está limitada debido a fechas de entrega de proyectos	Buena, frecuentemente figura en la toma de decisiones
Análisis de Riesgo (RA)	Herramienta para entender los procesos ambientales	Contribuye a mejorar el entendimiento de flujos e impactos ambientales; pretende ser cuantitativo pero puede ser cualitativo, identifica peligros e impactos	depende de juicios calificativos y a estimados debido a la falta de información. Limitado uso comparativo (algunos riesgos aplican para otros sectores otros no)	Variable, se requiere de nuevos indicadores ambientales	Buena, figura en la toma de decisiones
Medición de Flujo de Materiales (MFA)	Examina la entrada y salida de materiales clave; cuantifica flujos biológicos asociados con actividades económicas. Aplicable a sistemas de diversas escalas	Cuantifica la cantidad de inputs y outputs de un proyecto, puede producir información comparable en tiempo y espacio. Utilizado para mejorar la eficiencia ecológica, herramientas bien conocidas con protocolos estandarizados	No refleja los efectos ambientales, fotografía de los flujos en un momento específico (lugar y tiempo)	Alto	Muy buena
Medición de Flujo de Energía (EA)	Examina la energía de combustibles fósiles utilizada en la producción	Produce una sola medida que sirve para comparar diferentes componentes de uno o varios sectores	Presenta una imagen incompleta del sector, la importancia es cuestionable debido a que la energía (gasolina) tiene un valor de mercado que cambia; no cuantifica los impactos ambientales de su consumo.	Alto	Buena, pocas decisiones se pueden tomar solo del EA
Apropiación humana de la producción primaria neta de biomasa (HANPP)	Un indicador de los efectos ambientales, basado en los cambios de los flujos ecológicos de energía trófica causada por el uso de tierra.	Agrega información a una sola estadística comparable, puede examinar causas económicas que originan cambios, es un indicador ecológico enfocado, es comparable a diferentes escalas, regiones y tiempos.	No esta bien desarrollada para ambientes acuáticos, no describe los impactos y no atiende cambios ecológicos específicos a nivel local	Alto	Facil de comunicar, difícil de interpretar
Huella Ecológica (EF)	Método para agregar impactos en un solo indicador que evalúa la eficiencia de las actividades humanas; convierte todos los impactos en una medida del área necesaria para soportar una actividad.	Provee un solo indicador para ser comparado, puede aplicarse a diferentes niveles y escalas, muestra efectos acumulativos/agregados.	No incluye todos los flujos. La aplicación para sistemas de producción de alimentos no es obvia, los métodos no son los mas adecuados para medir el uso de agua, no ofrece información específica acerca de los efectos de los impactos, no aborda efectos específicos para ambientes específicos; trata a todos los ambientes como homogéneos e iguales	Bajo	Fácil de comunicar, pero las estadísticas de manera regular se interpretan o utilizan mal, la aplicación esta limitada por falta de conocimiento en las diferencias ambientales entre habitats
Análisis de Ciclo de Vida (LCA)	Examina un rango de impactos de los sistemas de producción; estudio de impacto ambiental orientado al producto, con una perspectiva desde su fabricación hasta su eliminación final (enfoque llamado "de la cuna a la tumba"). Estudio multicriterio, cuantifica contribuciones potenciales a impactos globales	Permite identificar y priorizar peligros. Puede construir en base a información existente, puede comparar entre productos/procesos alternativos y diferentes escenarios. Método básico para desarrollar etiquetado ecológico para apoyar las decisiones de los consumidores (serie de ISO 14020), puede dar insights relevantes para el diseño de políticas públicas.	Requiere mucha información, algunos estudios utilizan diferentes unidades funcionales, los resultados atienden impactos globales a expensas de los impactos locales, los resultados no son aplicables directamente a menos de que se realice una comparación específica.	Alto	Se puede usar para realizar comparaciones directas, la comunicación de criterios múltiples puede ser difícil
Análisis Costo Beneficio con Costos Ambientales (CBA)	Usa técnicas de valuación, para bienes no mercadeables, compara los resultados netos de actividades de diferentes sectores.	Puede comparar sistemas de producción, es inclusivo pues permite diferentes tipos de información, incluye bienes no mercadeables. La relación costo beneficio y el VPN proveen medidas agregadas del rendimiento relativo de diferentes sistemas de producción. Lo mas utilizado para influenciar políticas publicas	Los valores ambientales son difíciles de determinar, los cambios en las funciones ecológicas son difíciles de predecir, normalmente el ambiente no es incluido. La tasa de descuentos son arbitrarias y pueden verse influenciados por política, se pierde información durante su agregación.	Alto	Resultados fáciles de entender y comunicar, incluyendo evaluación de bienes ambientales, sus servicios y bienes no comerciales. La aplicación es difícil

Para el análisis de costos ambientales en este trabajo se utilizaron 3 de los métodos recomendados por la FAO (2007): Medición de Flujo de Materiales (MFA), Medición de Flujo de Energía (EA) (Combinados) y Análisis Costo Beneficio con Costos Ambientales (CBA) derivado del análisis de la capacidad de carga.

Ninguno de los metodos existentes captura todos los impactos ambientales en la producción de alimentos. “Con la posible excepción del estudio de Impacto Ambiental (MIA) y el análisis costo beneficio (CBA), pocas decisiones pueden tomarse utilizando un solo método. Sin embargo, muchos de los métodos pueden y deben utilizarse en conjunto” (FAO, 2007).

Existen problemas comunes para todos los métodos: la necesidad de información correcta y con diversos grados de detalle, el problema de asignarle valor a un bien que no posee mercado (como es el caso de los bienes ambientales y los servicios ecosistémicos), y el problema de análisis sesgados a intereses particulares (FAO, 2007).

La legislación existente en México solo exige la realización de una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) para la validación de proyectos acuícolas. Aunque la MIA es mejor que nada, puede resultar en muchas circunstancias inapropiada o incompleta. “Esta herramienta usualmente no incluye criterios múltiples para la valuación ambiental, y comúnmente contiene sesgos importantes debido a que es realizada y presentada para su evaluación por el interesado en desarrollar el proyecto” (FAO, 2007).

Mientras no exista una imagen clara de los costos ambientales, las políticas públicas no expresaran la realidad en la producción de alimento, el precio de los alimentos no reflejará el verdadero costo de su producción (especialmente para los ecosistemas y sus comunidades), y tanto el público como el gobierno recibirán mensajes cruzados (FAO,2007).

8. Herramientas de Modelación para Sistemas Acuícolas.

Los sistemas acuícolas son dinámicos y complejos, conjugan la interacción de diferentes procesos que se afectan mutuamente (sociales, económicos, ambientales y gerenciales), forman un todo complejo mayor que los elementos que lo conforman, cada interacción define las características del sistema de manera dinámica (García, 2006) (Ilustración 52).

La Acuicultura: un sistema Complejo



Ilustración 52. La acuicultura como un sistema complejo,

Para modelar estos procesos y apoyar la toma de decisiones se han diseñado un amplio rango de software con diferentes propósitos (Halide, 2009). Sus usos se extienden desde la selección del sitio (Halide, 2009, Silvert 1994a,b; Stagnitti and Austin 1998; Hargrave 2002; Moccia y Reid 2007), la planeación de instalaciones para la remoción de nutrientes (Vezzulli *et al.*, 2006), el diseño de unidades de producción (Ernst *et al.*, 2000), el manejo de la producción en laboratorios de producción de larvas (hatcheries) (Schulstad 1997), pronóstico de producciones acuícolas (Zhang *et al.* 2005), apoyo en la investigación y el manejo acuícola (Bourke *et al.*, 1993) y para efectuar evaluaciones de impacto económico (Bolte *et al.*, 2000). Todos con limitaciones propias.

Adicionalmente en la última década, numerosos modelos de simulación han sido desarrollados específicamente para predecir cambios ambientales generados con diferentes concentraciones de nutrientes ingresados (Byron and Costa-Pierce, 2012). Modelos como DEPOMOD (Cromey, Nickell y Black, 2002; Cromey *et al.*, 2002) y CADS_TOOL, pueden ser utilizados a escala local para evaluar los impactos en el ambiente resultado del sistema de cultivo ingresado (Ross, *et al.*, 2013).

Los modelos matemáticos pueden constituir modelos dinámicos complejos que muestran los cambios en el tiempo, dentro de un sistema de cultivo en un sitio particular. Se programan como elementos independientes “stand alone” o para funcionar dentro de ambientes de modelación como STELLA® (Ross, et al., 2013), o Quantrix®.

Con algunas pocas excepciones (CADS_TOOL realiza predicciones económicas de información específica del sitio), la mayoría de las herramientas de modelación acuícola están enfocadas en proveer información y predicciones sobre cómo responderá el ambiente a varios niveles de producción fija y total (Ross, et al., 2013).

Existen relativamente pocos modelos que realicen una estimación de la capacidad de carga de un sistema ambiental. El aporte científico se ha enfocado casi exclusivamente en analizar la capacidad de carga productiva y la ecológica desde diferentes enfoques. También existen modelos personalizados para empresas diseñados en hojas de cálculo o cubos OLAP, los modelos especializados como AquaFarm están escritos en C++ y otros como CADS_TOOL en lenguaje Java®.

Necesidad de Información

La información necesaria para la selección del sitio y la estimación de la capacidad de carga es variada y usualmente consiste de información que describa los aspectos físicos, biológicos, económicos, sociales y de infraestructura del sistema (Ross, et al., 2013). Esta información puede provenir de una gran variedad de fuentes, desde información primaria colectada en el sitio pasando por imágenes de satélite, a toda clase de información secundaria bibliográfica y de modelación.

Es común el caso donde la estimación de una variable con base en otra pueda crear nueva información que es más útil que la información original. Esta información es referida como datos “proxy” (Ross, et al., 2013) y son utilizados en este trabajo. Algunos ejemplos de información proxy son: calcular la temperatura probable del agua con base en información histórica de la temperatura del aire, calcular los niveles de oxígeno disuelto con base en modelos (por ejemplo de regresión dinámica) que evalúen otras variables históricas y su interacción con elementos futuros como la densidad de organismos por metro cuadrado. Establecer los requerimientos de información social y económica es también un reto, especialmente considerando que las fronteras entre todos los involucrados no son evidentes.

En este trabajo sustentamos la investigación bibliográfica y la información introducida a los modelos con base en las recomendaciones del trabajo de Ross, et al. (2013) para la estimación de la capacidad de carga incluyendo los siguientes elementos:

Tabla 37 Ejemplo de los requerimientos de información para diferentes sistemas de cultivo. Esta lista de parámetros es más bien indicativa que exhaustiva. Modificada de Ross, et al., 2013

Sistema de Cultivo	Capacidad de Carga Física	Capacidad de Carga Productiva	Capacidad de Carga Ecológica	Capacidad de Carga Social
<i>Jaulas Flotantes</i>	Vientos	Temperatura	Habitads críticos	Derechos de acceso y
	Oleaje	Salinidad	Biodiversidad	uso en la Laguna
	Corrientes	Tipo de Dieta	Eutrofización	Acceso a capital
	Profundidad	Régimen de	Impactos	Beneficiarios
	Temperatura	Alimentación	Ambientales	Fuerza laboral
	Salinidad	Inversión	Impactos Visuales	Legislación Ejidal
	Infraestructura	Mercados	Etc.	Pesca Local
	Etc.	Etc.		Etc.
<i>Tanques/Estanques</i>	Cantidad de agua	Temperatura	Habitads críticos	Estatus del régimen
	Calidad de agua	Salinidad	Biodiversidad	de la tierra
	Inclinación	Tipo de Dieta	Eutrofización	Derechos al acceso
	Suelos	Régimen de	Impactos	del agua
	Lluvia	Alimentación	Ambientales	Acceso a capital
	Evaporación	Inversión	Impactos Visuales	Beneficiarios
	Infraestructura	Mercados	Etc.	Fuerza laboral
	Etc.	Etc.		Legislación Ejidal

Herramientas de modelación y toma de decisiones

Evaluar la capacidad de carga para la acuicultura es un reto debido al número y naturaleza de las interacciones, procesos y escenarios involucrados. McKindsey *et al.* (2006) notaron que la complejidad potencial del marco para la toma de decisiones requiere diferentes tipos de conocimientos y experticia. Por lo anterior propusieron que los sistemas especializados de modelación “son la forma más práctica y costo-efectiva para manejar el proceso”.

Para soportar la toma de decisiones para la expansión y optimización de procesos acuícolas, se puede hacer uso de un amplio rango de modelos, pero se requiere una cantidad importante de trabajo. Las herramientas virtuales, incluyendo la modelación matemática, se ha vuelto más efectiva en el análisis de varios componentes de la capacidad de carga, y por lo tanto, en asistir la toma de decisiones soportadas en el desarrollo sustentable y el EAA (Ross, et al., 2013). Ferreira *et*

al. (2012) definieron a la tecnología virtual en este contexto como “cualquier representación artificial de ecosistemas que soporten procesos acuícolas, de manera directa o indirecta”. Dichas representaciones están diseñadas para ayudar en la medición, entendimiento, y predicción de las variables y procesos subyacentes, ayudando a entender los elementos desde el EAA (Ross, et al., 2013).

La tecnología virtual y la modelación son una parte importante del proceso de toma de decisiones, ya que pueden utilizarse para simplificar o replicar procesos existentes de manera eficiente y sencilla. Estos modelos pueden ser utilizados para evaluar las consecuencias potenciales de distintos escenarios que sería costoso, desafiante y peligroso simular en la realidad, como por ejemplo el nivel máximo de nutrientes que puede procesar un cuerpo de agua antes de provocar efectos catastróficos en la fauna local por falta de oxígeno en el cuerpo de agua (Ross, et al., 2013).

Aunque la selección del sitio y la estimación de la capacidad de carga son temas complejos, las herramientas para apoyar la toma de decisiones pueden ser utilizadas para representar todos los componentes clave del análisis (Ross, et al., 2013). En todas las etapas del proceso, las tecnologías virtuales son herramientas valiosas para apoyar la toma de decisiones, proveyendo medios para evaluar los trade-offs (costos) entre los componentes sociales, ambientales y económicos en el contexto del desarrollo sustentable.

Está claro entonces que las tecnologías virtuales, ya sean sistemas de información geográfica, de monitoreo satelital, modelos dinámicos u otros; pueden jugar un papel importante en la evaluación de los componentes físicos, productivos y ambientales del proceso de selección del sitio y medición de la capacidad de carga. (Ross, et al., 2013).

Especial atención se le ha dado a herramientas que incluyan la capacidad de carga como una de sus funciones o que tienen por objetivo estimar la capacidad de carga (Ross, et al., 2013). Algunas de estas herramientas incorporan múltiples modelos, múltiples especies, y la posibilidad de ser adaptadas para contribuir a un estudio de mayor envergadura; como un estudio a escala global del potencial de la maricultura (Kapetsky *et al.*, 2012), o a nivel nacional para apoyar en el proceso de estimar el potencial acuícola del país.

Modelos Ambientales

Los modelos ambientales son herramientas basadas en algoritmos matemáticos, que permiten establecer predicciones de los cambios ambientales y sus consecuencias (Ford, 1999) a partir de establecer una línea base, y establecer parámetros para el monitoreo subsecuente de la información. Dichos modelos también se utilizan en la acuicultura para el manejo de granjas y para simular la calidad del agua dentro del sistema de cultivo; el objetivo es minimizar la mortalidad de los organismos cultivados para mejorar la rentabilidad del sistema (Beveridge, 2004). Los modelos pueden variar de simples cálculos matemáticos a procesos más complejos que requieren integración en software especializado.

Para manejar la complejidad del análisis y del manejo de la información, en este trabajo se acudió a 3 herramientas de modelación diferentes²⁵⁶: modelación productiva / tecnológica (AquaFarm), capacidad de carga (CADS_TOOL), y un cubo OLAP²⁵⁷ (Quantrix) (también llamados “hipercubos” de cálculo), esta última tecnología enfocada principalmente al análisis y visualización de los flujos de materiales y energía.

1. Simulación del sistema MultiCo: **Aquafarm 3.0**, (Ernst, D.H., Bolte, J.P., Nath, S.S., 2000). Universidad Estatal de Oregon. Aquafarm es un software de simulación y soporte en la toma de decisiones para el diseño, planeación y manejo de granjas acuícolas.

Desarrollado del modelo original POND, provee:

- Simulación de procesos físicos, químicos y biológicos
- Simulación de parámetros de manejo de las instalaciones y el sistema de cultivo
- Compilación del uso de recursos y presupuestos financieros
- Una interfaz grafica y capacidades para el manejo de información

²⁵⁶ Las herramientas utilizadas en este trabajo son las dos primeras opciones que encabezan la lista propuestas por Ross, L.G. *et al.*, FAO para analizar la capacidad de carga de un sistema acuícola

²⁵⁷ Un cubo OLAP, “*OnLine Analytical Processing*” o procesamiento Analítico en Línea, es una base de datos multidimensional, en la cual el almacenamiento físico de los datos se realiza en un vector multidimensional. Los cubos OLAP se pueden considerar como una ampliación de las dos dimensiones de una hoja de cálculo. En un sistema OLAP puede haber más de tres dimensiones, por lo que a los cubos OLAP también reciben el nombre de hipercubos. Las herramientas comerciales OLAP tienen diferentes métodos de creación y vinculación de estos cubos o hipercubos

La modelación en Aquafarm obliga a hacer un análisis detallado de cada proceso planteado, desde la definición de parámetros clave para la especie a cultivar: tasas metabólicas, desarrollo general y crecimiento, hasta el tipo de bombas, aireadores, alimento y otros parámetros de producción. Para poder diseñar una unidad de producción acuícola se requiere del trabajo de un equipo multidisciplinario (dominio de expertos) (Ilustración 53) capaz de transformar los bosquejos de un diseño general a componentes técnicos específicos capaces de traducirse en cotizaciones y elementos reales; como se realizó para la prueba en la comunidad la Noria. La simulación se vuelve un proceso iterativo que conjuga la interacción de un grupo de expertos con la adecuación de los objetivos de producción en el diseño de infraestructura y la selección de insumos.

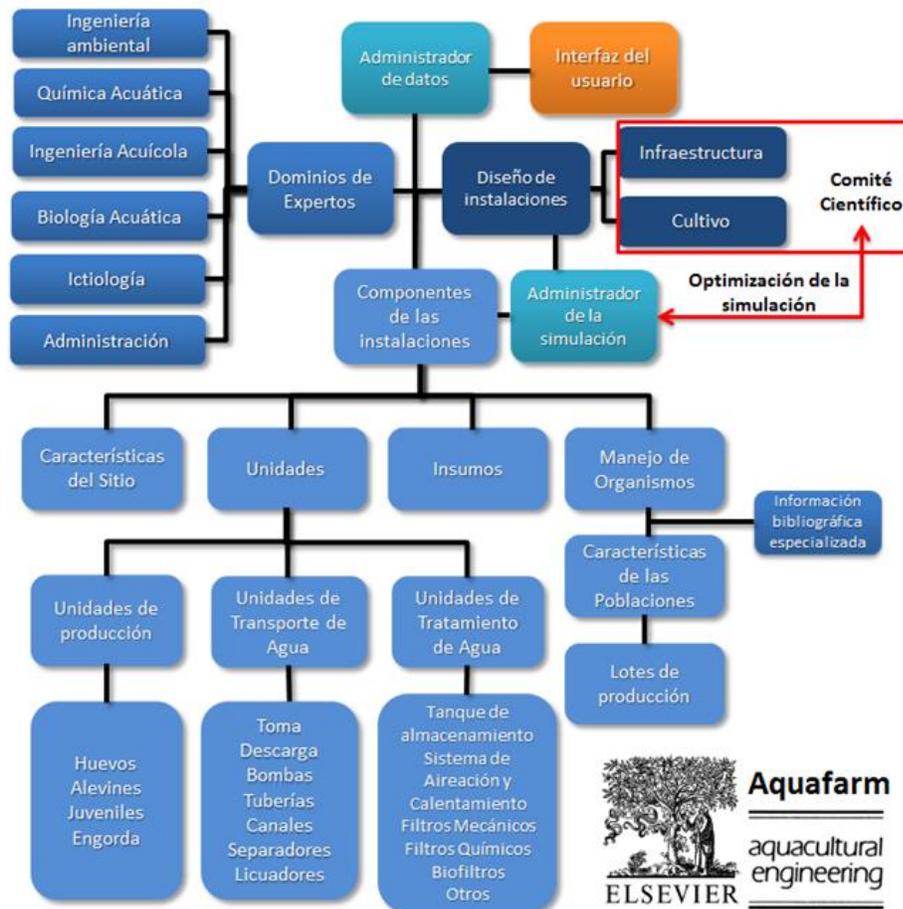


Ilustración 53. Diagrama de proceso de Modelación en el sistema Aquafarm. Modificado de Ernst, 2000

Este proceso además permite tener un plan de trabajo detallado día a día con las condiciones específicas de los organismos y su ambiente, incluyendo el tipo de afluentes que se desarrollarán y los insumos necesarios.

En el proceso de modelación inicial se contó con el apoyo del comité científico, quien dio el visto bueno y acompañó el proceso.

2. Capacidad de Carga del sitio: CADS_TOOL 1.0 “Software for Marine and Freshwater Cage Aquaculture Managers”²⁵⁸.

Herramienta de soporte para la toma de decisiones en el cultivo acuícola en jaulas. Está diseñada para ayudar a los gerentes a optimizar sus decisiones en la elección de un sitio de cultivo de jaulas. Específicamente realizara:

- Clasificación del sitio
- Selecciona el mejor sitio entre diferentes alternativas
- Calcula la capacidad carga sostenible del sitio elegido
- Realiza una apreciación económica básica para el sitio

Basado en los criterios propuestos por John E. Huguenin (1997) y la metodología desarrollada por Halmar Halide (2008) para el Gobierno Australiano (Software for Marine and Freshwater Cage Aquaculture Managers), este software es una herramienta para calcular la capacidad de carga de cuerpos de agua y para apoyar la selección de sitios adecuados para la instalación de jaulas flotantes para engorda de peces. Los modelos que ignoran los efectos de la cantidad de organismos en un momento dado (stock), son llamados “modelos estáticos”, los modelos que incorporan la cuenta intertemporal de los efectos en el ambiente son llamados “modelos dinámicos” (Barbier, 2000; Freeman, 2003), el software contiene ejemplos de ambos modelos.

La mayor parte de la literatura disponible de cultivo en jaulas es para salmónidos y para cultivo en mar abierto o a grandes profundidades (al menos 20 metros), lo anterior genera ciertos sesgos en los criterios de selección de sitios de cultivo porque en general no se ha desarrollado tecnología para sistemas tropicales de poca o media profundidad, estos

²⁵⁸ http://www.aims.gov.au/en_GB/docs/research/sustainableuse/tropicalaquacultur/cads-tool.html

sesgos plantean limitantes para ciertos sitios donde nuevas soluciones tecnológicas podrían ayudar a aprovechar su potencial. La importancia de emplear estas herramientas se deriva de la necesidad de responder ante el crecimiento constante de la actividad acuícola en nuestro país y el mundo²⁵⁹.

Ambos programas asumen que el input de nutrientes como N y P tendrán consecuencias negativas principalmente relacionadas con eutrofización, sin embargo, la información concreta sobre eutrofización es escasa y usualmente los riesgos son estimados a través de modelos de capacidad de carga. Estos modelos generalmente se basaron en el manejo del P en sistemas de agua dulce y parten del supuesto de que este es el factor limitante para la productividad primaria (Soto, 2007). Pese a tales limitantes, la importancia de emplear estas herramientas se deriva de la necesidad de responder ante el crecimiento constante de la actividad acuícola²⁶⁰ en nuestro país, especialmente la que se enfoca al cultivo en jaulas.

3. **Quantrix Modeler** – Software de análisis y modelación multidimensional para toma de decisiones. Es un programa de hojas de cálculo construido bajo el concepto del pionero "Lotus Improv" (1991). Como Improv, Quantrix ha sido adoptado principalmente por la industria financiera, su habilidad para manejar diferentes categorías o dimensiones facilita la visualización de presupuestos, análisis de riesgo, proyecciones financieras y todo tipo de formas complejas de modelación de información.

En este trabajo se siguió la metodología de Quantrix (Fig. 54) en la construcción de un modelo para calcular y visualizar el flujo de energía y materiales (incluyendo nutrientes) en las diferentes escalas y escenarios del proyecto. El modelo cuenta con factores de conversión dinámicos y formato de salida listo para procesar a esquema de visualización tipo Sankey. Este modelador se utiliza también en la discusión para obtener indicadores comparables y realizar un análisis general de la sostenibilidad de la tecnología propuesta contra el sistema predominante a nivel nacional.

²⁵⁹ El cultivo en jaulas flotantes solo representaba el 10% de la producción en el 2000 y se estima que para el 2010 debía haber alcanzado un 30% (Fitzsimmons, 2000). De acuerdo con la FAO en el 2003 México solo contaba con 87 unidades de jaulas flotantes trabajando (de un total de 1963 unidades registradas) con un volumen de producción de 88,913 m³.

²⁶⁰ El cultivo en jaulas flotantes solo representaba el 10% de la producción en el 2000 y se estima que para el 2010 debía haber alcanzado un 30% (Fitzsimmons, 2000). De acuerdo con la FAO en el 2003 México solo contaba con 87 unidades de jaulas flotantes trabajando (de un total de 1963 unidades registradas) con un volumen de producción de 88,913 m³.

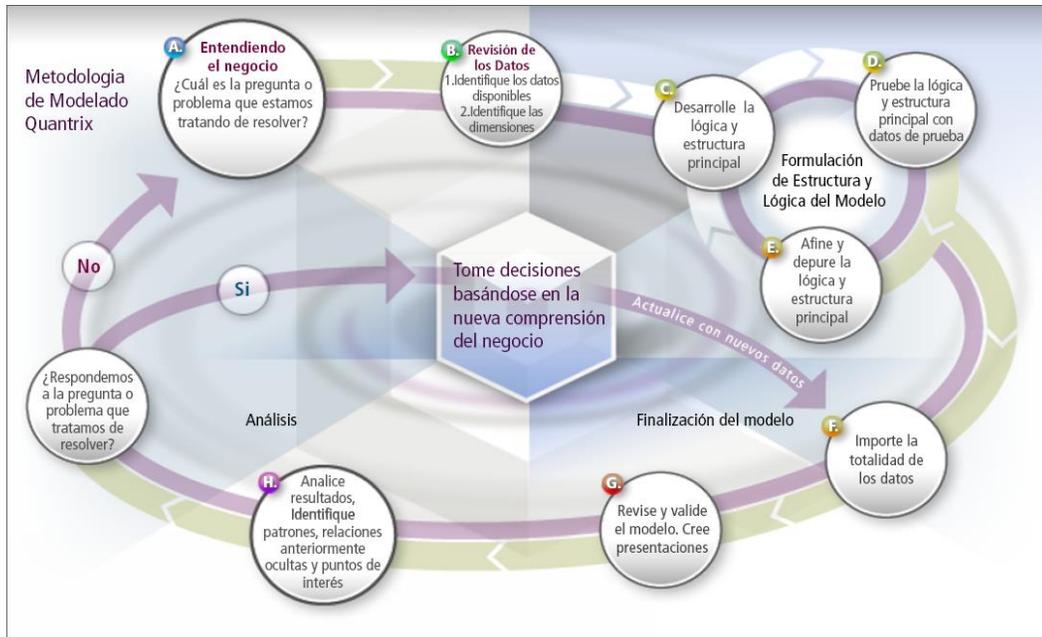


Ilustración 54 Metodología de Quantrix Modeler para la construcción de modelos multidimensionales con escenarios y supuestos dinámicos.

El modelo construido en Quantrix permite manejar las diferentes variables de los escenarios de producción y sus requerimientos de energías y materiales. Se utilizaron datos modelados en AquaFarm y de los resultados de la prueba piloto. Dentro Quantrix se realizó la conversión de energía a emisiones de CO₂ y la estandarización de unidades a Kilogramos para la visualización de los flujos. Adicionalmente se calculó la entrada, asimilación y salida de nutrientes para enriquecer la discusión.

Para realizar dicho análisis se construyó un modelo con 37 matrices de cálculo y 7,871 celdas calculadas combinando información de la prueba piloto y de la modelación en AquaFarm (Ilustración 55).

Statistics	
Matrices:	37
Categories:	63
Items:	3,519
Formulae:	191
Cells	
Total:	32,474
Calculated:	7,871
Input:	24,603

Ilustración 55. Estadísticas del modelo construido para análisis el flujo de energía y materiales

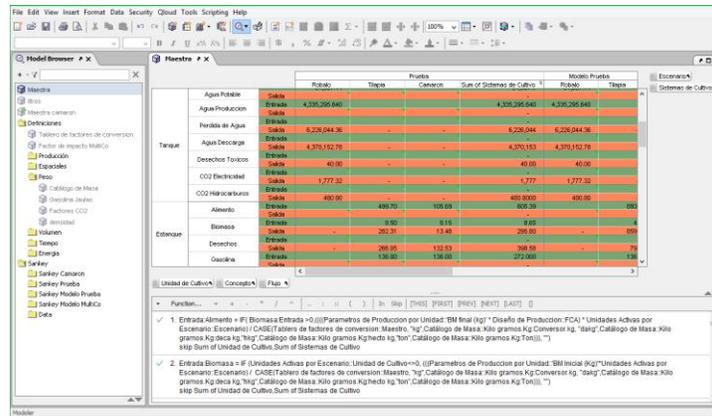


Ilustración 56 Vista de una matriz de cálculo del modelo de flujos de materiales y energía en Quantrix Modeler

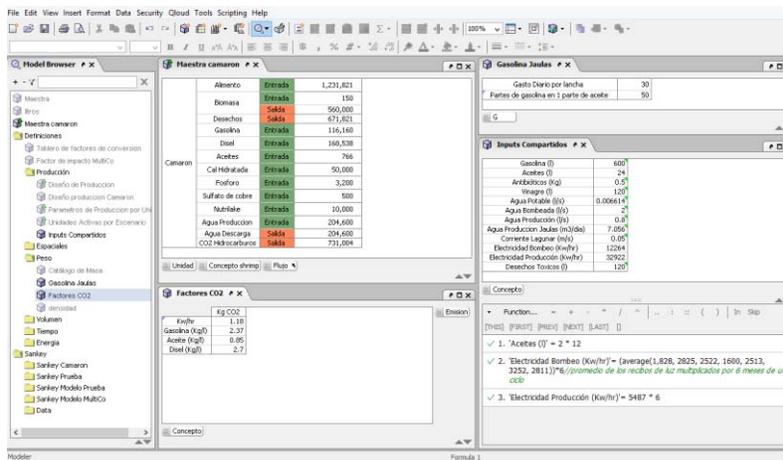


Ilustración 57 Vista de un grupo de matrices de cálculo del modelo de flujos de materiales y energía en Quantrix Modeler

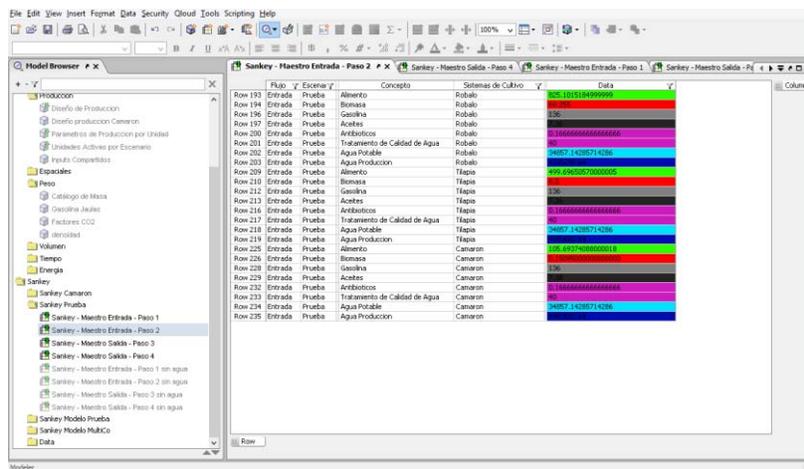


Ilustración 58 Vista de matriz de construcción de esquema Sankey en Quantrix Modeler

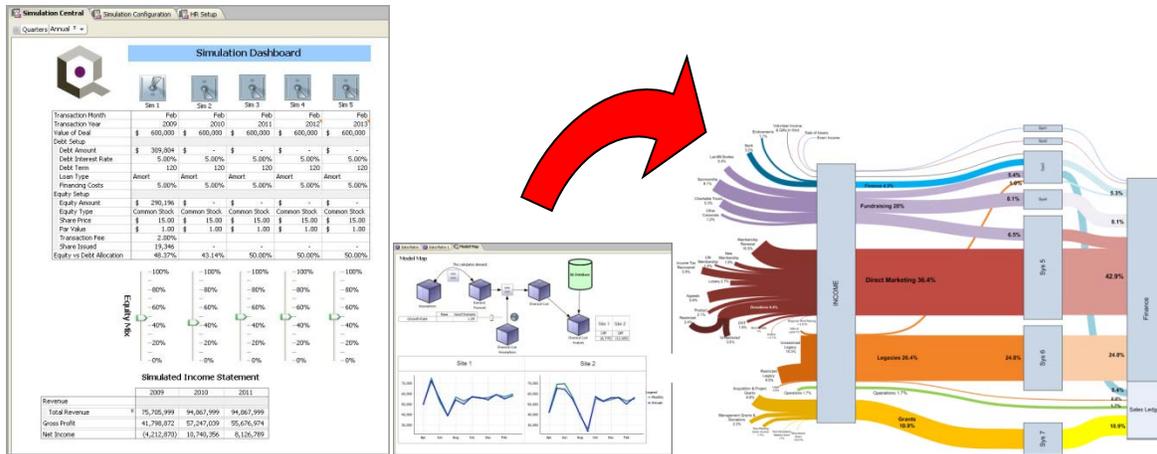


Ilustración 59. Proceso de modelación de flujo de energía y materiales desde Quantrix Modeler hasta obtener un diagrama tipo Sankey²⁶¹

²⁶¹ Imágenes: <http://www.sankey-diagrams.com/tag/visio/>, http://www.quantrix.com/Quantrix_Screenshots.htm

9. Prueba de la tecnología MultiCo

Metodología de la prueba piloto del modelo MultiCo en La Noria, Oaxaca.

Para la validación del módulo MultiCo se obtuvieron organismos de tres especies disponibles en la zona, un Robalo nativo (*Centropomus armatus*) de origen local (Laguna Corralero Aletongo) y dos especies introducidas de uso en los estados del Pacífico Mexicano: Tilapia (*Oreochromis niloticus*) línea Chitralada y Camarón Blanco (*Litopenaeus vannamei*).



Ilustración 60. Detalle de la Infraestructura construida en la Noria

Las especies fueron colocadas de manera compartimentalizada en un sistema de acuicultura multitrófica integrándolas de manera secuencial en contenedores diferentes donde el flujo de agua pasaba de un nivel al siguiente. Se empleó un flujo constante de 1.0 l/s con salinidades de entre 10-15 ppm, alimentando el sistema de manera continua; el agua de descarga del tanque de la especie primaria (robalo) se aprovechó para abastecer al estanque de la especie secundaria (tilapia) y este a su vez fue introducido en el estanque de la especie terciaria (camarón) antes de salir del sistema. A partir de un episodio de alta mortalidad en el estanque de tilapias ocasionado por la alta densidad y bajo flujo de agua se requirió incrementar el abasto de agua, para ello se

utilizó agua dulce proveniente de un pozo de la localidad y vertido directamente al estanque de tilapias con un flujo constante de 1.2 l/s

Debido a la disponibilidad de juveniles las especies se introdujeron al sistema, en tiempos diferentes iniciando con Tilapia en la semana 0, Camarón en la semana 2 y Robalo en la semana 4 (Ilustración 61).

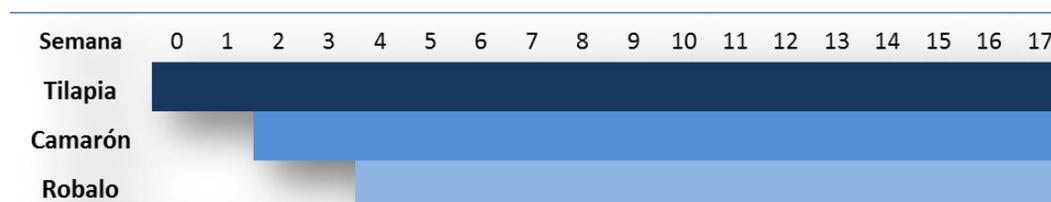


Ilustración 61. Calendario de semanas de cultivo para las especies introducidas a la prueba tecnológica del sistema MultiCo.

Se realizaron biometrías semanales para evaluar el crecimiento en peso y longitud y se llevó un registro diario de los parámetros físico-químicos. Para la medición del oxígeno disuelto y temperatura se utilizó un Medidor de Oxígeno Disuelto Portátil marca Hanna HI 9146. Para medir el pH se utilizó un potenciómetro portátil marca Hanna HI 9812-5 y para medir la salinidad se utilizó un refractómetro. Para medir Color (PCUs), Amonio de Rango Medio (RM $\text{NH}_3\text{-N}$, RM NH_3 , RM NH_4^+) y Bajo (RB $\text{NH}_3\text{-N}$, RB NH_3 , RB NH_4^+) y Nitritos de Rango Alto (RA NO_2 , RA $\text{NO}_2^- \text{-N}$, RA NaNO_2) y Bajo (RB NO_2 , RB $\text{NO}_2^- \text{-N}$, RB NaNO_2) se utilizó un Fotómetro Multiparamétrico de Sobremesa para Laboratorios marca Hanna HI 83200. Adicionalmente se tomaron mediciones semanales en la toma y la descarga de la unidad de cultivo para evaluar el funcionamiento y la calidad del agua al salir del sistema

El peso de los organismos se midió con una balanza digital portátil PRO modelo SP402 Marca Ohaus (400g-0.01g) y se midió la longitud patrón con un ictiómetro convencional con precisión de 0.1 cm. Para determinar sobrevivencia se llevó un registro diario de las mortalidades observadas y se realizó un conteo directo al final de las pruebas.

Obtención de Organismos

Robalos

Se colectaron robalos silvestres por método de encierro a través de una colecta selectiva con malla mosquitera a 3 kilómetros del sitio dentro del sistema Lagunar Corralero-Aletongo (ver Anexo de protocolo de colecta).

Los sitios de colecta fueron seleccionados a través de una revisión bibliográfica del sistema Lagunar y de la experiencia de los pescadores locales. El transporte se realizó en canastas de plástico dentro de contenedores con difusores y agua de mar. Los organismos colectados fueron identificados como *Centropomus armatus* tomando como referencia el trabajo de Van der Heiden, et al. (1998). Genética y taxonomía de los robalos (*Centropomus* spp) del Golfo de California, México. (Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. G008. México, D.F.)

Tilapias

Se compraron 17,000 crías de tilapia masculinizada de la variedad Chitralada con 4 semanas de vida y un peso aproximado de 0.3 gramos de un proveedor nacional de Jalisco. Fueron transportadas por vía aérea al puerto de Acapulco y posteriormente por vía terrestre hasta las instalaciones de la granja para ser aclimatadas y sembradas.

Camarón

Se compraron 15,000 postlarvas de camarón de un peso promedio de 0.01 g de la especie *Litopenaeus vannamei* provenientes de un laboratorio certificado en Colima.

Aclimatación

Robalos

Los organismos colectados fueron puestos en cuarentena en tanques de 1 m³, se les administró un tratamiento profiláctico preventivo en una dosis de 40g por cada 1,000 litros de agua, por 6 días de polvo antibacterial AZOO. No se proporcionó alimento durante este periodo.

Tilapia

Solo alrededor del 69% de las crías sobrevivieron al transporte. Los organismos se recibieron con una salinidad de 4 ppm. El proceso de aclimatación consistió en el aumento paulatino de 1 parte de salinidad por cada 20 minutos hasta alcanzar la salinidad de 10 ppm dentro de las bolsas en las que fueron transportados.

Debido a las mortalidades, los peces fueron sembrados en un tanque intensivo de 5m³ para su monitoreo por 2 días antes de introducirse definitivamente en los estanques semi-intensivos de 392 m³.

Camarón

El proceso de aclimatación tuvo una duración de 4 horas, se agregaron 8.75 l de agua del estanque de engorda a las bolsas que contenían a los organismos transportados. Se agregaron 36 ml/min aplicando fuerte oxigenación. La densidad de postlarvas no superaba las 420/litro según se recomienda para procesos de aclimatación menores a 6 horas.

Nos basamos en los siguientes tiempos de aclimatación recomendados por 2 manuales de cultivo de camarón de granjas del norte del país:

0.5 unidades de pH/Hora

1 °C cada 10 min

0.9 ppm/hora

Se agregó alimento vivo proporcionado por el proveedor para fortalecer a las Postlarvas (PL) antes de ser ingresadas al estanque.

Alimentación

Robalos

Se suministraron 3 raciones diarias de alimento de entre el 3-5% de la biomasa del tanque. El alimento empleado fue pellet para peces marinos marca Silvercup® complementando la dieta con trozos de pescado en la última ración hasta saciar a los robalos.

El proceso de adaptación de los peces silvestres a la dieta balanceada se facilitó incorporando peces de una generación anterior adaptados al consumo de dieta seca. Los robalos recién capturados imitaron la conducta de alimentación de los "maestros" facilitando desde el día uno el consumo de dieta seca y trozos de pescado.

En un inicio la dieta suministrada consistió de 50% de trozos de pescado y 50% de alimento balanceado, la cantidad de trozos disminuyó gradualmente hasta complementar únicamente el 20% de la dieta; esta última destinada principalmente a aquellos organismos que se resistían a consumir alimento seco.

Tilapia

Después de la siembra, se les empezó a suministrar alimento balanceado de Tilapia a razón del 20% del peso promedio, se realizaron ajustes semanales en el porcentaje de alimentación con base en el incremento del peso promedio hasta terminar con raciones del 2.9% de la biomasa contenida en el estanque.

Camarón

Después de la siembra, se comenzó a suministrar alimento balanceado de camarón a razón del 30% del peso promedio, al final del cultivo la ración disminuyó gradualmente hasta el 1.3% del peso promedio según las tablas de alimentación sugeridas por el proveedor.

Análisis Estadístico

El crecimiento en peso y longitud de las tres especies se analizó empleando un Análisis de Varianza Simple (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre semanas. Las diferencias fueron

determinadas empleando una prueba a posteriori de LSD. Todos los análisis se llevaron a cabo usando el paquete estadístico STATGRAPHICS CENTURION®.

Resultados de la prueba piloto de la tecnología MultiCo

Crecimiento

Robalos

El crecimiento obtenido en los Robalos durante las 12 semanas de evaluación de la engorda de la prueba piloto a densidades de 373 robalos/m³ y partiendo de un peso inicial promedio de 28.5 (±14.2) g, fue de 12.8 gramos/pez en un periodo de 12 semanas (Ilustración 62). El crecimiento diario fue de 0.15 g/día/pez. Respecto a la longitud, al final de la evaluación, los peces alcanzaron una talla promedio de 12.8 (±1.1) cm/pez; lo que representa un crecimiento de 0.97 cm desde el inicio del cultivo (Ilustración 63). El FCA obtenido a lo largo de todo el estudio fue de 8.7 y contempla tanto el alimento balanceado, como el filete proporcionado desde el inicio del proceso de adaptación de los peces silvestres a la dieta seca.

La biomasa final obtenida fue de 72.9 kg de robalo en un estanque de 5m³ de capacidad. Alcanzándose una carga de 14.6 kg/m³.

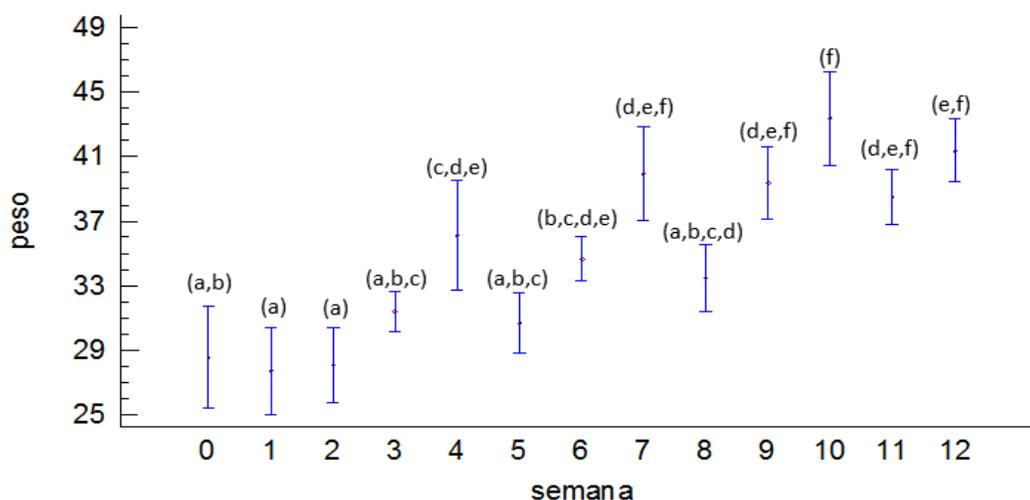


Ilustración 62. Peso promedio (± EE) de robalos (*C. armatus*) en las 12 semanas de evaluación (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

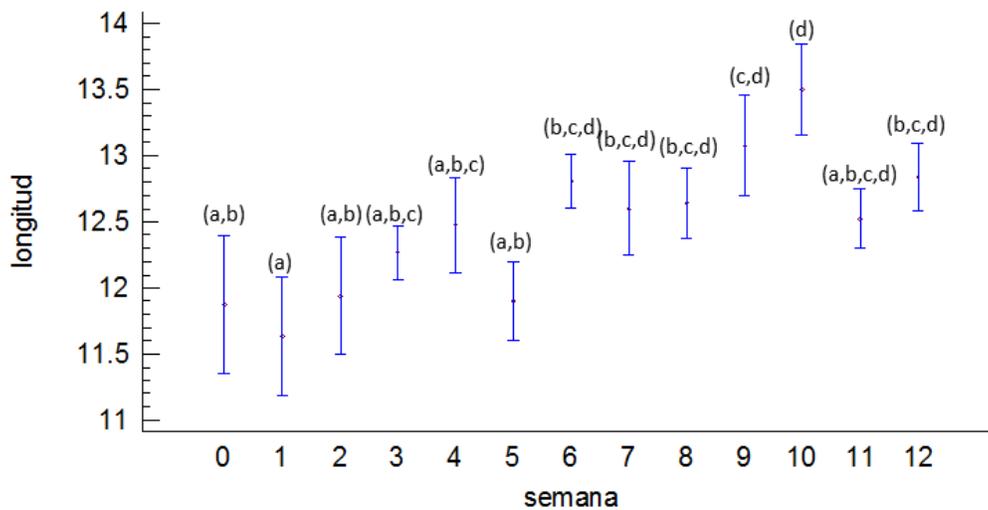


Ilustración 63. Longitud promedio (\pm EE) de robalos (*C. armatus*) en las 12 semanas de evaluación (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

La sobrevivencia de los Robalos a lo largo de la prueba fue del 94.5%, incluyendo el proceso de colecta (Ilustración 64).

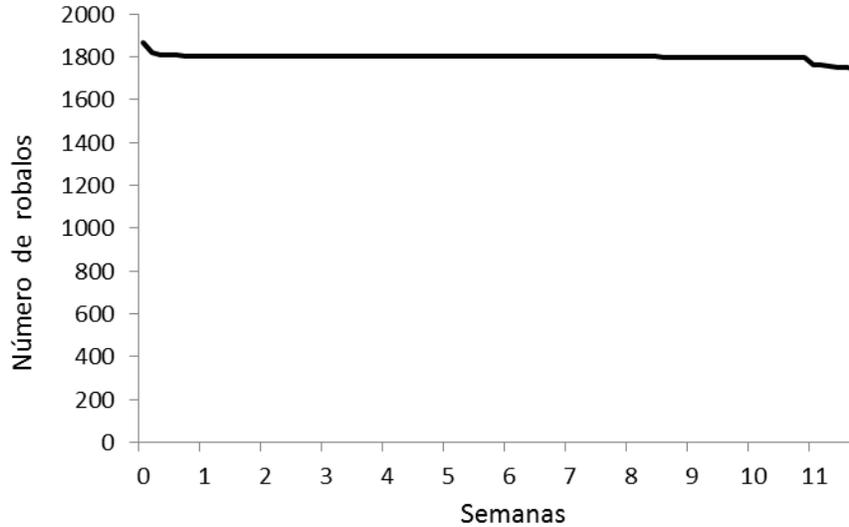


Ilustración 64. Número de robalos (*C. armatus*) en las 12 semanas de evaluación.

- **Tilapia**

Al final de la evaluación se cosecharon 6,836 Tilapias. Los organismos fueron cosechados en la semana 17 con un peso promedio de 184.1 (± 34.7) g, el crecimiento promedio diario fue de 1.54

g/día (Ilustración 65), con un FCA de 1.77. La longitud promedio final fue de 16.9 (± 1.3) cm (Ilustración 66).

La biomasa final obtenida fue de 1258.5 kg de tilapia en un estanque de 560 m² de capacidad. Alcanzándose una carga de 2.25 kg/m².

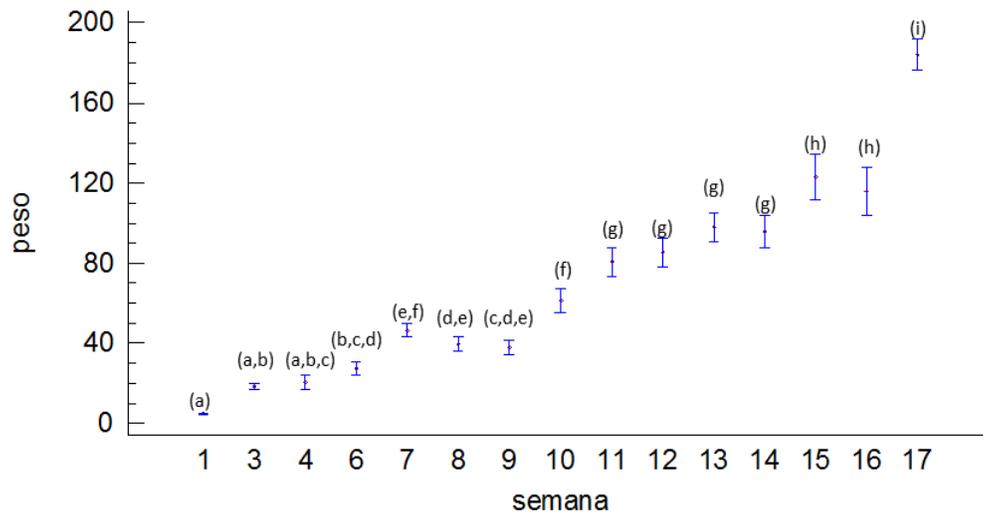


Ilustración 65. Peso promedio (± EE) de Tilapias (*O. niloticus*) en las 17 semanas de engorda (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

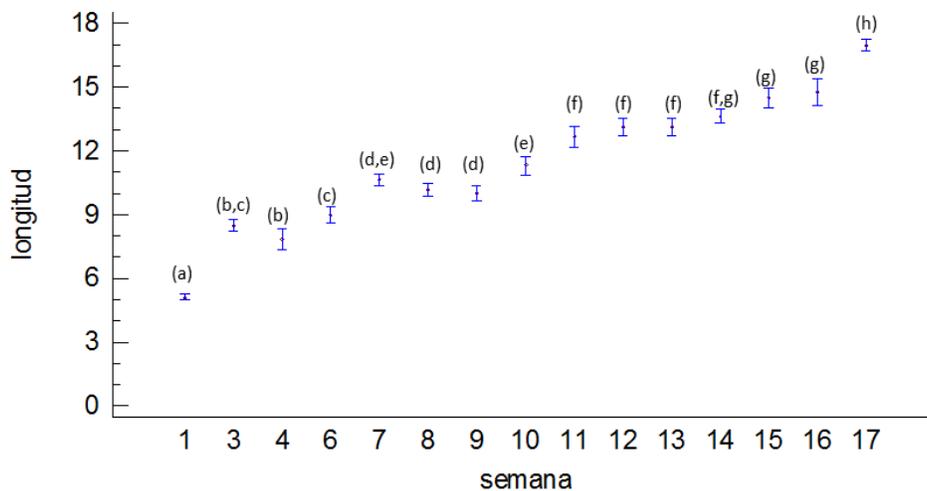


Ilustración 66. Longitud promedio (± EE) de Tilapias (*O. niloticus*) en las 17 semanas de engorda (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

Al final de la semana 17 la sobrevivencia observada fue del 58%. Se presentó un evento de mortalidad del 38% entre la octava y la décima semana de cultivo (Ilustración 67).

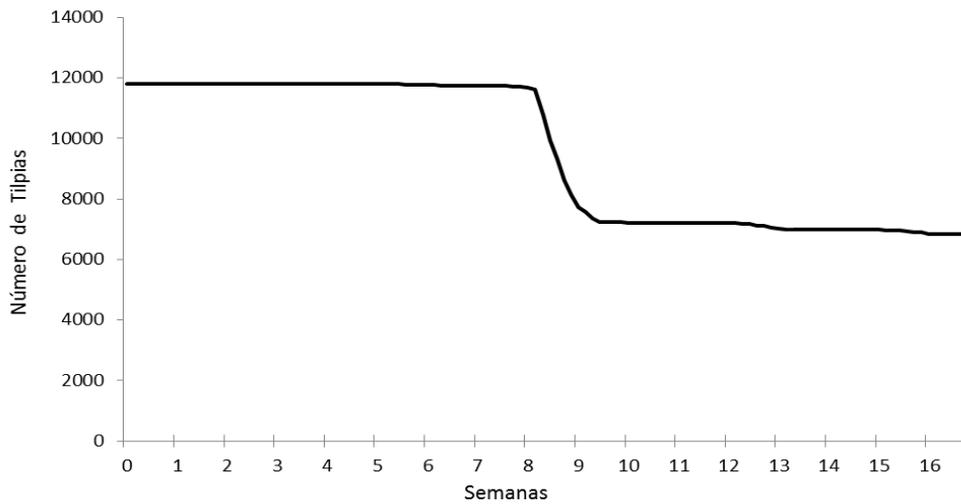


Ilustración 67. Número de tilapias (*O. niloticus*) en las 17 semanas de evaluación del sistema.

Aun con los problemas presentados el crecimiento de la Tilapia se mantuvo la mayor parte del tiempo por encima del crecimiento esperado (Ilustración 68).

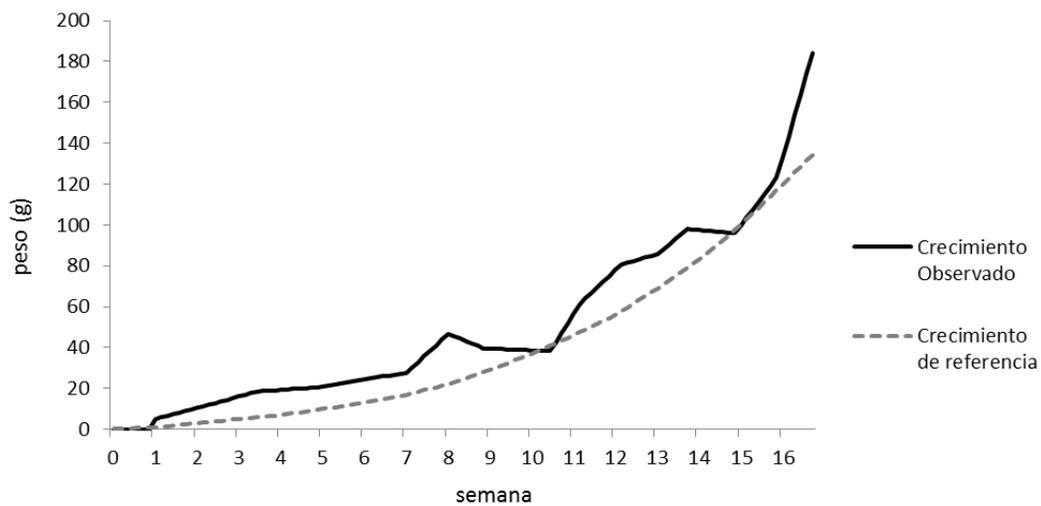


Ilustración 68. Peso promedio (*O. niloticus*) en las 17 semanas de evaluación del sistema contra el crecimiento de referencia o esperado.

- **Camarón**

El tamaño promedio de los camarones en la cosecha fue de 23.4 (± 3.1) g (Ilustración 69) con una longitud promedio por camarón de 12.17 cm (Ilustración 70) a las 15 y 14 semanas respectivamente de haberse iniciado su engorda. Se observó un crecimiento promedio diario en peso de 0.22 g/día con un FCA de 7.84.

La cosecha final de camarones fue de 1037 organismos (6.87% sobrevivencia estimada) con lo que se obtuvo una densidad final de 1.86 organismos/m². La biomasa final obtenida fue de 23.38 kg en un estanque de 560 m² de capacidad, alcanzándose una carga final de 0.04 kg/m².

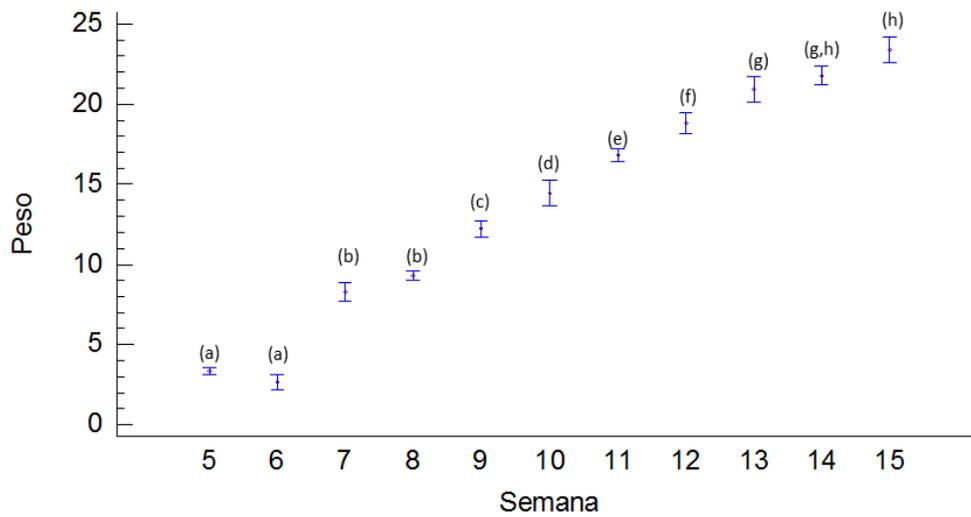


Ilustración 69. Peso promedio (\pm EE) de camarón (*L. vannamei*) en las 14 semanas de engorda (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

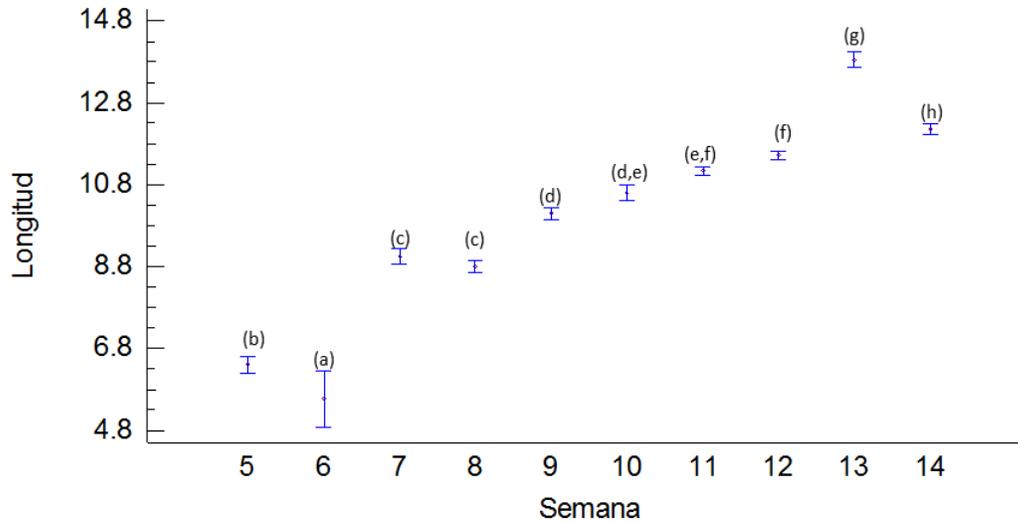


Ilustración 70. Longitud promedio (± EE) de Camarón (*L. vannamei*) en las 14 semanas de evaluación del sistema (n=20). Letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

Parámetros Físico-Químicos

En las siguientes tablas se muestran los promedios de parámetros fisicoquímicos registrados en el agua a lo largo de la prueba:

Tabla 38. Promedio (± DE) de los parámetros fisicoquímicos básicos obtenidos de las mediciones *in situ* durante las semanas de prueba.

Organismos cultivados	Parámetros fisicoquímicos analizados				
	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	Salinidad (ppm)	pH	Color (PCUs)
Robalo	24.85 (±2.4)	6.6 (±0.57)	10.8 (±1.5)	8.1 (±0.2)	15.8 (±11.13)
Tilapia	24.85 (±2.4)	5.17 (±1.53)	10.1 (±2.1)	8.23 (±0.73)	252.2 (±95.47)
Camarón	23.05 (±2.36)	5.76 (±0.54)	9.8 (±1.7)	8.57 (±0.52)	243.6 (±76.7)

Tabla 39. Promedio (± DE) de los valores de Nitritos de Rango Alto y Bajo obtenidos de las mediciones *in situ* durante las semanas de prueba.

Organismos cultivados	Nitritos Rango Alto (mg/L)			Nitritos Rango Bajo (mg/L)		
	NO ₂	NO ₂ ⁻ -N	NaNO ₂	NO ₂	NO ₂ ⁻ -N	NaNO ₂
Robalo	0.31 (±0.74)	0.29 (±0.93)	0.67 (±1.61)	0.12 (±0.16)	0.07 (±0.1)	0.22 (±0.25)
Tilapia	0.26 (±0.91)	0.08 (±0.35)	0.44 (±1.39)	0.14 (±0.23)	0.06 (±0.09)	0.25 (±0.36)
Camarón	0.15 (±0.61)	0.08 (±0.43)	0.29 (±1.13)	0.07 (±0.09)	0.03 (±0.05)	0.12 (±0.15)

Tabla 40. Promedio (± DE) de los valores de Amonio de Rango Medio y Bajo obtenidos de las mediciones *in situ* durante las semanas de prueba.

Organismos cultivados	Amonio Rango Medio (mg/L)			Amonio Rango Bajo (mg/L)		
	NH ₃ -N	NH ₃	NH ₄ ⁺	NH ₃ -N	NH ₃	NH ₄ ⁺
Robalo	1.07 (±0.52)	1.31 (±0.74)	1.47 (±1.07)	1.13 (±0.79)	1.38 (±0.97)	1.46 (±1.03)
Tilapia	1.41 (±1.05)	1.71 (±1.27)	1.78 (±1.37)	1.45 (±1.55)	1.77 (±1.88)	1.88 (±2.0)
Camarón	1.78 (±1.71)	2.17 (±2.08)	2.3 (±2.2)	2.21 (±2.63)	2.69 (±3.20)	2.85 (±3.39)

El agua de pozo que abasteció al sistema tuvo niveles iniciales de Amonio inadecuados para un cultivo intensivo. Este problema inicial aunado a la falta de recambios generó que los niveles de Amonio (Ilustración 71) y Nitritos (Ilustración 78) se mantuvieron elevados en los estanques de Tilapia y camarón a lo largo de la prueba generando estrés y mortalidades sobre los organismos.

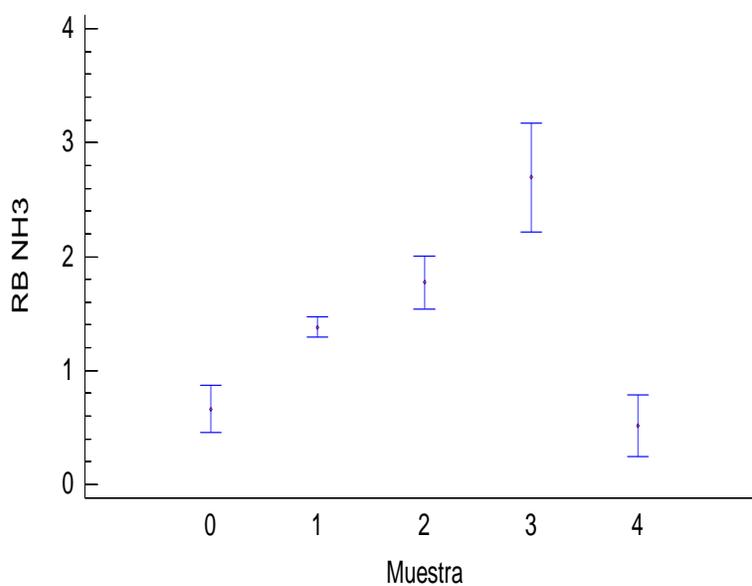


Ilustración 71 Valores observados de Amonio de Rango Bajo NH_3 (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma | 1 = Robalos | 2 = Tilapia | 3 = Camarón | 4 = Descarga.

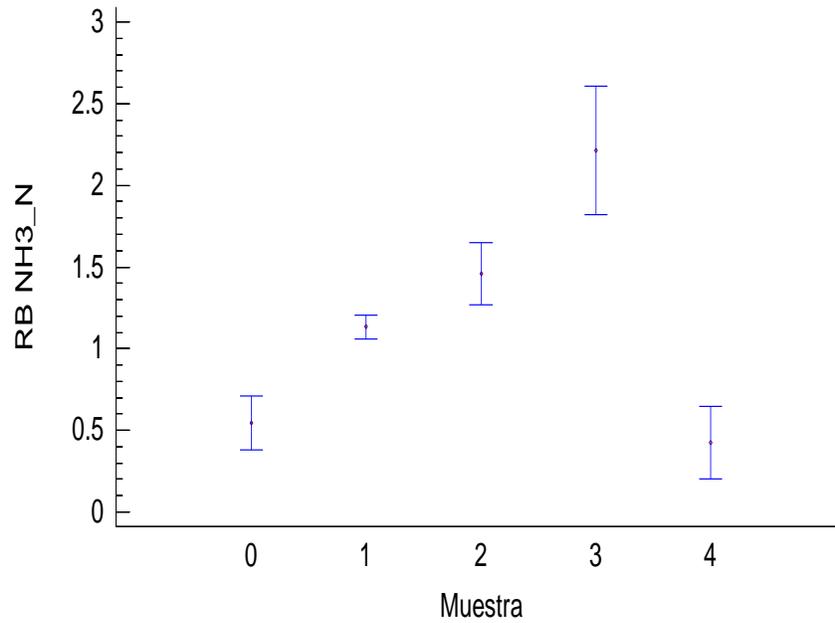


Ilustración 72 Valores observados de Amonio de Rango Bajo $\text{NH}_3\text{-N}$ (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma | 1 = Robalos | 2 = Tilapia | 3 = Camarón | 4 = Descarga.

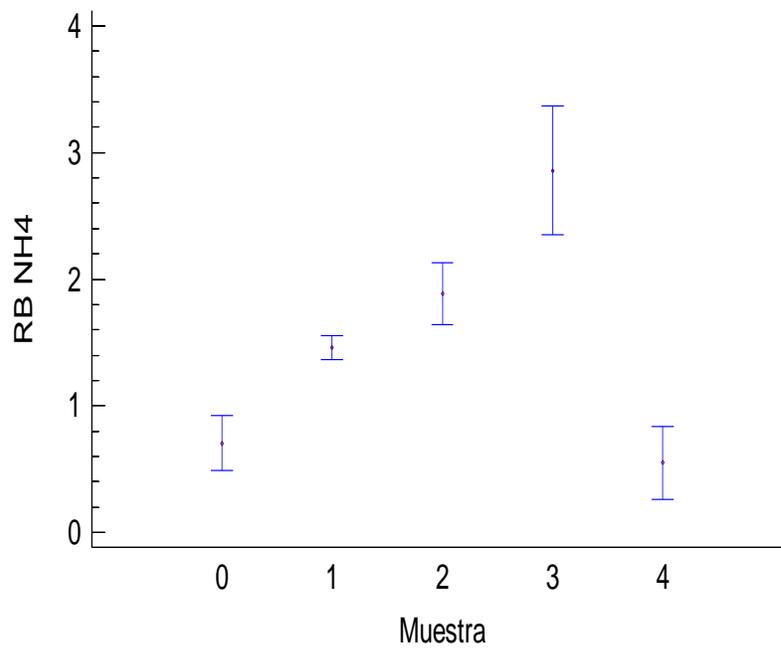


Ilustración 73. Valores observados de Amonio de Rango Bajo NH_4^+ (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma | 1 = Robalos | 2 = Tilapia | 3 = Camarón | 4 = Descarga.

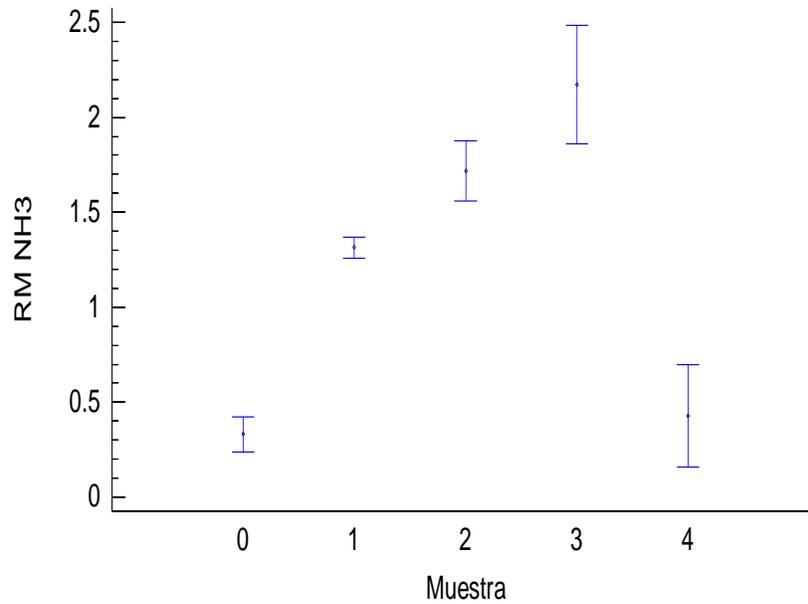


Ilustración 74. Valores observados de Amonio de Rango Medio NH_3 (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma | 1 = Robalos | 2 = Tilapia | 3 = Camarón | 4 = Descarga.

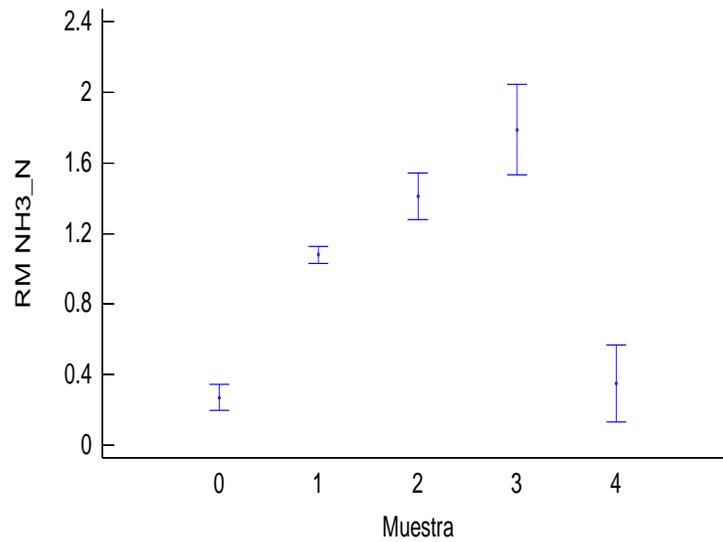


Ilustración 75. Valores observados de Amonio de Rango Medio $\text{NH}_3\text{-N}$ (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma | 1 = Robalos | 2 = Tilapia | 3 = Camarón | 4 = Descarga.

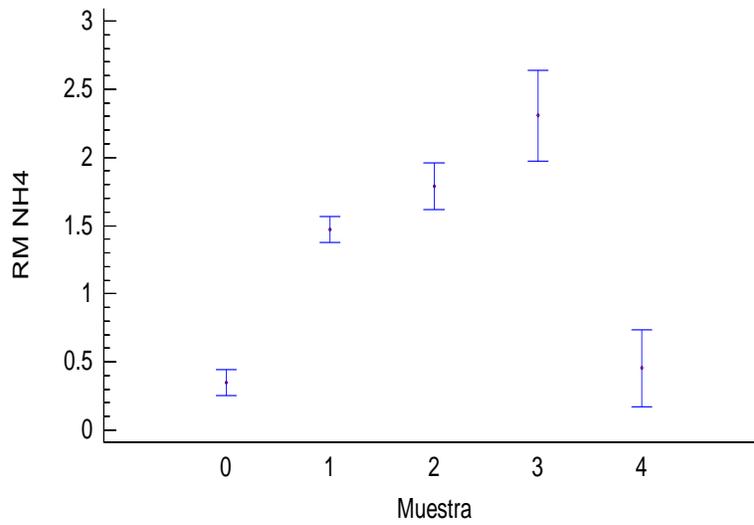


Ilustración 76. Valores observados de Amonio de Rango Medio NH_4^+ (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de engorda (n=45). 0 = Toma | 1 = Robalos | 2 = Tilapia | 3 = Camarón | 4 = Descarga.

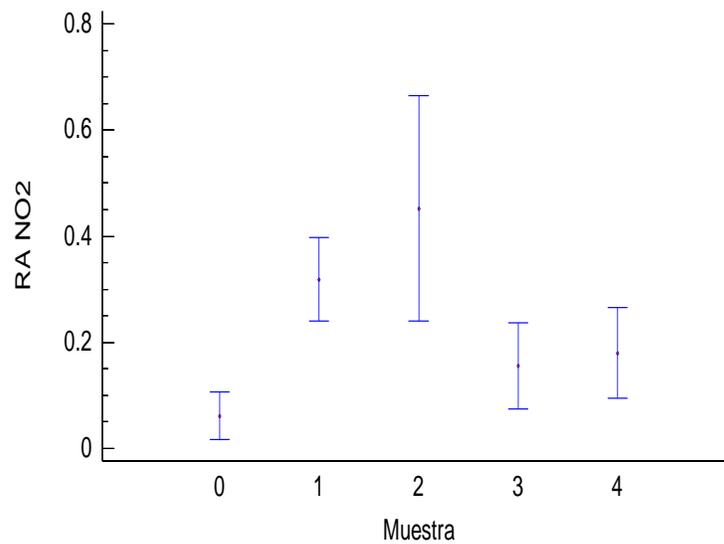


Ilustración 77. Valores observados de Nitritos de Rango Alto NO_2 (\pm EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de la prueba (n=45). 0 = Toma | 1 = Robalos | 2 = Tilapia | 3 = Camarón | 4 = Descarga.

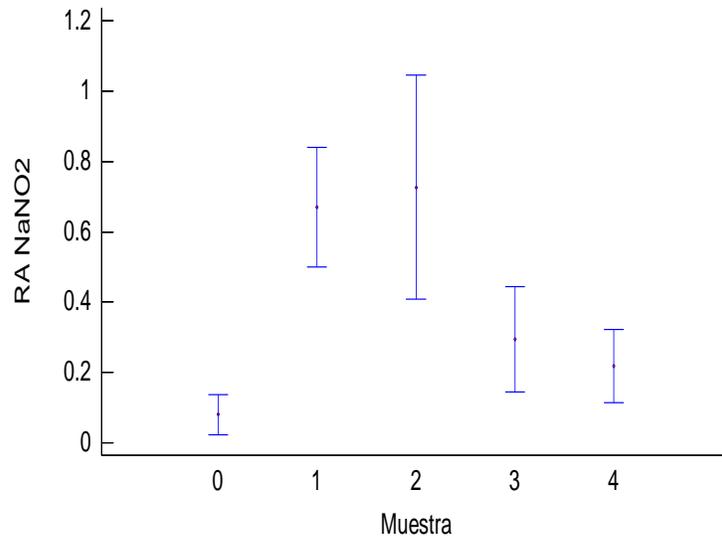


Ilustración 78. Valores observados de Nitritos de Rango Alto NaNO₂ (± EE) en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema a lo largo de la prueba (n=45). 0 = Toma | 1 = Robalos | 2 = Tilapia | 3 = Camarón | 4 = Descarga.

También se registraron valores elevados de pH, en el caso del estanque de Tilapia se observaron valores mayores a 10 en diversas ocasiones (Ilustración 79).

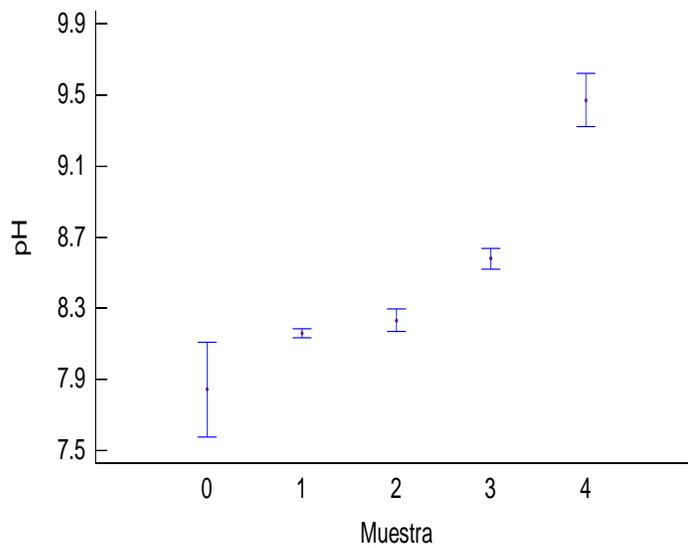


Ilustración 79. Comportamiento (± EE) de las muestras de pH en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema. 0 = Toma | 1 = Robalos | 2 = Tilapia | 3 = Camarón | 4 = Descarga.

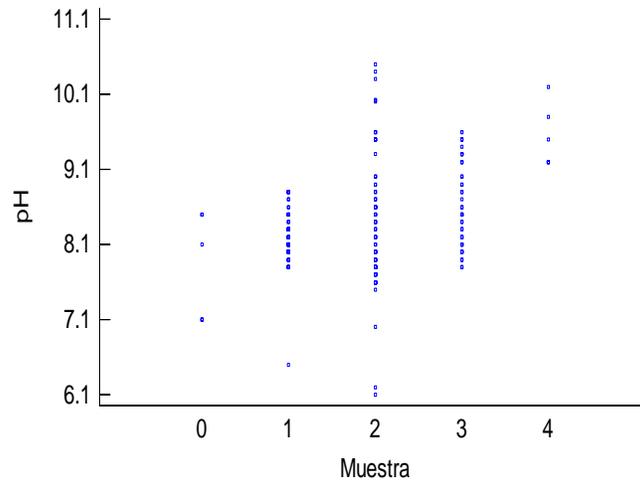


Ilustración 80. Variabilidad de las muestras de pH en las diferentes unidades de cultivo, toma y descarga del sistema.
 0 = Toma | 1 = Robalos | 2 = Tilapia | 3 = Camarón | 4 = Descarga

Discusión

La prueba no se realizó como se diseñó originalmente debido a problemas de suministro de insumos, principalmente agua de calidad y larvas aclimatadas en cantidades y tallas adecuadas. Debido a las fechas de entrega, se inició la prueba de la engorda sin tener a todas las especies en el mismo momento. Esto significó que se introdujeron las tilapias con semanas de diferencia de los robalos y de los camarones, de tal manera que la evaluación de los flujos del sistema MultiCo estaba ligeramente desfasada por la falta de planeación y tiempo para el despliegue.

Sería necesario realizar ajustes en la infraestructura y mejorar el flujo de agua al sistema para cumplir los objetivos planteados para el sistema MultiCo según su diseño original. No obstante lo anterior, los resultados obtenidos son interesantes considerando la magnitud del reto y dado que la granja experimental se encontró en una comunidad de alta marginación y fue operada por personal local de origen Mixteco y Afromexicano con educación básica y preparatoria.

La modelación en AquaFarm fue ilustrativa respecto a algunos de los problemas que se nos presentaron con la calidad de agua (por ejemplo anticipo problemas en la calidad de agua en el tanque de Tilapia dada la densidad y la falta de recambio), sin embargo, en la realidad no fue de gran ayuda debido a que esperábamos comparar la modelación con la realidad “día a día”, pero no fue posible por las diferencias y las particularidades de la implementación. En una empresa de

modelos “llave en mano” la documentación de los procesos tecnológicos es un componente central para sustentar cualquier estrategia basada en propiedad intelectual y su transferencia.

El crecimiento es probablemente el criterio biológico más importante para la selección de la especie a cultivar, se busca el mejor índice de crecimiento durante el primer año de vida. El crecimiento observado para *C. armatus* en esta prueba fue similar al de otros cultivos experimentales con densidades mucho menores, tal es el caso de Rubio (2006) quien obtuvo crecimientos de 0.17 g/día a densidades de 20 peces/m³. La sobrevivencia observada en dicho trabajo fue 75% después de 120 días de cultivo en jaulas flotantes. El crecimiento máximo reportado para *C. armatus* es de 0.42 g/día (Rubio 2006). En el contexto de la industria acuícola el crecimiento a talla comercial promedio no debe ser menor a 2 g/día. Uno de los mejores crecimientos lo tiene la Cobia (*Rachycentron canadum*) que llega a acumular entre 16 y 22 g/día, otro ejemplo es *Seriola rivoliana* que engorda 6 g/día (Alvarez-Lajonchère, 2008).

En el presente estudio se cultivó *C. armatus* debido a que era la única especie disponible para colecta durante el periodo de la prueba. La especie engordada en la prueba alcanza tallas máximas de entre 25 y 35 cm (Froese R, 2011), esto significa que tarda toda su vida adulta en alcanzar una talla pequeña en comparación con otras especies como el *C. undecimalis* que llega a medir hasta 140 cm y comúnmente alcanzan los 50 cm (Froese R, 2011). Nuestros resultados corroboran que *C. armatus* es una especie con poco potencial acuícola, debido entre otras cosas a que presenta una ganancia diaria en peso poco competitiva. Una falla importante del despliegue de la prueba fue precisamente engordar una especie sin potencial acuícola, esto comprometió negativamente los resultados de la prueba desde un inicio.

El FCA y el crecimiento se vieron afectados por la necesidad de adiestrar a los peces silvestres al consumo de alimento balanceado en un periodo acotado de tiempo (dos semanas) y por la premura de comenzar la engorda aun antes de que el acondicionamiento al cautiverio estuviera superado. Pese a lo anterior se obtuvieron sobrevivencias destacables para las densidades manejadas y un crecimiento ligeramente menor al de otras pruebas similares en un periodo breve de 84 días poco después de la colecta.

Existen muy pocos trabajos sobre engorda de especies de robalos del pacífico, la mayoría de los trabajos en este momento están centrados en las especies del Atlántico como son *C. undecimalis* y

C. parallelus (Alvarez-Lajonchère, 2008). Por ejemplo algunos de los últimos trabajos de engorda realizados en la UJAT se centraron en *C. undecimalis* cultivándolo en agua dulce, los resultados obtenidos muestran crecimientos de entre 0.17 a 0.57 g/día con FCA de entre 1.11 y 6.1 en densidades máximas de 40 peces/m² con sobrevivencias de entre 45 y 84% (Contreras, 2012, comunicación personal).

Los trabajos más destacados con robalo común (*C. undecimalis*) han mostrado crecimientos muy interesantes de hasta 2.7 y 4.1 g/día con FCA de entre 1.1 y 0.73 para dietas similares a la suministrada para prueba del sistema MultiCo y con densidades de hasta 200 peces/m³ (Alvarez-Lajonchère, 2008). Lo anterior demuestra el potencial de cultivo del género *Centropomus* y la necesidad de explorar otras especies del Pacífico con crecimientos destacados.

Es necesario realizar pruebas con otras especies del pacífico y en particular con organismos producidos en cautiverio que disminuyan los problemas asociados a la captura de organismos silvestres y la posterior evaluación de su crecimiento y FCA. Desafortunadamente, nos fue imposible conseguir la semilla de laboratorios en México y las restricciones a introducir especies provenientes de otros países o del Golfo descartaban esta opción.

Una producción intensiva no puede sustentarse de organismos silvestres, primero por problemas de rentabilidad derivados de los costos de la colecta y la adaptación a alimento procesado, y segundo, debido a la regulación existente que difícilmente concede permisos de explotación de organismos silvestres ya que extraer juveniles implica ejercer presión sobre los organismos antes de que puedan reproducirse²⁶². Un primer paso hacia la identificación de nuevas especies con potencial de cultivo es realizar colectas en diferentes épocas del año e iniciar el proceso de reproducción de especies locales, por ejemplo con ayuda de la Universidad del Mar (UMAR Oxaca).

El crecimiento de las tilapias en el sistema fue bueno manteniéndose dentro de lo esperado para la especie. Sin embargo, el problema de calidad del agua combinado con un aumento inesperado del pH generó las mortalidades masivas observadas entre la semana 8 y 10, este evento estresante condujo posteriormente a la presencia de ectoparásitos del genero *Argulus* que afectaron el

²⁶² Sobre este punto y la introducción de juveniles de laboratorios internacionales, Dr. Marco Linné Unzueta Bustamante (comunicación personal) y su equipo en Inapesca fueron claros en que “muy difícilmente concederían permisos de este tipo”.

crecimiento de las tilapias de la semana 14 a la 16. Para solucionar estos problemas es necesario aumentar el recambio de agua y tener un manejo más adecuado de las densidades. En la prueba esto implicó suministrar tratamiento a la calidad de agua y comprar alimento con antibióticos para las Tilapias en una etapa del proyecto.

El crecimiento de diversas especies de tilapia en aguas salobres ha sido ampliamente documentado. Stickney (1986) ha hecho una amplia revisión sobre la alta tolerancia presentada por estas especies a la salinidad. En este sentido se han logrado mantener tilapias en salinidades de hasta 33 ppm (Contreras, et al., 2005) en sistemas de cultivo mixto con camarón. Otros estudios han demostrado que algunos híbridos de tilapia pueden crecer en condiciones salobres y salinas y en algunas ocasiones mostrar un crecimiento compensatorio (Wang, *et al.*, 2000). Es muy probable que las mortalidades y brotes infecciosos observados en nuestras tilapias hayan sido ocasionadas por la mala calidad del agua observada (altos niveles de nitratos, nitritos y amonio) y las elevaciones repentinas del pH y no por la salinidad presente en el estudio (entre 7 y 10 ppm). Algunas investigaciones han demostrado que la mortalidad de tilapia nilótica únicamente se observa cuando los peces son mantenidos a salinidades altas (20 o 30 ppm) y al mismo tiempo expuestos a patógenos (*Streptococcus*) y esta mortalidad aumenta si la temperatura se eleva de 25 a 30 °C (Chang y Plumb, 2010).

El crecimiento final obtenido de los camarones fue adecuado; sin embargo la cantidad de organismos obtenida no fue la esperada. El peso al momento de la cosecha fue de 23.4 g cuando se esperaba un crecimiento máximo de 10.8 g para ese momento (15 semanas). Este crecimiento mayor obtenido se debe a la baja densidad registrada al final en el estanque de camarones. Esta densidad obtenida debió haber proporcionado pesos más altos, pues en estudios con 1 y 4 camarones por metro cuadrado se han registrado pesos entre 27.6 y 39.2 g por camarón (Martin, *et al.*, 1998). Esto indica que a pesar de la baja densidad, el crecimiento no fue óptimo. Al igual que con las tilapias, es probable que la calidad de agua y los cambios bruscos de pH haya afectado la sobrevivencia y crecimiento de los camarones.

La sobrevivencia en el estanque de los camarones no pudo ser estimada con precisión debido a que no se realizó un conteo de los organismos ingresados al estanque. Esto se debió a que el transporte generó una alta mortalidad y las postlarvas se encontraban en alto estrés. Sin embargo, la presencia de depredadores en el estanque al momento de la cosecha (4 robalos de entre 180 y

400g) y la deficiente calidad del agua nos permiten suponer que las mortalidades fueron muy elevadas. El elevado FCA de este estanque se debe a que se suministró alimento sin un monitoreo adecuado de la población; esto es asumiendo una población inicial de 15,000 organismos.

Es importante considerar también que se cometieron errores importantes en la construcción de la infraestructura con repercusiones en el manejo de los estanques. Por ejemplo en los tamaños de las tuberías de descarga, que fueron estimados sin considerar las necesidades operativas ocasionando una descarga ineficiente y/o muy tardada. Los estanques no estaban bien construidos y fue imposible vaciarlos por completo antes de la engorda; este error crítico permitió la presencia de depredadores (como robalos libres) generando un impacto difícil de estimar en las poblaciones de ambos estanques²⁶³. Un concepto básico de cualquier sistema acuícola intensivo es aislar de depredadores y competencia a la especie engordada.

El agua de pozo que abasteció al sistema²⁶⁴ tuvo niveles iniciales de Amonio inadecuados para un cultivo intensivo y muy por encima de lo recomendado para producción intensiva (<10µg/l NH₃-N; Huguenin, 2002). Este problema inicial aunado a la falta de recambios generó que los niveles de Amonio y Nitritos se mantuvieron elevados en los estanques de Tilapia y camarón a lo largo de la prueba generando estrés y mortalidades en los organismos. La baja tasa de recambio de agua en el sistema y la elevada concentración de nutrientes pudo haber ocasionado florecimientos algales nocivos tanto para las tilapias como para los camarones. Esto ha sido ampliamente reportado en acuicultura al grado de que se ha recomendado tener especial cuidado en los cambios de poblaciones microalgales (en particular del grupo de los dinoflagelados) en sistemas de cultivo. Cortés y Licea (1999) hicieron una revisión exhaustiva de las algas que pueden generar problemas en acuicultura (particularmente en el cultivo del camarón) ya sea por su impacto en la calidad del agua o por su misma capacidad generadora de toxinas para animales. La alta concentración de algas ha sido relacionada con cambios bruscos de pH, principalmente durante el día, debido a la

²⁶³ En el caso del estanque de las tilapias, se observaron depredadores pero la mayoría fueron colectados o murieron cuando la calidad de agua en estos estanques disminuyó dramáticamente en varias ocasiones.

²⁶⁴ Una de las consecuencias de no estimar bien la capacidad de carga física fue que la calidad de agua de nuestro sistema fue deficiente a lo largo de la prueba, solo se pudo introducir un flujo de 1 l/s; esto es, la mitad del flujo planteado inicialmente para el modelo. Fue necesario superar varios retos técnicos y de mantenimiento para bombear agua a 4.3 km de distancia desde un pozo a orilla del mar.

alta captura de bicarbonatos por las algas, generándose un desequilibrio en el sistema (Nurdogan y Oswald, 1995). En el caso del estanque de Tilapia se observaron valores mayores 10 en varias ocasiones. Estos valores tan altos de pH y sus fluctuaciones tan drásticas (hasta 3 unidades en unas 4 horas) debieron afectar considerablemente tanto la sobrevivencia como el crecimiento de tilapias y camarones.

Respecto al manejo de la calidad de agua de la descarga (concepto fundamental de la integración multi-trófica) se obtuvieron resultados prometedores para el sistema MultiCo, se redujeron las concentraciones de amonio y nitritos de manera significativa antes de salir del sistema (al igual que en la modelación con Aqua Farm) y se logró reducir la turbidez antes de salir del sistema.

Se requieren pruebas de medición de carga orgánica y un control más detallado del alimento ingresado para evaluar claramente el potencial de MultiCo y el efecto de ordenar las especies de forma secuencial. En este sentido podemos decir que la prueba falló en evaluar algunos parámetros fundamentales del sistema MultiCo, ya que se adquirió equipo y dedicó tiempo solo a evaluar los elementos indispensables para la operación diaria pero que debieron ser mucho más amplios y rigurosos, por ejemplo midiendo la carga orgánica.

El funcionamiento y diseño del sistema requieren ser afinados, por lo que sería necesario replantear la prueba corrigiendo los errores de construcción, manejo de organismos, abasto de agua, manejo de cargas orgánicas y la implementación de procesos desde el EEA para disminuir algunos de los riesgos inherentes a la producción y sus impactos ambientales. Todos estos elementos impiden evaluar el potencial real de la tecnología al no contar con las condiciones iniciales básicas necesarias para garantizar los supuestos que se buscan evaluar.

10. Modelación de la tecnología MultiCo

Fue necesario realizar 2 simulaciones distintas del sistema MultiCo y su capacidad de carga productiva. Se realizaron dos ejercicios diferentes de modelación con el objetivo de comparar la modelación de la prueba piloto, con los resultados reales de la prueba piloto; y posteriormente, el modelo MultiCo a escala comercial vs los resultados obtenidos en campo.

- Primero una simulación que corriera bajo los mismos supuestos que la prueba realizada en la Noria, con la disponibilidad real de recursos e insumos. Esta prueba nos permite tener un control de la precisión de la modelación y su utilidad, midiendo la cercanía a la realidad con los resultados de AquaFarm.
- La segunda simulación analiza la tecnología MultiCo sin limitaciones, tal como se ingresó para ser patentada. Nos es útil para evaluar, entre otras cosas, si los objetivos de la tecnología (como obtener mejores FCA al integrar especies) funcionan a nivel modelación, y para estimar el impacto real de la producción del sistema MultiCo en su escala planteada para “parques acuícolas”.

Se modeló el sistema MultiCo introduciendo la información bibliográfica de la zona y los parámetros del sistema productivo al programa Aquafarm 3.0 (Ilustración 81). Se realizaron 6 iteraciones donde se corrigieron elementos como los parámetros de la entrada de agua y las características de las especies. Debido a la ausencia de literatura específica de la especie de robalo cultivada, se utilizaron los parámetros de *Seriola rivoliana* como referencia para el crecimiento de los juveniles hasta 50g.

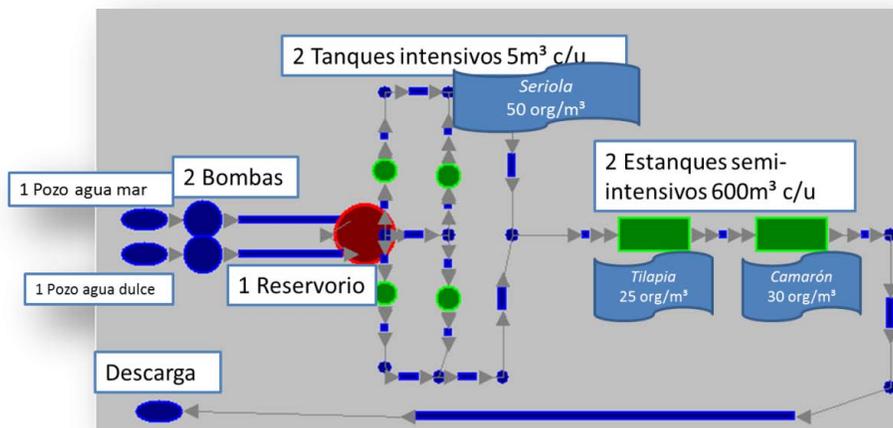


Ilustración 81. Modelación del sistema MultiCo en el programa Aquafarm 3.0 para una situación ideal (modulo completo). Realización propia. Interfaz visual Ernst, 2000. AquaFarm: simulation and decision support for aquaculture facility design and management planning, *Aquacultural Engineering* (23)1-3, pp. 121-179.

Los 3 ejercicios de modelación realizados en AquaFarm se describen a continuación:

Modelación de la Capacidad de Carga Productiva: Prueba Piloto

En el primero modelo se simuló el sistema tal cual se desarrolló para la prueba tecnológica en la comunidad La Noria, esto implica por ejemplo que el flujo de agua de entrada (0.8 l/s) sea menor al requerido para el modulo completo (2 l/s), una sola unidad de 5 m³ con peces marinos funcionando (en vez de 4) y densidades diferentes para los estanques sujetas a constricciones de la realidad, como es el caso en la cantidad de juveniles de peces marinos que pudieron capturarse en la laguna.

Modelación de la Capacidad de Carga Productiva: Sistema MultiCo

En él segundo ejercicio se modeló la unidad tal cual se diseñó para la construcción de los planes de negocio y la solicitud de patente (Patente Provisional No. 61/447.293); un ciclo anual con dos generaciones diferentes de peces marinos engordados hasta 50g a densidades iniciales de 50 org/ m³ y que, a diferencia del ejercicio anterior, suponemos que contamos con una población inicial suficiente para operar los 4 tanques de engorda con juveniles con pesos similares que están aclimatados a comer alimento procesado.

Modelación de la Capacidad de Carga Productiva: Jaulas

Finalmente, para evaluar la capacidad de carga productiva de la tecnología propuesta para la engorda en jaulas, se modeló el funcionamiento de una sola unidad (jaula flotante diseñada para la Laguna Corralero) dentro de AquaFarm. Esta simulación permite evaluar el volumen teórico de agua necesario por jaula para un cultivo exitoso con las densidades establecidas; además, ayuda a establecer parámetros de producción y crecimiento con diferentes densidades de organismos por jaula y con diferentes disponibilidades de oxígeno. Buscamos evaluar entre otras cosas, si las densidades de cultivo propuestas en el plan de negocios funcionan a nivel modelación calculando la cantidad de recursos que consumirá cada jaula.

Resultados de la modelación en AquaFarm de la prueba tecnológica.

A continuación se muestran los resultados del modelo simulado en AquaFarm que maneja las mismas variables que la prueba de la tecnología realizada en la Noria.

Crecimiento modelado

Robalos

El crecimiento modelado para la especie marina durante 12 semanas de engorda a densidades de 364.7 robalos/m³ y partiendo de un peso inicial promedio de 20²⁶⁵ (±4) g, es de 30 (±10) gramos/pez (Ilustración 82). El crecimiento diario esperado es de 0.306 g/día/pez. Partiendo de una longitud inicial de 11 cm/pez; el modelo estima un crecimiento después de 12 semanas a 15 cm/pez (Ilustración 83). El FCA esperado es de 0.7 con una eficiencia en la conversión de alimento de 140.8 %. La biomasa final esperada es de 20.5 kg/m³.

²⁶⁵ La modelación parte de peces con un peso promedio de 20g debido a que en el momento de iniciar la prueba éste era el peso de los organismos colectados.

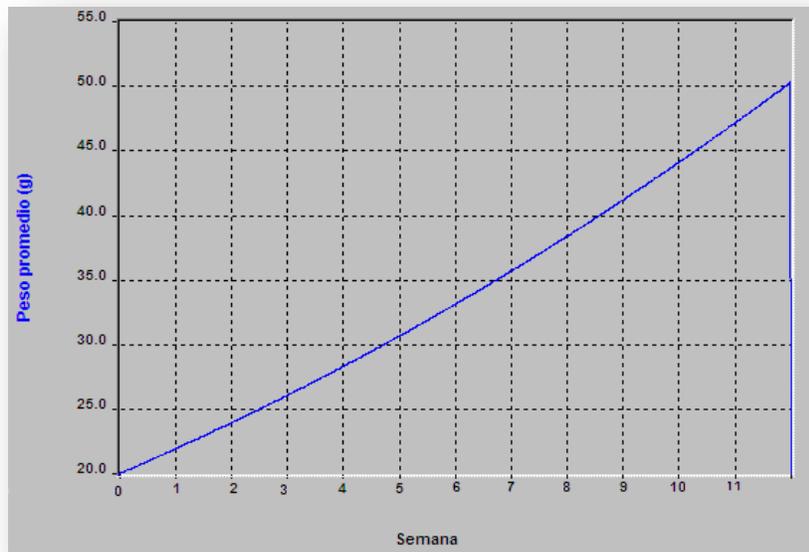


Ilustración 82. Peso promedio modelado para la especie marina modelo en 12 semanas de engorda.

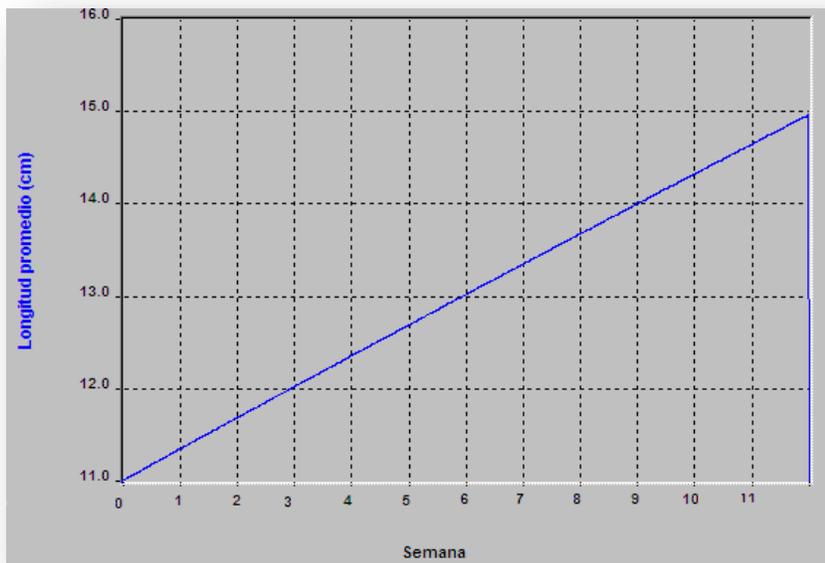


Ilustración 83. Longitud promedio modelado para la especie marina modelo en 12 semanas de engorda

La sobrevivencia esperada es de 82% (Ilustración 84).

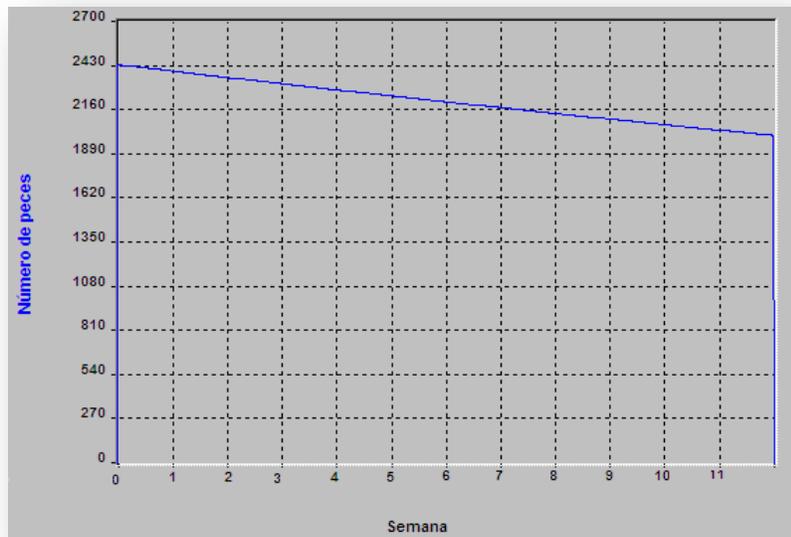


Ilustración 84. Número de peces a lo largo del proceso de modelación en las 12 semanas de evaluación.

- **Tilapia**

El modelo predice una cosecha de 17,250 Tilapias en la semana 17 con un peso promedio de 59 g, lo que corresponde a un crecimiento promedio diario en peso de 0.45 g/día (Ilustración 85). El FCA fue de 1.04. La longitud promedio final fue de 15.86 cm (Ilustración 86).

La biomasa final esperada para el tanque de 560 m² es de 1,033.98 kg de tilapia. La carga máxima de 32 kg/m².

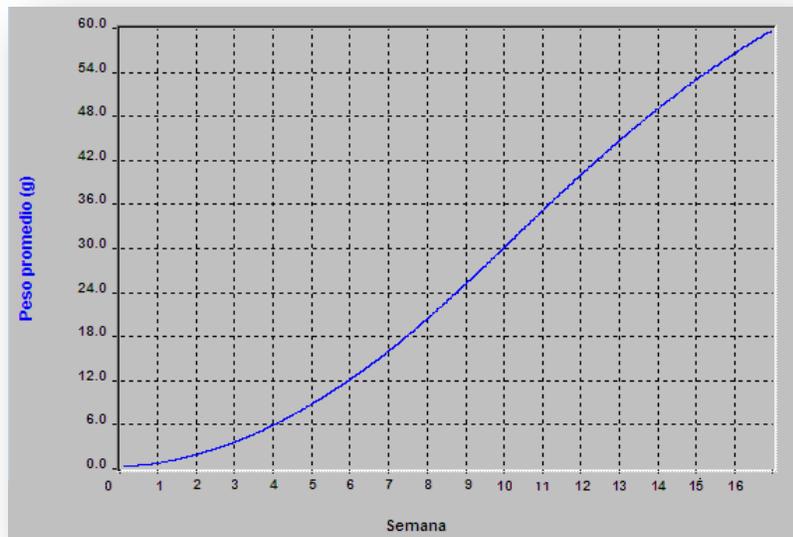


Ilustración 85. Peso promedio para la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.

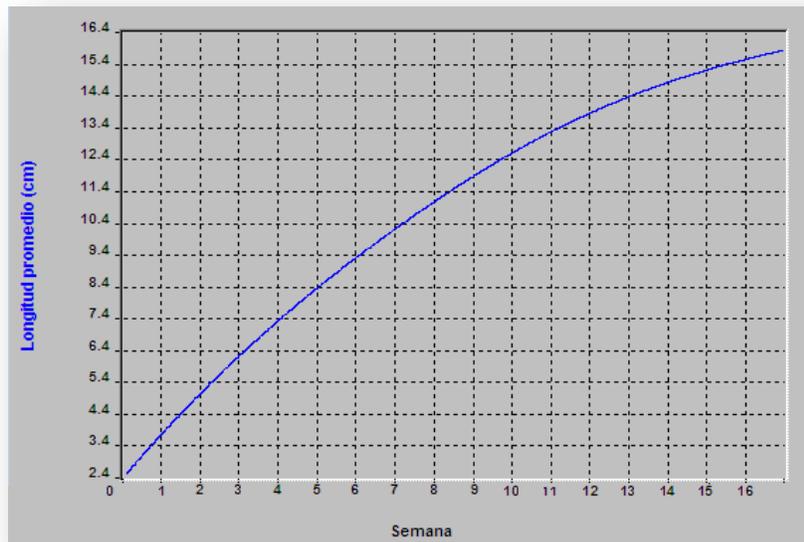


Ilustración 86. Longitud promedio para la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda

La sobrevivencia modelada fue del 87% (Ilustración 87).

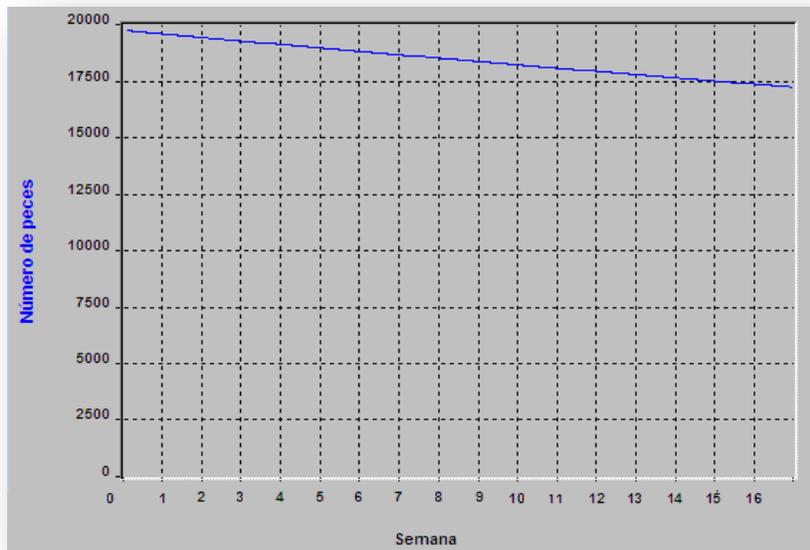


Ilustración 87. Número de tilapias modelo en las 17 semanas de engorda.

El sistema consideró este lote como una “producción fallida” debido a que no se alcanzaron los pesos esperados por falta de oxígeno y problemas de calidad de agua (derivados de la densidad de organismos y la falta de recambio suficiente) (Ilustración 88). El crecimiento esperado para 17 semanas de cultivo en esta especie en condiciones adecuadas de manejo es de entre 120-140 g/pez

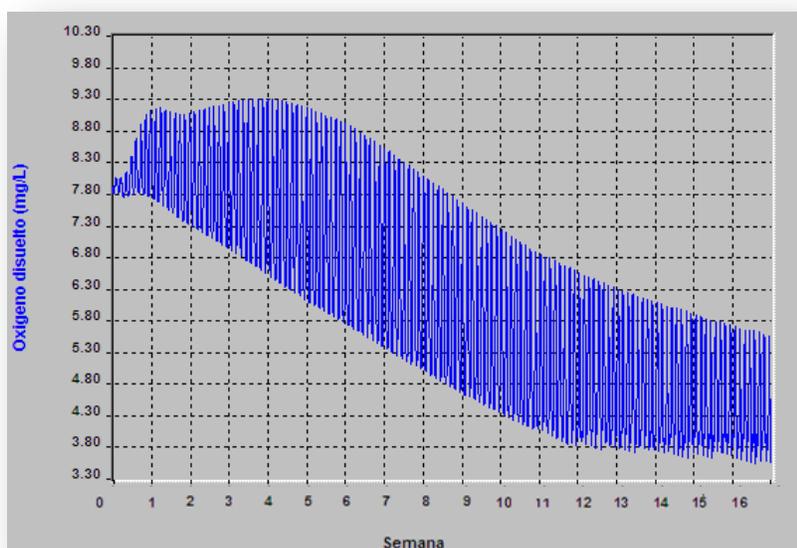


Ilustración 88. Oxígeno disuelto esperado para la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.

- **Camarón**

El tamaño promedio de los camarones modelados en la cosecha fue de 28.3 (± 2.6) g (Ilustración 90) con una longitud promedio por camarón de 11 cm (Ilustración 90) a las 15 semanas de engorda con un FCA de 1.22. Esto es un crecimiento promedio diario en peso de 0.257 g/día.

La cosecha final de camarones esperada es de 13,800 organismos (86% sobrevivencia estimada) con una densidad final de 19.38 organismos/m². La biomasa final calculada es de 390.54 kg.

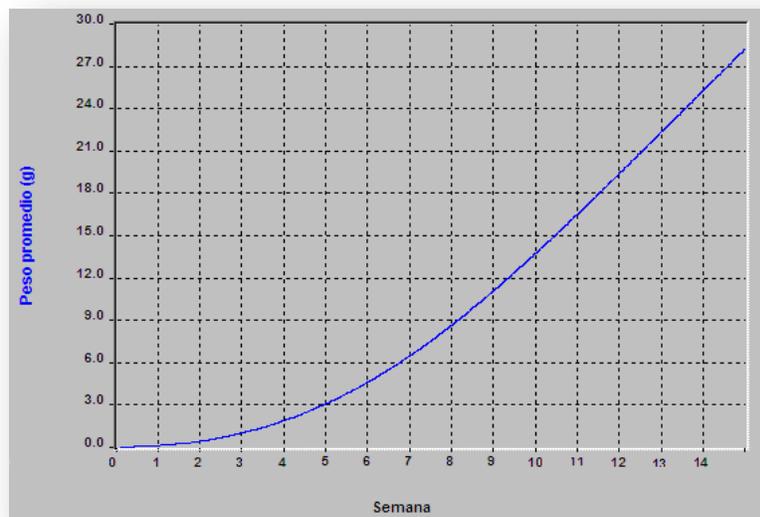


Ilustración 89. Peso promedio para el camarón modelo en 15 semanas de engorda

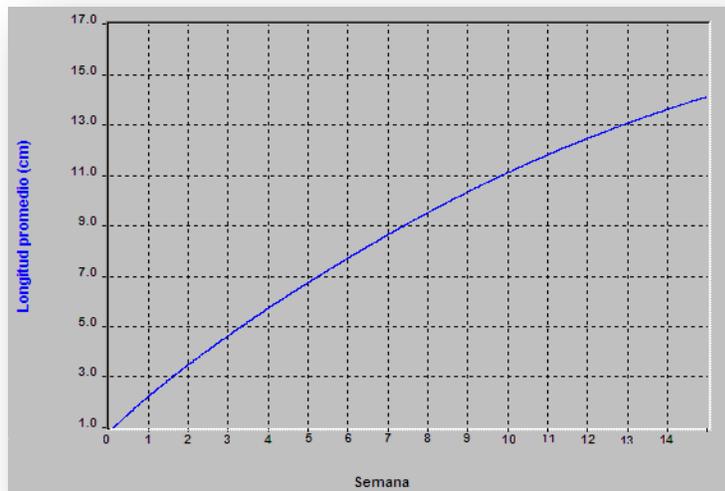


Ilustración 90. Longitud promedio para el camarón modelo en 15 semanas de engorda

Parámetros Físico-Químicos Modelados

En las siguientes tablas se muestran los promedios de parámetros fisicoquímicos modelados:

Tabla 41. Promedio de los parámetros fisicoquímicos básicos modelados para el sistema MultiCo por especie

Organismos cultivados	Parámetros fisicoquímicos modelados				Sólidos disueltos
	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	Salinidad (ppm)	pH	(mg/l)
Especie marina	24.7	7.6	13	7.9	13315.6
Tilapia	22.24	6.5	13	8.18	81.131
Camarón	22.28	6.7	13	7.9	13196.5

Tabla 42. Promedio de los parámetros fisicoquímicos de origen orgánicos modelados para el sistema MultiCo por especie.

Organismos cultivados	Amonio NH₃-N (mg/L)	Amonio Total (mg N/L)	Nitratos (mg N/L)	Fosforo Disuelto (mg P/L)	Producción primaria g/C/m²/d
<i>Especie marina</i>	0.863	20.79	98.57	23.8	1.78
<i>Tilapia</i>	0.027	2.4	19.18	5.7	1.5
<i>Camarón</i>	0.089	1.48	10.34	1.32	1.11

Adicionalmente se graficaron los principales parámetros para medir la efectividad del modelo MultiCo en relación al manejo de solidos suspendidos y el aprovechamiento de la materia orgánica entre los diferentes niveles del sistema multitrófico.

Especie marina modelo

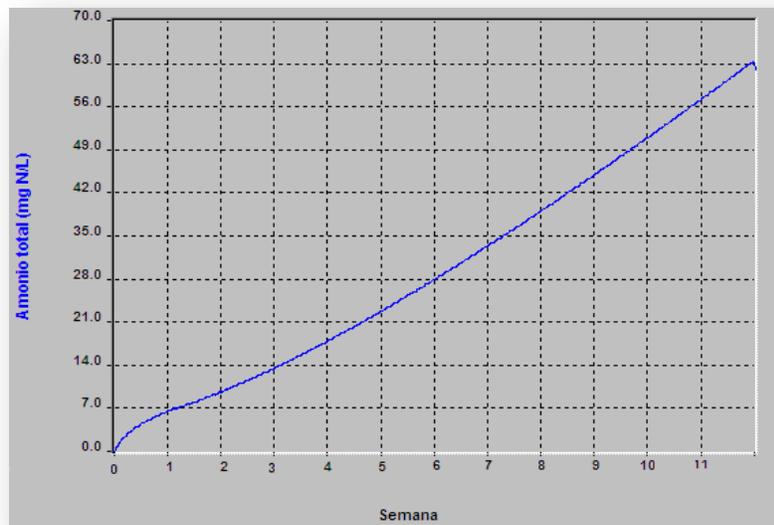


Ilustración 91. Amonio total disuelto (mg/l) de la especie marina modelo en 12 semanas de engorda.

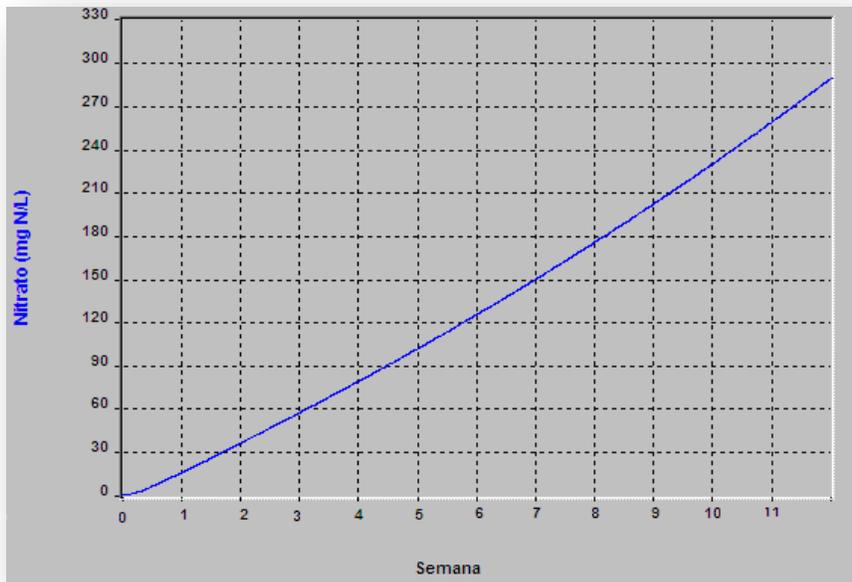


Ilustración 92. Nitrato disuelto (mg/l) de la especie marina modelo en 12 semanas de engorda.

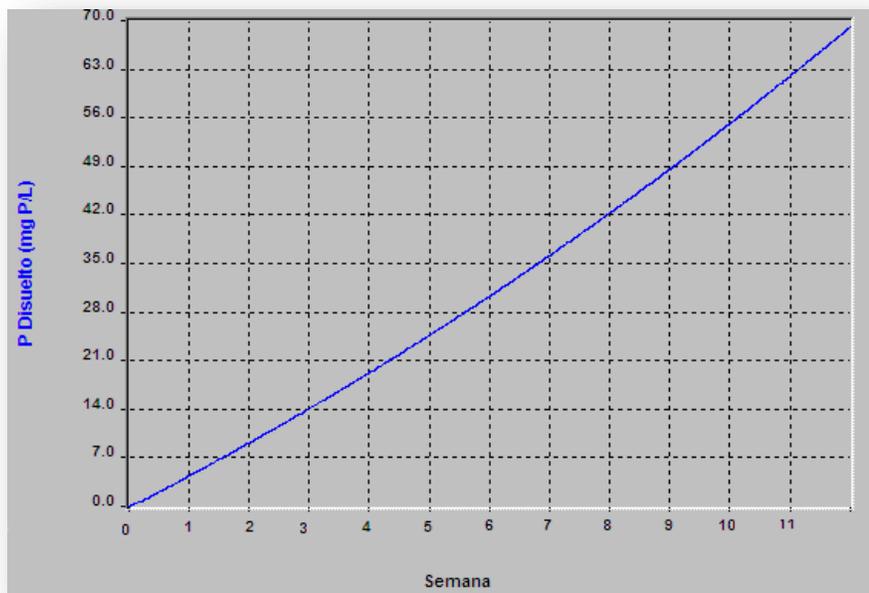


Ilustración 93. Fósforo disuelto (mg/l) de la especie marina modelo en 12 semanas de engorda.

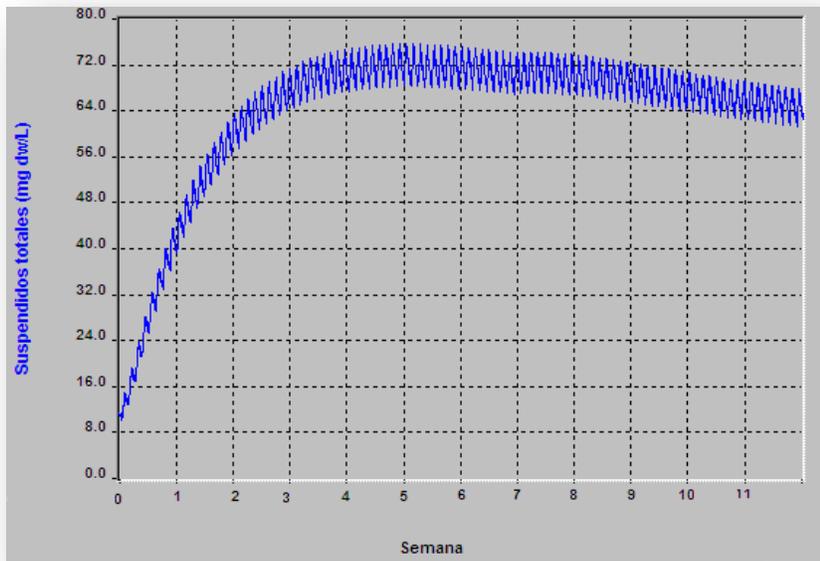


Ilustración 94. Suspendidos totales disueltos de la especie marina modelo en 12 semanas de engorda.

Tilapia

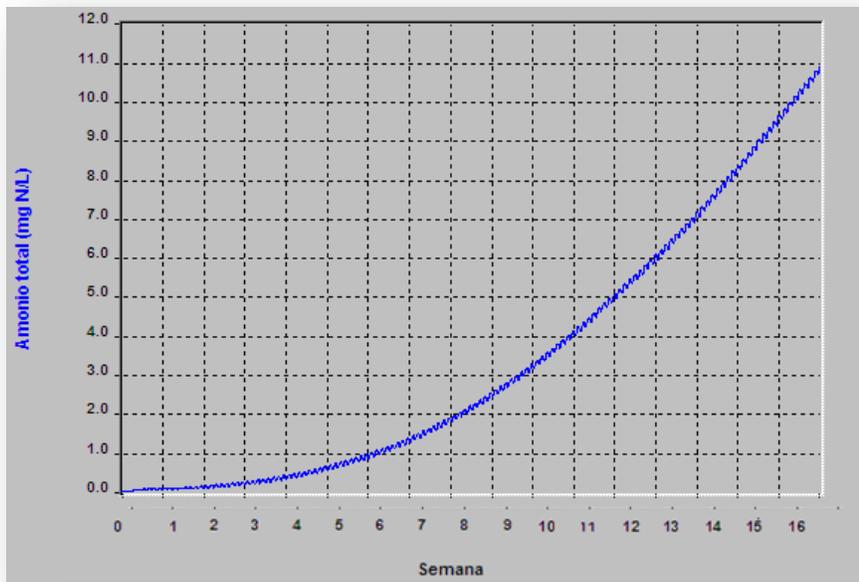


Ilustración 95. Amonio total disuelto (mg/l) de la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.

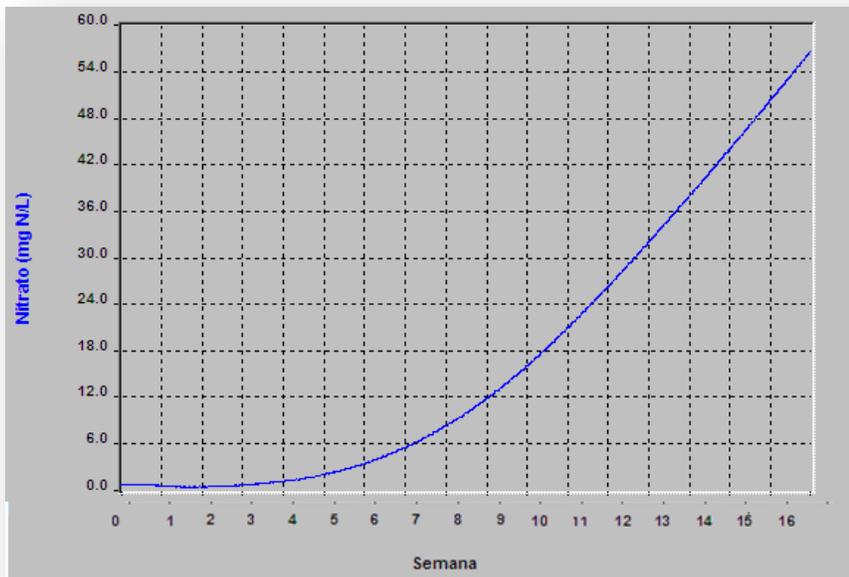


Ilustración 96. Nitrato disuelto (mg/l) de la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.

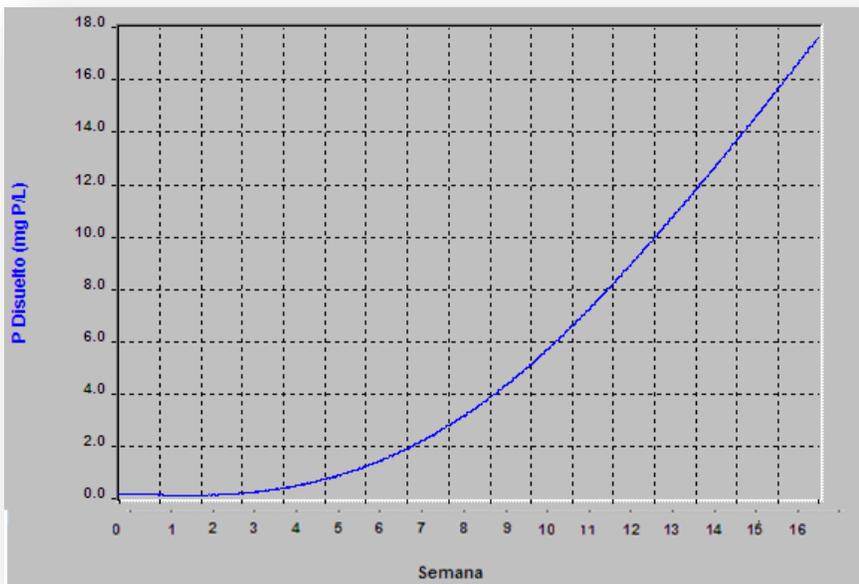


Ilustración 97. Fósforo disuelto (mg/l) de la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.

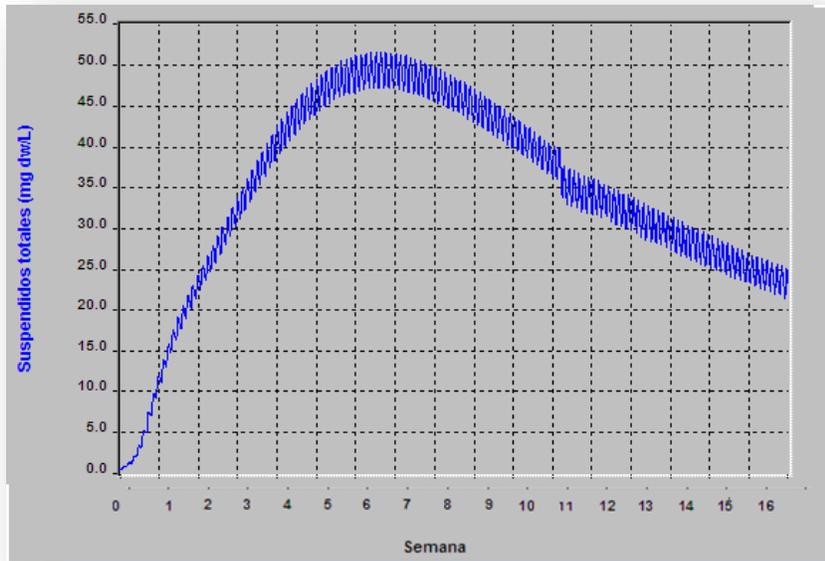


Ilustración 98. Suspendidos totales disueltos de la Tilapia modelo en 17 semanas de engorda.

Camarón

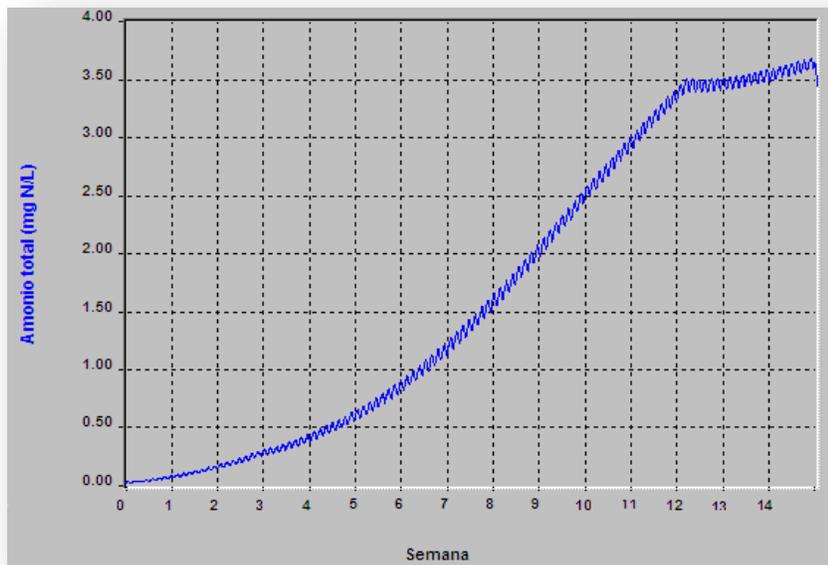


Ilustración 99. Amonio total disuelto (mg/l) del camarón modelo en 15 semanas de engorda

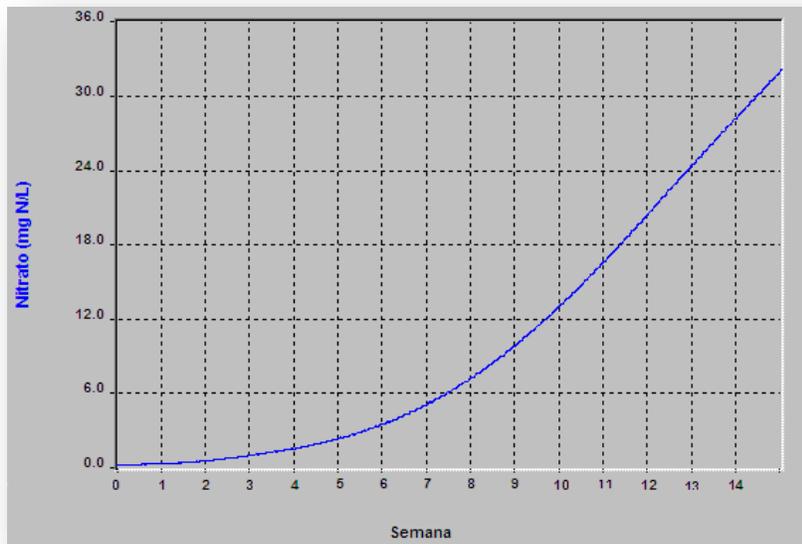


Ilustración 100. Nitratos disueltos (mg/l) del camarón modelo en 15 semanas de engorda

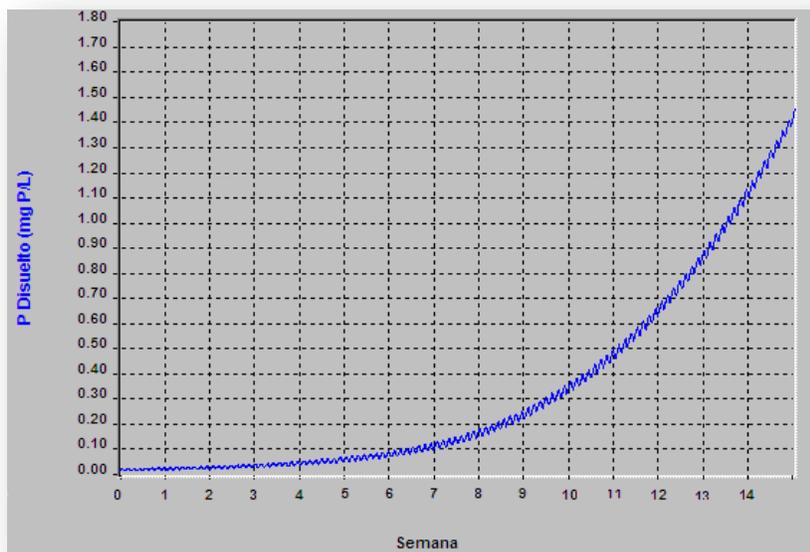


Ilustración 101. Fósforo disuelto (mg/l) del camarón modelo en 15 semanas de engorda

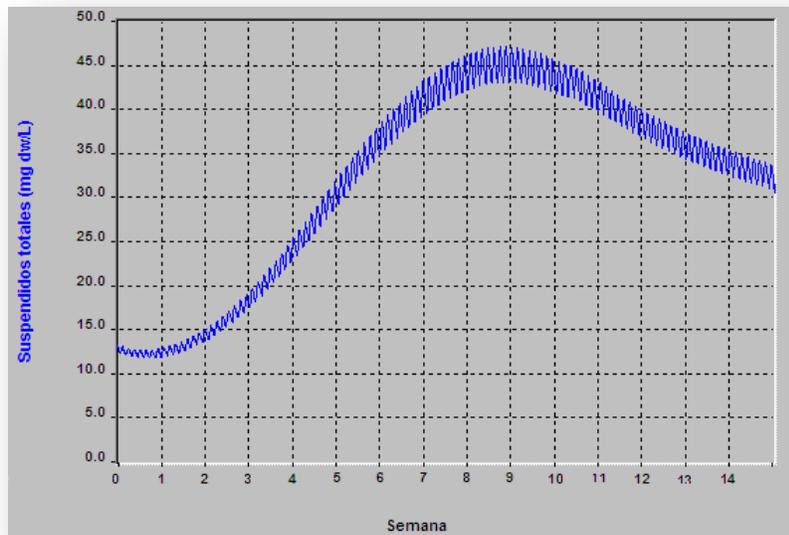


Ilustración 102. Suspendidos del camarón modelo en 15 semanas de engorda.

Modelación Unidad MultiCo

Este modelo trabaja sin restricciones de recursos como el agua, alimento, energía eléctrica, etc., el objetivo es mostrar el comportamiento esperado de una unidad básica de producción del sistema MultiCo (Tabla 43).

Tabla 43. Principales resultados de la modelación de la Unidad MultiCo en el sistema Aquafarm.

	Biomasa Final (Kg/tanque)	Carga kg/m3	Población Final	Sobrevivencia	Peso final	Longitud final	Densidad inicial (peces/m3)	Densidad Final	Crecimiento (g/día)	FCA
Especie Marina	253.9	51.73	5131.9	88%	49.48	14.886	1183.6	1045.5	0.5	1.73
Tilapia	5481.7	7.69	15421	82%	393.63	29.724	26.3	21.7	2.0	1.48
Camarón	368.8	0.51	12312	83%	29.96	-	24.2	20.1	0.16	1.28

Tabla 44. Necesidades de agua estimada por unidad familiar a lo largo del proceso productivo sin considerar las jaulas.

Agua utilizada	
Llenado Inicial	1443.5 m ³
Total por día	106.67 m ³
Total por ciclo*	19200.6 m ³

*Ciclo de 180 días

Debido al tipo de sistema integrado y las densidades de los tanques intensivos se requiere un recambio constante de agua, este recambio se traduce en el movimiento de 106.67 m³ por día por unidad de producción en tierra.

Tabla 45. Características del agua de descarga modelada (tal y como salen del sistema MultiCo) antes del tratamiento preventivo:

Descarga antes de tratamiento	
Flujo	71.92 l/min
Oxígeno disuelto	6.53 mg/l
CO2	1.299 mg CO ₂ /l
Amonio no ionizado	0.0138 mg N/l
Amonio total	1.312 mg N/l
Solidos suspendidos	21.892 mg dw/l
Solidos sedimentables	0.5 mg/l
Nitratos	4.262 mg/l
Nitrogeno disuelto	5.575 mg/l
Fosforo disuelto	1.449 mg/l
Alcalinidad	33.165 mg/l
Solidos disueltos totales	15396 mg/l
pH	7.53

Se considera que hay integración en una granja cuando los productos de un subsistema, que en otras circunstancias serían desechados, ingresan a otro subsistema, aumentando de esa manera la producción de la tierra y de los cuerpos de agua bajo control del productor. En nuestro caso podemos esperar que el sistema de tanques semi-intensivos funcione como un bio-remediador de la descarga emitida por los tanques intensivos de forma tal que los desechos de los peces marinos nativos sirvan para nutrir a las especies secundarias. En la siguiente tabla (Tabla 46) se presenta información resultado de las simulaciones de sistema donde se muestra como la cantidad de sólidos sedimentables disminuye considerablemente desde los tanques intensivos hasta los estanques semi-intensivos en un proceso integrado donde el consumo de estos desechos ayudara a disminuir el FCA de las especies secundarias minimizando los impactos ambientales y reduciendo el gasto por alimento y los problemas por el tratamiento de exceso de nutrientes y materia orgánica en el agua:

Tabla 46. Modelación del decremento en sólidos sedimentables producto del sistema de cultivo integrado:

Sólidos sedimentables	
Tanques intensivos	19556.9 g dw/m ³
Estanque semi-intensivo Tilapia	107.71 g dw/m ³
Estanque semi-intensivo Camaròn	28.09 g dw/m ³
Descarga	0.5 g dw/m ³
*dw peso seco	

Los resultados que se obtuvieron para esta modelación (1 UBP) deben multiplicarse por 32 para calcular la máxima escala de producción del sistema en el sitio para un parque acuícola y de esta forma estimar el impacto ambiental real de la producción de una unidad tecnológica MultiCo. Se tendrá un consumo de energía óptimo de entre 15-20 KWatts por unidad productiva con toda la infraestructura eléctrica activada. Para los resultados de las simulaciones se considerará la misma energía consumida por la prueba, ya que es lo más cercano a lo que puede suceder en realidad considerando los costos de la energía en México y la eficiencia de los aparatos en condiciones difíciles de temperatura y humedad.

11. Protocolo de Colecta

Para agilizar el transporte se utilizan jaulas de plástico (canastas con tapas de plástico) como se muestra en la siguiente imagen:

Imagen de la tapa (en verde) y canasta (en azul) utilizada para formar una jaula:



Estos dispositivos permiten mover a los peces en grupos contenidos en jaulas reduciendo el tiempo de traslado, pero dificulta la aclimatación. El manejo de los organismos se reduce únicamente al momento donde se colectan de la laguna y se seleccionan para introducirse a las canastas, una vez que se introducen 25 robalos en una canasta esta se cierra con una tapa de plástico y está lista para el transporte.

Esquema del protocolo de colecta:



Proceso:

1. Seleccionar organismos desde el arte de pesca
2. Introducir 25 Organismos por canasta de plástico en las lanchas
3. Tapar la canasta
4. Mover la jaula desde el contenedor en la lancha al rotoplas
5. Mover la jaula desde el rotoplas al tanque de aclimatación
6. Destapar las canastas y dejar que los peces naden fuera lentamente mientras se examinan y son contados uno por uno,



Este proceso tiene las siguientes ventajas que se reflejan en una menor tasa de mortalidad en el transporte:

- a. **Evitar un manejo excesivo o inadecuado:** Un mal manejo genera daños en los peces principalmente en las aletas (en especial las laterales), desprendimiento de escamas, daño en las agallas y estrés que se manifiesta con secreción excesiva de mucosa, excreción y regurgitación, nado errático y frenético, respiración rápida e inquietud y persecución de burbujas de los difusores. Casi cualquier contacto con manos humanas genera alguna de las señales antes mencionadas, por ejemplo en el “desmalle” del trasmallo.
- b. **Reduce estrés de los organismos:** El movimiento de los peces y su traslado entre ambientes debe ser mínimo evitando en todo momento ser tocados con las manos, después de ser colectados se cubren con la tapa por el resto del transporte evitando que se estresen al ver movimiento, así mismo las burbujas de aire no deben golpear de manera directa a los organismos pues ocasionan que las persigan y las traten de atrapar hasta perder el sentido y nadar boca arriba. Los difusores en este sistema se colocan debajo de la canasta evitando más estrés en los peces.
- c. **Reduce los movimientos y manejo incensario:** El recambio genera estrés en los organismos por el golpeteo del agua (aun realizándose con cuidado), introduce agua de la laguna con lodo y materia orgánica que se suspende después de las colectas además de temperaturas elevadas del agua de la superficie. Debido a que una operación exitosa de captura no tiene a los organismos más de 45 min dentro de la lancha no debe ser necesario recambiar el agua.

División del trabajo:

- Preparación de la lancha, redes, material de colecta, agua de transporte en la lancha y personal accesorio para colecta.
- Registro físico y digital de información de colecta, revisión de material de colecta, peso de organismos en las instalaciones.
- Preparación de transporte terrestre, remolque, agua de transporte terrestre, vehículo, peso de organismos en las instalaciones.

En la colecta se requiere de al menos 2 personas más para manejar las redes de encierro sin estresar a los organismos y distribuir el trabajo que tienen un alto contenido de desgaste energético.

Selección del sitio e identificación de especies

Se identificaron sitios para la colecta de los organismos con base en la experiencia de los pescadores locales y al trabajo de revisión bibliográfica de la Laguna.

Se ubicaron 3 sitios con principal potencial, se seleccionó el sitio con el acceso más cercano al camino para realizar las colectas.

Sitio de captura y posibles posiciones de las redes:



LLENADO DE FORMATO DE CONTROL DE COLECTA:

Clave de la población: se construye con la inicial del tipo de agua de transporte, Salobre (S), Marina (M), Dulce (D), posteriormente el método de colecta. Encierro (E), Trasmallo (T) y finalmente la fecha de la colecta

Ejemplo: SE2007

(S) Agua Salobre

(E) Método de Encierro

Fecha: Colectados el 20 de Julio del 2011

Número de colecta: se refiere al consecutivo de las colectas desde la primera realizada para juntar el stock de la prueba tecnológica

Hora de Inicio: se refiere a la hora de comienzo de la colecta desde que sale la lancha

Hora de Término: se refiere al momento donde se terminan de liberan los peces en el o los tanques de recepción

Tanque de Recepción: se refiere al tanque donde se liberan los organismos en las instalaciones, estos tanques se encuentran numerados del 1 al 8.

Organismos colectados: número de organismos colectados al final de la colecta.

Sitio de la colecta: Nombre que le dan los lugareños al sitio de la colecta. Funciona para ubicar los mejores puntos en la laguna para realizar las colectas.

Hora de Inicio y Término en un sitio determinado: sirve para estimar el tiempo y la efectividad de una colecta dependiendo del sitio de colecta.

Tiros: se refiere al número de veces que se desplegó el arte de pesca en un sitio determinado

Organismos: acumulado de organismos capturados en un sitio después de que se desplego el ultimo tiro del arte de pesca

SAL: Salinidad tomada en el sitio de colecta

°C: Medición de grados centígrados en el sitio de la colecta

pH: Potencial de hidrógeno del sitio de colecta

O2: concentración de oxígeno en ppm y % de saturación del sitio de colecta

TRANSPORTE: Hora de inicio y término del transporte. Tomando como inicio el momento en que la lancha toca la tierra después de la colecta y como término el momento en que el transporte llega a las instalaciones. Organismos se refiere al número de peces que se introducen al transporte.

Notas y Observaciones: para cualquier información relevante con referencia a la colecta.

Responsable: persona que llena el formato de colecta

12. Referencias

- Ahumada Sempoa M.A., 2002. Informe Técnico-Científico del proyecto financiado por el sistema de investigación Benito Juárez (SIBEJ), CONACyT Delegación regional Sur: Caracterización ambiental y aprovechamiento de los recursos naturales de los sistemas Lagunares Chacahua-Pastoria y Corralero-Aletongo, Calve:OAX-RNMA-005/96. Universidad Del Mar.
- Aksornkoae, S. & Tokrisna, R. 2004. Overview of shrimp farming and mangrove loss in Thailand. In: E.B. Barbier & S. Sathirathai (eds) Shrimp Farming and Mangrove Loss in Thailand, Edward Elgar, London. pp. 37-51.
- Alcalá, G. 2003. Políticas Pesqueras en México (1946-2000): Contradicciones y Aciertos en la Planificación de la Pesca Nacional, Volumen 2 de Linderos de La Costa, Edición ilustrada, Editor El Colegio de Michoacán A.C., 2003, ISBN 9706791124, 9789706791122, N.º de páginas 106 páginas.
- Alcamo, J., Bennett, E. M., Millennium Ecosystem Assessment (Program). (2003). Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Washington, DC: Island Press
- Alvarez-Lajonchère L., Tsuzuki M., 2008. A review of methods for *Centropomus* spp. (snooks) aquaculture and recommendations for the establishment of their culture in Latin America. *Aquaculture Research*. Volume 39, Issue 7, pages 684–700. Alvarez-López, B.; Morales-Pacheco, O.; de la Cruz-Hernández, J.A., 2002. La Pesca Ribereña en Oaxaca, En: Mem. I Foro Científico de Pesca Ribereña. INP-CRIP Salina Cruz 17-18 de Octubre de 2002. INP CRIP Guaymas, Son., Prolongación Playa Abierta S/N, Col. Miramar, Salina Cruz, Oaxaca, C.P. 70680.
- Alvarez-López, B.; Morales-Pacheco, O.; de la Cruz-Hernández, J.A., 2002. La Pesca Ribereña en Oaxaca. INP-CRIP Salina Cruz, Mem. I Foro Científico de Pesca Ribereña. 17-18 de Octubre de 2002. INP CRIP Guaymas, Son.
- Amararatne Yakupitiyage; Bhujel, R.C.; Bartley, D.M. (ed.); Bhujel, R.C. (comp.); Funge-Smith, S. (comp.); Olin, P.G. (comp.); Phillips, M.J. (comp.), (FAO) 2005. Role of exotic species in aquaculture: problems and prospects in Indochina, FAO, Rome (Italy). Fisheries Dept.; Asian Inst. of Technology, Klong Luang (Thailand). Aquaculture and Aquatic Resources Management; California Univ., La Jolla (USA). California Sea Grant Coll.

Program; Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific, Bangkok (Thailand), Report of an Ad Hoc Expert Consultation, 27-30 August 2003, Xishuangbanna, People's Republic of China, p. 169-183

- Ariès, P., 2009. Decrecimiento o Barbarie. Disponible en <http://www.decrecimiento.info/2009/03/paul-aries-decrecimiento-o-barbarie.html>
- Arredondo Álvarez A. 2006. "Glosario de Términos Pesqueros". Cámara de Diputados LIX Legislatura. Comisión de Pesca-CEDRSSA.
- Ayres, R.U., Kneese, A.V., 1969. Production, consumption, and externalities. *The American Economic Review*, 282-297
- Baca Urbina, G., 2010. Evaluación De Proyectos 6ª Edición, Editorial: Mc Graw Hill. ISBN: 9786071502605. Número de páginas: 318.
- Barbier, E.B. 2000. Valuing the environment as input: applications to mangrove-fishery linkages. *Ecological Economics*, 35: 47-61.
- Barbier, E.B. 2007. Valuation of ecosystem services supporting aquatic and other landbased food systems. In D.M. Bartley, C. Brugère, D. Soto, P. Gerber and B. Harvey (eds). Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: methods for meaningful comparisons. FAO/WFT Expert Workshop. 24-28 April 2006, Vancouver, Canada. FAO Fisheries Proceedings. No. 10. Rome, FAO. 2007. pp. 71–86.
- Barraclough y Finger-Stich, (UN) 1996. Some Ecological and Social Implications of Commercial Shrimp Farming in Asia. Programme Area: Environment, Sustainable Development and Social Change, Code: DP74, Project Title: Population Dynamics, Environmental Change and Development Processes No. of Pages: 6.
- Barry A. Costa-Pierce, 2003. *Ecological Aquaculture*. Wiley-Blackwell; 2nd edition (January 15, 2003).
- Bartley, D.M.; Brugère, C.; Soto, D.; Gerber, P.; Harvey, B. (eds), (FAO), 2007. Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: methods for meaningful comparisons. FAO/WFT Expert Workshop. 24-28 April 2006, Vancouver, Canada. FAO Fisheries Proceedings. No. 10. Rome, FAO. 2007. 241p.
- Beveridge, M. 1993. Cage and pen fish farming: carrying capacity models and environmental impact. FAO Fisheries Technical Paper. No. 255. Rome, FAO. 131 pp.

- Beveridge, M.C.M., 2004. Cage aquaculture. 3rd Edition. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 368 p.
- Bolte, J., Ernst, D., Nath, S., 2000. Development of decision support tools for aquaculture: the POND experience. *Aquacultural Engineering*, 23 (1), 103-119.
- Bonta, P.; Farber, M.(2002). 199 Preguntas sobre marketing. Editorial Norma. ISBN 978-95-8047-030-4.
- Boonchuwong, P. 2002. Socio-economic impacts of Introduced exotic species for consumption A National Workshop on Exotic Species use in Aquaculture, DOF/AIT, 140 pp.
- Boulding, K.E., 1976. The Economy of Love and Fear. A Preface to Grant Economics Wadsworth Publ., Belmont, CA. Versión castellana, La Economía del Amory del Temor (1976), Alianza ed., Madrid.
- Bourke, G, Stagnitti, F, Mitchell, B., 1993. A decision support system for aquaculture research and management. *Aquacultural Engineering*, 12 (2), 111-123.
- Boyd, C. E. 2006. Effluent effects. *Global Aquacult. Advocate*, 9(3): 62–63.
- Brealey, Myers Y Allen, 2006. Principios de Finanzas Corporativas, 8ª Edición. Editorial Mc Graw Hill.
- Bringezu, S., Schütz, H.,Moll, S., 2003. Rationale for and interpretation of economy-wide materials flow analysis and derived indicators. *Journal of Industrial Ecology* 7 (2), 43–64.
- Brooks, K.M. 2001. An evaluation of the relationship between salmon farm biomass, organic inputs to sediments, physicochemical changes associated with those inputs and the infaunal response. Final Report for the Technical Advisory Group, British Columbia Ministry of Environment. Aquatic Environmental Sciences, Port Townsend, WA, USA. 210 p.
- Brooks, K.M. 2007. Assessing the environmental costs of Atlantic salmon cage culture in the Northeast Pacific in perspective with the costs associated with other forms of food production. In D.M. Bartley, C. Brugère, D. Soto, P. Gerber and B. Harvey (eds). Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: methods for meaningful comparisons. FAO/WFT Expert Workshop. 24-28 April 2006, Vancouver, Canada. FAO Fisheries Proceedings. No. 10. Rome, FAO. 2007. pp. 137–182
- Brundtland, G.H., 1987. Our Common Future: World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford.

- Brunner, P. H.; Rechberger, H. (2004) "Practical Handbook of Material Flow Analysis". CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, ISBN-10: 1566706041
- Burd, B, 1995. Salmon aquaculture review. Volume 3, Part D: waste discharges. Environmental Assessment Office (EAO), Vancouver, B.C. 88 pp.
- Burd, B. 1995. Salmon aquaculture review. Volume 3, Part D: waste discharges. Environmental Assessment Office (EAO), Vancouver, B.C. 88 pp.
- Buschmann, A.H. 2001. Impacto ambiental de la acuicultura. El estado de la investigación en Chile y el mundo. Un análisis bibliográfico de los avances y restricciones para una producción sustentable en los sistemas acuáticos. Terram Publicaciones. Chile. 67 pp.
- Byron, C.J. & Costa-Pierce, B., 2013. Carrying capacity tools for use in the implementation of an ecosystems approach to aquaculture. In L.G. Ross, T.C. Telfer, L. Falconer, D. Soto. & J. Aguilar-Manjarrez (eds. Site selection and carrying capacity for inland and coastal aquaculture, pp. 87–101. FAO/Institute of Aquaculture, University of Stirling, Expert Workshop, 6–8 December 2010. Stirling, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 21. Rome, FAO. 282 pp.
- Cabrera Socorro, G.E. 2010. La Miseria del Oro Blanco. Impactos del neoliberalismo en la acuicultura del camarón: Puerto Morazán, Nicaragua 2010 Revista Batey. V.2 ISSN 2225-529X.
- Campbell, C.J., Laherre, J.H., 1998. The end of cheap oil. Scientific American, 78–83.
- Carabias, J., 2012. México 2012: desafíos de la consolidación democrática. Tirant lo blanch México, I.S.B.N. 978-607-95830-0-2
- Cárdenas, J.C., 2004. «Pesca y salmonicultura. Acuerdos de Libre Comercio, Transnacionales y Soberanía Alimentaria en Chile. En: Globalización y Agricultura», Jornadas para la Soberanía Alimentaria, Ponencias. 76 - 91 p. Àgora Nord-Sud , Barcelona-España.
- Cárdenas, J.C., 2004. «Pesca y salmonicultura. Acuerdos de Libre Comercio, Transnacionales y Soberanía Alimentaria en Chile. En: Globalización y Agricultura», Jornadas para la Soberanía Alimentaria, Ponencias. 76 - 91 p. Àgora Nord-Sud , Barcelona-España.
- Carmona Dávila, D., 2012. Memoria Política de México, 1492-2000. Instituto Nacional de Estudios Políticos A.C. Disponible en: <http://www.memoriapoliticademexico.org/>

- Castañeda L., O. y F. Contreras E., 2003. El Centro de Documentación "Ecosistemas Litorales Mexicanos" como una herramienta de diagnóstico. *ContactoS* 48: 5-17.
- Castañeda Lomas N., Guido Sánchez S. y Medina Colín F. (CONAPESCA), 2012. Cooperativas Pesqueras Exitosas en Sinaloa: Lecciones para Aprender y Compartir.
- Chang P. H. y Plumb J. A. 1996. Effects of salinity on Streptococcus Infection of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* . *Journal of Applied Aquaculture*. 6 (1) 39-45.
- Chibras D., Russek D., Fitzsimmons K., Contreras W., Appelbaum S., 2013. US2013055960 (A1) - METHOD AND SYSTEM FOR AQUACULTURE, Registro de patente: US 13/406,091
- Chopin, T., Yarish, C., Wilkes, R., Belyea, E., Lu, S. & Mathieson, A. 1999. Developing Porphyra/salmon integrated aquaculture for bioremediation and diversification of the aquaculture industry. *Journal of Applied Phycology* 11: 463-472.
- Coase, R. H., 1960. The Problem of Social Cost. *Journal of Law and Economics*, Vol. 3 (Oct., 1960), pp. 1-44: <http://www.jstor.org/stable/724810>
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), 2010. Manifestación de Impacto Ambiental para el proyecto de dragado y escollera en Banco de Oro, Laguna Corralero, Oaxaca. Disponible en <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/oax/estudios/2012/200A2012H0008.pdf>
- Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. (CONANP) 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- CONABIO, 2007. Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad. Prioridades en México / Editado por Ignacio J. March Mifsut y Maricela Martínez Jiménez. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos: IMTA, Conabio, GECl, AridAmérica, The Nature Conservancy, 2007. 73 pp. 21.5 x 28 cm ISBN 978-968-5536-92-9
- CONANP 2010, Estrategia nacional sobre Especies invasoras En México prevención, control y erradicación
- CONAPO, 2006. La situación demográfica de México 2006, Consejo Nacional de Población (CONAPO)
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval), 2012. Informe de Pobreza en México 2010: el país, los estados y los municipios. ISBN: 978-607-95482-9-

2. Disponible en:
http://www.coneval.gob.mx/Informes/Coordinacion/INFORMES_Y_PUBLICACIONES_PDF/Informe_de_Pobreza_en_Mexico_2010.pdf

- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Informe de pobreza en México, 2012. México, DF: CONEVAL, 2013.
- Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), 2012. CGIAR Annual Report 2012. Disponible en <http://www.cgiar.org/ar2012/>
- Contreras B. F., O. Castañeda L., R. Torres-Alvarado y F. Gutiérrez M, 1996. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas Rev. Biol. Trop., 44(2): 417-425,1996
- Contreras, E. F. & J. Kerekes. 1993. Total phosphorus-chlorophyll relationships in tropical coastal lagoons in Mexico. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 448-451.
- Contreras-Espinosa, 1994. Hidrología y nutrientes en las lagunas costeras. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México DF
- Contreras-Sánchez W., Macdonald-Vera A., Duncan N., y Fitzsimmons K. 2005. Effect of stocking density of red hybrid tilapia (*Oreochromis* sp.) on growth and survival of juvenile tilapia and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in polyculture. In: J. Burright, C. Flemming, and H. Eгна (Editors), Twenty-Second Annual Technical Report. Aquaculture CRSP, Oregon State University, Corvallis, Oregon. 319-326.
- Corral Ávila R., (SAGARPA) 2007. Programa Nacional de Ordenamiento Acuícola, Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, SAGARPA, Hermosillo Sonora, 21 de Agosto
- Correa Restrepo, F., 2006. La tasa social de descuento y el medio ambiente. Lecturas de Economía, núm. 64, enero-junio, 2006, pp. 93-116, Universidad de Antioquia Colombia Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=155213360004>
- Cortés-Altamirano R. y Licea-Duran S., 1999. Florecimientos de microalgas nocivas en estanques para cultivo semi-intensivo de camarón en México. Revista Latinoamericana de Microbiología. 41, 157-166.
- Crespi, V.; Coche, A. (comps), Glossary of aquaculture/Glossaire d'aquaculture/Glosario de acuicultura. Rome, (FAO) 2008. 401p. (Multilingual version including Arabic and Chinese)
- Cromey, C.J., Nickell, T.D. & Black, K.D., 2002. DEPOMOD – modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. Aquaculture, 214: 211–239.

- Cromeey, C.J., Nickell, T.D., Black, K.D., Provost, P.G. & Griffiths, C.R., 2002. Validation of a fish farm waste resuspension model by use of a particulate tracer discharged from a point source in a coastal environment. *Estuaries*, 25: 916–929.
- Cruz-Romero, M., E. Espino-Barr & A. Garcia-Boa, 1989. Lista de peces del litoral colimense. INP/SEPESCA. Serie Doc de Trab. 1(9): 21 p.
- Davies, I.M & McLeod, D. 2003. Scoping study for research into the aquaculture (shellfish) carrying capacity of GB coastal waters. London. The Crown Estate. Final report. 76 pp. (also available at http://77.68.38.63/aqua_capacity_gb_waters.pdf).
- De Groot, R.S., Wilson, M.A. & Boumans R.M.J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41: 393-408.
- De la Lanza-Espino, 1994. Química de las Lagunas Costeras y Litorales Mexicanos. Univeridad autonoma de baja californa sur
- de la Vega Salazar, M.Y. 2003. Situación De Los Peces Dulceacuícolas En México. *Ciencias*, octubre-diciembre, número 072, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México. pp. 20-30
- De Silva S.S. y F.B. Davy (eds.), 2010. *Success Stories in Asian Aquaculture*. Springer Science+Business Media B.V. 2010
- Departamento de Pesca y Acuicultura de la Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2008. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma, 2009 FAO.
- Departamento de Pesca y Acuicultura de la Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2012. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma, FAO.
- DeWalt, B.R., J.R. Ramírez Zavala, L. Noriega and R.E. González. (WB, NACA, WWF, FAO). 2002. *Shrimp Aquaculture, the People and the Environment in Coastal Mexico*. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Published by the Consortium. 73 pages.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 2004. Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación, 15 de marzo de 2004

- Dinwiddie, C.L. & Teal, F.J., 1996. "Principles of Cost-Benefit Analysis for Developing Countries," Cambridge Books, Cambridge University Press, Cambridge University Press, number 9780521473583.
- Edwards, P., R.S.V. Pullin and J.A. Gartner (1988). Research and Education for the Development of Integrated Crop-Livestock-Fish Farming Systems in the Tropics. ICLARM Studies and Reviews 16, pp. 53.
- Ehrhardt, Michael C.; Brigham, Eugene F., 2007. Finanzas Corporativas. Cengage Learning Editores. pp. 672. ISBN 978-97-0686-594-6.
- Ellingsen, H., Aanonden, S., 2006 Use of LCA to analyse environmental impacts from commercial fisheries. ICES Marine Science Symposia.p
- Ellis, D. & Associates, 1996. Net loss: The salmon netcage industry in British Columbia: Vancouver, B.C: The David Suzuki Foundation.
- Ernst, D.H., Bolte, J.P., Nath, S.S., 2000. AquaFarm: simulation and decision support for aquaculture facility design and management planning. Aquacultural Engineering (23)1-3, pp. 121-179.
- Espino-Barr, E., A. Ruiz-Luna and A. Garcia-Boa, 2002. Changes in tropical fish assemblages associated with small-scale fisheries: a case study in the Pacific off central Mexico. Rev. Fish Biol. Fish., 12: 393-401.
- Esquinca G., Moguel Viveros C.A., Reyna M. C., 2007. Pesquerías y pescadores artesanales de camarón en el Cordón Estuárico, La Joya, La Barra y Buenavista, Chiapas. Territorio, organización y tecnología Cuicuilco, Vol. 14, Núm. 39, enero-abril, 2007, pp. 35-78 Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- EUROSTAT 2001. Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide. Luxembourg: European Commission
- Ewing B., D. Moore, S. Goldfinger, A. Oursler, A. Reed, and M. Wackernagel. 2010. The Ecological Footprint Atlas 2010. Oakland: Global Footprint Network.
- FAO, 2000. Servicio de Utilización y Mercadeo de Pescado, Utilización responsable del pescado, Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. No 7. Roma, 2000, 37p.
- FAO, 2003. Diciembre, Resumen Informativo sobre la Pesca por Países "The United Mexican States", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) <http://www.cabicompendium.org/ac/library/metadata/FAO/Country%20profiles/Mexico%20profile.htm>

- FAO, 2003. World agriculture: towards 2015/2030. FAO, Rome.
- FAO, 2005. Presente y futuro de los mercados de pescado y productos pesqueros de la pesca a pequeña escala. Enfocado especialmente en los casos de México, Perú y Brasil, INFOPECA - FAO
- FAO, 2007. Fisheries Technical Paper. No. 498. Rome, FAO. 2007. 241 pp.+
- FAO, 2008. Report of the Expert Consultations on the Assessment of Socioeconomic impacts of aquaculture. Ankara, Turkey, 4–8 February 2008.
- FAO, 2008-2012. National Aquaculture Sector Overview. Australia. National Aquaculture Sector Overview Fact Sheets. Texto de Buckley, A. and Gilligan, J. In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. Roma. Actualizado 1 February 2005. [Citado 21 December 2012].
- FAO, 2009. Fishery and Aquaculture Statistics. 2009. Fisheries and Aquaculture Department. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated. [Cited 21 December 2012]. <http://www.fao.org/fishery/about/en>
- FAO, 2010-2012. Fisheries and Aquaculture Department. Software - FishStat Plus (Version 2.3) - Fisheries and Aquaculture Department. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated [Cited 21 December 2012]. <http://www.fao.org/fishery/about/en>
- FAO, 2011. Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 569 Review of the state of world marine fishery resources Fisheries and Aquaculture, Policy and Economics Division, FAO Fisheries and Aquaculture Department Rome, Italy.
- FAO, WFP & IFAD, 2012. The State of Food Insecurity in the World 2012. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition. Rome, FAO.
- Fernandes, T.F., Eleftheriou, A., Ackefors, H., Eleftheriou, M., Ervik, A., Sanchez-Mata, A., Scanlon, T., White, P., Cochrane, S., Pearson, T.H., Miller, K.L., Read, P.A., 2002. The Management of the Environmental Impacts of Aquaculture. Scottish Executive, Aberdeen, UK, 88 pp., J. Appl. Ichthyol. 17 (2001) 181
- Ferreira, J.G., Aguilar-Manjarrez, J., Bacher, C., Black, K., Dong, S.L., Grant, J., Hofmann, E., Kapetsky, J., Leung, P.S., Pastres, R., Strand, Ø. & Zhu, C.B., 2012. Progressing aquaculture through virtual technology and decision-support tools for novel management. In R.P. Subasinghe, J.R. Arthur, D.M. Bartley, S.S. De Silva, M. Halwart, N. Hishamunda, C.V.

- Mohan & P. Sorgeloos, eds. *Farming the Waters for People and Food*. Proceedings of the Global Conference on Aquaculture 2010, Phuket, Thailand. 22–25 September 2010. pp. 643–704. FAO, Rome and NACA, Bangkok. (available at www.fao.org/docrep/015/i2734e/i2734e00.htm).
- FIRA, 2009. Situación Actual y Perspectivas del Camarón en México. Boletín Informativo Nueva Época I Num. 3 | Año 2009.
 - Fischer-Kowalski, Marina 1997. Society's metabolism. On the Childhood and Adolescence of a Rising Conceptual Star. In: Redclift, Michael and Graham Woodgate (Eds.) *The International Handbook of Environmental Sociology*. Cheltenham: Edward Elgar.
 - Fitzsimmons, K. 2000a. Future trends of tilapia aquaculture in the Americas. In B.A Costa-Pierce and J.E. Rackocy, (eds). *Tilapia aquaculture in the Americas*, Vol. 2, pp. 252–264. Baton Rouge, LA, USA, The World Aquaculture Society.
 - Fitzsimmons, K. 2000b. Tilapia aquaculture in Mexico. In B.A. Costa-Pierce and J.E. Rackocy, (eds). *Tilapia aquaculture in the Americas*, Vol. 2, pp. 171–182. Baton Rouge, LA, USA, The World Aquaculture Society. Cage aquaculture – Regional reviews and global overview.
 - Folke, C. & Kautsky, N. 1989. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio* 18: 234-243.
 - Folke, C., Kautsky, N., & Troell, M. 1994. The costs of eutrophication from salmon farming: implications for policy. *Journal of Environmental Management*, 40: 173-182.
 - Food and agriculture Organization of the United nations (FAO), 2011, *The State of Food Insecurity in the World "How does international price volatility affect "domestic economies and food security?". Rome, 2011*
 - Ford, A. 1999. *Modelling the environment*. Washington DC, Island Press. 415 pp.
 - Fosu, A.K, 2009. "Inequality and the Impact of Growth on Poverty: Comparative Evidence for Sub-Saharan Africa," *Journal of Development Studies*, 45(5), 726-745.
 - Fosu, A.K., 2010. *Growth, Inequality, and Poverty Reduction in Developing Countries: Recent Global Evidence*. UN University-World Institute for Development Economics Research (UNU- WIDER), Helsinki, Finland
 - Freeman, A.M. III 2003. *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*, 2nd ed. Resources for the Future, Washington, D.C.
 - Froese R. & Pauly D. (eds). 2011. FishBase. 2011-06-14

- Galli, O., 2007. Pesca sustentable y soberanía alimentaria Ecología polític : cuadernos de debate internacional. - vol. 21" Pesca sustentable y soberanía alimentaria", no. 1 (feb. 2007); p. 21-30 CES20070002316
- García, R., 2006. "Sistemas Complejos" Ed. Gedisa , 2006
- Georgescu-Roegen, N., 1971. The Entropy Law and the Economic Process (1971). Harvard University Press: Cambridge, Massachusetts.
- Gerber, P., Wassenaar, T., Rosales, M., Castel, V. & Steinfeld, H. 2007. Environmental impacts of a changing livestock production: overview and discussion for a comparative assessment with other food production sectors. In D.M. Bartley, C. Brugère, D. Soto, P. Gerber and B. Harvey (eds). Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: methods for meaningful comparisons. FAO/WFT Expert Workshop. 24-28 April 2006, Vancouver, Canada. FAO Fisheries Proceedings. No. 10. Rome, FAO. 2007. pp. 37–54
- GESAMP. 1986. Environmental Capacity, An Approach to Marine Pollution Prevention. GESAMP Reports and Studies No. 30. 62 pp. (available at www.gesamp.org/data/gesamp/files/media/Publications/Reports_and_studies_30/gallery_1263/object_1271_large.pdf).
- GESAMP. 1986. Environmental Capacity, An Approach to Marine Pollution Prevention. GESAMP Reports and Studies No. 30. 62 pp. Disponible en www.gesamp.org/data/gesamp/files/media/Publications/Reports_and_studies_30/gallery_1263/object_1271_large.pdf.
- Gestión e Investigación para la Conservación y Aprovechamiento de los Recursos Bióticos de Oaxaca, S. C. (GICABO), 2009. Ampliación y modernización del camino Entronque Palma de Coyul-Barra de: Corralero; Tramo Entronque Palma de Coyul-La Noria y Minindaca; subtramo km: 0+000 al km. 14+520ç
- Giljum, S., Behrens, A., Jölli, D., Vogt, K., Kovanda, J., Niza, S., 2005. MOSUS. Material input data for the GINFORS model. Technical report. Project of the International Human Dimensions Programme (IHDP-IT). Project number: E/2003/01.
- Goldberg R, Naylor R, 2005. Future seascapes, fishing and fish farming. Front Ecol Environ 3(1):21-28
- Goldberg, R. J., Elliot, M.S. & Naylor, R.I. 2001. Marine Aquaculture in the United States: Environmental Impacts and Policy Options. Pew Oceans Commission, Arlington, VA.

- Gollehon, N., Caswell, M., Ribaudó, M., Kellogg, M., Lander, C. & Letson, D., 2001. Confined Agricultural Production and Manure Nutrients. Agricultural Information Bulletin No. 771. Resource Economics Division, Economic Research Service, US Department of Agriculture, Washington, D.C
- Gowen, R.J. & Bradbury, N.B. 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 25: 563-575.
- Gowing, J. & Ocampo-Thomason, P. 2007. Exploratory analysis of the comparative environmental costs of shrimp farming and rice farming in coastal areas. FAO/WFT Expert Workshop. 24-28 April 2006, Vancouver, Canada. FAO Fisheries Proceedings. No. 10. Rome, FAO. 2007. pp. 201–220
- Guadarrama Sánchez, G. 2000a Perspectivas para el desarrollo institucional de la asistencia social en los municipios. *Documentos de Investigación* 41:1-23.
- Guadarrama Sánchez, G. 2000b Procesos de articulación de vínculos entre el Estado y las organizaciones civiles: El caso de la asistencia social en el estado de México. *Documentos de Investigación* 50:3-16.
- Guadarrama Sánchez, G., 2001. Entre la caridad y el derecho: un estudio sobre el agotamiento del modelo nacional de asistencia social. El Colegio Mexiquense, Consejo Estatal de Población del Estado de México, Zinacantepec.
- Guadarrama Sánchez, G., 2004. La asistencia privada: una aproximación desde la perspectiva histórica. *Documentos de Investigación* (95): 3-23.
- Guangzhou L., (FAO) 2008. The future of shrimp. FAO-MOA-INFOFISH Shrimp Conference 6-7 November
- Guhl Nannetti Ernesto “La Huella Ecológica”, *El Tiempo*, Mayo 2002.
- Guzmán Amaya P. y Fernán Fuentes Castellanos D. 2006. “Pesca, acuacultura e investigación en México” primera edición. Comisión de Pesca – CEDRSSA. Cámara de Diputados. LIX Legislatura.
- Haberl, H. & Weisz, H. 2007. The potential use of the material and energy flow analysis (MEFA) framework to evaluate the environmental costs of agricultural production systems, and possible applications to aquaculture. In D.M. Bartley, C. Brugère, D. Soto, P. Gerber and B. Harvey (eds). *Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: methods for meaningful*

- comparisons. FAO/WFT Expert Workshop. 24-28 April 2006, Vancouver, Canada. FAO Fisheries Proceedings. No. 10. Rome, FAO. 2007. pp. 97–120
- Haberl, H. 2006. The global socioeconomic energetic metabolism as a sustainability problem. *Energy - The International Journal*, 31: 87-99.
 - Halide, H. 2008. Technical Guide to CADS_Tool. A Cage Aquaculture Decision Support Tool. Australian Centre for International Agricultural Research. 32 pp. Australia.
 - Halide, H. 2009. CADS_TOOL – A cage aquaculture decision support tool. Available at: <http://data.aims.gov.au/cads> (Nov 2010).
 - Hanafi, A., Andriyanto, W., Syahidah, D., Sukresno, B. 2006. Characteristics and carrying capacity of Kaping Bay, Buleleng Regency, Bali for marine aquaculture development (in Indonesian). *Kajian Keragaan dan Pemanfaatan Perikanan Budidaya* (Editors: Ahmad, T., Syah, R., Mustafa, A.): 83-95.
 - Hardin, G. (1968). "The Tragedy of the Commons". *Science* 162 (3859): 1243–1248}
 - Hargrave, B.T., 2002. *Ocean & Coastal Management* 45 (2002) 215–235
 - Hasan, M.R. (FAO) 2012. Transition from low-value fish to compound feeds in marine cage farming in Asia, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers No. 573. Rome, 2012, 210 pp., A4, PB, ISBN 978-92-5-107261-5, ISSN 2070-7010, I2775/E, FAO111731
 - Heal, G., Barbier, E., Boyle, K., Covich, A., Gloss, S., Hershner, C., Hoehn, J., Pringle, C., Polasky, S., Segerson, K., & Shrader-Frechette, K. 2005. *Valuing Ecosystem Services: Toward Better Environmental Decision Making*. The National Academies Press, Washington, D.C.
 - Heinberg, R., 2003. *The Party's Over*. New Society Publishers, Gabriola Island, Canada
 - Herminio R. Rabanal, (FAO) 1988, *History of Aquaculture*, ASEAN/UNDP/FAO Regional Small-Scale, Coastal Fisheries Development Project, ASEAN/UNDP/FAO Regional Small-Scale Coastal Fisheries Development Project, Manila, Philippines 1988.
 - Hernández Villalobos C.J., 2008. Afrodescendientes Migrantes del Distrito de Jamiltepec, Costa., *Revista siglo XXI Oaxaca Población*.
 - Hirsch, Robert L., 2008. "Mitigation of maximum world oil production: Shortage scenarios". *Energy Policy* 36 (2): 881–889. doi:10.1016/j.enpol.2007.11.009
 - Hirsch, Robert L., Roger H. Bezdek, Robert M., 2005. "Peaking of world oil production: impacts, mitigation, & risk management". US Dept. Energy/National Energy Technology Lab.

- Hirsch, Robert L., Roger H. Bezdek, Robert M., 2010. *Wending The Impending World Energy Mess: What It Is and What It Means to You*, Apogee Prime, 2010.
- Hoagland, P., D. Jin, and H.L. Kite-Powell. 2003. The optimal allocation of ocean space: aquaculture and wild harvest fisheries. *Marine Resource Economics* 18:129-147.
- Holmström, K., Gräslund, S., Wahlström, A., Poundshompoo, S., Bengtsson, B.-E. & Kaustky, N. 2003. Antibiotic use in shrimp farming and implications for environmental impacts and human health. *International Journal of Food Science and Technology*, 38: 255-266.
- Hopkins JS, Sandifer PA, DeVoe MR, Holland AF, Browdy CL, Stokes AD (1995) Environmental impacts of shrimp farming with special reference to situation in the continental United States. *Estuaries* 18(1A):25-42.
- Huguenin, J. E., 2008. The design, operations and economics of cage culture systems. *Aquacultural Engineering* 16 (1907) 167-203.
- Huguenin, J. E., J. Colt. 2002. *Design and Operating Guide for Aquaculture Seawater Systems*, Second Edition. viii Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 21 p
- Huguenin, J.E., 1997. The design, operations and economics of cage culture systems. *Aquacultural Engineering* 16 (1997) 167-203.
- Hulme, D., K. Moore, and A. Shepherd. 2001. "Chronic Poverty: Meanings and Analytical Frameworks." Working Paper 2. Manchester, UK: University of Manchester, Chronic Poverty Research Centre.
- IEA, 2008. *World Energy Outlook*. international energy agency world energy outlook. 2008. Disponible en: www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2008.../weo2008.pdf
- Inglis, G.J., Hayden, B.J. & Ross, A.H. 2000. An overview of factors affecting the carrying capacity of coastal embayments for mussel culture. NIWA Client Report; CHC00/69 Project No. MFE00505. Christchurch, New Zealand, National Institute of Water and Atmospheric Research, Ltd. 31 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México), 2008. *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*. ISSN 0188-8692
- Instituto Nacional De La Pesca (INP), 2006. *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México, Evaluación y Manejo*. México, ISBN: 968-800-684-X

- Islam M.S., 2005. Nitrogen and Phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Marine Pollution Bulletin* 50: 48-61.
- Jansson, A., Hammer, M., Folke, C. & Costanza, R. (eds). 1994. *Investing in Natural Capital*. Island Press, Washington, D.C.
- Kapetsky, J.M., Aguilar-Manjarrez, J. & Jenness, J. 2012. A spatial assessment of potential for offshore mariculture development from a global perspective. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. No. 549. Rome, FAO.
- Kapp, K.W., (1970), *Social Costs, Economic Development, and Environmental Disruption*, J. E. Ullmann (ed.), University Press of America, Lanham, Md (repr. 1983).
- Knowler, D., 2007. Economic implications of an ecosystem approach to aquaculture (English) En: *Building an ecosystem approach to aquaculture*. FAO/Universitat de les Illes Balears Expert Workshop. 7–11 May 2007, Palma de Mallorca, Spain ; *FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings (FAO)* , no. 14; *Expert Workshop on Building an Ecosystem Approach to Aquaculture*, Palma de Mallorca (Spain), 7-11 May 2007 Soto, D. (ed.) Aguilar-Manjarrez, J. (ed.) Hishamunda, N. (ed.) / FAO, Rome (Italy). *Fisheries and Aquaculture Management Div.*, 2008, p. 47-65.
- Kreibich, R., 2009. *Die Zukunft der Zukunftsforschung. Ossip K. Flechtheim – 100 Jahre*. IZT-ArbeitsBericht Nr. 32. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Download (69.7 KB)
- Krutilla y Fisher, 1985. *The Economics of Natural Environments: Studies in the Valuation of Commodity and Amenity Resources*. *Resources for the Future*, 1985 - 300 páginas
- Kunstler, J.H., 2006. *The Long Emergency: Surviving the End of Oil, Climate Change, and Other Converging Catastrophes of the Twenty-First Century*. Grove Pr
- Kurien, J. 1997. *Industrial fisheries and Aquaculture*. *Proceedings of the South Asia workshop and symposium on fisheries and coastal area management*, ICSF, Chennai.
- Kutti, T., Hansen, P.K., Ervik, A., Hoisaeter, T., Johannessen, P., 2007. Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. II. Temporal and spatial patterns in infauna community composition. *Aquaculture* 262, 355–366.
- Larsson, J., Folke, C. & Kaustky, N. 1994. Ecological limitations and appropriation of ecosystem support by shrimp farming in Colombia. *Environmental management*, 18: 663-676.

- Levins, R., 2009. Branching Pathways of Development. Presentation to the symposium “Sustainability in the Balance” at Tufts University School of Nutrition April 11, 2006, Harvard School of Public Health , Boston, Massachusetts, USA and Cuban Institute of Ecology and Systematics, Boyeros, Ciudad Havana, Cuba
- Levins, R., 2011. Las dos caras de la ciencia. Entretextos 1/2011, disponible en <http://www.richardlevins.com/writings/2011/1/29/la-dos-caras-de-la-ciencia.html?printerFriendly=true>
- Lorek S., Fuchs D., 2007. Strong sustainable consumption governance e precondition for a degrowth path?. Sustainable Europe Research Institute, Schwimmbadstr. 2e, 51491 Overath, Germany
- M. Ravallion, S. Chen. China’s (uneven) progress against poverty. Journal of Development Economics 82 (2007) 1–42 Development Research Group, World Bank, 1818 H Street NW, Washington DC, 20433, USA
- Mallin, M. & Cahoon, L. 2003. Industrialized animal production – a major source of nutrient and microbial pollution to aquatic ecosystems. Population and Environment, 24: 369-385.
- March Mifsut J.I. y Martínez Jiménez M., 2007. Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad. Prioridades en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos: IMTA, Conabio, GECI, AridAmérica, The Nature Conservancy, 2007
- Marín, F. 2013. Chile: la pesca, “un asunto de vida o muerte”, revista Proceso. disponible en: <http://www.proceso.com.mx/?p=305608>
- Martin J.L.M, Veran Y., Guelorget O., y Pham D. 1998. Shrimp rearing: stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studied through the nitrogen budget in rearing ponds. Aquaculture. 164 (1-4), 135–149.
- Martínez , A.R. y Prat, 1995. «Esquilmando la diversidad acuática. Revista Biodiversidad», Cultivos y Culturas , Nº 5, octubre 1995, Redes-At - Grain.
- Martínez Alier, J, 2007. El ecologismo popular. Ecosistemas [en línea] 2007, 16 [fecha de consulta: 27 de enero de 2013] Disponible en:<<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=54016315>> ISSN 1132-6344
- Martínez Alier, J., 1998. Curso de Economía Ecológica (Course on Ecological Economics), 2nd edition. México, 164 pages.

- Martinez-Alier, J. 1999. The Socio-ecological Embeddedness of Economic Activity: The Emergence of a Transdisciplinary Field. In E. Becker & T Jahn (eds) Sustainability and the Social Sciences. Zed Books, London, New York. pp. 112-139.
- McGoodwin, J. 1980. Mexico Marginal Inshore Pacif Fishing Cooperative. *Anthropological Quarterly* 53 (1): 39-47.
- McGoodwin, J. 1987. Mexico's Conflictual Inshore Pacific Fisheries. Problem Analysis and Recomendations. *Human Organization* 46 (3):221-232
- McIntosh, R.P., Drennan, D.P. & Bowen, B.M. 1999. Belize Aquaculture: Development of an intensive, sustainable, environmentally friendly shrimp farm in Belize. In Green, B.W. (ed.) *Acuacultura y Ambiente, juntos Hacia el nuevo milenio* pp.85-98.
- McKindsey, C.W., Thetmeyer, H., Landry, T. & Silvert, W., 2006. Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture.*, 261 (2): 451–462.
- McNeill, J. R., 2000. Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World (New York: Norton, 2000), 50–83.
- Mee, D. 1977. Coastal lagoons, p. 441-490 In J. P. Riley y R. Chester (eds.). *Chemical Oceanography* 7. ç
- Méndez, R. & Munita, C. 1989. *La salmonicultura en Chile*. Fundación Chile, Santiago. 228 pp.
- Mendoza Garcia, V., 2010. El papel de la seguridad alimentaria y nutricional como eje de modelos de desarrollo comunitario
- Mendoza, R. 2002b. Examples from aquaculture in Mexico. Pp: 9, In Preventing the Introduction and Spread of Aquatic Invasive Species in North America Workshop Proceedings, 28-30 March, 2001 Commission for Environmental Cooperation, Montreal.
- Messmacher Linartas, M., (BANXICO) 2000. "Desigualdad regional en Mexico. El efecto del TLCAN y otras reformas estructurales" BANXICO.
- Miller, R.R., W.L. Minckley & S.M. Norris. 2005. *Freshwater fishes of México*. University of Chicago Press, Chicago, 490 pp.
- Miranda, A., Voltolina, D., Frías-Espericueta, M.G., Izaguirre-Fierro, G., Rivas-Vega, E., 2009. Budget and discharges of nutrients to the Gulf of California of a semi-intensive shrimp farm (NW Mexico). *Hidrobiológica*, vol. 19, núm. 1, 2009, pp. 43-48, Universidad

Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa México. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57814161005>

- Mobarak, G.A. (FIRA) 2004. "Cosechando Progreso". FIRA a cincuenta años de su creación. FIRA. Primera edición.
- Moccia, R.D. and G.K. Reid. 2007. Aquaculture Sustainability: Developing Concepts of a Decision Support Tool for Licencing Freshwater Cage Aquaculture in Ontario. Bulletin of Aquaculture Association of Canada, Special Publication 12: 106-114.
- Moccia, R.D., G.K. Reid and Q. Day. 2006. Development of an Enhanced Decision Support Tool for Licensing Cage-Aquaculture in Ontario. Freshwater Cage Aquaculture Forum, Department of Fisheries and Oceans Canada Workshop, Sudbury, Ontario, March 7-8.
- Munasinghe, M. & McNeely, J.A. 1995. Key Concepts and Terminology of Sustainable Development. In M. Munasinghe & W. Shearer (eds). Defining and Measuring Sustainability, The Biogeophysical Foundations. United Nations University and The World Bank, Washington, D.C. pp. 19-56.
- Mungkung, R. & Gheewala, S. 2007. Use of life cycle assessment (LCA) to compare the environmental impacts of aquaculture and agri-food products. In D.M. Bartley, C. Brugère, D. Soto, P. Gerber and B. Harvey (eds). Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: methods for meaningful comparisons. FAO/WFT Expert Workshop. 24-28 April 2006, Vancouver, Canada. FAO Fisheries Proceedings. No. 10. Rome, FAO. 2007. pp. 87-96
- Naredo, J. M., 1992. Fundamentos de Economía Ecológica. IV Congreso Nacional de Economía, Desarrollo y Medio Ambiente, Sevilla, Dic., 1992.
- NASSA, 2006. Manejo Asiático de Camarón, Servicios Técnicos
- Naylor, R., Steinfeld, H., Falcon, W., Galloway, J., Smil, V., Bradford, E., Alder, J. & Mooney, H. 2005. Losing the links between livestock and land. Science, 310: 1621-1622.
- Niklitschek E., Soto D. & A. Lafon. 2006. Environmental review of the Chilean salmon sector. Contribution to the final report of the project "Trade Liberalization, Rural Poverty and the Environment: A case study of Forest and Salmon sectors in Chile" Universidad Austral de Chile, Centro Trapananda CT 2006-18. 25 p
- Norgaard, R., 1984. Coevolutionary development potential. Land Economics, Vol 60, Nº 2, 160-173. New York, Mayo 1984.

- Nurdogan Y. y Oswald W. 1995. Enhanced nutrient removal in high-rate ponds. *Water Science and Technology*, 31 (12) 33-43.
- NYTimes, 2013. Disponible en http://www.nytimes.com/2013/03/30/world/asia/cost-of-environmental-degradation-in-china-is-growing.html?_r=2&
- Okolodkov Y.B., Bastida-Zavala R. , Ibáñez A.L., Chapman J.W., Suárez-Morales E., Pedroche & Francisco F., Gutiérrez-Mendieta J, 2007, Especies acuáticas no indígenas en México, *Ciencia y Mar* 2007, XI (32): 29-67
- Okolodkov, Y.B. & B.Y. Okolodkov 2003. Aquatic non indigenous species unintentionally introduced. Versión 1.0. Access CD-ROM. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México, D.F
- Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104
- Pacheco, T.R. 1997. Evaluación del crecimiento en condiciones naturales del Camarón peneido, *Penaeus vannamei* en la Laguna Corralero, Pinotepa Nacional, Oaxaca. Informe de Servicio social Fac. Ciencias. UNAM México, 15pç
- Pacheco, T.R. 1998. Efecto del estrés de salinidad en los requerimientos de energía de tres especies de camarones peneidos en el estado juvenil de los sistemas lagunares Corralero-Aletongo y Chacahua-Pastoria, Oaxaca: Diferencias Estacionales. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias. UNAM Mexico 49p.
- Páez-Osuna F, 2001. The environmental impact of shrimp aquaculture: Causes, effects, and mitigating alternatives. *Environmental Management* 28(1): 131-140.
- Páez-Osuna, F., 2004. Retos y perspectivas de la camaronicultura en la zona costera. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales / 1* (2005) 21-31
- Páez-Osuna, F., S.R. Guerrero-Galván, A.C. Ruiz-Fernández y R. Espinoza Angulo. 1997. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in Northwestern Mexico. *Marine Pollution Bulletin*. 34(5): 290-297.
- Panorama Acuicola, 2011. Noticia "Próximo a concluir ordenamiento acuícola en Veracruz". Mayo 26 de 2011, de: http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2011/05/26/proximo_a_concluir_ordenamiento_acuicola_en_veracruz.html
- Pengue W.A., 2008. La Economía Ecológica y el desarrollo en América Latina. Universidad De Buenos Aires. Disponible en

http://www.ecoportat.net/Temas_Especiales/Economia/la_economia_ecologica_y_el_desarrollo_en_america_latina

- Perez Arvizu M.D.P., 2006. Situación Actual de la Camarinicultura en México, Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM.
- Pérez, E. R., Ávila S., Aguilar A., (2010), Introducción a las Economías de la naturaleza, UNAM-IIE, México, 96 p.
- Peterson, R. G. y E. L. Chalif, 1989. Aves de México. Guía de campo. Identificación de todas las especies encontradas en México, Guatemala, Belice y El Salvador. Editorial Diana. México.
- Picas Contreras, 2006. Papel de las Organizaciones No Gubernamentales y la crisis del desarrollo. Una crítica antropológica a las formas de cooperación. Tesis doctoral dirigida por Jesús Contreras Hernández. Universitat de Barcelona (2006).
- Pikitch E. K., Santora C., Babcock E. A., Bakun A., Bonfil R., Conover D. O., Dayton P., Doukakis P., Fluharty D., Heneman B., Houde E. D., Link J., Livingston P. A., Mangel M., McAllister M. K., Pope J., and K. J. Sainsbury, 2004. Ecosystem-Based Fishery Management. *Science* 16 July 2004: 305 (5682), 346-347. [DOI:10.1126/science.1098222]
- Pongsri, C., & Sukumasavin, N. (FAO) 2005. National Aquaculture Sector Overview. Thailand. National Aquaculture Sector Overview Fact Sheets. FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. 23 April 2011. Retrieved from http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_thailand/en.
- Primavera, J.H. 1997. Socio-Economic Impacts of Shrimp Culture. *Aquaculture Research*. 815-827.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2004. El Impulso Del Empresariado El Potencial De Las Empresas Al Servicio De Los Pobres (Informe Para El Secretario General De Las Naciones Unidas). One United Nations Plaza, New York, NY 10017, EE.UU.
- Pulatsü, S. 2003. The application of a phosphorus budget model estimating the carrying capacity of Kesikköprü dam. *Turkish Journal of Veterinary Animal Sciences*, 27: 1127-1130
- Quan, T.Q.D., Thanh, N.K. & Van-Ha, M. 2003. Assessment of water quality change in shrimp farming ponds in the mangrove area of proposed Biosphere Reserve in the Red River Delta – A case study in Giao Lac Commune, Giao Thuy District, Nam Dinh Province.

- Quarto, A., 1998. The Rise and Fall of the Blue Revolution, Mangrove Action. Project. Retrieved from <http://mangroveactionproject.org/issues/shrimp-farming/the-rise-and-fall-of-the-blue-revolution>.
- R. DeWalt B., Ramírez Zavala J.R., Noriega L., González R.E., (FAO) 2002. Shrimp Aquaculture, The People and The Environment in Coastal Mexico A Report Prepared for the World Bank, Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific, World Wildlife Fund and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment
- Ramírez-Rodríguez, M., López-Ferreira C. & De la Cruz-Agüero G, (CONAPESCA) 2009. Atlas de Localidades Pesqueras de México, Libro Diez, Oaxaca. Cartografía de semidetalle para la localización de sitios de captura y desembarque de la flota menor (pesquerías ribereñas) en el estado de Oaxaca. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional CICIMAR-IPN, Apdo. Postal 592, La Paz Baja C
- Reyes J. (FIRA), 2011. Transfaunación y medio ambiente. FIRA, Director de Pesca y Recursos Renovables. Disponible en <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2011/06/16/transfaunacion-medio-ambiente>
- Reyes, J. 2011. Transfaunación y medio ambiente. El economista, disponible en: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2011/06/16/transfaunacion-medio-ambiente>
- Rivera Dommarco, Juan Ángel., Hernández Ávila, Mauricio., Aguilar Salinas, Carlos., Vadillo Ortega, Felipe., y Murayama Rendón, Ciro (2012). Obesidad en México. Recomendaciones para una política de Estado. UNAM. México.
- Rodríguez-Valencia, J.A.; D. Crespo y M. López-Camacho, (WWF) 2010. La camaronicultura y la sustentabilidad del Golfo de California. 13 p. Disponible en <http://www.wwf.org.mx>
- Rojas-Carrillo, P.M. y Fernández-Méndez, J.I., 2006. La pesca en aguas continentales. En: P Guzmán-Amaya y DF Fuentes-Castellanos (eds.). Pesca, acuicultura e investigación en México. Comisión de Pesca (Cámara de Diputados) y Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, México d.f., pp: 49-67.
- Romero, p., 2011. La mitad de la comida de Mexico viene de fuera. Periodico Excelcior 2012/03/07

- Ross, T.C. Telfer, L. Falconer, D. Soto & J. Aguilar-Manjarrez, eds, 2013. Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture, pp. 231–251. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 21. Rome, FAO. 282 pp.
- Rubio E., Loaiza J., Moreno C., 2006. Observaciones sobre el crecimiento de dos especies de robalos (*Centropomus viridis* y *Centropomus armatus*) en jaulas flotantes en zonas estuarinas de la bahía de buenaventura. *Ciencias Veterinarias*, 1286-1292.
- Ruiz Luna, A. 2003. La camaronicultura y su participación en el desarrollo sustentable, Laboratorio de Manejo Ambiental, CIAD-Mazatlán. Síntesis de la Conferencia presentada en el II Foro Estatal de Ciencia y Tecnología; Sinaloa, competitividad para el desarrollo sustentable.
- Ruiz-Luna, A., J. Acosta-Velázquez y C.A. Berlanga Robles. 2008. On the reliability of the data of the extent of mangroves; a case study in Mexico. *Ocean. Coast. Manag.* 51: 342-351. (F.I. 1.554)
- Rzedowski , J., 2006. *Vegetación De México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México
- Salgado-Maldonado, G. & R. Pineda-López. 2003. The Asian fish tapeworm *Bothriocephalus acheilognathi*: a potential threat to native freshwater fish species in Mexico. *Biological Invasions* 5: 261-268.
- Samaniego, J. y Schneider, E. (2009), “La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios”, documentos de proyectos, N° 298 (LC/W.298), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Santinelli, J.B., 2009. Indicadores Socio-Económicos del Sector Pesquero y Acuícola, Comisión de Pesca Comité del Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Cámara de Diputados LX Legislatura/Congreso de la Unión
- Santos Martinez A., Vega-Villasante F., Munoz Viveros M., Cupul Magana A., 2009. "Acuicultura Contexto Mundial y Casos Latinoamericanos" En: Colombia 2009. ed:Editorial Carvajal ISBN: 978-95-88437-06-4 v. 1000 pags. 90
- Schandl, H and N Eisenmenger 2006. Regional Patterns in Global Resource Extraction. *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 10(4): 133-147.
- Schandl, Heinz, Walter Hüttler and Harald Payer 1999. Delinking of Economic Growth and Materials Turnover. *Innovation. The European Journal of Social Sciences* 12(1). pp. 31-45.

- Schandl, Heiz; Grünbüchel, Clemens; Haberl, Helmut; Weisz, Helga 2002: Handbook of Physical Accounting Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities MFA – EFA – HANPP . Social Ecology Working Paper 73. Vienna.
- Schneider S, 2009 The worst-case scenario. Nature 458: 1104–1105
- Schulstad, G., 1997. Design of a computerized decision support system for hatchery production management. Aquacultural Engineering, 16 (1), 7-25.
- Secretaria De Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentacion (SAGARPA) 2008. Programa Rector Nacional De Pesca Y Acuicultura | Diagnóstico Y Planificación Nacional De La Pesca Y Acuicultura En México | Versión Extendida. Disponible en: http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/version_extendida
- Secretaria De Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentacion (SAGARPA) 2010, Carta Nacional Pesquera. Publicada el Jueves 2 de diciembre de 2010 en el diario oficial Diario Oficial
- SEMARNAT, 2005. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Disponible en http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/05_aprovechamiento/cap5pes_1.html
- SEMARNAT, 2009. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. México. 2009.
- SEMARNAT, 2012. Cambio climático: Una reflexión desde México, 2012. http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Documents/Cambio_climatico_CD.pdf
- SEMARNAT, 2012. Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 – DOF 28/08/2009. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/programas/Documents/PECC_DOF.pdf
- Servicio Nacional de Pesca (Sernapesca), 2006. Anuario Estadístico de Pesca 2005. <http://www.sernapesca.cl>.
- Shang, Y.C. & Tisdell, C.A. 1997. Economic decision making in sustainable aquaculture development. In: J.E. Bardach (ed.) Sustainable Aquaculture. John Wiley and Sons, Inc, New York. pp. 127-148.
- Shrimp News International, 2009. About Shrimp Farming disponible en: <http://www.shrimpnews.com/About.html>
- Silvert, W., 1994a. A decision support system for regulating finfish aquaculture. Ecological Modelling 75/76, 609–615, 1994a.

- Silvert, W., 1994b. Decision support systems for aquaculture licensing, *Journal of Applied Ichthyology* 10, 307–311, 1994b.
- Smearman, S.C., D’Souza, G.E., & Norton, V.J. 1997. External cost of aquaculture production in West Virginia. *Environmental and Resource Economics*, 10: 167-175.
- Soto, D. & Norambuena, F. 2004. Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile; a large-scale mensurative experiment. *J. xappl. Ichthyol.* pp. 493 - 501.
- Soto, D. (ed.), (FAO) 2009. Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529. Rome, FAO. 2009. 183p.
- Soto, D., Aguilar-Manjarrez, J., Brugère, C., Angel, D., Bailey, C., Black, K., Edwards, P., Costa-Pierce, B., Chopin, T., Deudero, S., Freeman, S., Hambrey, J., Hishamunda, N., Knowler, D., Silvert, W., Marba, N., Mathe, S., Norambuena, R., Simard, F., Tett, P., Troell, M. & Wainberg, A. 2008. Applying an ecosystem-based approach to aquaculture: principles, scales and some management measures. Building an ecosystem approach to aquaculture. FAO/Universitat de les Illes Balears Expert Workshop. 7–11 May 2007, Palma de Mallorca, Spain. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings. No. 14. Rome, FAO. pp. 15–35.
- Soto, D., Jara, F., Guerreo, A., Godoy, C., Avila, X., Moreno, C., Niklitschek, E., Molinet, C. & Aedo, J.E. 1997. Evaluación de salmónidos de vida libre existentes en las aguas interiores de las regiones X y XI. Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile. Informe Final Proyecto FIP 95-31. 98 pp.
- Soto, D., Salazar, F.J. & Alfaro, M.A., 2007. Considerations for comparative evaluation of environmental costs of livestock and salmon farming in southern Chile. In D.M. Bartley, C. Brugère, D. Soto, P. Gerber and B. Harvey (eds). Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: methods for meaningful comparisons. FAO/WFT Expert Workshop. 24-28 April 2006, Vancouver, Canada. FAO Fisheries Proceedings. No. 10. Rome, FAO. 2007. pp. 121–136
- Stagnitti, F., Austi C., 1998. DESTA: a software tool for selecting sites for new aquaculture facilities. *Aquacultural Engineering* 18 (2), 79-93.
- Stickney R., 1986. Tilapia tolerance of saline waters: a review. *The progressive fish culturist*. 8 (3), 161-167.

- Stigebrandt, A., Aure, J., Ervik, A., Hansen, P.K., 2004. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming III. A model for estimation of the holding capacity in the Modelling–Ongrowing fish farm–Monitoring system. *Aquaculture*, 234: 239-261.
- Székely, M., 2005. Secretaría de Desarrollo Social, “Pobreza y Desigualdad en México entre 1950 y el 2004”. Serie: Documentos de Investigación, 24, ISBN: 968-838-614-6
- Szuster B.W., 2003. Shrimp farming in thailand’s Chao phraya river delta: Boom, bust and echo, Januari 2003, International Water Management Institute
- Tacon, A.G.J. 2004. Use of fishmeal and fish oil in aquaculture: a global perspective. *Aquatic Resources, Culture and Development*. 1(1): 3 - 14.
- Tamiotti, Ludivine; Olhoff, Anne; Teh, Robert; Kulacoglu, Vesile; Simmons, Benjamin; Abaza, Hussein, 2009. Trade and Climate Change : A report by the United Nations Environment Programme and the World Trade Organization. Geneva : World Trade Organization, 2009. 166 p.
- Tellez Castañeda, M., 2004. Camarón que se duerme... Inicio del ciclo de cultivo de camarón 2014 (I). *El Economista*. Disponible en <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2014/04/24/camaron-que-se-duerme-inicio-ciclo-cultivo-camaron-2014-i>
- The Economist, 2013. The East is grey. Disponible en: <http://www.economist.com/news/briefing/21583245-china-worlds-worst-polluter-largest-investor-green-energy-its-rise-will-have>
- The Fish Site England, 2009. January, Raising the Developing World with Aquaculture, The Fish Site England <http://www.thefishsite.com/articles/610/raising-the-developing-world-with-aquaculture>
- The Fish Site England, 2009. Shrimp Market Report - January 2009, FAO Globefish report/ The Fish Site England <http://www.thefishsite.com/articles/602/shrimp-market-report-january-2009>
- Tookwinas, S., Songsangjinda, P., Kajonwattanakul, S., Singharachai, C., 2004. Carrying capacity estimation of marine finfish cage culture at Pathew Bay, Chumphon Province, Southern Thailand. Southeast Asian Fisheries Development Centre. TD/RES/91 LBCFM-PD No. 34.

- Torres C., R. 2004. Tipos de Vegetación. En: García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM. Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza. World Wildlife Fund. México. Pp. 105-117.
- Torres Torres F., 2010. Rasgos perennes de la crisis alimentaria en México. *Estud. soc* [online]. 2010, vol.18, n.36, pp. 125-154. ISSN 0188-4557.
- Troell, M., Tyedmers, P., Kautsky, N. & Ronnback, P. 2004. Aquaculture and energy use. *Encyclopedia of Energy*, Vol 1. pp. 97-108. Elsevier Inc, Oxford.
- Turner, R.K., Pearce, D., Bateman, I., 1990. *Environmental Economics*. The Johns Hopkins University Press
- UN, 2005. *Living Beyond Our Means: Natural Assets and Human Well-being*, Consejo de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, ONUç
- USFWS, 2014. informe de la U.S. Fish and Wildlife Service. Disponible en <http://alternativeenergy.procon.org/sourcefiles/avian-mortality-solar-energy-ivanpah-apr-2014.pdf>
- Valiela I, Bowen JL, York JK, 2001. Mangrove forest: one of the world's threatened major tropical environments. *BioScience* 51: 807-815.
- Van der Heiden, A. M., Ruiz Guerrero, M. y A. Abreu Grobois, 1998. Genética y taxonomía de los robalos (*Centropomus spp*) del golfo de California, México. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental. Informe final, SNIB-CONABIO proyecto No. G008. México, D.F.
- Vezzulli L, Bartoli M, Nizzoli D, Naldi M, Fanciulli G, Viaroli P and Fabiano M. (2006). A simple tool to help decision making in infrastructure planning and management of phytotreatment ponds for the treatment of nitrogen-rich water. *Water SA*, 32(4), 605-609.
- Vollenweider, R. A. & J. Kerekes. 1982. Eutrophication of waters, monitoring, assessment and control. Final report to OECD Cooperative program on monitoring of inland waters (Eutrophication control), Environment Directo rate, OECD. Paris. 154 p.
- Vollenweider, R. A., R. Marchetti & R. Viviani (eds.). 1992. *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci. Pub. 1310 p.
- Wang Y., Cuib Y., Yangb Y., Caia F. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus*×*O. niloticus*, reared in seawater. *Aquaculture*, 189, (1-2) 101–108.

- Weber, M.L., 1997. Farming salmon: a briefing book. Consultative Group on Biological Diversity. Disponible en: http://www.seaweb.org/resources/documents/reports_farmingsalmon.pdf
- Weisz, H. 2005. Accounting for raw material equivalents of traded goods: A comparison of input-output approaches in physical, monetary, and mixed units. Vienna, Working Paper Social Ecology 87.
- Wildish, D.J., Hargrave, B.T., Pohle, G., 2001. Cost effective monitoring of organic enrichment resulting from salmon mariculture. ICES Journal of Marine Science, 58, 469-476
- Wilkie, M.L. & Fortuna, S. (FAO) 2003. Status and trends in mangrove area extent worldwide. Forest Resources Assessment Working Paper No. 63. Forest Resources Division, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- William K. Purves and David Sadava (Ed.), 2004. Life: The Science of Biology. 7th ed. New York: Freeman, 2004: 962
- WRM (2002), Manglares. Sustento local versus ganancia empresarial. (WRM) Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales.
- WWF Chile - Schafer K, 2009. Alevines en piscicultura de recirculación, región de Los Lagos, Chile. / Fry in recirculated pool, Los Lagos Region, Chile.
- WWF, 2009. Interacciones de la tortuga laúd y las flotas artesanales de Michoacán, Guerrero y Oaxaca (México). Reporte técnico final de WWF para la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA). 59 p. Disponible en <http://www.wwf.org.mx>
- WWF, 2009. Informe Planeta Vivo 2014. Disponible en: http://www.wwf.org.mx/quienes_somos/informe_planeta_vivo/
- Yañez-Arancibia, 1978a. Taxonomía, ecología y estructura de las comunidades de peces de lagunas costeras con bocas efímeras del pacífico de México. An. Centr. Cien. Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México, Publicación Especial 2:1-136
- Zama, A. & Cárdenas, E. 1984. Recapture of juvenile Chum salmon (*Oncorhynchus keta*) released into Aysén Fjord, Southern Chile, with notes on their condition factor, feeding index and migration rate. Introduction into Aysén Chile of Pacific Salmon. Bulletin Nº12, Servicio Nacional de Pesca, República de Chile, Japan International cooperation Agency. Santiago Chile. 33 pp.

- Zambrano, L., M.R. Perrow, C. Macías-García & V. Aguirre-Hidalgo. 1999. Impact of introduced carp (*Cyprinus carpio*) in subtropical shallow ponds in Central Mexico. *J. Aquat. Ecosys. Stress Recov.* 6: 281- 288.
- Zhang Xiaoshuan, Z., Tao, H., Revell, B., Zetian, F., 2005. A forecasting support system for aquatic products price in China. *Expert systems with applications*, 28 (1), 119-126.
- Zimmermann, 2000. Núcleo de Pesquisas em Aquacultura e Hidrologia Universidade Luterana do Brasil São Luiz - Canoas, Brazil