



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL– HIDRÁULICA

RUMBO A UN PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LAGUNA LA MANCHA, VERACRUZ

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ERIKA RAMÍREZ MÉNDEZ

TUTOR PRINCIPAL
DR. EDGAR GERARDO MENDOZA BALDWIN
INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

COMITÉ TUTOR
DR. RODOLFO SILVA CASARÍN
INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DR. LILIA REYES CHÁVEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DR. MARÍA LUISA MARTÍNEZ VÁZQUEZ
INSTITUTO DE ECOLOGÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, ABRIL 2018



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.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Escalante Sandoval Carlos A.

Secretario: Dr. Silva Casarín Rodolfo

Vocal: Dr. Mendoza Baldwin Edgar Gerardo

1 er. Suplente: Dra. Martínez Vázquez María Luisa

2 do. Suplente: Dra. Reyes Chávez Lilia

Ciudad de México

TUTOR DE TESIS:

Dr. Edgar Gerardo Mendoza Baldwin

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Dr. Edgar Gerardo Mendoza Baldwin por toda la enseñanza y paciencia. A la Dra. María Luisa Martínez Vázquez y al Dr. Rodolfo Silva Casarín por toda la disposición y ayuda otorgada.

En especial quiero agradecer y reconocer por la colaboración con conocimientos e información a: Esther Martínez, Itxaso Oderiz y Valeria Chávez.

Agradezco a todas esas personas que ayudaron con su gran disposición y trabajo en las salidas de campo: Esther, Regina, Francisco, Lupita, Carolina, José Antonio, Miguel Ángel, Rubí, Valeria, Cesia, Alfonso, Xabier, Gibran, David y a todos los estudiantes de Geología que colaboraron entrevistando.

Agradezco el apoyo brindado al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México), al instituto de Ingeniería de la UNAM, al Posgrado de Ingeniería Civil de la UNAM.

Finalmente agradezco: a mi familia por todo el amor; a Saul por el apoyo, confianza y momentos de vida, y a todos aquellos amigos que estuvieron en esta aventura: Rosa, Itxaso, Roberto, Pamela, Francisco, Regina, Karen, Paola, Aurora, Lalo, Wilson, Esther, Leticia, Cecilia y todos los compañeros de costas y maestría.

Contenido

Capítulo 1	13
1.1 Introducción.....	13
1.2 Objetivo.....	15
1.2.1 Objetivos particulares	15
1.3 Metas	16
1.4 Justificación	16
1.5 Conceptos básicos de manejo de la zona costera.....	16
1.5.1 Sustentabilidad	16
1.5.2 Vulnerabilidad.....	16
1.5.3 Resiliencia.....	16
1.6 Laguna costera.....	16
1.6.1 Características generales de las lagunas costeras y estuarios	16
1.6.2 Características de las bocas lagunares.....	17
Capítulo 2 Estado del arte y metodología	18
2.1 Estado del arte	18
2.1.1 L'Albufera de Valencia, España	18
2.1.2 Puttlam, Sri Lanka.....	19
2.1.3 El Estero del Soldado de Cortés, México	20
2.1.4 Primer plan de manejo en laguna La Mancha 1978.....	22
2.1.5 Plan de Manejo Comunitario de la Mancha- El Llano (1998)	23
2.1.6 Saneamiento, rehabilitación y manejo de la laguna La Mancha, municipio de Actopan, Ver. (2005).....	24
2.2 Metodología	25
2.2.1 Diagnóstico ambiental.....	26
Capítulo 3 Prediagnóstico de laguna La Mancha.....	28
3.1 Área de estudio.....	28
3.2 Planteamiento del problema en laguna La Mancha, Veracruz.....	29
Capítulo 4 Fase de caracterización y análisis de la cuenca terrestre y marina	31
4.1 Geomorfología de la cuenca y laguna La Mancha	32

4.2 Cuenca hidrológica La Mancha.....	36
4.2.1 Caracterización y climatología de la subcuenca La Mancha.....	37
4.2.2 Estimación de los gastos y volúmenes en la cuenca Caño Gallegos.....	40
4.2.3 Caracterización hidrológica de laguna La Mancha	47
4.3 Clima marítimo.....	50
4.3.1 Vientos	50
4.3.2 Oleaje.....	52
4.3.3 Marea astronómica.....	56
4.4 Paisaje de cuenca La Mancha	58
4.4.1 Cambio de uso de suelo 1981-2005	60
4.5 Biota de la cuenca La Mancha	63
4.5.1 Flora	63
4.5.2 Fauna.....	64
4.6 Parámetros fisicoquímicos y contaminación del estero.....	71
4.7 Población	73
4.7.1 Valores económicos de La Mancha:.....	77
Capítulo 5 Fase de caracterización y análisis del estero con datos de campo	80
5.1 Pescadores de La Mancha como grupo de enfoque	80
5.1.1 Relación de los pescadores con la boca lagunar	83
5.2 Hidrodinámica lagunar con datos de campo.....	87
5.2.1 Dinámica de la boca lagunar	87
5.2.2 Dinámica del cuerpo lagunar	93
5.3 Procesos en la playa La Mancha	104
5.3.1 Evolución de la línea de costa por medio de análisis de imágenes de satélite	105
5.3.2 Caracterización de los procesos morfológicos y sedimentarios	110
Capítulo 6 Fase de valoración	128
6.1 Modelación de los escenarios de manejo en La Mancha	132
6.1.1 Dominio de cálculo	132
6.1.2 Topobatimetría	133

6.1.3 Condiciones de frontera e iniciales.....	134
6.1.4 Armado del modelo.....	135
6.1.5 Calibración.....	136
6.1.6 Validación.....	136
6.1.7 Resultados de la modelación de escenarios con Delft3d.....	137
Capítulo 7 Recomendaciones de manejo y gestión para laguna La Mancha.....	147
7.1 Incremento en el gasto de entrada de agua dulce a la laguna.....	147
7.1.1 Interconexión de río Agua fría con Arroyo Caño Gallegos.....	147
7.1.2 Optimización de riego.....	148
7.2 Tratamiento de aguas residuales, de cultivo y tributarias.....	149
7.2.1 Implementación sistemas de tratamiento de agua residuales de bajo costo .	149
7.3 Desazolve del vaso lagunar.....	150
7.4 Estabilización de la boca.....	151
7.5 Estabilización de la boca y dragado de la laguna.....	151
Capítulo 8 Referencias.....	152

Índice de Figuras

Figura 1.- Laguna L'Albufera, Valencia España, imagen tomada de Google Earth, 2015. _____	18
Figura 2.- Laguna costera Puttlam Sri Lanka, imagen tomada de Google Earth, 2015. _____	20
Figura 3.- a) Estero el soldado Guaymas, México, imagen tomada de Google Earth, 2015. b) foto de laguna El Soldado (tomada de página de SEMARNAT 2015). _____	21
Figura 4.- a) Estanques para el cultivo piscícola en un canal de la laguna La Mancha. b) estanques para el cultivo de peces en la periferia de la laguna La Mancha. Las imágenes fueron tomadas del periódico Extensión de Xalapa, Veracruz, publicado el 1ro de febrero de 1980, de la página 11 a 13. _____	22
Figura 5. Aves migratorias en La Mancha (foto propia, 2014). _____	23
Figura 6.- Fotografías áreas de las tres zonas propuestas para desazolvarse en la Laguna de La Mancha. (Fotos tomadas de "Saneamiento, rehabilitación y manejo de la laguna la mancha, Mpio. Actopan, Ver"). _____	24
Figura 7.- Diagrama de la metodología para Manejo integral de Laguna La Mancha, Veracruz. _____	25
Figura 8. Puntos de muestreo y localización de las estaciones hidrológicas, climatológica, meteorológica, etc. _____	27
Figura 9.- Módulos utilizados del programa numérico Delft3d. _____	27
Figura 10. Fotografía satelital de la laguna La Mancha, Veracruz, México (imagen base tomada de MapBox 2015). _____	28
Figura 11.- Unidades morfológicas del estero La Mancha, Veracruz. Basado en Hayes 1980. _____	33
Figura 12.-Evolución de la boca por desplazamiento por traslape (overlapping offset) según la clasificación de Galvin (1971). _____	33
Figura 13. Tipo de suelo en la cuenca La Mancha, tomado de la carta edafológica proporcionada por CONABIO de 1995, escala 1:250000. Vp: vertisol pélico; Rc: Regosoles calcáricos; Hh: Feozem háplico. ____	34
Figura 14. Distribución de sedimento en laguna La Mancha. _____	34
Figura 15.-Cuencas hidrográficas circundantes a La Mancha Veracruz. Elaboración propia con datos proporcionados de CONAGUA 2015. _____	36
Figura 16.- Cuencas hidrográficas y red de drenaje perenne e intermitente de laguna La Mancha, Ver. ____	37
Figura 17.- Media mensual de precipitación (Pm) y evaporación potencial (EPm) de 1981-2009. _____	38
Figura 18.- Media mensual de temperatura para el registro 1981-2009, La Mancha, Ver _____	38
Figura 19.- Precipitación y evaporación media anual acumulada para el periodo 1999-2010, en la estación La Mancha. _____	38
Figura 20. Técnica de estimación regional de Estaciones Año. _____	44
Figura 21. Hidrogramas a la salida de la cuenca Caños Gallegos asociados a distintos periodos de retorno. _	45
Figura 22.- Curva elevación capacidad para el vaso de la laguna La Mancha. _____	47
Figura 23.- Evolución de las zonas de inundación para un tirante hidráulico que va de -2 a 2 msnm, en La Mancha, Ver. Elaboración propia, a partir de la anidación de datos de terreno LIDAR con una resolución de 5 m y datos medidos en campo (batimétrico y topográfico) en noviembre 2014. _____	49
Figura 24.- Rosas de viento para periodo 2013-2015 y temporadas de nortes, secas y lluvias, estación. LMBV4. _____	51

Figura 25.-Rosa de oleaje de altura para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. Datos tomados de del modelo WVV II en el nodo (19.667,-96.3333).	52
Figura 26.- Rosa del periodo pico de oleaje para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. Datos tomados de del modelo WVV II en el nodo (19.667,-96.3333).	53
Figura 27. Probabilidad conjunta de Hs y Tp, para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. La barra de color indica la frecuencia de ocurrencia de cada combinación. Datos tomados de del modelo WVV II en el nodo (19.667,-96.3333).	53
Figura 28. Probabilidad conjunta de Hs y Dr, para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. La barra de color indica la frecuencia de ocurrencia de cada combinación. Datos tomados de del modelo WVV III en el nodo (19.667,-96.3333).	54
Figura 29. Probabilidad de excedencia de Hs para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. Datos tomados de del modelo WVV III en el nodo (19.667,96.3333).	55
Figura 30.- Probabilidad de excedencia de Tp para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. Datos tomados de del modelo WVV III en el nodo (19.667,-96.3333).	55
Figura 31- Mallas anidadas para el modelo de la hidrodinámica de laguna La Mancha. a) Golfo de México (GM) con 0.1° de resolución; Veracruz (Ver) de 0.05 grado; La Mancha (LM) de 0.001° de resolución; con estaciones de mareógrafo Tampico, Veracruz, Coatzacoalcos; Progreso, Simboney, IAPSO. b) vista de la malla LLM. b) Batimetría GEBCO 08 para el golfo de México. C) malla de cálculo de la laguna y la zona costera de La Mancha. d) Batimetría de laguna La Mancha.	56
Figura 32- Calibración del modelo Delft3d del 2al 30 de noviembre del 2014. Predicción con el modelo Delft3d y datos de las estaciones Coatzacoalcos, Veracruz, Progreso, Golfo IAPSO de la red de la organización hidrográfica internacional (IHO).	57
Figura 33. Predicción de marea para laguna La Mancha del 20 de octubre al 31 de noviembre del 2014, resultados del modelo Delft3d.	57
Figura 34. Paisaje y vegetación de La Mancha, Veracruz 1981-2005. Fuente de información CONABIO, elaboración propia, 2015.	58
Figura 35. Vista aérea de laguna La Mancha. a) zona Oeste de laguna La Mancha; b) entrada del arroyo Caño Gallegos, en la zona sur de Laguna La Mancha. Fotografías tomadas del portal fotográfico CONABIO- SEMAR / Acosta-Velázquez, (2008).	59
Figura 36.- Cambio de uso de suelo en la cuenca La Mancha, para el periodo 1981-2005.	60
Figura 37. Cambio de uso de suelo de periodo 1981-2005, La Mancha, Veracruz. Datos de CONABIO, elaboración propia.	61
Figura 38. a) Árbol tipo de las cuatro especies de mangle de laguna La Mancha (Tipos de mangles (http://www.stri.si.edu). b) Bosque de mangle en laguna la Mancha.	63
Figura 39. Zonas potenciales de entrada de contaminantes vía flujo superficial.	71
Figura 40.- Localidades rurales y urbanas de la cuenca La Mancha.	73
Figura 41.- Grado promedio de escolaridad por localidad en la cuenca La Mancha.	75
Figura 42.- A) Playa Paraíso La Mancha, B) banco de moluscos en laguna La Mancha.	78
Figura 43.Otras fuentes de empleo para los pescadores.	81
Figura 44. a) Zonas de pesca de la cooperativa local. b) Área de pesca dentro de laguna La Mancha.	82
Figura 45. a) Factor benéfico para el aumento en biomasa de la pesquería. b) Factor que afecta a biomasa de la pesquería, según la percepción de la población.	84

Figura 46. a) Localización de los puntos de muestreo. En mayo se muestreo un punto en el canal de marea (PMB) y en noviembre se muestrearon cuatro puntos sobre una sección transversal en la boca (STVB). b) Se muestra la STVB con los 4 puntos muestreados en mayo 2014. c) fotografía del perfilador de velocidad instalado en el canal de marea tomada en mayo de 2014. _____	87
Figura 47. Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos (T° ; S; pH, Velocidad) del canal de la boca lagunar. _____	89
Figura 48. Variación espacial y temporal de la salinidad, temperatura y densidad en la sección transversal de la boca laguna La Mancha, Ver. _____	91
Figura 49. Puntos de muestreo de los parámetros de fisicoquímicos en el estero La Mancha. _____	93
Figura 50. Parámetros fisicoquímicos por punto de laguna La Mancha, para los meses: abril 2014; agosto 2014; noviembre 2014 y febrero 2015. _____	94
Figura 51.- Distribución de los parámetros fisicoquímicos por temporada de muestreo de laguna La Mancha. _____	95
Figura 52.-Variación vertical de temperatura, densidad y salinidad en noviembre 2014 de laguna La Mancha. _____	97
Figura 53.-Grafica de variación vertical de laguna La Mancha, para el mes de febrero 2015. _____	98
Figura 54.- Distribución espacial y superficial en laguna La Mancha de los parámetros físicos de salinidad, temperatura y Ph. Esta comunicada con el mar, en época de nortes, mes noviembre de 2014. _____	101
Figura 55. Distribución espacial y superficial de los parámetros físicos de salinidad, temperatura y Ph en laguna La Mancha, sin estar comunicada con el mar, en época de nortes, febrero 2015. _____	102
Figura 56.- Vista de playa La Mancha, foto de 04 de agosto de 2014. _____	104
Figura 57.- Localización de puntos de referencia en playa La Mancha. _____	105
Figura 58. Evolución temporal de la longitud de playa para el periodo 2005-2015. _____	106
Figura 59.- Balance anual de avance y retroceso de la línea de costa por transepto en playa La Mancha, Ver. Donde P es la contracción de punto y el número hace referencia a la localización de la Figura 57. _____	107
Figura 60.- Promedio de tasa de cambio anual de línea de costa para la playa La Mancha, Ver. _____	108
Figura 61.-Boca de laguna La Mancha para el periodo 2005-2015. _____	108
Figura 62. Esquema del sitio de muestreo. A) Vista en planta de playa La Mancha, en coordenadas UTM WS1984 zona 14; B) Localización de puntos de muestreo de sedimento en el perfil de playa; C) fotografía de muestreo en playa. _____	110
Figura 63. Evolución de perfiles de playa en La Mancha, para un ciclo noviembre 2013-febrero 2015. _____	112
Figura 64. Sección transversal de la boca estuarina La Mancha, para los meses de noviembre de 2013, mayo 2014, noviembre 2014 y febrero 2015. _____	113
Figura 65. Perfiles de playa por temporada de muestreo en La Mancha Ver. _____	114
Figura 66. Perfiles del lecho marino en playa La Mancha, para el mes de agosto 2014. _____	116
Figura 67. Histogramas de frecuencia del tamaño de grano para el 10, 50 y 90 % del sedimento en el periodo nov-2013 a feb 2015 de playa La Mancha. _____	121
Figura 68- Promedio por perfil de los parámetros texturales SPHT vs SYMM y D50 vs tamaño grano, de playa La Mancha. _____	122
Figura 69. Graficas bivariantes entre media-clasificación, clasificación-asimetría, y asimetría-curtosis. _____	123
Figura 70. Grafica de D50 y número de perfiles para las cinco temporadas de muestreo. _____	123
Figura 71. Zonas sedimentarias de playa La Mancha. _____	125

Figura 72.- Relación de ambientes dado por las funciones discriminantes Y1 –Y2, y Y2-Y3 en playa La Mancha.	125
Figura 73. Relación de ambientes dado por las funciones discriminantes Y1 -Y3 en playa La Mancha.	125
Figura 74. Caracterización por temporada de muestreo de la celda litoral La Mancha que va de noviembre del 2013 a febrero del 2014.	126
Figura 75- Mallas de cálculo laguna La Mancha. a) malla ZCLM de 55 m de resolución. b) malla 13 m de resolución. c) dominio de cálculo para el módulo WAVE malla con 66 m de resolución. d) Malla de oleaje de la zona costera de La Mancha con una resolución de 13 m.	133
Figura 76- a) Batimetría de laguna y zona costera de La Mancha con una resolución de 55 m para cual se usaron datos medidos in situ en la laguna (noviembre-2014) y mar (agosto 2014) con información tomada del modelo GEBCO-08. b) Batimetría con una resolución de 13 m con datos medidos en laguna en La Mancha (noviembre-2014) y mar (agosto 2014). c) Batimetría de la zona costera de la Mancha compuesta a partir de los datos medidos en agosto de 2014 y el modelo GEBCO-08. D) Batimetría de la zona costera medida en agosto del 2014.	134
Figura 77. Mapa de la condición inicial a) salinidad; b) rugosidad.	134
Figura 78. Características del modelo numérico DELFT3D para la Mancha.	135
Figura 79.- Validación de la marea en laguna la mancha utilizando el modelo Delf3d con datos de medidos en la boca de laguna La Mancha en noviembre del 2014.	136
Figura 80. Resultados de velocidad y elevación del nivel del mar para pleamar y bajamar el 25 de noviembre.	137
Figura 81. Variación de elevación del nivel del mar en los puntos de observación.	138
Figura 82. Resultados de la propagación de oleaje en playa La Mancha.	139
Figura 83. Resultado de la propagación de viento sobre laguna La Mancha.	140
Figura 84. Resultados de velocidad y elevación del nivel del mar para pleamar y bajamar el 25 de noviembre.	141
Figura 85. Variación de elevación del nivel del mar en los puntos de observación.	141
Figura 86. Variación de los parámetros de velocidad, gasto y elevación del nivel del mar.	143
Figura 87. Suoerficie libre de agua en Caño Gallegos, el Crucero y La boca lagunar.	143
Figura 88.- Velocidad de flujo generada por el caudal fluvial y marea, del 5 y 6 de noviembre del 2014.	144
Figura 89.- Mapa de velocidad del flujo generada pro marea, gasto fluvial y viento del 5 y 6 de noviembre.	145
Figura 90. Variación de salinidad espacial y temporal bajo los escenarios b y c. a) serie de tiempo de la fluctuación de sales en El Crucero y Caño Gallegos. b) Mapa de salinidad sin viento y con un gasto de 0.15 m ³ /s, y mapa de salinidad con viento y con un gasto de entrada de 0.3 m ³ /s para el 26 de noviembre del 2014.	146
Figura 91. Alternativas de interconexión entre el río Agua Fría y el arroyo Caño Gallegos.	147
Figura 92.- Ejemplos de sistemas de riego eficientes, imágenes tomadas de la web en 2016.	149

Índice de Tablas

Tabla 1.-Flujo de problemáticas en laguna La Mancha. _____	29
Tabla 2. Problemáticas de laguna La Mancha y los estudios requeridos para la evaluación de estas, con el fin de crear propuestas de manejo y gestión. Simbología: rojo indica prioritarios, amarillos prioridad moderada, verdes baja prioridad, blancos sin prioridad. _____	30
Tabla 3.- Eventos extremos de precipitación asociados a fenómenos meteorológicos en La Mancha, Ver. ____	38
Tabla 4. Información de las estaciones hidrométricas y sus cuencas hidrográficas usadas en el análisis estadístico. Parte 1/2. _____	40
Tabla 5. Información de las estaciones hidrométricas y sus cuencas hidrográficas usadas en el análisis estadístico. Parte 2/2. _____	40
Tabla 6. Gastos medios diarios por mes (m^3/s) de las estaciones hidrométricas utilizadas para el análisis estadístico _____	41
Tabla 7. Gastos medios diarios por mes estimados en la cuenca Caño Gallegos. _____	41
Tabla 8. Estadísticos de las series de gastos máximos instantáneos (m^3/s) de las estaciones bajo análisis. ____	42
Tabla 9. Gastos máximos instantáneos (m^3/s) estimados con la función de distribución de probabilidad Mixta Weibull-Gumbel para distintos periodos de retorno. _____	42
Tabla 10.- Gastos máximos instantáneos (m^3/s) estimados la técnica de estaciones año _____	43
Tabla 11.-Relación de elevación de tirante con volumen de almacenamiento en el estero. _____	47
Tabla 12. Estados de mar por temporada de nortes, secas y lluvias para el periodo de nov-13 a feb-15 ____	54
Tabla 13. Análisis FODA del paisaje de la cuenca La Mancha. _____	62
Tabla 14.- Distribución de anfibios, reptiles y mamíferos en relación a los diferentes ambientes presentes en la cuenca de La Mancha (tomado de González-Romero y Lara-López, 2006). _____	64
Tabla 15. Especies de mamíferos, reptiles y anfibios de la cuenca La Mancha que se encuentran en la NOM-059. _____	65
Tabla 16. Peces con interés comercial que utilizan la laguna o sus límites. _____	67
Tabla 17. Análisis FODA de la biota de la Cuenca La Mancha _____	70
Tabla 18. Parámetros fisicoquímicos de laguna La Mancha. _____	71
Tabla 19.- Localidades con mayor población en la cuenca La Mancha, 2010. Datos INEGI 2010. ____	74
Tabla 20.- Económica de las principales localidades de La Mancha. _____	74
Tabla 21.-Características educativas por localidad en la cuenca La Mancha. _____	75
Tabla 22. Población con acceso a servicios de salud pública por localidad. _____	76
Tabla 23.- Viviendas con/sin servicios de electricidad, drenaje y agua por localidad en La Mancha. ____	76
Tabla 24. Hogares por localidad en cuenca La Mancha. _____	77
Tabla 25. Análisis FODA de la población de la Cuenca La Mancha _____	79
Tabla 26. Percepción de la población pesquera de vivir en la zona. _____	81
Tabla 27.-Arte de pesca usada en el estero _____	81
Tabla 28. Organismos de valor comercial que se capturan reportados por pescadores en la Mancha. Abril 2014 _____	82
Tabla 29. Análisis FODA de la pesquería en laguna La Mancha Veracruz _____	86
Tabla 30.- Estadísticos de la serie de tiempo de los parámetros de salinidad, temperatura y pH. _____	89
Tabla 31. Coeficientes de correlación de las variables físicas del canal de marea del estero. _____	89

Tabla 32. Estadísticos de los parámetros físicos de la boca lagunar. _____	91
Tabla 33. Coeficientes de correlación de las variables físicas por punto medido. _____	91
Tabla 34. Coordenadas UTM de la red de muestreo de parámetros fisicoquímicos en laguna La Mancha. ____	93
Tabla 35- Condición de la boca lagunar en el muestreo _____	93
Tabla 36. Parámetros estadísticos de las variables fisicoquímicas del estero. _____	95
Tabla 37. Matriz de correlación de los parámetros fisicoquímicos. _____	95
Tabla 38.- Fecha de imágenes satelitales para análisis de evolución de línea de costa en La Mancha, Veracruz.	
_____	105
Tabla 39.- Posición geográfica de los transeptos en playa La Mancha, Ver. _____	105
Tabla 40. Evolución temporal de la superficie de playa La Mancha para el periodo 2005-2015. _____	106
Tabla 41. Área superficial de la celda litoral La Mancha _____	111
Tabla 42.- Pendiente y longitud de los perfiles de playa por temporada en La Mancha. _____	114
Tabla 43. Clasificación morfológica del perfil, para playa La Mancha _____	115
Tabla 44. Clasificación del sedimento por el tamaño de grano Wentworth 1922 (modificado de CEM, 2001).	
_____	119
Tabla 45. Rangos del grado de clasificación Folk y Ward (1957). _____	119
Tabla 46. Rangos de asimetría, Folk y Ward (1957). _____	120
Tabla 47. Rangos curtosis, Folk y Ward (1957). _____	120
Tabla 48.- Estadísticos texturales de playa la mancha. _____	122
Tabla 49. Media de los parámetros estadísticos por temporada. _____	123
Tabla 50. Matriz de análisis de conflicto de las actividades desarrolladas en cuenca La Mancha. _____	128
Tabla 51.- Propuestas de manejo para las problemáticas detectadas en la cuenca La Mancha. _____	129
Tabla 52. Flujo de los planes de mitigación propuestos para La Mancha. _____	130
Tabla 53.- Variación mensual de la magnitud en los parámetros físicos, químicos, sedimentarios y morfológicos _____	131
Tabla 54. Escenarios y variables modeladas en la plataforma Delft3d. _____	132
Tabla 55. Condición de frontera para el ACG. _____	134
Tabla 56. Condiciones iniciales de viento. _____	134
Tabla 57. Resultados de velocidad, nivel de agua, descarga y velocidad para los puntos de observación. ____	138
Tabla 58. Resultados de velocidad, nivel de agua, descarga, velocidad y salinidad para los puntos de observación. _____	142
Tabla 59. Tabla de condiciones iniciales _____	142

Capítulo 1

1.1 Introducción

El manejo integrado de la zona costera (MIZC) es un proceso holístico, continuo, dinámico, participativo y multidisciplinario, construido bajo consenso y mediante el cual se toman decisiones para mantener la integridad ecológica, la productividad y el beneficio económico de los usuarios, mediante un uso sostenible de la zona costera. Este tipo de manejo busca integrar a la comunidad, la ciencia y los intereses sectoriales y públicos con miras a alcanzar metas establecidas en cooperación con usuarios y autoridades (Hildebrand, 2002; Baliero et al., 2006; Cicin-Sain y Knecht, 1998). El manejo está enfocado en diversos procesos como analizar las implicaciones del desarrollo, los conflictos de uso y la relación entre los procesos bióticos, abióticos y las actividades antropogénicas, donde el desarrollo sostenible depende de los recursos renovables generados por los ecosistemas costeros (Knecht y Archer, 1993; Chua, 1993; Cicin-Sain y Knecht, 1998). El cual tiene también varias etapas que incluyen: identificación y evaluación de asuntos clave, preparación del programa, adopción formal y financiamiento, implementación y evaluación (Ochoa et al. 2001).

Para la aplicación de los planes de manejo, la zona costera suele dividirse en unidades geomorfológicas; siendo las lagunas costeras, definidas como unidades acuáticas de baja profundidad donde se produce un intercambio de materia y energía en el cual interacciona la biota (Lankford 1977) el objeto central de este trabajo. Estos sistemas prestan servicios ecosistémicos de alto valor como proveer alimentos derivados de la pesca, el filtrado de aguas residuales, prestar servicios culturales; la regulación de la biodiversidad, la erosión costera, la calidad de aire; la respuesta a eventos naturales extremos (Balvanera, P., 2011) y también presentan problemáticas como la disminución en la tasa de captura de peces, el deterioro de las zonas costeras y el conflicto entre los usuarios de la costa y la sedimentación.

Lo anterior ha creado la necesidad, en México, de realizar planes de Manejo Integral de las Lagunas Costeras (MILC). Dado el pobre estado de conocimiento de los ciclos y procesos de las lagunas costeras en gran parte del país, México ofrece un gran potencial para el desarrollo sostenible, diversificado y bien planificado. En los planes MILC se reconoce la fragilidad de los sistemas lagunares ante estrés antrópico o natural. Las lagunas costeras y su población son vulnerables a factores de estrés como los huracanes, el incremento del nivel del mar, las inundaciones, etc., pero este tipo de sistemas son resilientes ante ciertas perturbaciones. En virtud del alto valor ambiental y económico que representan las lagunas costeras es necesario diseñar e implementar planes de manejo para remediar, restaurar o prevenir su degradación y así garantizar un flujo continuo de servicios ecosistémicos.

En este trabajo se presentan las bases para el establecimiento de un plan de manejo en laguna La Mancha, Veracruz considerando las siguientes etapas: identificación y evaluación de asuntos clave, la preparación preliminar del programa y la plataforma para un plan de manejo desde un enfoque técnico. Lo anterior, partiendo de un estudio social de la población de pesquería y de evaluar la conectividad del sistema a través de una relación ecohidrológica, que es la interacción de los ecosistemas a través de procesos biológicos, físicos, químicos, sedimentarios, etc. regulados por procesos hidrológicos a diferentes escalas espaciales y temporales (Séller y Causey 2005). Se incluyen también los aportes tierra-mar de parte de las cuencas hidrológicas y los de mar-tierra (mareas y corrientes) los cuales son clave para la regulación del sistema (Twilley 1995). También el grado de vulnerabilidad del sistema ante peligros naturales y antropogénicos, para determinar la resiliencia del sistema ante estas perturbaciones (Dayton et al. 1984).

La variabilidad hidrológica de La Mancha es dependiente de los balances de agua marina y los aportes de agua dulce superficial y subterránea. La boca es la interfaz de comunicación entre el mar y el estuario-lagunar, ésta es la que gobierna los cambios hidrodinámicos en el cuerpo costero. El recambio es generado por el flujo y reflujo de la marea y es alterado por los nortes, el aporte pluvial y avenidas, así como por la intervención de pescadores quienes abren la boca del cuerpo costero con el fin de aumentar la producción pesquera y mitigar las inundaciones que se producen en las zonas de cultivo, ganadería, turísticas o vivienda de la periferia de la laguna.

La laguna La Mancha es una importante fuente de ingresos para la población local, es una zona de pesca principalmente de moluscos y peces; la playa es un centro turístico a baja escala; se prestan servicios de ecoturismo en la laguna; es una fuente de madera y se usan sus límites como tierras ganaderas y de cultivo. Por otro lado, La Mancha tiene alto valor ecológico y ambiental por lo cual está registrada en la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional RAMSAR desde 2004, en la lista de Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves, así como en la norma mexicana NOM-059-ecol-2001 y AICAS. Esta laguna presenta problemas de azolve, disminución de la biomasa pesquera, cambios en el hidroperíodo de boca lagunar, la tala de manglar a baja escala, cambio en el uso de suelo, etc. Por lo antes mencionado existe gran interés para resolver la problemática y así mitigar los costos socioeconómicos y ambientales, tanto para la población pesquera de la localidad como para el ecosistema.

En este trabajo se pretende evaluar la vulnerabilidad socio-ambiental del sistema La Mancha desde tres enfoques: el primero se basa en la vulnerabilidad del sistema ante la actual gestión de apertura de la boca estuarina-lagunar por parte de los pescadores locales, en segundo término, la vulnerabilidad ambiental de la laguna ante la erosión o acreción de

la playa adyacente y por último la vulnerabilidad socio-económica y ambiental por la falta de pesca debido a la disminución del tirante hidráulico, contaminación y cambios hídricos. Se considera también la resiliencia del sistema a estas perturbaciones, para proponer las acciones de manejo para la conservación, rehabilitación y uso sustentable del ecosistema La Mancha, Veracruz.

La aportación más importante de este trabajo es ofrecer una primera aproximación de un plan de manejo en la laguna La Mancha partiendo desde un enfoque social y mediante la caracterización de los procesos físicos, hidráulicos, hidrológicos, químicos y morfológicos de la laguna. Estos datos complementarían la numerosa investigación existente con un enfoque biológico, ambiental y químico del área.

1.2 Objetivo

Proponer un plan de manejo integral y sustentable para la laguna La Mancha, Veracruz enfocado en mantener el equilibrio ecosistémico, social y económico. Partiendo de un estudio integral en la zona, con un enfoque social, morfológico e hidrodinámico, para determinar la evolución de laguna con distintas estrategias de manejo.

Desarrollar una metodología para evaluar los escenarios de manejo de la boca de la laguna La Mancha integrando variables ambientales, sociales, morfológicas, físicas, económicas y la percepción de los habitantes de la zona.

1.2.1 Objetivos particulares

- Realizar un estudio social para conocer la capacidad de los habitantes de la laguna para hacer frente a los cambios en la pesquería, por la variación espacio temporal en la dinámica de la boca de la laguna La Mancha.
- Con los resultados de la entrevista, determinar el peligro social percibido por las diferentes acciones en la boca de la laguna, así como las posibles soluciones.
- Determinar los cambios en la economía y estilo de vida los pescadores por las alteraciones antropogénicas en la laguna.
- Contar con una base de datos con variables espaciales de la laguna y boca de La Mancha de: Ph, temperatura (T°), salinidad (s), sedimentos, tirantes, niveles de marea. Estos datos con una temporalidad de 3 meses a fin de determinar los cambios estacionales y anuales.
- Contar con una base de datos en la zona de playa La Mancha, de tipo topográfico y granulométrico.
- Caracterizar los intercambios hidráulicos entre la laguna La Mancha, el arroyo Caño Gallegos y el mar, mediante la modelación numérica de parámetros físicos, morfológicos, hidrodinámicos.
- Realizar un estudio sistemático y organizado, sobre el manejo de la laguna La Mancha con el propósito de determinar los impactos.

1.3 Metas

A partir del trabajo de campo que se realiza, de acuerdo con las metodologías usadas, una caracterización de los parámetros físicos e hídricos requeridos para la correcta calibración del modelo numérico DELFT3D para describir el intercambio de flujos y evolución que existe en esta zona.

1.4 Justificación

En México, han sido desarrollados numerosos trabajos sobre caracterización, aprovechamiento y manejo en zonas de laguna costeras bajo un enfoque ecológico, pero no se ha establecido un análisis de base ingenieril e integral que permita un entendimiento amplio y la caracterización cualitativa y cuantitativa de su interacción con mar y tierra.

1.5 Conceptos básicos de manejo de la zona costera

1.5.1 Sustentabilidad

Mediante el diseño y el desarrollo de un plan de MILC se busca lograr la sustentabilidad o sostenibilidad, la cual se define como el desarrollo responsable, integral y equitativo en el eje social, ambiental y económico de la población actual, para garantizar la calidad de vida de las generaciones futuras (CMMAD, 1998).

1.5.2 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se define como la susceptibilidad a ser dañado o modificado por una perturbación de origen natural o antrópica.

1.5.3 Resiliencia

La resiliencia es la capacidad de los sistemas lagunares tienen para recuperarse después de perturbaciones importantes o soportar presiones antropogénicas continuas (Gunderson 2009). Es una propiedad ecosistémica emergente que se deriva de la biodiversidad a diversas escalas y los procesos físicos dentro de un tiempo determinado en el que alcanza el equilibrio (Chamocho 2005; Thomson et al. 2009).

1.6 Laguna costera

1.6.1 Características generales de las lagunas costeras y estuarios

Vergara 2007, señala la importancia de las lagunas costeras por su extensión, así como su papel en la reproducción y resguardo de muchos organismos de alto valor comercial. También como lugares de alevinaje, convirtiéndose estos sitios en el medio de vida para miles de pescadores artesanales. Las lagunas costeras son consideradas los cuerpos de mayor tasa de productividad, tanto primaria, como secundaria equivalente a 150 kg/ha/año

de producción natural media de peces, dos veces más que en el mar litoral; situación que se asocia a la producción de nutrientes y bosque de manglar, que constituyen hábitats particularmente ricos para aves y reptiles.

Vergara 2007 enlista los siguientes principios para sustentar al MILC:

- a. *La capacidad natural de las lagunas es finita y no puede satisfacer las crecientes demandas del sistema socioeconómico sin una estrategia sustentable.*
- b. *El uso de la mejor información, conocimiento y herramientas disponibles y transferidas a través de un proceso interactivo, resultarán mejores decisiones.*
- c. *La implementación e integración necesita ponerse en marcha a nivel nacional, regional y estatal, teniendo mayor efectividad a nivel local.*
- d. *La participación pública y privada en el proceso, proporcionaría mayor aceptación de los proyectos y mayor éxito en su implementación.*

1.6.2 Características de las bocas lagunares

Las principales funciones de las bocas lagunares se pueden sintetizar en tres:

- I. Son la interfaz de comunicación entre el mar y un cuerpo costero semicerrado. Dependiendo de sus condiciones hidrodinámicas y geométricas determinarán su posible uso para fines de conservación o explotación.
- II. El flujo y reflujo de las corrientes inducidas por efectos de marea y descarga de los ríos a través de la boca permite la renovación de agua y en función de su balance estará condicionada la calidad y la salinidad del agua de los cuerpos interiores.
- III. La migración de peces, larvas de peces y nutrientes, entre otros, hacia los cuerpos interiores depende de manera significativa de las condiciones hidrodinámicas de las bocas.

Las condiciones de flujo en las bocas de las lagunas costeras son producto de una combinación de efectos entre la marea, viento, descargas de ríos, oleaje y corrientes costeras, principalmente. En general tienen un canal corto y estrecho que sirve de paso entre dos islas de la barrera de arena y conecta al mar con una bahía.

Una de las características de las lagunas costeras es el flujo del agua en las zonas cercanas a las bocas, son sistemas dinámicos en los que salen aguas que normalmente tienen una composición rica en nutrientes y entran aguas marinas con mayor cantidad de sales. La cantidad de los aportes superficiales y las salidas condiciona el balance hídrico del sistema. La tasa de renovación suele ser alta; sin embargo, se pueden presentar zonas con escaso movimiento. El estancamiento del agua es un factor negativo que afecta, no solo la calidad del agua, sino también impide la libre circulación de especies.

Capítulo 2 Estado del arte y metodología

En este capítulo se hace una recapitulación de diversos planes de manejo integrado aplicados en la zona costera en México y en el mundo, resaltando aquellos implementados en la Laguna La Mancha. También se realiza una breve descripción de la metodología seguida.

2.1 Estado del arte

Un plan de manejo integrado de la zona costera no es rígido, estático o permanente, es un proceso continuo y dinámico que evoluciona se adapta a las demandas sociales y ambientales actuales y del futuro. Se presentan tres planes de manejo en lagunas costeras que han tenido éxito, así como la evolución del plan de acuerdo con las nuevas necesidades, también tres planes de manejo que se han aplicado en la zona de estudio y sus resultados parciales o totales.

2.1.1 L'Albufera de Valencia, España

L'Albufera de Valencia es un ejemplo de éxito al aplicar un PMIZC en una laguna impactada antropogénicamente, para restaurar sus servicios ecosistémicos tomando como medida la nula actividad socioeconómica en la zona. Este cuerpo de agua se localiza a los 39° 22'-24' norte 0° 18'-23' Oeste (Figura 1) tiene una superficie de 2.200 ha, se limita al norte, sur y oeste con arrozales y se comunica con el mar a través de 3 canales con compuertas que regulan el tirante de agua.



Figura 1.- Laguna L'Albufera, Valencia España, imagen tomada de Google Earth, 2015.

Se tiene registro desde el año 1238 de la explotación de pesca y sal en el sitio, es en 1759 cuando se reglamenta el uso y aprovechamiento de los recursos de esta área, en 1960 la zona empieza un proceso de urbanización y contaminación debido al boom turístico e industrialización (Oficina Técnica de la Devesa-Albufera, 2010).

Es en 1980 cuando se modifica el plan General de Ordenación Urbana de Valencia y se inicia la redacción del “*Plan Especial de Protección y Reforma Interior del Monte de la Devesa del El Saler*” con el objetivo de mitigar la degradación de L’Albufera. En 1981 el ayuntamiento de Valencia crea la Oficina Técnica Davesa_Albufera (OTDA) con la finalidad de conservar y restaurar la zona. En 1986 se declara Parque Natural de l’Albufera.

La OTDA cumple las funciones de regenerar, administrar, generar conocimiento científico y educar, así como del mantenimiento y control. Por lo que a partir de 1980 se inician acciones para regenerar el cordón dunar, crear de invernaderos, eliminar infraestructura obsoleta y retirar especies invasoras, reforestar con plantas nativas, cerrar las vías terrestres para autos, restaurar el relieve y la vegetación de las islas interiores de la laguna y regular la navegación en la laguna. Con estas acciones se logró recuperar el sistema. Actualmente se realizan actividades de control y mantenimiento en la zona (Oficina Técnica de la Devesa-Albufera, 2010).

2.1.2 Puttlam, Sri Lanka

La laguna de Puttlam es un ejemplo de éxito temporal de la aplicación de un PMIZC, un plan de manejo puede funcionar en un periodo de tiempo bajo condiciones ambientales específicas, pero debe ser monitoreado y evaluado para cuando las condiciones ambientales y socioeconómicas cambien también se modifique las estrategias de manejo y el plan de manejo sea sustentable y actual.

En 1983 el surge el Programa Internacional de Manejo de los Recursos Costeros, sufragado por la Agencia para el Desarrollo Internacional de Estados Unidos (USAID), donde se inicia los primeros pasos del manejo costero en Sri Lanka, se le da continuación a este esfuerzo por legislar el manejo costero a partir de la Cumbre de Río de Janeiro en 1992, donde se incentivó a los países a desarrollar programas de MIZC (World Bank 1993).

En 1990 se implementó el primer programa rumbo a un MIZC en Sri Lanka y se comenzó a desarrollar políticas de manejo con el asesoramiento de la Universidad de Rhode Island (URI) (Lowry y Wickremeratne, 1989; Ochoa, 1995; Barragán, 2001; Coello, 2008). Actualmente Sri Lanka es un referente para el manejo costero, debido a los múltiples planes de manejos implementados y la configuración geográfica del país, es uno de las naciones con mayor experiencia en el manejo costero.

A partir de los acuerdos anteriores en Sri Lanka se desarrolló un plan de manejo para el Distrito de Puttlam (Figura 2) con el fin de regular la pesca en la zona, en el momento funcionó, pero durante la década pasada este estuario sufrió una rápida devastación de su vegetación a manos de la acuicultura comercial. En el Distrito de Puttlam aproximadamente 3000 ha se convirtieron en granjas camaroneras como parte de las estrategias del plan de

manejo. En la zona donde actualmente se encuentran dichas instalaciones, en 1994 pescaban 28 mil personas, pero al crear esta industria más de 18 mil personas perdieron su fuente de ingresos y migraron a la ciudad para buscar otras fuentes de empleo. Otra de las afectaciones del manejo de la laguna es al agua subterránea, la cual se encuentra contaminada, lo que ha afectado directamente el agua potable provocando en los poblados cercanos escases de agua limpia. Por lo que el plan de manejo aplicado en la entidad en las décadas pasadas afecto de forma negativa a los servicios ecosistémicos que prestaba el estuario.



Figura 2.- Laguna costera Puttalam Sri Lanka, imagen tomada de Google Earth, 2015.

Debido a lo anterior las comunidades pesqueras locales han reaccionado organizándose para enfrentar el problema y en busca de modificar el actual manejo de la laguna. Por lo que se formó la Federación de Pequeños Pescadores cuyo objetivo es movilizar a las comunidades de pescadores y a otros sectores interesadas en conservar las lagunas y los ecosistemas de manglar, mediante programas de educación y alternativas en las estrategias de conservación.

El grupo de pescadores establecieron un mecanismo de organización participativo, al cual se integraron 4 mil pescadores más, quienes toman decisiones a partir de lo que falla actualmente en el manejo de la laguna, para lograr un mejor manejo y lograr la conservación del ecosistema y los servicios proporcionado por este. Como una primera estrategia fue de negociar con empresas acuicultoras para monitorear las actividades destructivas por ellos, trabajan para mejorar el hábitat de los peces en las lagunas. Actualmente el grupo se encuentra trabajando en recuperar los servicios ecosistemas de la zona.

2.1.3 El Estero del Soldado de Cortés, México

Estero el soldado (Figura 3) es un ejemplo de aplicar un PMIZC antes de ser explotado, para buscar conservar y garantizar los servicios ecosistémicos mediante un uso sustentable de los recursos. Tiene un área 349.89 ha se encuentra aproximadamente a 20 km al noroeste de la ciudad de Guaymas y a menos de 10 km al sureste de la bahía de San Carlos, su localización geográfica es a los 27°57'47.50" Latitud Norte y 110°58'32.76" Longitud Oeste, debido a sus funciones ecológicas y sus valores sociales desde 2006 es una área natural

protegida estatal (Gobierno del Estado de Sonora, 2006), también está dentro de la lista RAMSAR debido a que es considerado como área de importancia para las aves por ser eslabón en la ruta migratoria y sitio de alimento, descanso, reproducción y crianza para especies residentes y migratorias. El estero es reconocido por su alta diversidad y es considerado como un oasis para la vida acuática y terrestre.

Estero El Soldado antes de ser una zona protegida se encontraba contaminado debido a los basureros clandestinos de las comunidades cercanas a este cuerpo de agua, también se llevaban a cabo actividades como pesca y extracción de especies exóticas, etc. (Winkler L., 2012). Los campos pesqueros en la zona tienen la característica de ser remotos y estacionales cuya infraestructura es reducida y los pescadores generalmente no están organizados y hay un flujo de pescadores libres que se van moviendo a lo largo de la costa en busca de áreas donde puedan capturar más organismos (Blanco P., 2009). Por otro lado, las dependencias de turismo del estado han manifestado y manifiestan un gran interés para el rápido desarrollo de la zona.



Figura 3.- a) Estero el soldado Guaymas, México, imagen tomada de Google Earth, 2015.b) foto de laguna El Soldado (tomada de página de SEMARNAT 2015).

Las comunidades de Guaymas y San Carlos, el Gobierno, organizaciones no gubernamentales y centros de investigación han establecido criterios y programas de manejo integrando para la conservación de manglares, con planteamientos de percepción social y factibilidad económica para su sustentabilidad. Todo esto con una amplia cobertura en los medios de comunicaciones estatales, nacionales e internacionales.

La zona actualmente está resguardada por guarda parques, así como como por PROFEPA, SEMARNAT, CONAP y organizaciones de la sociedad civil, quienes realizan tareas de limpieza como la llevada a cabo "Limpiemos Nuestro México" organizada por la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora en coordinación con Azteca Sonora, SEC y SEMARNAT (Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de

Sonora en coordinación con Azteca Sonora, n.d.). El éxito en el manejo de esta zona es algo que tendrá que evaluarse en un futuro.

2.1.4 Primer plan de manejo en laguna La Mancha 1978

En 1978 se implementó en la laguna La Mancha el plan “Manejo integral de lagunas costeras” por parte del programa Bio Aqua a través del Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB), el cual pretendía lograr el manejo integral de los recursos bióticos para el alcanzar un desarrollo rural, enfocado principalmente a pescadores y campesinos (García Elena, 1980).

El plan de manejo estableció seis actividades principales: investigación básica, ostricultura, piscicultura, corrales de producción natural (ver Figura 4), arrecifes artificiales, aprovechamiento de mangle y métodos y artes de pesca. Para el plan de manejo se estudiaron variables como: biota, marea, corrientes, temperatura, salinidad, precipitación pluvial, velocidad de sedimentación y se realizaron planos topográficos.

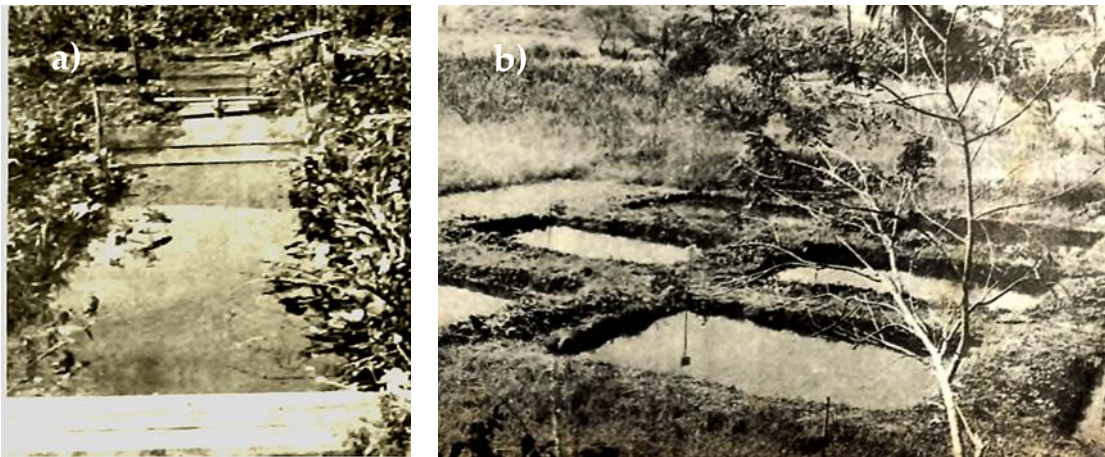


Figura 4.- a) Estanques para el cultivo piscícola en un canal de la laguna La Mancha. b) estanques para el cultivo de peces en la periferia de la laguna La Mancha. Las imágenes fueron tomadas del periódico Extensión de Xalapa, Veracruz, publicado el 1ro de febrero de 1980, de la página 11 a 13.

En la laguna se colocaron 400 llantas con una cobertura de 1660 m para ser utilizadas en fijación de larvas, se construyeron estanques para cultivo con dimensiones de 90 m x 0.8 m, se colocaron costales llenos de arena para evitar erosión. Se utilizaron los brazos de la laguna como criaderos naturales. Se crearon arrecifes artificiales los cuales se ensamblaron con neumáticos de desecho y se colocaron en zona con sedimento tipo gravas en una superficie de 2 km. Todas estas acciones apoyadas por la cooperativa integrada por 48 pescadores (García Elena, 1980).

2.1.5 Plan de Manejo Comunitario de la Mancha- El Llano (1998)

En 1998 se puso en marcha el “Plan de Manejo Comunitario de la Mancha- El Llano: Hacia un Ambiente Sustentable” dirigido por la Dra. Patricia Moreno Casasola. Este plan nace como una solución al conflicto entre la población pesquera y ganadera, el eje principal de este plan de manejo está dirigido a la comunidad local para su integración con el medio ambiente.



Figura 5. Aves migratorias en La Mancha (foto propia, 2014).

Entre las estrategias dirigidas a la laguna está la restauración del manglar en zonas taladas y la erradicación de especies invasoras en los tulares a la orilla del río donde hay encierros pesqueros. También se emplearon estrategias de conservación de la cuenca para la recuperación del Caño de la laguna. Por otro lado, se hicieron campañas para la protección de especies de flora y fauna bajo alguna categoría de protección y la limpieza de playas. Actualmente existe un proyecto comunitario en la laguna dirigido por la comunidad llamado ECOGUIAS, el cual ofrece servicios de turismo ecológico dentro de la laguna, así como la celebración de un festival de aves que se realiza año a año (Patricia Moreno-Casasola et al., 2006).

2.1.6 Saneamiento, rehabilitación y manejo de la laguna La Mancha, municipio de Actopan, Ver. (2005)

Este plan de manejo nace como una solución a los problemas de azolvamiento en la laguna La Mancha, producto de causas naturales y por actividades antropogénicas. En busca de reactivar la hidrodinámica de laguna para mejorar el manejo de sus recursos pesqueros, mediante el dragado de esta. El plan de degrado está diseñado para efectuarse en 4 etapas: etapa I: el dragado de la parte noreste de la laguna en la boca y alrededor del gasoducto; etapa II y III: el dragado de la zona noroeste y etapa IV: el dragado de la zona centro-sur de la laguna como se puede ver en la Figura 6 (Márquez et al., 2005).

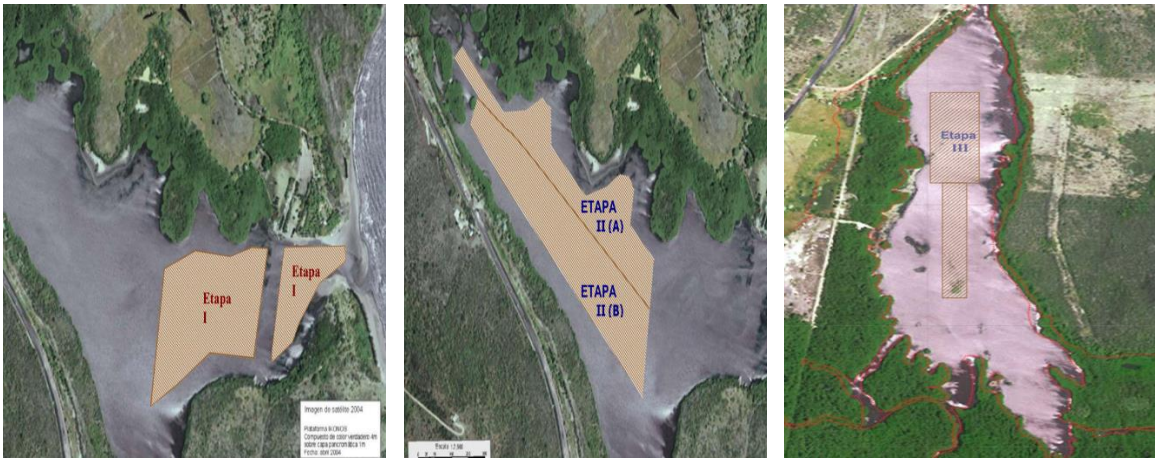


Figura 6.- Fotografías áreas de las tres zonas propuestas para desazolvarse en la Laguna de La Mancha. (Fotos tomadas de "Saneamiento, rehabilitación y manejo de la laguna la mancha, Mpio. Actopan, Ver").

Por otro lado, como parte del plan de reactivación de la laguna se realizaron actividades de rehabilitación y saneamiento de los afluentes de la laguna por parte de los miembros de la Asociación Cooperativa de Producción Pesquera "La Mancha", en coordinación con la CEMA, SEDARPA e INECOL. También el plan contempla estrategias para la reforestación de mangle (Márquez et al., 2005).

En noviembre del 2011 en el Diario Oficial de la Federación se publica la licitación "Desazolve de la barra y el canal de acceso interior de la Laguna de la Mancha, localidad La Mancha, Municipio de Actopan, Veracruz" por parte de Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (2011), en el momento de realizar esta tesis (2014-2015) la población local comenta que se ha realizado 3 dragados en parte noreste de la laguna en la boca y al rededor del gasoducto, y el sedimento extraído se colocó en la playa en el cordón litoral sur; pero, debido a que la draga se averió se suspendió el dragado sin saber cuándo se retomará.

2.2 Metodología

En esta sección se presenta la metodología empleada rumbo a realizar una propuesta de manejo de laguna La Mancha. El procedimiento metodológico está basado en autores como Torres Alfosea, (2000) y se desarrolla en diferentes fases:

Fase prediagnóstico: se identificó la problemática a resolver; el área de influencia y los sectores sociales y ecosistémicos que se ven afectados.

Fase de análisis y diagnóstico: en esta sección se seleccionan y caracterizan los diferentes elementos y procesos que conforman el paisaje de la Mancha, para su posterior análisis desde un punto de vista: morfológico (playa, laguna, mar y cuenca); dinámico y de procesos (terrestres (escorrentía, arrastre de sedimento, etc.), atmosféricos (viento, lluvia, etc.) y marinos (oleaje, corrientes, etc.); socioeconómico, entre otros.

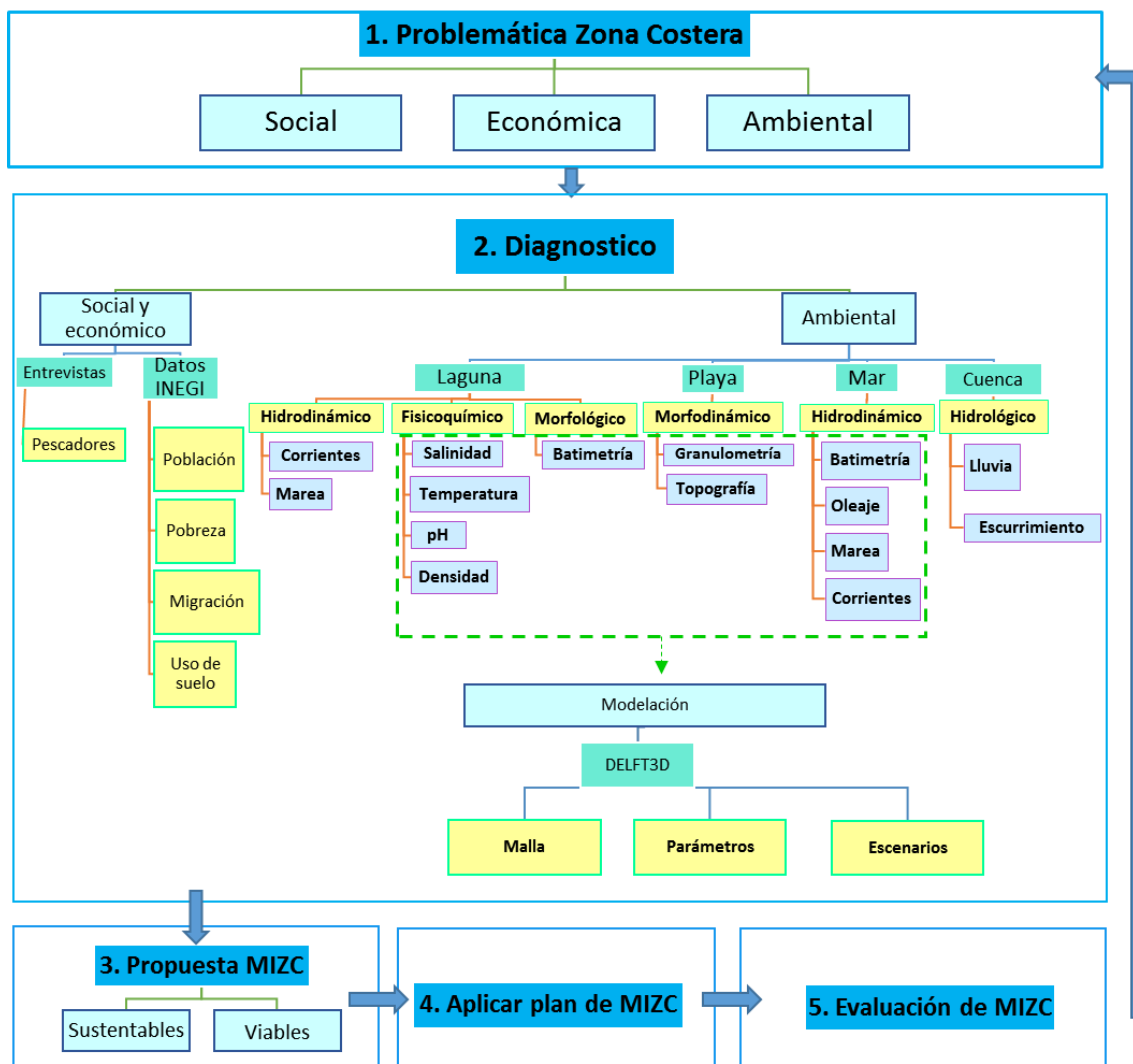


Figura 7.- Diagrama de la metodología para Manejo integral de Laguna La Mancha, Veracruz.

Fase de valoración: se puntualizan las problemáticas detectadas en el ecosistema y la sociedad la fase previa. Tanto de forma interna, es decir en el seno de cada uno de los elementos (por ejemplo, los conflictos entre pescadores y su relación con estado de conservación de la laguna), como entre los diferentes elementos (es el caso de la compleja interacción del turismo-pescadores-valores ecológicos-conservación).

Fase propositiva: se propone y desarrollan de diferentes soluciones técnicas de manejo.

En la Figura 7 se esquematiza la metodología seguida, la cual se basa en las fases descritas anteriormente.

2.2.1 Diagnóstico ambiental

Para el desarrollo de esta tesis el grupo de Ingeniería de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería de la UNAM realizó un monitoreo periódico y sistemático de La Mancha, para determinar la hidrodinámica de la laguna y morfodinámica de la playa a través de información batimétrica, topográfica, corrientes, vientos, granulometría, etc. Se emplearon distintas metodologías de análisis de datos, así como la toma de muestras de campo y uso de software de hidrodinámica costera los cuales serán brevemente descritos en esta sección. El estudio se llevó a cabo tanto en condiciones de boca lagunar cerrada, como con abierta; en periodos climático de nortes, secas y lluvias. A continuación, se enlistan las campañas realizadas:

1. Noviembre del 2013: En la primera campaña de campo se midió la topografía de la zona y se tomaron muestras sedimentarias en la playa la Mancha.
2. Abril 2014: en esta campaña se hizo un levantamiento topográfico de la playa, se obtuvieron muestras de sedimentos en la zona de playa. Se midieron parámetros hidrodinámicos como lo son la velocidad de corriente en la boca, la batimetría en la laguna, salinidad (S), el potencial de hidrogeno (Ph) y la temperatura (T°) superficial. Así mismo se aplicaron encuestas a la población de pescadores.
3. Agosto, 2014: Los datos obtenidos en campo fueron: batimetría de la costa, el flujo de entrada y salida, granulometría de sedimentos de playa, boca y laguna y parámetros fisicoquímicos como la S y T°.
4. Noviembre 2014, se obtuvo la siguiente información de campo: batimetría de la laguna: topográfica de playa, muestras de sedimento de playa y parámetros físicos como lo son el pH, T° y S.
5. Febrero 2015, al igual que en las campañas anteriores se caracterizó la laguna y playa mediante la toma de datos físicos y químicos.

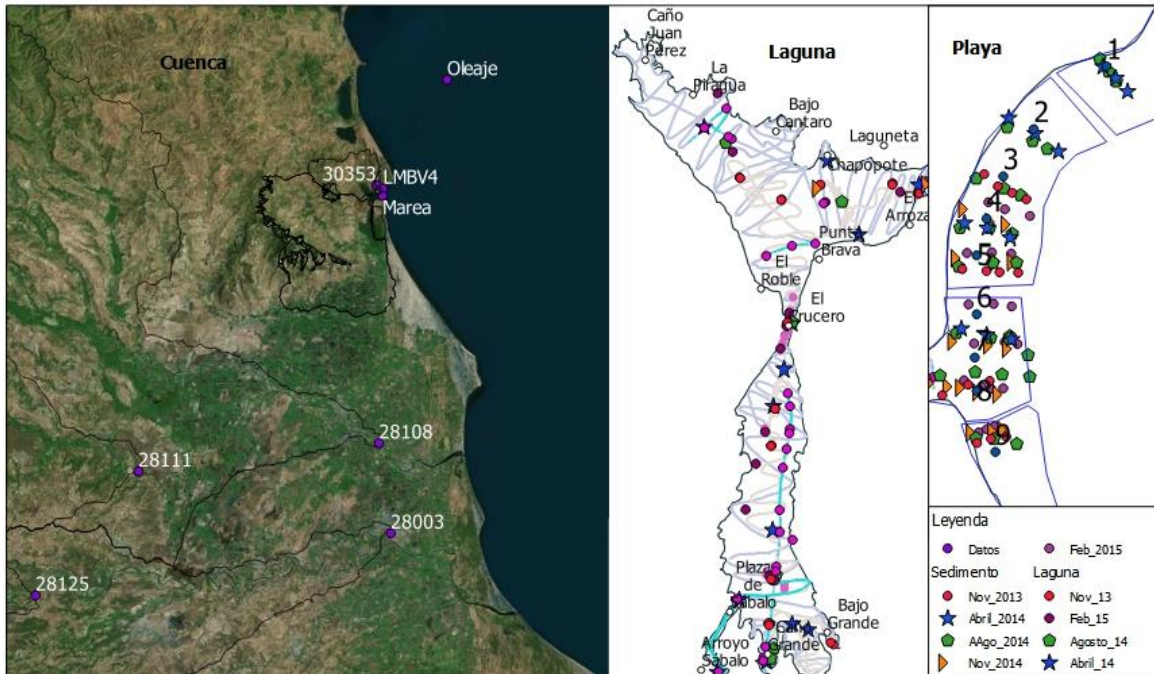


Figura 8. Puntos de muestreo y localización de las estaciones hidrológicas, climatológica, meteorológica, etc.

Modelación Delft3d

Partiendo de los datos obtenidos en laguna La Mancha se realizó la modelación de la hidrodinámica mediante el módelo Delft3d el cual modela los efectos por marea, viento, diferencias de densidades, oleaje con trasporte de sedimento y sin trasporte de sedimento. Para lo cual se utilizaron los módulos de la Figura 9. En cada sección se hace una descripción más detallada de la metodología y los datos usados.

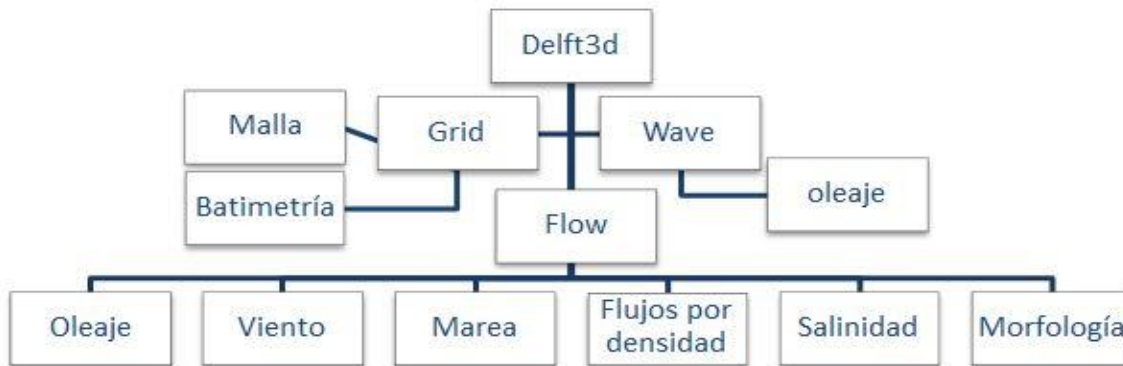


Figura 9.- Módulos utilizados del programa numérico Delft3d.

Capítulo 3 Prediagnóstico de laguna La Mancha

3.1 Área de estudio

La Mancha es una laguna perenne del municipio de Actopan, Veracruz, ubicada en las coordenadas $19^{\circ} 35' 16.42''$ N y $96^{\circ} 23' 10.88''$ W en el kilómetro 27.5 de la carretera Emilio Carranza-Cardel N° 180 (Figura 10). Tiene una superficie de 126 ha (CONABIO), mide aproximadamente 3 km de longitud y se encuentra dentro de la cuenca hidrológica Actopan, alimentada en un 99.3% por el arroyo Caño Gallegos según datos de la CONABIO. La laguna está separada del mar por una barra arenosa, la playa La Mancha es una celda litoral delimitada en el norte por un promontorio rocoso y en el sur por un elemento rígido, el transporte sedimentario tanto eólico como hidráulico tiene un flujo principal de norte a sur. La boca es la interfaz de comunicación de la playa con la laguna, y gobierna los cambios hidrodinámicos dentro de la laguna (Mee, 1978; Mandelli, 1981; Flores-Verdugo et al., 1995).

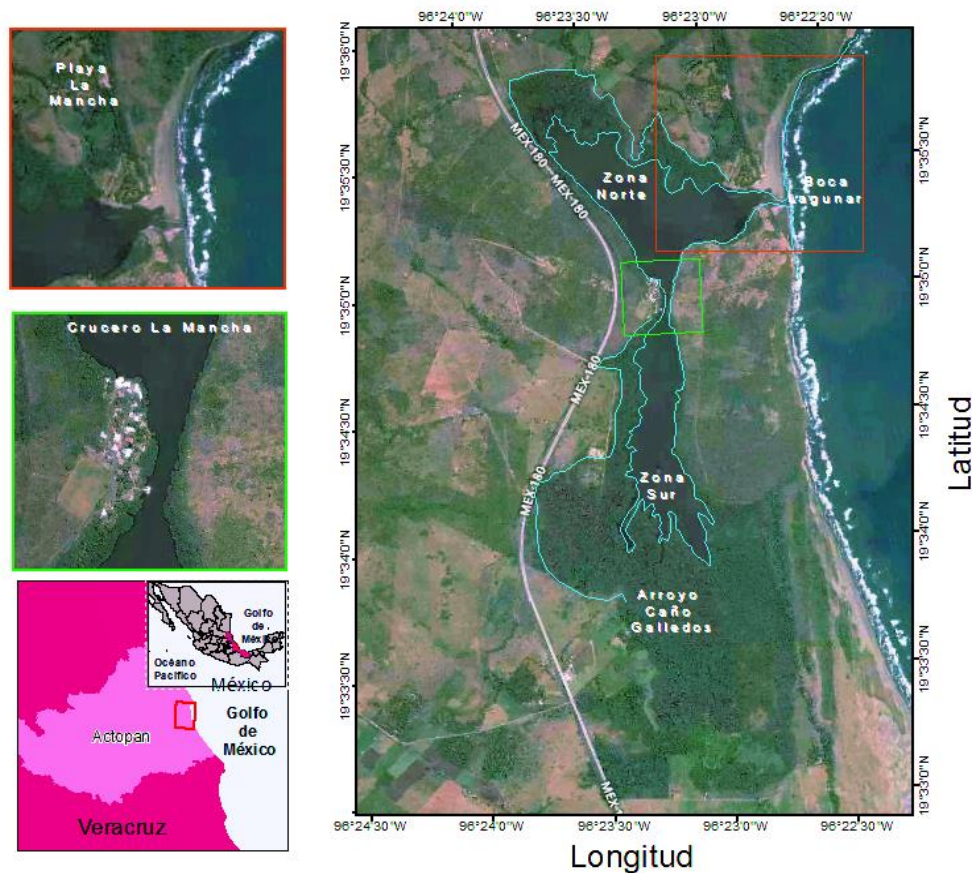


Figura 10. Fotografía satelital de la laguna La Mancha, Veracruz, México (imagen base tomada de MapBox 2015).

El estero tiene un flujo y reflujo de corrientes inducidas por efectos de la marea diurna y por las descargas fluviales. Es salobre, poco profunda (<3m) y se encuentra en un proceso natural de colmatación. La migración de peces, larvas de peces y nutrientes, etc. hacia el cuerpo interior depende de las condiciones hidrodinámicas de las bocas.

3.2 Planteamiento del problema en laguna La Mancha, Veracruz

Actualmente existe una gran presión sobre el sistema estuarino La Mancha, se trata de una laguna azolvada con alto índice de transporte eólico, con un tirante de agua promedio de 0.7 m y una gran demanda ecológica y fisicoquímica por parte de los organismos que habitan en la zona, los cuales tienen que hacer frente a los cambios súbitos de salinidad y profundidad.

Como se mencionó, la población que habita las zonas aledañas a la laguna estuarina abren la boca anualmente de una a tres veces; no obstante, aún no se conocen a detalle las implicaciones morfo-hidrológicas de esta acción y su afectación en la dinámica natural del sistema. Por lo anterior, existe una alteración del hidroperíodo y una disminución en la pesquería principalmente de róbalo y ostión. También preexiste un conflicto social referente al uso de la laguna y la desaparición de especies endémicas debidas al cambio de su hábitat.

Adicionalmente, la laguna presenta contaminación generada por los asentamientos poblacionales y por los aportes de agua de desecho de riego. También se observa la tala de manglar para extender los potreros, constantes, pero a baja escala. Por otro lado, PEMEX introdujo en los años 1978 el gasoducto Nuevo Teapa-Poza Rica que provocó azolve en laguna La Mancha (Diario Oficial, 3-10-1978).

Tabla 1.-Flujo de problemáticas en laguna La Mancha.

Generador	Vector	Amenaza	Exposición	Vulnerabilidad
<ul style="list-style-type: none"> ➔ Variación del clima ➔ Agroquímicos ➔ Descargas residuales ➔ Industria pecuaria ➔ Cambio de uso de suelo ➔ Deforestación ➔ Sobre explotación de recursos ➔ Edificaciones estructurales ➔ Desechos orgánicos ➔ Desertificación del suelo ➔ Turismo ➔ Pesca 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Viento ➔ Oleaje ➔ Temperatura ➔ Lluvia ➔ Esguerrimiento ➔ Humano ➔ Sedimentos ➔ Animales y plantas ➔ Nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Marea de tormenta ➔ Eutrofización el sistema ➔ Inundaciones ➔ Sequias ➔ Erosión de playa ➔ Perdida de resiliencia ➔ Azolve de laguna ➔ Contaminación ➔ Perdida de especies 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Playa ➔ Laguna ➔ Vegetación ➔ Animales ➔ Humanos ➔ Infraestructura ➔ Campos agrícolas ➔ Campos pecuarios 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Económica <ul style="list-style-type: none"> •Pesquería •Agricultura •Turismo •Ganadería •Bienes •Infraestructura ▲ Social <ul style="list-style-type: none"> •Pobreza •Delincuencia •Migración •Perdida de uso y costumbres •Falta de servicios ▲ Humana <ul style="list-style-type: none"> •Deceso •Enfermedades •Discapacidad ▲ Ambiental <ul style="list-style-type: none"> •Perdida de diversidad •Perdida de resiliencia •Extinción de especies •Perdida de servicios ambientales

En la Tabla 1 se describe el flujo de las problemáticas identificadas en laguna La Mancha, donde el generador se entiende como el agente precursor del problema; el vector es el medio

en el cual se propaga; la amenaza es la probabilidad de que ocurra un evento que genere un daño; exposición es el cuerpo susceptible a la amenaza, y vulnerabilidad es la característica propensa a sufrir pérdidas por la amenaza. Por ejemplo, en La Mancha un generador son los agroquímicos, como vector se tiene el escurrimiento por el cual estos compuestos químicos son arrastrados cuenca abajo, ocasionando como amenaza contaminación química, a la que se expone: la laguna, la vegetación, los animales, etc.; por lo tanto, el ambiente se vuelve vulnerable a la pérdida de servicios ecosistémicos, económicamente la industria pesquera es propensa a tener pérdida por dicha contaminación, a su vez las personas a sufrir intoxicación química.

Tabla 2. Problemáticas de laguna La Mancha y los estudios requeridos para la evaluación de estas, con el fin de crear propuestas de manejo y gestión. Simbología: rojo indica prioritarios, amarillos prioridad moderada, verdes baja prioridad, blancos sin prioridad.

Problemática \ Estudio	Geomorfología	Edafología	Climatología	Escurrimiento	Oleaje	Viento	Marea	Corrientes	Uso de suelo	Flora y fauna	Fisicoquímica	Granulometría	Batimetría	Topografía	Socioeconómico	Usos y	Modelo
Apertura antropogénica de la boca.	Rojo	Amarillo	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Rojo		Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Verde	Amarillo	Verde
Contaminación del vaso lagunar.	Verde		Amarillo	Rojo				Rojo	Amarillo	Verde	Rojo	Verde		Verde	Verde	Rojo	Verde
Disminución en la tasa de captura de peces.			Verde	Amarillo			Verde	Verde	Amarillo	Rojo	Rojo				Rojo	Amarillo	
El cierre de la boca lagunar.	Rojo	Verde	Verde	Amarillo	Rojo	Amarillo	Rojo	Rojo		Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Verde		Verde
Eutrofización del sistema.		Verde	Amarillo	Rojo		Rojo	Verde	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde		Verde
Cambios en la dinámica del sistema.	Rojo	Verde	Verde	Rojo	Verde	Verde	Rojo			Verde	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Amarillo
Poca especialización en pesquería costera.					Verde					Verde					Amarillo	Rojo	
Uso intensivo de agua.	Verde	Verde	Verde	Rojo					Rojo	Rojo	Rojo			Amarillo	Verde	Amarillo	
Desertificación.	Amarillo	Amarillo	Verde	Verde					Rojo	Rojo		Rojo		Verde	Verde	Verde	
Deforestación.	Verde	Verde		Verde					Rojo	Rojo		Verde		Verde	Rojo	Rojo	Verde
Reducción de la capacidad del embalse.	Rojo	Amarillo		Rojo	Verde		Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde		Rojo	Rojo		Verde	Verde
Reducción del volumen lagunar.	Rojo		Amarillo	Rojo	Verde		Rojo		Verde	Verde			Rojo	Verde	Verde		Amarillo
Especies peligrosas para el hombre.									Amarillo	Rojo					Verde	Rojo	
Sobreexplotación de especies.									Amarillo	Rojo					Verde	Verde	
Diminución del área de los ecosistemas	Verde			Verde					Rojo	Rojo				Amarillo	Amarillo	Rojo	
Pobreza									Rojo	Verde					Rojo	Rojo	
Falta de servicios públicos				Verde					Rojo	Rojo				Amarillo	Rojo	Rojo	

Fisher D.W. plantea que los tomadores de decisiones o gestores tienen un limitado conocimiento de los recursos y procesos costeros para crear políticas de manejo. Por lo anterior en la Tabla 2 se desglosan las problemáticas directas e indirectas que afectan el estero junto con los estudios que se consideran necesarios para la evaluación de cada una de éstas. Estos estudios serán la base para hacer las propuestas de manejo fundamentadas en los procesos sociales, económicos y ambientales de La Mancha.

Capítulo 4 **Fase de caracterización y análisis de la cuenca terrestre y marina**

La caracterización de los ecosistemas costeros en un determinado tiempo permite evaluar y diagnosticar los cambios estructurales y funcionales de los sistemas, inducidos por forzamientos naturales o antrópicos, ya que los procesos ocurren en lapsos de tiempo cortos (horas, días) o largos (meses, años o décadas, etc.), lo que la convierte en el primer paso rumbo a un plan de manejo.

En este capítulo se presenta la caracterización de La Mancha desde un enfoque de cuenca hidrográfica y marina. Primero se hace una descripción de la geomorfología incluyendo las unidades morfológicas, se clasifica el sistema desde un punto de vista geológico y se describe el tipo de suelo predominante.

Como segundo punto se presenta la caracterización hidrológica de la cuenca y la laguna, donde se describen los rasgos físicos de la cuenca (pendiente, área, etc.), la red hidrológica, el comportamiento de los parámetros meteorológicos históricos en la zona (precipitación, temperatura, humedad, evaporación), se presentan los eventos extremos y su relación con los fenómenos meteorológicos. A continuación, la estimación del volumen anual y gasto máximo (hidrograma geomorfológico) de entrada a la laguna usando diversos métodos estadísticos. Por último, se caracteriza el vaso lagunar (curva elevación-capacidad y tirante crítico).

En tercer lugar, se presenta la caracterización hidrodinámica marina mediante los parámetros de viento, oleaje y marea; se describe su comportamiento por época de lluvia, nortes y secas. Después se hace una descripción fisicoquímica del estuario, a partir de datos bibliográficos.

Seguido por la caracterización del paisaje de la cuenca y la laguna, y el cambio de uso de suelo desde 1981 a 2010. Se describe la biota en la cuenca, con un enfoque especial en la laguna y al sector pesquero.

Por último, se caracterizó la población de la localidad que habita la cuenca. En esta sección se incluyen las actividades económicas, pobreza, migración, educación, etc. y se presenta la relación de la comunidad con la laguna resaltando su valor social, cultural y económico.

4.1 Geomorfología de la cuenca y laguna La Mancha

La Mancha es parte de una llanura litoral, se encuentra específicamente en la subprovincia de la Llanura Costera Veracruzana formada por: una depresión prelitoral; una costa mixta y presenta un fuerte aluvionamiento. Es una albufera que tuvo su origen aproximadamente hace 6000 años, cuando la línea de costa se estabilizó en su posición actual debido a la acumulación de sedimentos por el río Caño Gallegos por lo que la laguna se encuentra alineada con éste; los montículos que componen la geoforma son producto de la llegada del Eje Neovolcánico a la costa (Figura 16). El estero se encuentra en la región “Nautla-Laguna Verde-La Mancha” y se define por una *costa mixta con puntas rocosas volcánicas, y entre ellas amplias entrantes abiertas al mar con playas arenosas y campos de dunas activas* (Ortiz-pérez, 2005) (Figura 11).

Con base en la clasificación geomorfológica de Pritchard (1967) La Mancha es discreta tipo III- “*Estuario con formación de barra en la boca*” la cual presenta mucha sedimentación durante las inundaciones, formación de la barra en la boca lagunar, con poco rango de marea, un canal central sinuoso y descargas de agua dulce. La fisiografía de la laguna se compone por humedales, la cuenca estuarina, zonas marismas, dos barreras litorales con una playa estrecha, lomeríos, un sistema de dunas transversales, promontorio rocoso en la parte norte de la playa y un delta de flujo de marea con canales de flujo; que presenta ambientes ligados al mar y las comunidades terrestres (Figura 11).

Como se mencionó anteriormente la laguna está ubicada en la desembocadura del arroyo Caño Gallegos y se conforma por dos cuerpos que se comunican por el canal El Crucero o muelle (Figura 10); ésta tiene una forma alargada en sentido norte-sur con una longitud de ~3400 m y un área de espejo de agua de 1.13 km²; el cuerpo de agua en la zona sur presenta un ancho máximo de ~600 m EO y un largo NS de ~1900 m, mientras que la parte norte cuenta con un ancho en dirección EO de ~1700 m y una longitud ~1500 m (dimensiones del modelo digital de terreno (MDT) LIDAR con resolución de 5 m).

La Figura 11 muestra las principales unidades morfológicas en las zonas de transición de agua dulce a salada y de tierra a mar de La Mancha (basado en Hayes, 1979); la boca es la vía de comunicación del estero con el mar y se localiza en la barrera litoral; el lóbulo es producto del flujo y reflujo en el canal de marea; el vaso lagunar es considerado como una zona de acumulación de sedimento, es decir, la acumulación de arena en la parte central de laguna es debida a la entrada de oleaje; el canal principal conduce la mayor parte del flujo, mientras que los canales marginales de flujo son producto de las corrientes de marea y generan las barras lineales al interactuar con el oleaje, y la rampa de inundación es una superficie inclinada con pendiente negativa al mar.

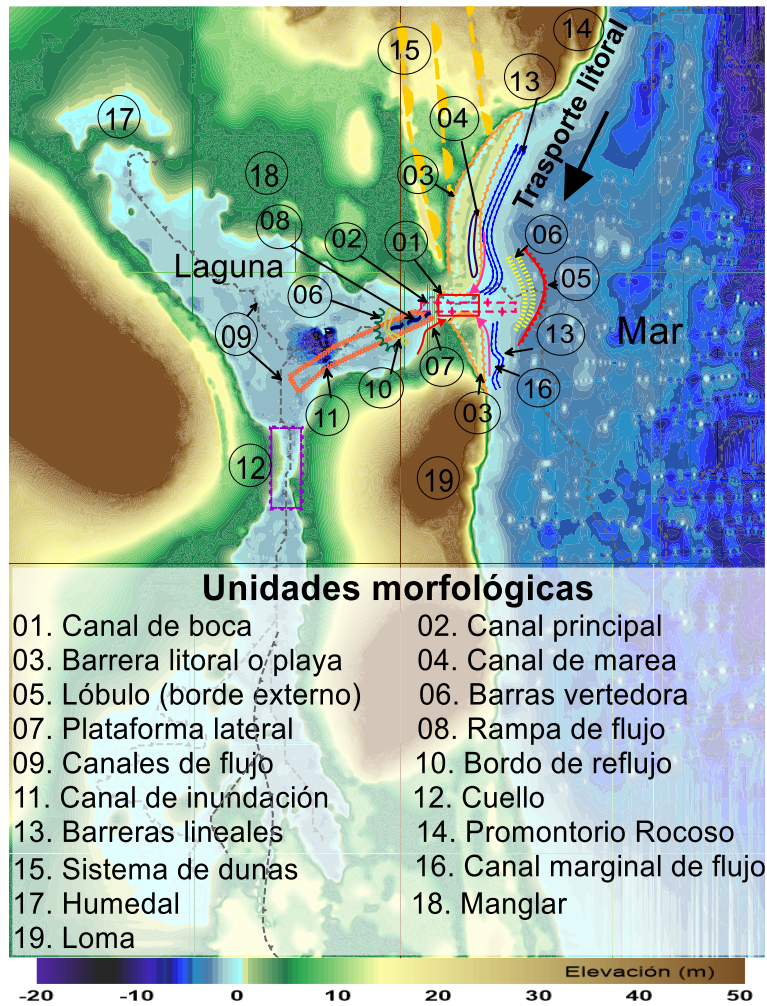


Figura 11.- Unidades morfológicas del estero La Mancha, Veracruz. Basado en Hayes 1980.

Según la clasificación morfológica de Galvin (1971) la boca tiene una evolución de *desplazamiento por traslape (overlapping offset)*, la cual se caracteriza por una adecuada alimentación de sedimento y transporte neto fuerte o unidireccional lo que desencadena en la unión de los segmentos del cordón litoral (Figura 12).



Figura 12.-Evolución de la boca por desplazamiento por traslape (*overlapping offset*) según la clasificación de Galvin (1971).

El tipo de suelo en la cuenca se tomó de la carta edafológica proporcionada por CONABIO de 1995, escala 1:250000. Mostrando que la zona presenta 3 litologías distintas, sedimentos palustres del cuaternario, los cuales fueron depositados durante la formación de la laguna, sedimentos eólicos al norte y sur de la laguna que fueron depositados debido a la fuerte actividad eólica del norte y andesitas del terciario superior que se encuentran paralelas a la costa (Geissert K., 2006). Según datos de CONABIO en La Mancha se tienen las siguientes proporciones litológicas: aluvial (48.6%), toba intermedia (31.3%), andesita (15.6%) y sedimento eólico (4.5%). En la playa y en la zona de la boca se encuentran arenas finas calcáreas poco humificadas, las cuales presentan una alta permeabilidad, pobres en nutrientes y existe una cobertura vegetal escasa.

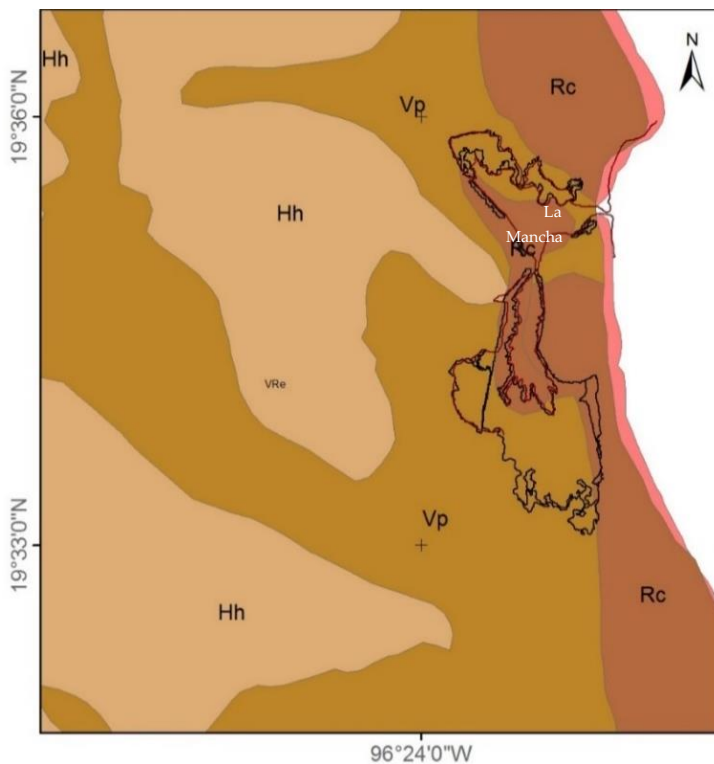


Figura 13. Tipo de suelo en la cuenca La Mancha, tomado de la carta edafológica proporcionada por CONABIO de 1995, escala 1:250000. Vp: vertisol pélico; Rc: Regosoles calcáricos; Hh: Feozem háplico.

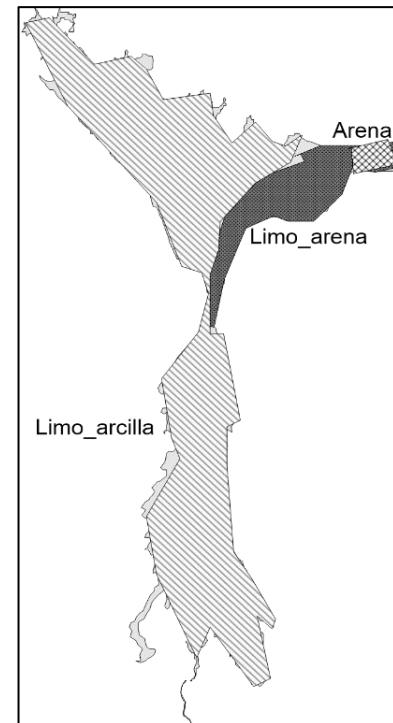


Figura 14. Distribución de sedimento en laguna La Mancha.

En la Figura 13 se muestra el tipo de suelo de acuerdo con la carta edafológica con escala 1:25000. Se encuentra suelo vertisol pélico (Vp) que se caracteriza por ser arcilloso localizado a menos dentro de 50 cm de profundidad, está formado a partir de lutitas, areniscas, calizas, conglomerados, rocas ígneas básicas y aluviones. Este tipo de suelo se expande con la humedad formando sobre la superficie pequeños montículos conocidos como micro relieve y presenta grietas de por lo menos 1 cm de ancho y superficies pulidas por la fricción de los

agregados. El Vp se solidifica en la estación seca y se plastifica en la húmeda, son suelos grises oscuro con un pH que oscila ligeramente entre ácido y alcalino, con contenido de materia orgánica medio y capacidad de absorber cationes de Calcio, Magnesio y potasio.

Los regosoles calcáricos (Rc) tienen carbonato cálcico, al menos entre los 20 y 50 cm de la superficie del suelo, se forma a partir de materiales no consolidados que se encuentran escasamente desarrollados y evolucionados. Su escasa evolución se debe a que sufren importantes procesos de erosión y aporte que mantienen un constante rejuvenecimiento del perfil y que no se puedan dar transformaciones edáficas. Suelo Feozem Háplico (Hh) suelo negro u oscuro rico en materia orgánica y nutrientes, lo que hace de esta zona una alta productora agrícola con buenos rendimientos, los cuales son característicos de las zonas húmedas. En el vaso lagunar se encuentra arena en la zona de la boca, limo-arena en la zona central de la laguna y limo- arcilla en el resto de la laguna como se puede observar en la Figura 14.

Observaciones

- Debido a las características físicas y morfológicas el estero la Mancha se clasifica como albufera que se define por no tener patrones bien establecidos de circulación y salinidad, excepto en la boca del estero.
- La laguna tiene una forma alargada en sentido norte-sur con una longitud de ~3400 m y un área de espejo de agua de 1.13 km².
- El sedimento de la cuenca es vertisol pélico, regosoles calcáricos y Feozem Háplico.
- En la zona de la boca lagunar tiene suelo arenoso, mientras que el resto de la laguna tiene suelos limo-arcilloso.

4.2 Cuenca hidrológica La Mancha

Para desarrollar una estrategia de manejo hidráulico en La Mancha es necesario evaluar el comportamiento hidrológico de la cuenca Caño Gallegos (Figura 15) y así proponer e implementar medidas de uso de los recursos en el embalsé del estero. Ya que la laguna funciona como un regulador del caudal de salida e incrementa el tiempo de residencia de agua dulce en el sistema, permitiendo la existencia del humedal La Mancha

El escurrimiento superficial en la cuenca es importante debido a que permite la disponibilidad de agua superficial, incrementa la biodiversidad de micro ecosistemas en sus márgenes, regula los microclimas, transporta nutrientes en la cuenca y aporta agua dulce a la laguna permitiendo la riqueza de este estuario.

El equilibrio de la señal hídrica se puede afectar de forma antropogénica por el uso del recurso para actividades sanitarias y económicas (asentamientos, turismo, agricultura, ganadería, pesca, etc.) lo desencadena en: la disminución del flujo y su disponibilidad; el aumento en la contaminación del cauce; la desertificación y lixiviación del suelo. Por lo anterior y dado que no están reportadas las características de la red hídrica perenne y/o intermitente de la laguna, en este trabajo se caracteriza la cuenca para determinar los límites hídricos de la laguna, el escurrimiento, el caudal de entrada al sistema lagunar, el clima local el cual controla los procesos hidrológicos y las características de regulación del embalse.

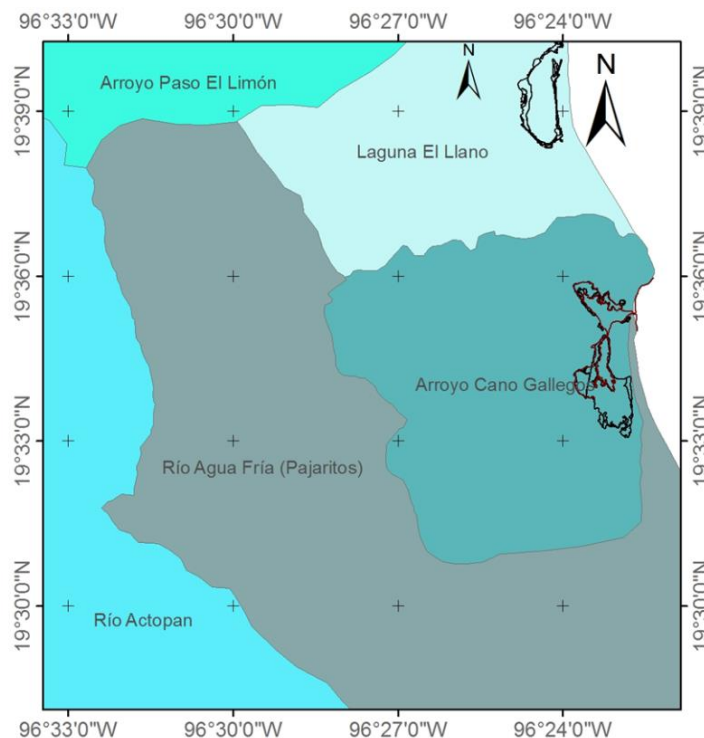


Figura 15.-Cuenas hidrográficas circundantes a La Mancha Veracruz. Elaboración propia con datos proporcionados de CONAGUA 2015.

En esta sección se parte de la siguiente hipótesis: “El volumen de agua dulce que entra al vaso del estero por medio del escurrimiento superficial es insuficiente para abrir el canal de acceso lagunar”. Es importante resaltar que para este análisis se desprecia el volumen del gasto base. Para avaluar la hipótesis se realizó una caracterización geomorfológica, climatológica, la estimación el gasto de entrada y el volumen en la subcuenta la mancha.

4.2.1 Caracterización y climatología de la subcuenta La Mancha

Para efectuar el análisis hidrológico de la cuenca Actopan se usó el MDT LIDAR de 5 m de resolución con escala 1:10000 y proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), bajada del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Con este modelo se delimitó el perímetro de laguna La Mancha y las subcuencas que aportan a ésta.

A partir del MDT LIDAR se delimitó las subcuencas hidrográficas que aportan escurrimiento superficial a la laguna, se encontraron dos subcuencas principales, las cuales tienen un rango de elevación de 0 a 704 msnmm con una pendiente media de 18.5%, un área de aproximadamente 87 km² y una red hidrológica desarrollada de orden 3. La subcuenta que aporta a la zona sur de la laguna presenta dos aportes perenes de agua dulce, el arroyo Caño Gallegos con una longitud de ~15 km y arroyo Sábalo con un largo ~2.5 km; en el área norte el agua dulce proviene principalmente del riachuelo Caño Juan Pérez con una longitud de ~4.5 km el cual contribuye principalmente cuando se abren los canales de riego, utilizados para cultivo y ganadería (Figura 16). Por otro lado, se identificaron 15 riachuelos de orden uno y dos, los cuales aportan al vaso lagunar durante la temporada de lluvia.

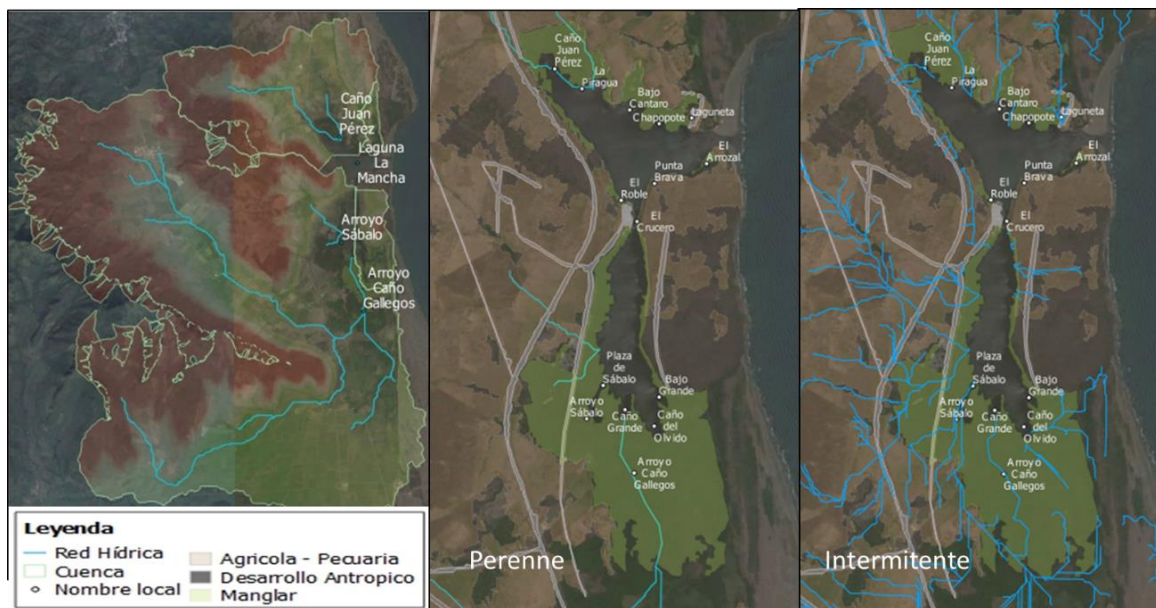


Figura 16.- Cuencas hidrográficas y red de drenaje perenne e intermitente de laguna La Mancha, Ver.

Se usaron los datos de la estación climatológica 30353 ubicada en 19.6N -96.39W, se obtuvieron los promedios mensuales de precipitación, evaporación potencial y temperaturas mínimas y máximas para el periodo 1981-2009, la información obtenida mediante la base de datos climatológica Nacional (sistema CLICOM). La media anual de precipitación en la subcuenca se estimó de 1072 mm. El periodo húmedo en la cuenca abarca de junio a septiembre en el cual se presenta el 76% de la precipitación media anual, a su vez, la lluvia media mensual es de 78 mm con un máximo de 250 mm en el mes de agosto y un mínimo de 13 mm en el mes de febrero. La evaporación potencial media anual se estimó en 1516 mm y la mensual de 124 mm, con un máximo de 163 mm en el mes de mayo, mientras que los meses con mayor evaporación son de marzo a mayo (Figura 16).

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.
 Figura 17.- Media mensual de precipitación (Pm) y evaporación potencial (EPm) de 1981-2009.

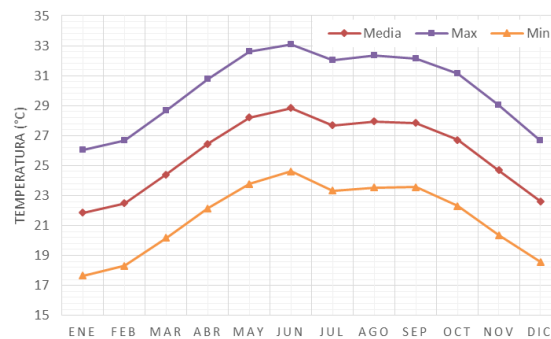


Figura 18.- Media mensual de temperatura para el registro 1981-2009, La Mancha, Ver

En la Figura 19 se presenta la comparación de la precipitación anual y la evaporación potencial anual para el periodo 1999-2009. Se observa que los años con mayor precipitación son el 2000, 2005 y 2007, que coinciden con los años en los que se presentaron los ciclones tropicales Keith, Emil, Stan y Dean (Tabla 3).

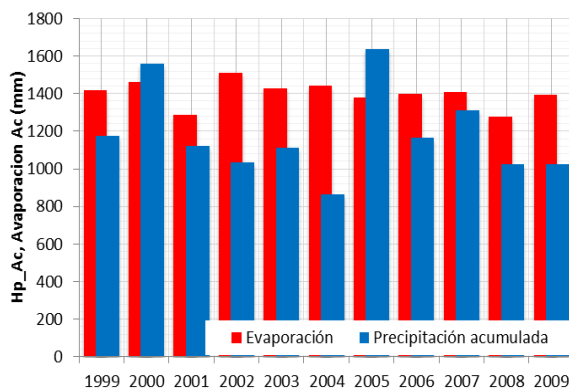


Figura 19.- Precipitación y evaporación media anual acumulada para el periodo 1999-2010, en la estación La Mancha.

Tabla 3.- Eventos extremos de precipitación asociados a fenómenos meteorológicos en La Mancha, Ver.

Año	Tr (año)	Hp (mm)	Evento meteorológico
1981	30	152.8	Depresión Tropical 4
1992	15	151	Huracán Andrew
1995	10	147.5	Huracán Roxanne
1993	7.5	144	Huracán Gert
2005	6	117	Huracanes Emily y Stan
1989	5	116.7	Tormenta tropical Allison
2000	4	111	Huracán Keith
2007	3	104	Huracán Dean

Tr: periodo de retorno; Hp: altura de precipitación.

Por lo que La Mancha tiene un clima cálido subhúmedo de lluvia en el verano (AW2), lo cual concuerda por lo ya reportado por García (1973) y Vidal (2005).

Observaciones

- Las subcuencas hidrográficas, presentan una pendiente suave característica de las zonas costeras con una red hidrológica desarrollada de orden 3.
- La zona sur tiene dos aportes perenes de agua dulce el arroyo Caño Gallegos y arroyo Sábalo; en el área norte está el riachuelo San Juan Pérez el cual contribuye principalmente cuando se abren los canales de riego, utilizados para cultivo y ganadería.
- La evaporación potencial describe la tasa de evaporación de la laguna ya que tiene una superficie de contacto del 1.13 km².
- El periodo húmedo abarca los meses de junio a septiembre periodo que coincide con la época de ciclones tropicales en el Golfo de México, mientras que noviembre a marzo es la temporada seca que coincide con los nortes.
- Los años que presentaron las alturas de precipitación con mayor magnitud se asocian con el registro de ciclones tropicales
- La Mancha tienen un microclima controlado por la humedad relativa de la laguna, estas características amortiguan las oscilaciones de temperatura y mantienen una tasa alta en los días de rocío.

4.2.2 Estimación de los gastos y volúmenes en la cuenca Caño Gallegos

La descarga de agua dulce por afluentes propicia la circulación estratificada, incrementa la velocidad de renovación del agua lagunar y modifica el transporte de materia por difusión turbulenta y dispersión. Por lo que es necesario estimar los escurrimientos superficiales hacia la laguna los cuales fueron inferidos a partir de técnicas estadísticas e información de las estaciones cercanas a la zona de estudio ya que dentro de las cuencas hidrográficas del arroyo Caño Gallegos no cuenta con información hidrométrica. En la Tabla 4 y Tabla 5 se presentan los datos de las estaciones que cuentan con información suficiente para el análisis estadístico y que fueron utilizados para estimar los gastos medios diarios y los gastos máximos instantáneos.

Tabla 4. Información de las estaciones hidrométricas y sus cuencas hidrográficas usadas en el análisis estadístico. Parte 1/2.

Clave	Descripción	Lon	Lat	Periodo de registro	Área (km ²)	Perímetro (km)	Zmin (msnm)	Zmax (msnm)
28003	CARDEL	96°22'24"	19°21'42"	1951-2011	2136.2	287.2	0	4201.5
28108	EL NARANJILLO	96°22'54"	19°25'20"	1961-2011	1858.4	260.2	10.48	3151.62
28111	IDOLOS	96°33'12"	19°24'12"	1963-2011	477.532	116.278	120	1586.51
28125	CARRIZAL	96°37'36"	19°19'12"	1966-2011	1564.24	225.337	187	4201.5

Lon: longitud; Lat: latitud; Zmin: elevación mínima en la cuenca; Zmax: elevación máxima en la cuenca.

Tabla 5. Información de las estaciones hidrométricas y sus cuencas hidrográficas usadas en el análisis estadístico. Parte 2/2.

Clave	Descripción	Zmed (msnm)	S (%)	IG	Prec (mm/año)	ET (mm/año)
28003	CARDEL	1404	25.8	7.44	1551	790
28108	EL NARANJILLO	1003.15	18.7	7.14	1214	841
28111	IDOLOS	753.8	14	4.11	1001	856
28125	CARRIZAL	1718.69	29	6.94	1665	790

Zmed: elevación media de la cuenca; S: pendiente media de la cuenca; IG: índice de Gravelius; Prec: precipitación media anual; ET: evapotranspiración real media anual.

Con el objetivo de estimar los caudales medios diarios por mes en la cuenca Caño Gallegos se utilizó la técnica de correlación y regresión, en donde las propiedades geomorfológicas y climatológicas de las cuencas (Tabla 5) se utilizaron para determinar aquellos factores que dominan el proceso de escurrimiento. En la Tabla 6 se presentan los caudales medios diarios de cada mes observados en las estaciones hidrométricas, mientras que en la

Tabla 7 se muestran los mejores ajustes obtenidos con las ecuaciones regionales utilizando gastos modulados por el área de la cuenca, así como los caudales obtenidos con los ajustes. Se encontró que el proceso de escurrimiento en las cuencas está condicionado principalmente por la pendiente media y la elevación media de la cuenca.

Tabla 7 se muestran los mejores ajustes obtenidos con las ecuaciones probadas y los volúmenes estimados en la cuenca de interés. Se encontró que el proceso de escurrimiento en las cuencas está condicionado principalmente por la pendiente media y la elevación media de la cuenca.

Tabla 6. Gastos medios diarios por mes (m^3/s) de las estaciones hidrométricas utilizadas para el análisis estadístico

Mes	28003	28108	28111	28125
Ene	23.444	8.797	1.500	24.643
Feb	18.679	6.168	1.451	22.350
Mar	14.017	4.602	1.042	19.816
Abr	10.843	3.316	1.101	20.358
May	16.417	3.328	2.059	24.529
Jun	96.214	24.740	12.589	76.963
Jul	137.388	45.964	18.976	104.815
Ago	130.546	38.103	13.384	105.103
Sep	193.535	59.191	22.044	155.462
Oct	109.949	32.661	8.888	89.403
Nov	52.510	18.494	2.772	42.417
Dic	29.782	13.624	1.729	29.086
Anual	69.444	21.582	7.295	59.579

Tabla 7. Gastos medios diarios por mes estimados en la cuenca Caño Gallegos.

Mes	Q (m^3/s)	V ($1 \times 10^6 m^3$)	Ecuación	r^2
Ene	0.404	1046	$Q/A=6.8693*S-0.7894$	0.95
Feb	0.337	873	$Q/A=6.0454*S-0.7168$	0.88
Mar	0.260	673	$Q/A=5.4104*S-0.6913$	0.83
Abr	0.233	605	$Q/A=5.2839*S-0.699$	0.71
May	0.337	872	$Q/A=6.0836*S-0.7239$	0.69
Jun	1.846	4786	$Q/A=16.493*S-0.8484$	0.67
Jul	2.810	7283	$Q/A=20.096*S-0.3605$	0.67
Ago	2.327	6031	$Q/A=25.724*S-1.9828$	0.83
Sep	3.623	9390	$Q/A=35.6*S-2.2642$	0.8
Oct	1.817	4711	$Q/A=24.187*S-2.3064$	0.9
Nov	0.809	2096	$Q/A=12.623*S-1.3706$	0.98
Dic	0.524	1358	$Q/A=8.0464*S-0.8634$	0.99
Anual	1.523			

V: volumen en mm ; S: pendiente media de la cuenca en m/m ; r^2 : coeficiente de determinación obtenido con la ecuación.

Por su parte, para determinar los gastos máximos instantáneos se recurrió a un análisis de frecuencias para lo cual se probó el ajuste con distintas funciones de distribución de probabilidad puntuales y posteriormente se evaluaron técnicas regionales. Previo al ajuste de distribuciones se evaluó la estacionalidad y la aleatoriedad de las series de tiempo con pruebas de homogeneidad en la media y la varianza, así como análisis de tendencias. Los resultados indicaron que las series resultaron homogéneas y sin tendencia (no se muestran los resultados). Los estadísticos de las series de gastos máximos instantáneos de las estaciones bajo análisis se muestran en la Tabla 8 y se aprecia que las series no siguen una distribución normal (curtosis ≈ 3 , asimetría ≈ 0).

Las funciones de distribución de mejor ajuste según los criterios del error estándar (EE), índice medio de la desviación absoluta (MADI) y el índice de la desviación media al cuadrado (MASI), indican que la región presenta dos poblaciones de caudales extremos: debidos a precipitaciones convectivas y a tormentas tropicales, características de zonas costeras. El análisis puntual demostró que la región es homogénea con distribución de probabilidad característica mixta o mezclada del tipo Weibull-Gumbel, la cual está definida como:

$$F(x) = p \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{\alpha 1} \right)^{\beta 1} \right] \right\} + (1 - p) \exp \left\{ - \exp \left[- \left(\frac{x - v 2}{\alpha 2} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

donde p parámetro de asociación; $\alpha 1$ y $\beta 1$ son los parámetros de escala y forma de la primera población; $v 2$ y $\alpha 2$ son los parámetros de ubicación y escala de la segunda población. Los gastos máximos instantáneos estimados para diferentes periodos de retorno se muestran en la Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 8. Estadísticos de las series de gastos máximos instantáneos (m^3/s) de las estaciones bajo análisis.

Estadístico	28003	28108	28111	28125
Media	1242.69	630.10	331.82	878.18
Mediana	1016.50	515.03	277.27	683.93
Varianza	894362.94	254900.32	39449.57	445275.25
Desv. Est.	945.71	504.88	198.62	667.29
Coef. Asim.	3.17	1.81	0.51	2.68
Coef. curtosis	18.13	7.13	2.28	12.13
Coef. Variación	0.761	0.801	0.599	0.760
Autocorr. r1	-0.0311	0.0482	0.1198	0.3839

Tabla 9. Gastos máximos instantáneos (m^3/s) estimados con la función de distribución de probabilidad Mixta Weibull-Gumbel para distintos periodos de retorno.

Periodo de retorno	28003	28108	28111	28125
2	1075.8	497.89	275.66	689.63
5	1671	973.4	515.75	1033.1
10	2078.1	1246	596.23	1756.5
20	2605.1	1499.5	668.41	2290.1
50	4081.1	1823.2	759.26	2900
100	5245.8	2064.4	826.56	3337
500	7710.7	2620.2	981.21	4326.7
1000	8740.1	2858.8	1047.6	4749.1
5000	11112	3412.6	1201.4	5727.6
10000	12131	3651.1	1267.7	6148.7
Parámetros				
p	0.93755	0.36795	0.53396	0.79965
$\alpha 1$	1234.2	281.19	192.35	696.15
$\beta 1$	2.0465	2.4259	2.8027	3.298
v2	2683	640.99	460.44	1532.4
$\alpha 2$	1467.9	343.95	95.57	607.21
Criterios de error				
EE	280.82	146.71	18.713	170.45
MADI	0.071462	0.066955	0.057166	0.047253
MSDI	0.015294	0.010025	0.0066238	0.0051799

* Mixta W-G: eventos estimados con la función de distribución de dos poblaciones Weibull-Gumbel; EE: error estándar; MADI: índice Medio de la Desviación Absoluta; MSDI: Índice de la Desviación Media al Cuadrado.

Para la estimación regional de gastos máximos instantáneos se utilizó la técnica de estaciones año para la cual se forma una serie con todos los registros en donde los gastos máximos instantáneos son divididos con el valor promedio (Tabla 10). A la serie modulada se le ajustaron funciones de distribución de probabilidad y al igual que en el análisis puntual, la que generó el mejor ajuste fue la Weibull-Gumbel. Los estimadores regionales, los parámetros de la función W-G y los gastos máximos instantáneos para las estaciones, incluida la cuenca Caño Gallegos, se muestran en la Tabla 10 Tabla 11 mientras que en la Figura 20 se muestra el ajuste con la distribución Weibull-Gumbel y la técnica de Estaciones Año.

Tabla 10.- Gastos máximos instantáneos (m^3/s) estimados la técnica de estaciones año

Periodo de retorno	Estimador regional (Q_r)	28003	28108	2811	28125	Caño Gallegos
2	0.8471	1052.7	533.8	281.1	743.9	43.33
5	1.3883	1725.2	874.8	460.7	1219.2	71.02
10	1.8188	2260.2	1146.0	603.5	1597.2	93.04
20	2.3581	2930.4	1485.8	782.5	2070.8	120.63
50	3.1238	3881.9	1968.3	1036.5	2743.3	159.80
100	3.6771	4569.5	2316.9	1220.1	3229.2	188.10
500	4.9206	6114.8	3100.5	1632.8	4321.2	251.71
1000	5.4498	6772.5	3433.9	1808.4	4785.9	278.78
5000	6.6747	8294.6	4205.7	2214.8	5861.6	341.44
10000	7.2016	8949.4	4537.7	2389.6	6324.3	368.40
Parámetros						
p	0.84324	$\alpha 1$	0.88038	$v 2$	1.7029	
		$\beta 1$	2.1136	$\alpha 2$	0.83851	

* Los gastos máximos instantáneos para cada periodo de retorno para cada estación fueron obtenidos como $Q_{max}=Q_r*Q_{med}$, en donde Q_{med} es el gasto medio de la serie de máximos instantáneos anuales.

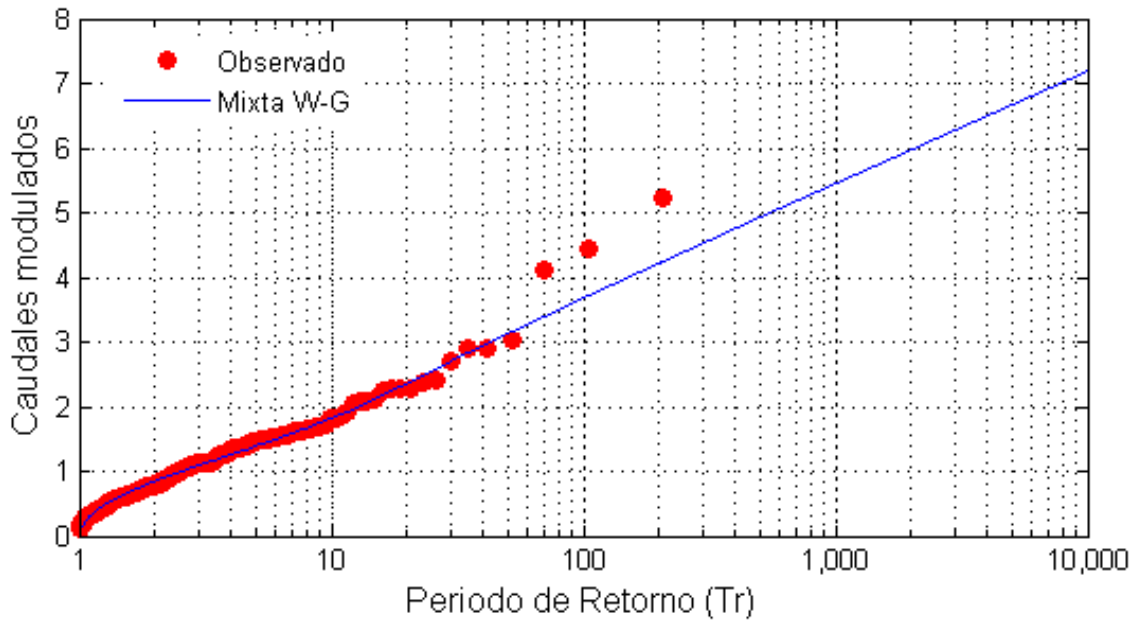


Figura 20. Técnica de estimación regional de Estaciones Año.

Para la estimación de los gastos máximos instantáneos en la cuenca del arroyo Caño Gallegos se utilizó la técnica de correlación y regresión usando las propiedades de las cuencas mostradas en la Tabla 4 y Tabla 5. La ecuación que generó el mejor ajuste según el coeficiente de determinación ($r^2=0.93$) está dada por:

$$Q_m = 1.1861 L_{cp}^{1.39} \quad (2)$$

donde Q_m es el caudal máximo instantáneo promedio (m^3/s) y L_{cp} es la longitud del cauce principal (km).

Para asignar la forma del hidrograma se utilizó el modelo de Nash (1957, 1960) basado en la teoría de reservorios lineales. Las ordenadas del hidrograma de Nash están dadas por la función gamma de dos parámetros, escrita como:

$$U_n(t) = \left[\frac{1}{k\Gamma(n)} \right] \left[\frac{t}{k} \right]^{n-1} e^{-t/k} \quad (3)$$

donde n y k son los parámetros de forma y escala, respectivamente; t es el tiempo; Γ es la función gamma; U_n son las ordenadas del hidrograma (hr^{-1}). Para la estimación de n y k se utilizaron las leyes de Horton que relacionan las propiedades geométricas de la cuenca y los ríos mediante los radios de área (RA), bifurcación (RB) y longitud de los ríos (RL), los cuales están dados por las ecuaciones siguientes:

$$R_A = \left(\frac{\bar{A}_\omega}{\bar{A}_1} \right)^{\frac{1}{\omega-1}} \quad (4)$$

$$R_B = (N_\omega)^{\frac{1}{\Omega-\omega}} \quad (5)$$

$$R_L = \left(\frac{\bar{L}_\omega}{\bar{L}_1} \right)^{\frac{1}{\omega-1}} \quad (6)$$

en donde ω es el orden de la corriente; Ω es el orden máximo de la cuenca; \bar{A}_ω es el área promedio de las cuencas de orden ω ; \bar{A}_1 es el área de la cuenca de orden 1; N_ω es el número de cuencas de orden ω ; \bar{L}_ω es la longitud promedio de las corriente de orden ω ; \bar{L}_1 es la longitud de corriente de orden 1. Mientras que el tiempo pico y los parámetros n y k son obtenidos con las ecuaciones siguientes:

$$t_p = k(n - 1) \quad (7)$$

$$n = 3.29 \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.78} R_L^{0.07} \quad (8)$$

$$k = 0.44 \left(\frac{L_\Omega}{v} \right) \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} \frac{R_L^{-0.38}}{(n - 1)} \quad (9)$$

en donde L_Ω es la longitud de corriente de mayor orden y v es la velocidad dinámica del gasto pico dada por $v=0.2778 \cdot L_{cp}/T_c$, con L_{cp} igual a la longitud del cauce principal (Km) y T_c igual al tiempo de concentración (hrs).

Los parámetros obtenidos para la cuenca Caño Gallegos fueron los siguientes:

RB=	3.1269	Tc=	6.63	hrs
RA=	3.7268	Lcp=	16.52	Km
RL=	1.4515	v=	0.6922	m/s
n=	3	tp=	4.65	hrs
k=	2.3233			

Los hidrogramas geomorfológicos asociados a distintos periodos de retorno para la cuenca Caño Gallegos se muestran en la Figura 21.

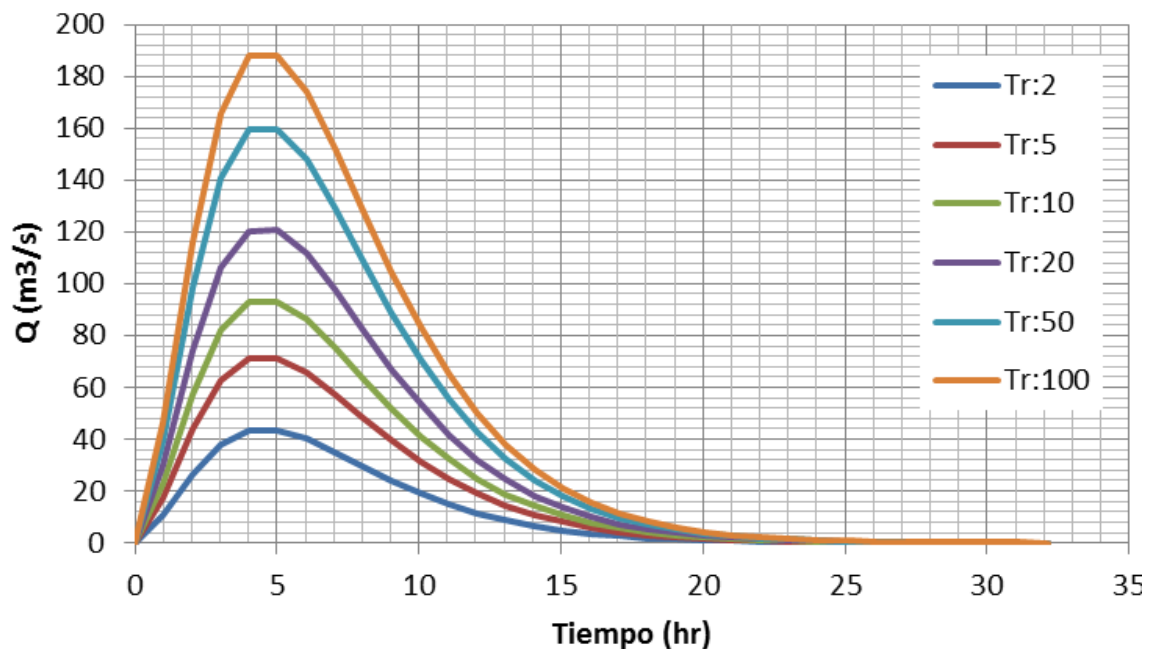


Figura 21. Hidrogramas a la salida de la cuenca Caños Gallegos asociados a distintos periodos de retorno.

A partir del hidrograma de la cuenca Caños Gallegos (Figura 21) se determinó en 20 h la duración característica de una avenida.

Observaciones

- El proceso de escurrimiento en la cuenca está condicionado principalmente por la pendiente media y la elevación media de la cuenca.
- El gasto medio anual esperado en la laguna se calculó es de 1.52 m³/s.
- De junio a octubre se presentan los máximos de gasto medio mensual, los mínimos se presentan de marzo a mayo.
- La región presenta dos poblaciones de caudales extremos: debidos a precipitaciones convectivas y a tormentas tropicales, características de zonas costeras.
- El escurrimiento y la precipitación controlan la salinidad en el vaso lagunar y la entrada de agua salobre, evita la salinización del manto freático y suelo, y mantiene la salud de los humedales y la vegetación halófitas.

4.2.3 Caracterización hidrológica de laguna La Mancha

Para la caracterización morfológica e hidrológica del vaso de la laguna se usaron las propiedades de dimensión (longitud, volumen, área, etc.) fueron calculadas a partir del MDT LIDAR anidado a los valores medidos de batimetría y topografía como criterios de acoplamiento de los datos se usó el nivel medio del mar y la línea de vegetación que circunda la albufera.

Mediante la curva de capacidad-elevación se estimó el volumen de agua almacenado en el estero, integrando la superficie del vaso con un plano de elevación constante. En primer lugar, se creó una malla con una resolución de 10 m y se extrajeron los valores de elevación utilizando información topográfica de la zona. En segundo lugar, se fijaron 8 planos de elevación constante de -1 a 2 msnm con un incremento de 0.5 m, excepto el valor de -1,2 msnm. Por último, para la integración se usó la regla de Simpson (ec.10).

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{a-b}{6} \left[f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right] \quad (10)$$

Mediante la curva de capacidad elevación se estimó un volumen almacenamiento del vaso lagunar de $\sim 1.54 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Figura 22).

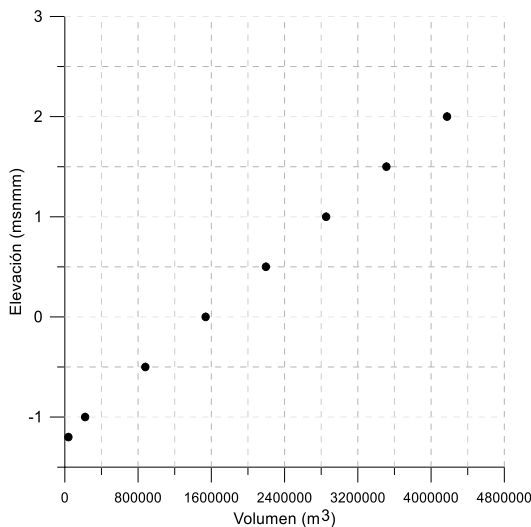


Figura 22.- Curva elevación capacidad para el vaso de la laguna La Mancha.

Tabla 11.-Relación de elevación de tirante con volumen de almacenamiento en el estero.

Elevación (msnm)	Volumen (m³)
2.0	4174064
1.5	3512114
1.0	2853945
0.5	2195776
0.0	1537607
-0.5	879439
-1.0	221270
-1.2	39353

Se calculó que la disminución de 1 m de tirante de agua implica la reducción del 85% del volumen del vaso lagunar, esto es algo que ocurre cuando la laguna esta comunicada con el mar (

Tabla 11). Villalobos et al. (1984) reportan un volumen de almacenamiento de $1.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ cuando la boca se encuentra obstruida y una pérdida de volumen del 82.5% cuando la boca

lagunar esta comunicada con el mar. Se observa una disminución de la capacidad de almacenamiento de 4% en 30 años (1981 a 2014), esto puede deberse al proceso de colmatación de la laguna, así como a una disminución en el área lagunar (

Figura 22); la pérdida de capacidad hídrica puede estar atenuada por los recientes trabajos de dragado del área de la boca lagunar (ver Figura 1).

En la Figura 23 se presentan los mapas del área de inundación para tirantes hidráulicos de -2 a 2 msnm. Basados en el MDT y los tirantes de agua mostrados en la

Tabla 11; se observa que los tirantes de 1 y 2 msnm inundan la totalidad el vaso lagunar y la zona baja en el suroeste que linda al estero; cuando el espejo de agua se encuentra al nivel medio del mar solo se inunda el vaso de la laguna, mientras que, con una elevación de -1 msnm se reduce el perímetro mojado lagunar quedando áreas expuestas a la desecación. Por otro lado, con la actual batimetría y en un escenario hipotético en el que se presentara una elevación -2 msnm o menor se tendría pequeños cuerpos de agua aislados, principalmente en la zona noreste del estero.

El tiempo de relleno hidrodinámico lagunar se determinó por medio de la ecuación 11.

$$T_r = \frac{V_A}{Q_b} \quad (11)$$

donde T_r es el tiempo de relleno hidrodinámico. V_A es el volumen de la laguna, Q_b es el caudal de entrada.

Por ejemplo, para un periodo de retorno de 2 años el gasto máximo instantáneo es 43.3 m³/s (Figura 21), con un volumen de capacidad de almacenamiento lagunar de 1.53x10⁶ m³ (Figura 23) se tiene un tiempo de relleno hidráulico de 9.8 h, este tiempo se incrementa bajo un régimen de escurrimiento normal por ejemplo, el caudal del mes de septiembre de 3.6 m³/s tendría un tiempo de relleno hidráulico de 5 días.

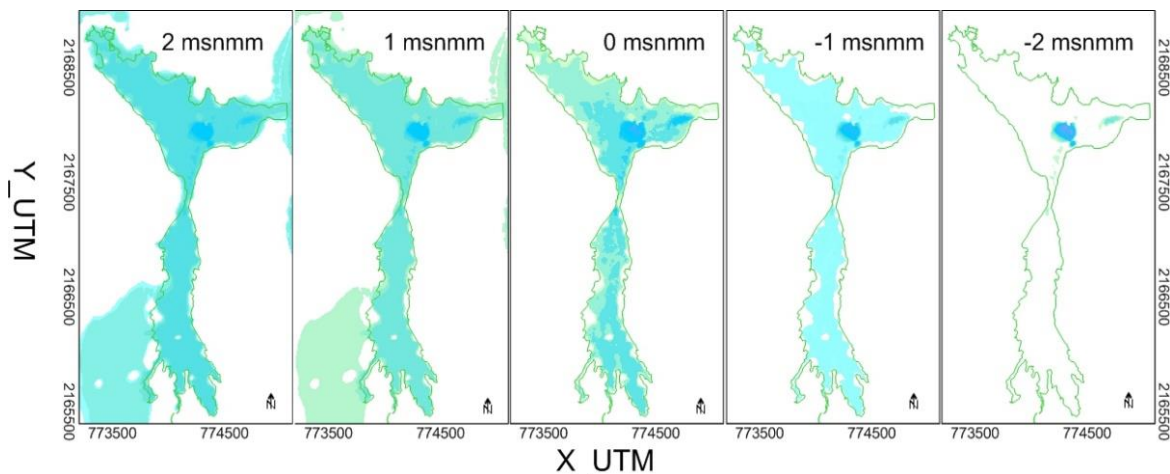


Figura 23.- Evolución de las zonas de inundación para un tirante hidráulico que va de -2 a 2 msnm, en La Mancha, Ver. Elaboración propia, a partir de la anidación de datos de terreno LIDAR con una resolución de 5 m y datos medidos en campo (batimétrico y topográfico) en noviembre 2014.

Con la información obtenida en esta sección y bajo un escenario donde el canal de comunicación de laguna-mar estuviese cerrado y la laguna recibiera solo aporte de agua superficial con el gasto anual medio ($1.27 \text{ m}^3/\text{s}$) la laguna se llenaría en 22 días. Por diferencias de presiones entre el mar y la laguna tomando como referencia el nivel medio del mar la laguna tendría la capacidad de romper la barra de arena que obstruye la boca. De debe considerar que esta estimación no considera el gasto usado en riego y los hogares, tampoco la evaporación del vaso lagunar. Como ya se mencionó el volumen de almacenamiento de la laguna es similar al reportado por Villalobos en 1984, este almacenamiento afín podría deberse a las acciones de dragado en la laguna y a la limpieza de los canales lo que ha permitido según lo reportado mayor dinamismo, estas acciones no ha sido de todas certera debido a que en el caso de dragado el sedimento se colocó en la parte sur de la playa lo que provoca que en vientos del sur y corrientes se regrese nuevamente parte del sedimento provocando azolve en la laguna, la limpieza de los canales de acceso es una actividad a la que no le dieron continuidad.

Observaciones

- Se desplaza el 85% del volumen de agua cuando la boca se abre y se reduce el tirante de agua 1 m.
- Reducción en la capacidad de almacenamiento de aproximadamente de $6 \times 10^4 \text{ m}^3$ en 30 años
- Niveles inferiores a -1 msnm resultan críticos para los ecosistemas, que gran parte de la superficie lagunar quedaría expuesta a la desecación, afectando a ecosistemas dependientes de la inundación (mangle, halófitos, peces, etc.).
- La capacidad del vaso lagunar referido al nivel medio del mar es de $1.54 \times 10^6 \text{ m}^3$
- El volumen de escurrimiento superficial es suficiente para romper el canal de comunicación entre el mar y la laguna.

4.3 Clima marítimo

Entre los principales agentes causales de la circulación y transporte hídrico y sedimentario en la laguna se encuentran: la marea diurna, oleaje y viento estos últimos varían de acuerdo con la época de secas, ciclones (lluvias) y nortes. Para entender los procesos en la zona se realizó una caracterización de dichos forzamientos.

Las corrientes producidas por el viento contribuyen a la generación y propagación de oleaje, al transporte de material terrígeno y sedimentario asociado a la erosión y al azolve, genera procesos de mezcla en el cuerpo lagunar debido al esfuerzo tangencial de cizalle que se aplica en la superficie, incrementan la evaporación y apilan agua en dirección al que soplan. Un proceso por considerar es el viento local cuando la boca lagunar se encuentra obstruida por una barrera de arena ya que se genera sobreelevación del mar y el desplazamiento de la zona de rompiente hacia la barrera litoral provocando rebase en la zona estrecha de la barra. Por lo tanto, el flujo de agua en la barrera y el rompimiento del oleaje modifican el perfil desencadenado en la ruptura de la boca lagunar, el periodo del evento condiciona la formación del canal mar-laguna y la marea su permanencia (Liu et al. 1993).

El oleaje es uno de los principales agentes modificadores de la línea de costa debido a los procesos que se generan por someramiento. Algunos de estos efectos son: suspensión de sedimento en la columna de agua por la rotura y corrientes que pueden transportar grandes cantidades de sedimento en dirección longitudinal y transversal.

La marea es la variación temporal en la posición en la vertical de la superficie libre del agua con respecto a un nivel de referencia, causada por externos o internos. En las lagunas se puede generar marea por los astros (marea astronómica), el viento y el gradiente de presión (marea meteorológica), así como por la diferencia de densidad provocada por temperatura y/o salinidad. Siendo la marea astronómica uno de los principales forzadores que rigen la dinámica lagunar.

4.3.1 Vientos

Los datos de viento se obtuvieron de la estación meteorológica LMBV4 ubicada en las coordenadas 19.594 N 96.379 W con una elevación de 9 msnm en la localidad de La Mancha, para el periodo 2013-2015. La dirección y velocidad de viento están promediadas cada 10 minutos.

De acuerdo con la escala de Beaufort las velocidades <0.5 m/s es estado de calma, <1.5 m/s aire ligero, <3 m/s brisa suave, <4 m/s brisa moderada, <8 m/s brisa moderada, <11 brisa fuerte, <17 viento moderado, <21 viento fresco.

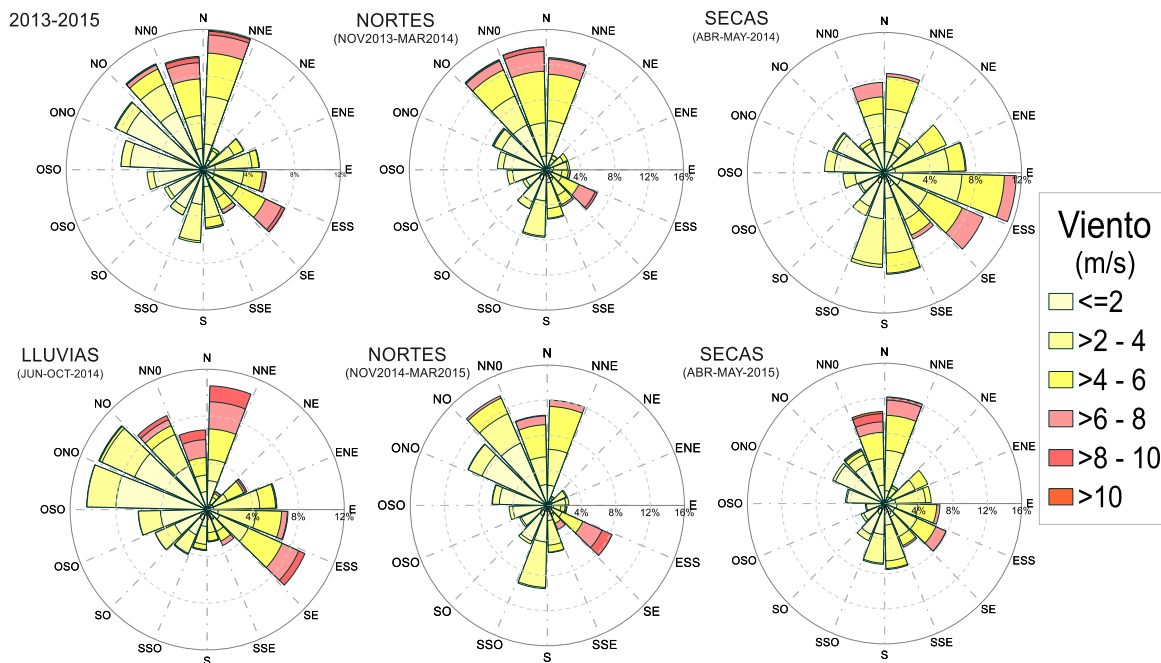


Figura 24.- Rosas de viento para periodo 2013-2015 y temporadas de nortes, secas y lluvias, estación. LMBV4.

En la gráfica anual (2013-2015) se presentan con más frecuencia vientos de calma a moderados (2.8 m/s) del cuadrante N (22%), NNE (13%), NNO (13%), ESS (14%), seguidos por las brisas fuertes (10 m/s) provenientes del NNO, N y ESS y con menor frecuencia viento moderado a fresco del NNO y NNE. Mientras para la época de nortes la intensidad va de moderada a viento fresco provenientes del NO (11%), NNO (28%), NNE (15%) y SSE (13%) asociada al paso de sistema de presión procedentes del atlántico Norte. A su vez, en época de secas se observa mayor dispersión en las direcciones con una componente principal de E (16%), ESS (20%), SSE (17%) y NNE (12%) con brisas moderadas y una media mensual de velocidad de 2.9 m/s. Por último, en la estación de lluvias se tienen vientos reinantes del NO (22%), ONO-OSO (19%) asociados a los meses de verano con un régimen de brisas (2.4 m/s), con una menor frecuencia se presentan viento moderado de ESS (10%) y SE (16%) generado por los ciclones tropicales que se forman en el Golfo de México en esta temporada (Figura 24).

Observaciones

- En la Mancha se presentan con mayor frecuencia vientos de calma a moderados (2.8 m/s) del cuadrante N (22%), NNE (13%), NNO (13%), ESS (14%).
- Se observa el cambio de dirección réinate de acuerdo con las épocas de secas, nortes y lluvias.

4.3.2 Oleaje

Para el análisis de oleaje en La Mancha, se estimó la probabilidad conjunta de la altura significativa (H_s), periodo pico (T_p) y dirección de oleaje (Dr), las rosas direccionales y la probabilidad de excedencia; anual y por temporada seca (abril-mayo), lluvia (junio-octubre) y nortes (noviembre-marzo) donde se tenían datos de campo de la laguna. Se usaron datos del 1ro enero 2013 a 31 de agosto 2015 del nodo (19.667,-96.3333) de la malla de oleaje del modelo WAVEWATCH III (WWIII), el cual está a 10.1 km con dirección 27.71° al norte de la laguna.

El modelo WWIII (Tolman 1997, 1999) es de tercera generación, creado por la NOAA/NCEP (WAMDIG 1988, Komen et al. 1994) y permite simular la generación y propagación de espectros de olas con base en los datos de viento, considerando los procesos de generación, interacciones no lineales, disipación por whitecapping y fricción de fondo.

En este trabajo se considera un estado de mar como un fenómeno físico donde las características externas que influyen a este permanecen constantes por un periodo de tiempo. El régimen medio como el grupo de estados de mar que ocurren con mayor frecuencia.

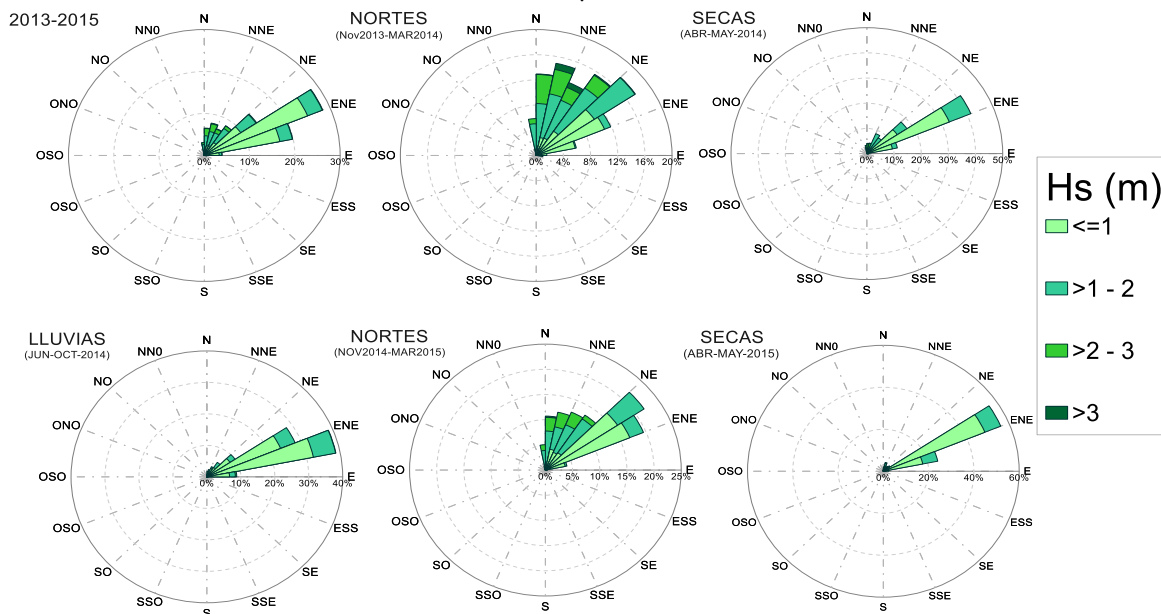


Figura 25.-Rosa de oleaje de altura para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. Datos tomados de del modelo WW II en el nodo (19.667,-96.3333).

El oleaje reinante en la zona tiene H_s de 0.9 m con T_p de 6.1 s y dirección de 62° NE. En la Figura 25 y Figura 26 se presentan las rosas de oleaje de H_s y T_p , se observa que en nortes el oleaje más energético proviene del N y NNE, en secas el oleaje tiene una dirección ENE

con Hs de ~1 m y periodos de 6 a 8 s y en época de lluvias presenta NE y ENE con Hs de 1 m con Tp de 4 y 6 s.

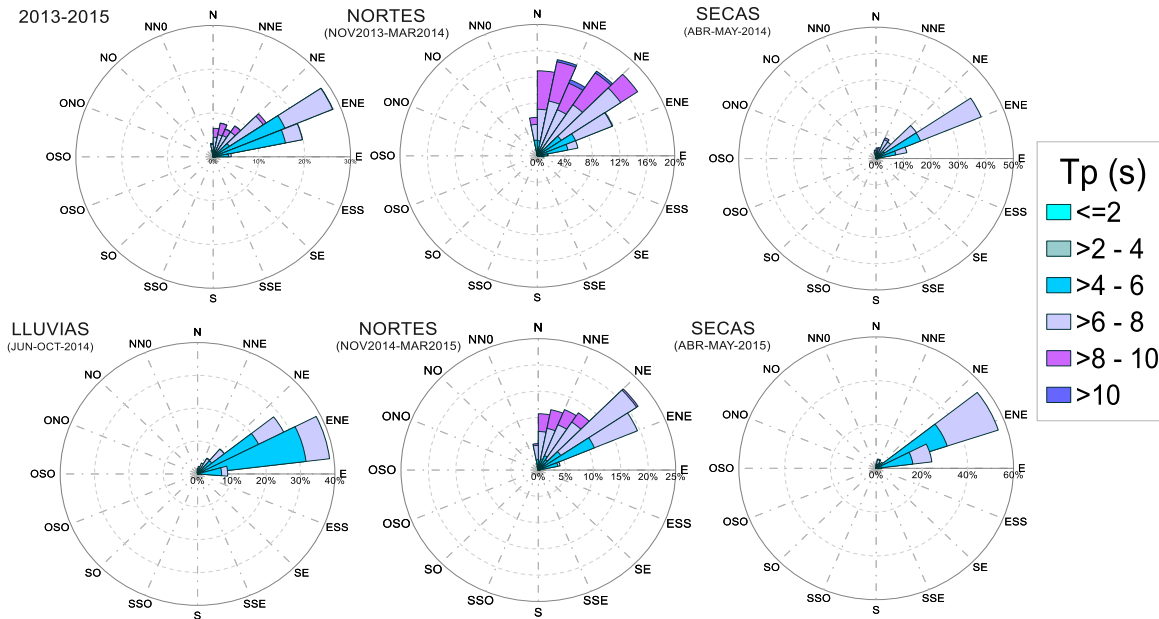


Figura 26.- Rosa del periodo pico de oleaje para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. Datos tomados de del modelo WWV II en el nodo (19.667,-96.3333).

En la Figura 27 se presenta la probabilidad conjunta de Hs y Tp en frecuencia. A su vez, la Figura 28 es de probabilidad conjunta de Hs y Dr en frecuencia, para los periodos mencionados.

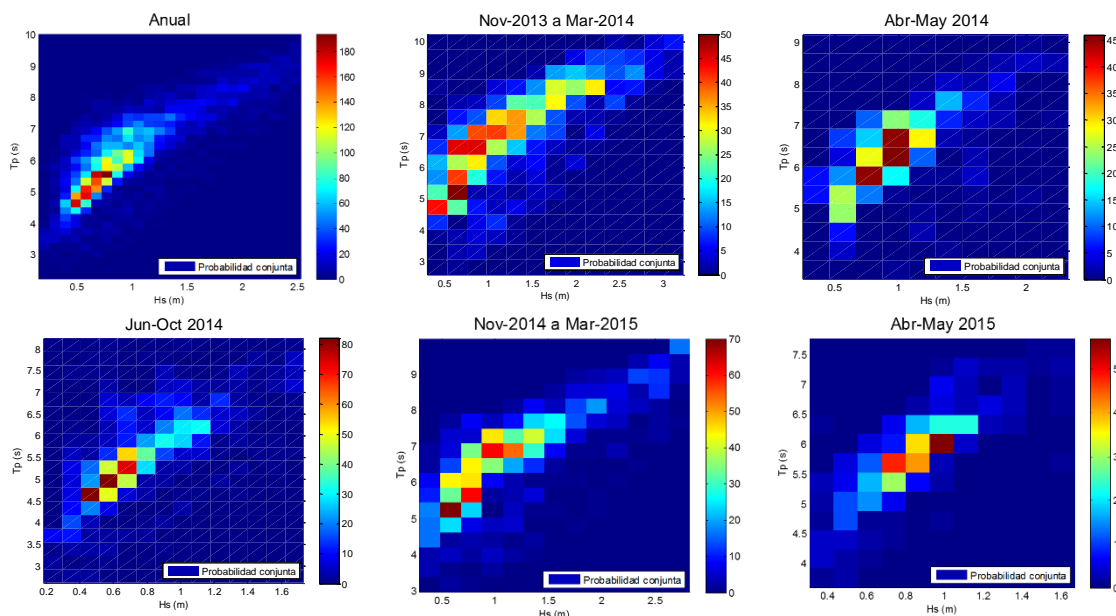


Figura 27. Probabilidad conjunta de Hs y Tp, para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. La barra de color indica la frecuencia de ocurrencia de cada combinación. Datos tomados de del modelo WWV II en el nodo (19.667,-96.3333).

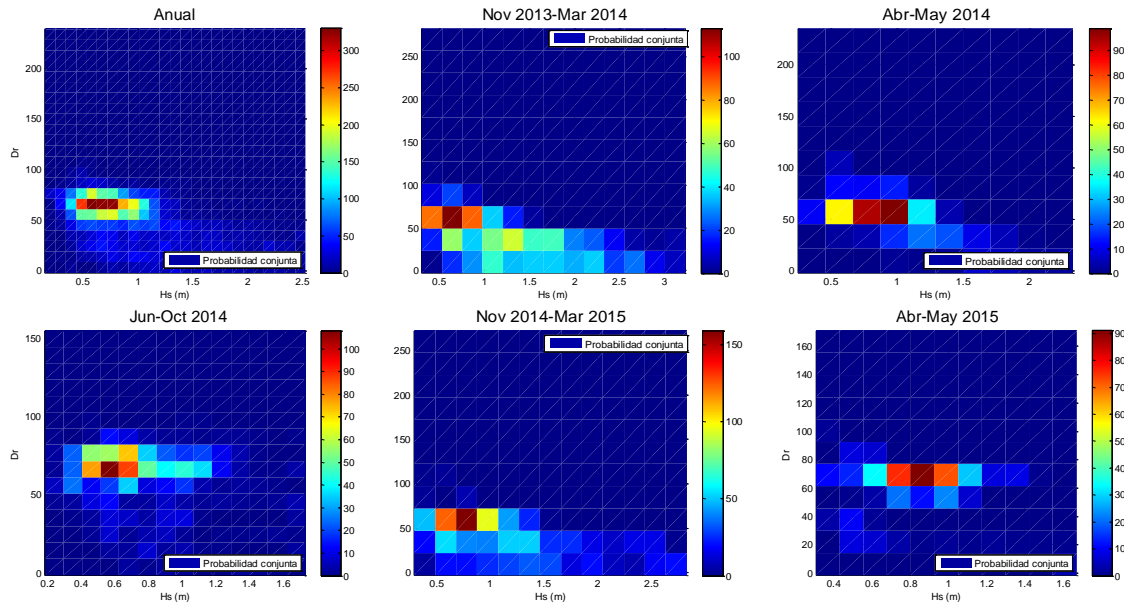


Figura 28. Probabilidad conjunta de Hs y Dr, para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. La barra de color indica la frecuencia de ocurrencia de cada combinación. Datos tomados de del modelo WVV III en el nodo (19.667,-96.3333).

Con base en el análisis de probabilidad conjunta se extrajeron los estados de mar que se presentan con mayor frecuencia en cada temporada de interés, los resultados se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Estados de mar por temporada de nortes, secas y lluvias para el periodo de nov-13 a feb-15

Nov-2013 a Mar-2014			Abr- May-2014			Jun-Oct2014			Nov-2014 a Mar 2015		
Hs	Tp	Dir	Hs	Tp	Dir	Hs	Tp	dir	Hs	Tp	Dir
0.6	5.2	62	0.98	6.24	57.2	0.460	4.64	66.2	0.391	4.4	50
0.4	4.7	62	0.98	6.69	57.2	0.571	4.96	66.2	0.586	5.2	60
0.9	6.4	62	0.77	5.79	57.2	0.681	5.27	76.6	0.781	5.6	60
1.1	7.1	10	0.56	4.8	57.2	0.792	5.58	66.2	0.976	6.5	60
1.55	7.6	48	1.18	7.14	57.2	1.12	6.21	66.2	1.36	7.3	34
2.2	8.6	10	1.81	8.04	10				2.73	9.8	20

La probabilidad de excedencia (PE) es cuantificar la posibilidad que al menos una vez se presente un evento de ciertas características.

$$P(Hs > h) = \frac{1}{T} \sum_i \Delta t_i(h) \quad (12)$$

donde $\Delta t(h)$ es el intervalo de tiempo en el que Hs excede un determinado valor y T es el tiempo total.

En la Figura 29 y Figura 30 se presenta la PE de Hs y Tp con escala cero a uno. La PE anual comprende el periodo 2013-2015, así como, la PE en la temporada de seca (abril-mayo), lluvia (junio-octubre) y nortes (noviembre-marzo) donde se realizó muestreo de campo en la laguna.

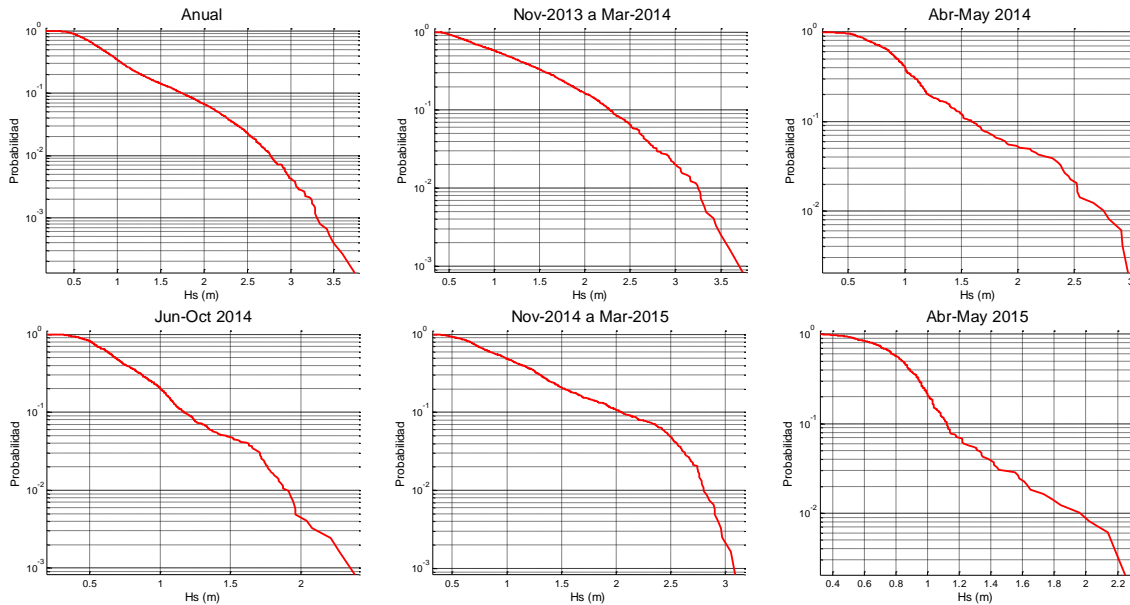


Figura 29. Probabilidad de excedencia de H_s para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. Datos tomados de del modelo WVW III en el nodo (19.667,96.3333).

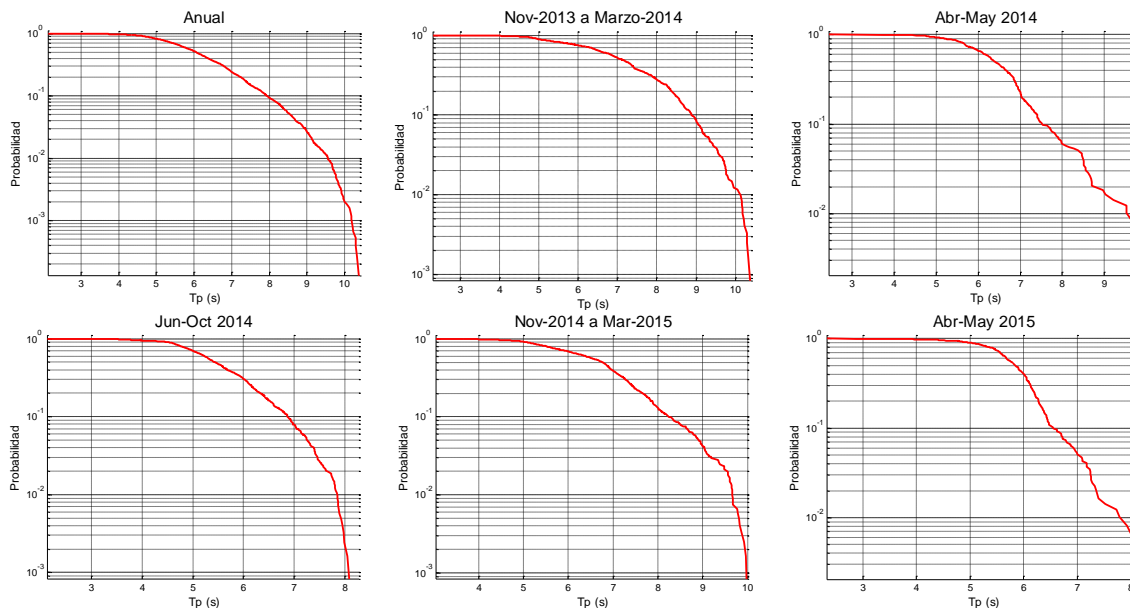


Figura 30.- Probabilidad de excedencia de T_p para la serie de oleaje (2013- 2015) y las temporadas de nortes, lluvias y secas en La Mancha, Ver. Datos tomados de del modelo WVW III en el nodo (19.667,-96.3333).

Observaciones

- El oleaje más energético proviene del norte con $H_s > 2$ m con T_p asociado de 8 s.
- El oleaje reinante en la zona proviene principalmente de ENE y tiene $H_s < 1$ m con T_p de ~5 s.
- En nortes es cuando se presentan las mayores alturas de ola, y época de secas y lluvias los temporales con menor altura, pero se debe recordar que en la época de lluvia coincide con la época de ciclones tropicales por lo que esta condición solo aplica en el periodo analizado.

4.3.3 Marea astronómica

Dado que no existe un mareógrafo en La Mancha en este trabajo se utilizó el módulo marea de la plataforma de modelación DELFT3D (TIDE) para la propagación de la marea a la boca de la laguna.

Se usaron como componentes mareales de control las estaciones: Siboney, Tampico, Veracruz, Coatzacoalcos, Campeche, Progreso y IAPSO. Y se construyeron 3 mallas de cálculo: la primera malla del golfo de México (GM) cuenta con 26895 siendo de 165 x 163 elementos con una resolución de 0.1°; la segunda malla corresponde a la zona central de estado de Veracruz (Ver) tiene un dominio de 109461 celdas de 341x321 con una resolución de 0.01°; la tercera malla anidada corresponde a la cuenca La Mancha (LM) con una resolución de 0.001 con 1681 celdas de 41x4 (ver Figura 31-a y Figura 31-c).

Para las mallas GM y Ver se utilizó datos de batimetría del modelo GEBCO 08 empleando el módulo QUICKIN de Delft3d (Figura 31-b). Para la malla LM se realizó una combinación de información batimétrica del modelo GEBCO 08 y datos medido in situ laguna La Mancha en la zona costera del agosto de 2014 (ver Figura 31-d).

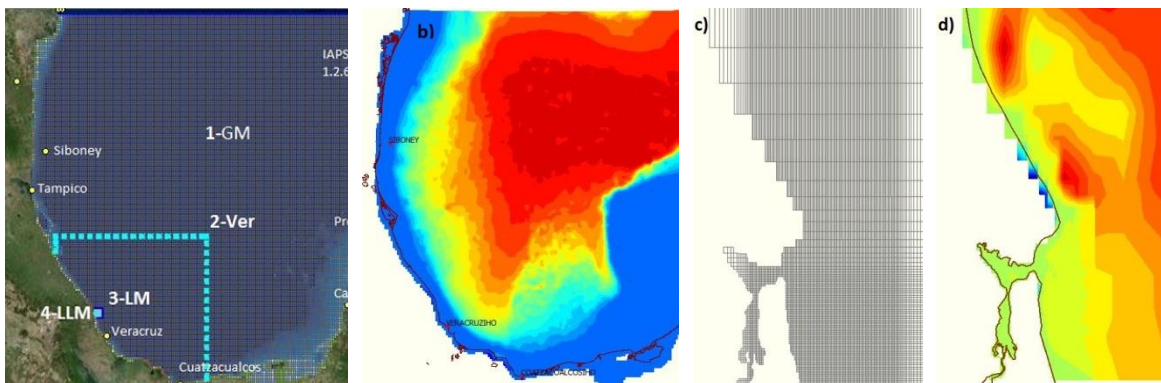


Figura 31- Mallas anidadas para el modelo de la hidrodinámica de laguna La Mancha. a) Golfo de México (GM) con 0.1° de resolución; Veracruz (Ver) de 0.05 grado; La Mancha (LM) de 0.001° de resolución; con estaciones de mareógrafo Tampico, Veracruz, Coatzacoalcos; Progreso, Simboney, IAPSO. b) vista de la malla LLM. b) Batimetría GEBCO 08 para el golfo de México. C) malla de cálculo de la laguna y la zona costera de La Mancha. d) Batimetría de laguna La Mancha.

Se empleó como condición de fronteras abiertas los componentes de marea astronómica del golfo de México mediante el módulo de marea de Delft3d el cual utiliza los modelos TPXO 6.2 y TPXO 7, dando como resultado el nivel de agua en serie de tiempo las cuales se utilizaron como condición de frontera en las mallas anidadas Ver, LM. Por otro lado, se partió de una condición inicial de nivel de agua cero en las mallas GM, Ver y LM.

Para el modelo GM el periodo de simulación fue de tres meses con un paso de tiempo de 15 minutos con un tiempo de calentamiento de 10 días. En el modelo Ver el tiempo de calentamiento es en promedio 3 días con un paso de tiempo de 15 minutos y las condiciones

de fronteras fueron provistas por el modelo GM para Ver; para el modelo LM se utilizaron los resultados de la simulación de Ver con un paso de tiempo de 5 min.

Para validar los resultados del modelo se utilizaron los niveles de la superficie libre de agua en las estaciones de control en los meses de octubre y noviembre del 2014, se hizo una comparación de nivel de agua resultante del módulo de marea y los niveles medidos en 7 puntos de control (Veracruz, Progreso, Coatzacoalcos y boya IAPSO) de la Figura 31-a). Encontrando que la modelación es consistente con los datos observados en los 7 puntos de calibración que se presentan en la Figura 31-a con un coeficiente de determinación r^2 de 0.97 (Figura 32).

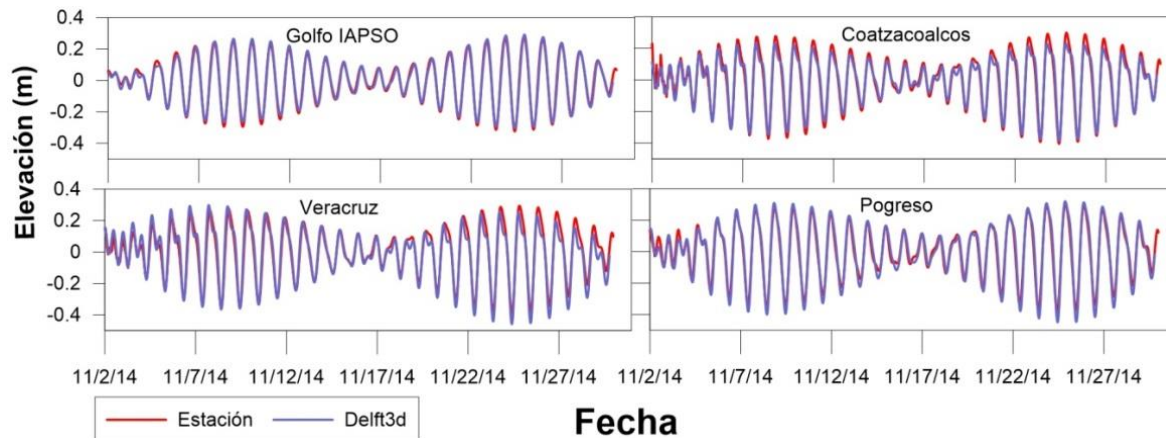


Figura 32- Calibración del modelo Delft3d del 2al 30 de noviembre del 2014. Predicción con el modelo Delft3d y datos de las estaciones Coatzacoalcos, Veracruz, Progreso, Golfo IAPSO de la red de la organización hidrográfica internacional (IHO).

En la Figura 33 se presenta la marea para la boca de laguna La Mancha del 20 de octubre a 30 de noviembre del 2014, que según datos de SEMAR es cuando se dan las máximas de marea. La marea de la laguna es diurna mixta con un rango de ~ 0.69 m.

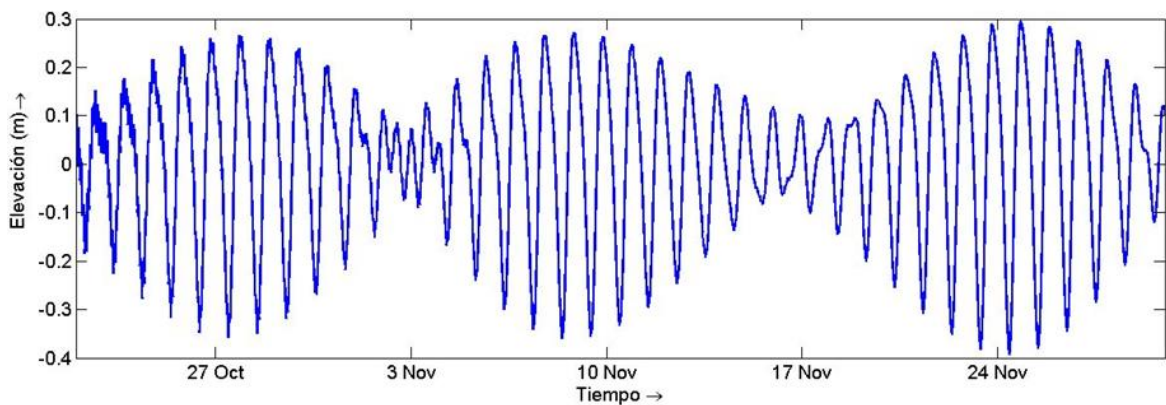


Figura 33. Predicción de marea para laguna La Mancha del 20 de octubre al 31 de noviembre del 2014, resultados del modelo Delft3d.

4.4 Paisaje de cuenca La Mancha

El conocer el paisaje ofrece una visión integral de la zona de interés, ayuda a ver los sistemas fragmentados, modificados y conservados, así como a entender la dinámica del entorno. Para este análisis se consideró el área de la cuenca hidrológica (Figura 16) y se utilizó la información vectorial de uso de suelo nacional proporcionada por CONABIO a través de su portal web. Dado que la información presentada es de tipo cuantitativa-cualitativa se presenta al final de la sección un análisis FODA, la cual es una metodología ampliamente usada para analizar las ventajas, desventajas, oportunidades y amenazas de un sistema.

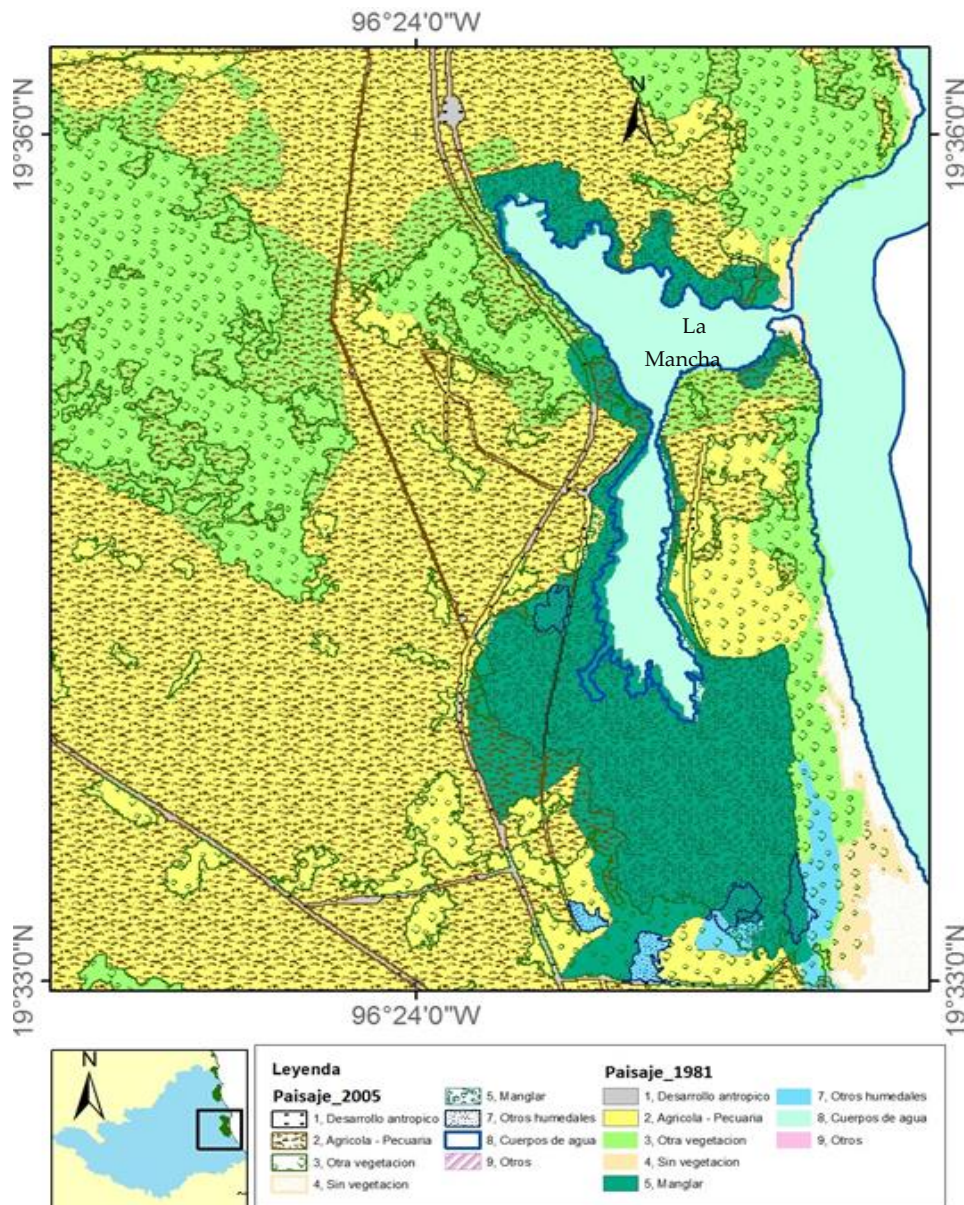


Figura 34. Paisaje y vegetación de La Mancha, Veracruz 1981-2005. Fuente de información CONABIO, elaboración propia, 2015.

Dada la interconexión del sistema, ambientes, procesos y comunidad. El paisaje se compone por una superficie de 9650 ha sin contar el área del estero. Su composición se ve marcada por vegetación natural (mangle, tular, selva caducifolia, pastos marinos, etc.) y trasformada (maíz, caña, mango, pastizales, etc.), humedales en la periferia lagunar y actividades como ganadería y desarrollo antrópico (Figura 34 y Figura 35).

En la Figura 34 se presenta la composición del paisaje en 1981 y 2005. En 1981 el 56 % de la superficie era destinada a ganado y agricultura, 33% vegetación, 4% manglar, 1.7% desarrollo antrópico, 0.3% humedales y el 13 % no tenía vegetación. En 2005 el 54.5 % del paisaje era de ganadería y agricultura, 31 % vegetación, 2.9 % bosque de mangle. Se observa la asociación de la zona agrícola-pecuaria con suelo faeozem háplico y vertisol (Figura 13) debido a su alto contenido de materia orgánica. El suelo regosoles calcáricos se caracteriza por no ser estable por lo que predomina en las zonas sin vegetación.

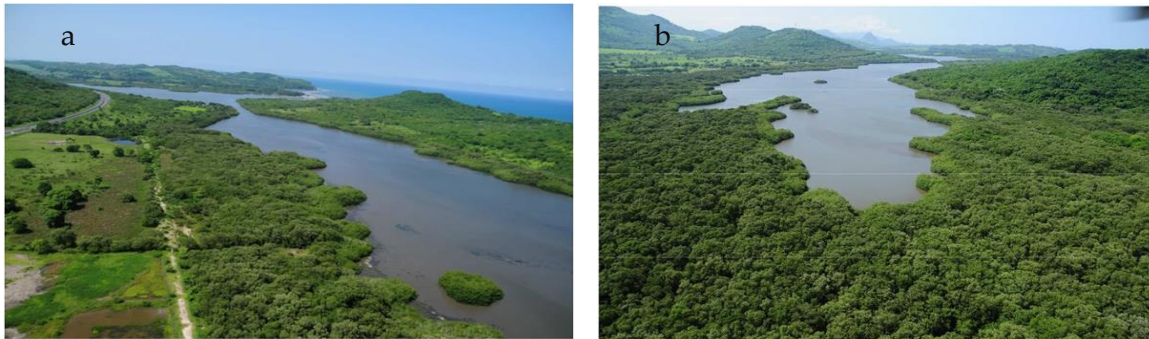


Figura 35. Vista aérea de laguna La Mancha. a) zona Oeste de laguna La Mancha; b) entrada del arroyo Caño Gallegos, en la zona sur de Laguna La Mancha. Fotografías tomadas del portal fotográfico CONABIO-SEMAR / Acosta-Velázquez, (2008).

En la Figura 35 a) se observa el paisaje circundante al cuerpo estuarino compuesto por brechas dentro del bosque de mangle, casas habitación, deforestación y una sección de la carretera Emilio Carranza-Cardel N° 180. La Figura 35 b) muestra el vaso sur del estero rodeado de un bosque de mangle y la entrada del arroyo Caño Gallegos y Sándalo.

Según datos reportados por Travieso-Bello (2006) la vegetación trasformada está compuesta por un 31 % de acahuals, 50% de pastizales cultivados para ganadería bovina y cultivos de maíz, caña y mango ocupan el 17 % de territorio.

4.4.1 Cambio de uso de suelo 1981-2005

Es importante evaluar el cambio en el uso de suelo de la cuenca, ya que, el crecimiento de las comunidades humanas y el desarrollo social, productivo y tecnológico son la génesis para actividades de deforestación, ganadería, agricultura, desarrollo urbano y turismo; las cuales pueden generar desertificación, contaminación y pérdida de suelo y agua que repercute en los procesos cuenca abajo en el ecotono lagunar, marino y terrestre.

Recapitulando, los cambios en el uso de suelo afectan la **calidad, cantidad** y **ecología** del cuerpo de agua. Los efectos por dichas alteraciones pueden ser: incrementar el azolve; disminución de volumen y área del cuerpo lagunar; aumento en la turbidez, temperatura, evaporación, nutrientes, contaminación, sólidos disueltos; desecación, desertificación; reducción del manto freático y eutrofización.

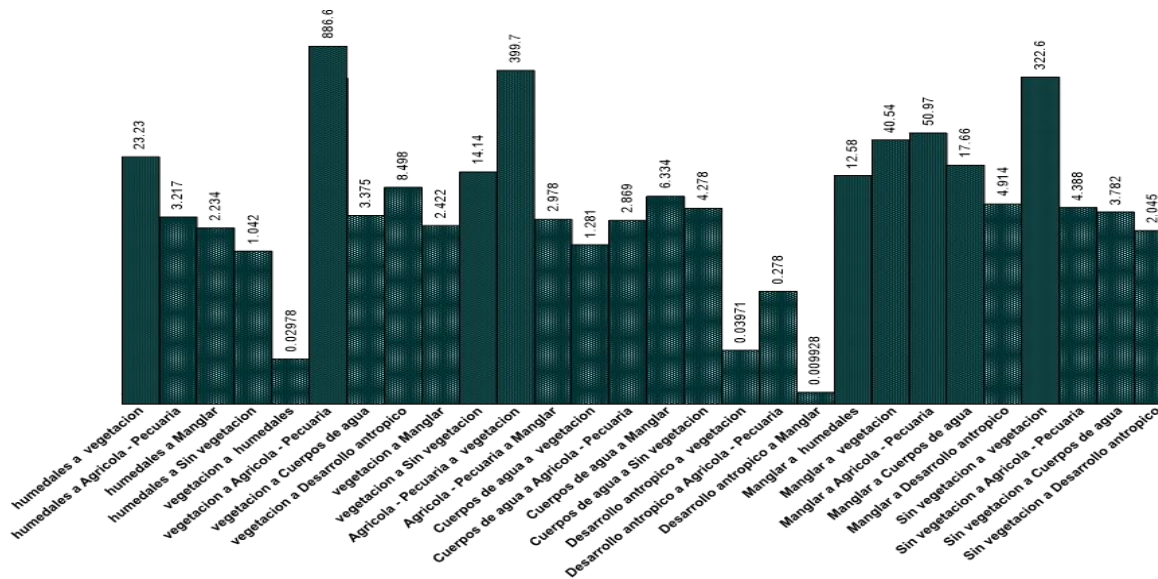
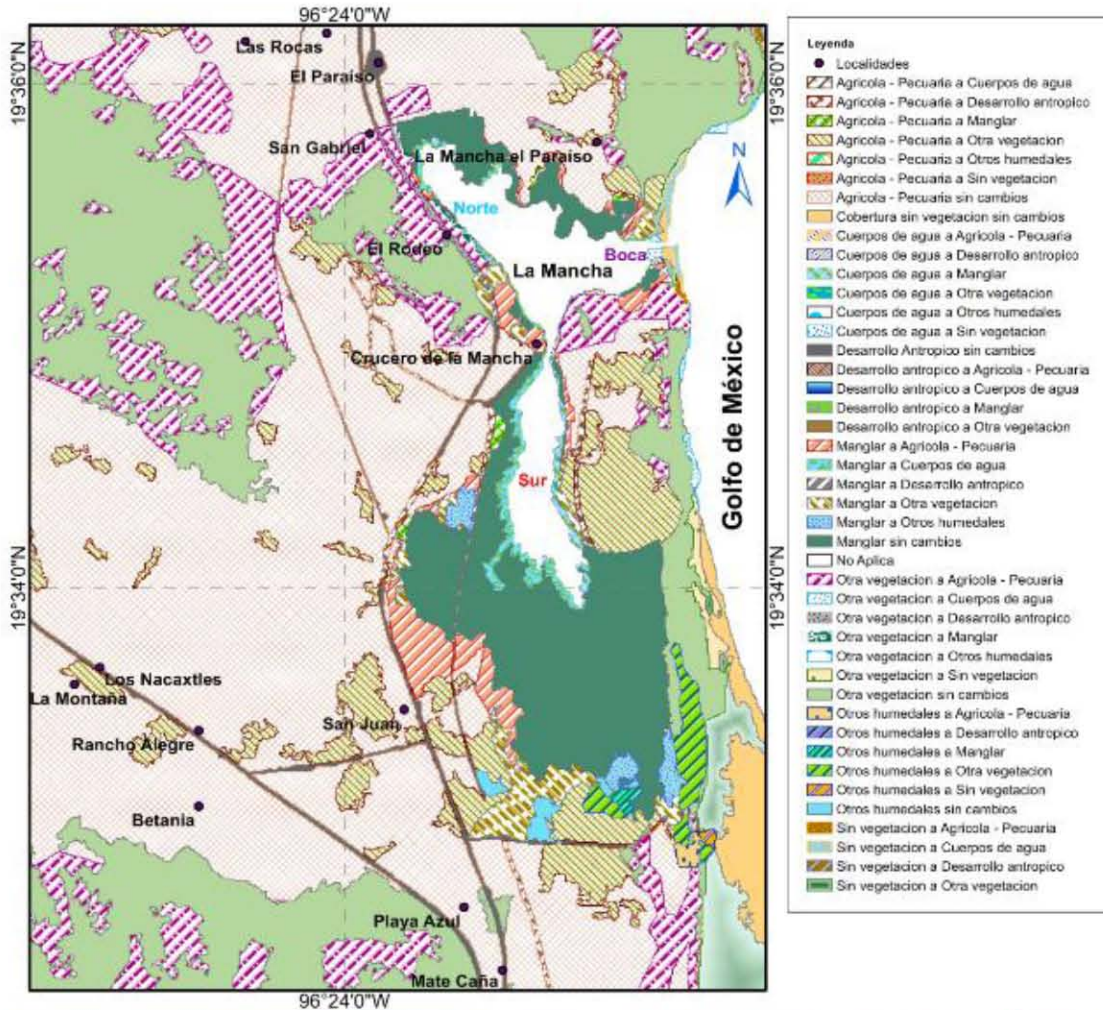


Figura 36.- Cambio de uso de suelo en la cuenca La Mancha, para el periodo 1981-2005.

En la Figura 36 se observa que el cambio más importante de uso de suelo en el periodo 1981-2005, se da por la actividad agrícola-pecuaria con una ganancia neta de territorio de ~100 ha cubriendo 5221 ha de la cuenca. La vegetación modificada y natural disminuyó ~200 ha abarcando 3050 ha de superficie. El manglar perdió un área de ~100 ha, esto principalmente al incrementar la superficie d agrícola-pecuario y de humedales los cuales son utilizados para pastoreo de ganado bovino. El desarrollo antrópico incrementó 87 ha para un total de 181 ha de cobertura. Cabe destacar que los datos de uso de suelo de CONABIO del 2010 indican una cobertura de 1070 ha de desarrollo antrópico.

La Figura 37 presenta el mosaico de cambio de uso de suelo en las zonas aledañas al cuerpo lagunar, la mayor presión antrópica se observa en la zona este y oeste a la altura de

la localidad Crucero La Mancha, así como, al sur del estero en las localidades Playa Azul y San Juan. Se ve poca conectividad de los polígonos de mangle de la periferia lagunar. En la zona de la boca lagunar se observan importantes cambios de uso de suelo, principalmente a la actividad agrícola pecuaria y desarrollo antrópico.



5
Figura 37. Cambio de uso de suelo de periodo 1981-2005, La Mancha, Veracruz. Datos de CONABIO, elaboración propia.

Observaciones

- El paisaje en la cuenca La Mancha está compuesto por la laguna costera, el bosque de mangle, humedales, dunas, playa, promontorios rocosos, colinas, selvas, diversos sustratos y una red fluvial desarrollada.
- El paisaje natural se encuentra fragmentado y modificado por actividades antropogénicas como la ganadería, agricultura, pesca, turismo, desarrollo antrópico, etc.
- Gran parte de la vegetación aguas arriba de la laguna es vegetación transformada por cultivos de maíz, caña, mango y pastizales.
- Zonas de humedales y otros tipos de vegetación son utilizados para actividades ganaderas, principalmente de ganado bovino.
- La actividad agrícola-pecuaria es la que más ha modificado el entorno de la cuenca, afectando principalmente a la selva baja caducifolia.
- De 2005 a 2010 se vio un rápido crecimiento de desarrollo antrópico en la cuenca.
- La periferia lagunar esta modificada y presenta un paisaje rayado debido al desarrollo antrópico, turístico, ganadero y agrícola en los límites. La mayor presión se observa en la zona este y oeste a la altura de la localidad Crucero La Mancha, se pueden ver dentro del bosque de mangle: brechas, casas habitación, terrenos agrícolas, ganado y deforestación.
- El bosque de mangle al sur de la laguna es la que presenta menos perturbación antrópica.
- Para estrategias de manejo se debe tener en cuenta que mayor desarrollo antrópico el ecosistema representa mayor presión en este.

En la Tabla 13 se presenta el análisis FODA del paisaje de la cuenca.

Tabla 13. Análisis FODA del paisaje de la cuenca La Mancha.

Fortalezas	Debilidades
Paisaje compuesto por variedad de ecotonos	Paisaje fragmentado
Conocimiento científico de la flora de la cuenca	Agricultura expansiva por monocultivos
Baja perturbación en algunos polígonos de mangle	Incremento de la infraestructura urbana en los últimos años
Baja infraestructura	Disminución de área de la vegetación local.
	Periferia de la laguna perturbada antropogénicamente
Oportunidades	Amenazas
Conservación de los nichos ecológicos con baja perturbación	Disminución del volumen efectivo de los cuerpos de agua
cambio del paisaje para restablecer el paisaje original-	Desecación y desertificación del suelo
	Perdida de territorio y fertilidad del suelo
	Contaminación de suelos y subsuelo
	Azolve cuenca abajo y eutrofización del sistema

4.5 Biota de la cuenca La Mancha

En esta sección se realizó una revisión bibliográfica de la información sobre la biota en la cuenca La Mancha, incluyendo artículos, boletines, portales web, reportajes periodísticos, tesis, etc. La información que se presenta tiene un sesgo hacia la fauna lagunar debido a los alcances de esta tesis. Al igual que en la sección del paisaje se emplea el análisis FODA para detectar ventajas, desventajas, fortalezas y amenazas del estado actual de la biota.

4.5.1 Flora

La diversidad en comunidades vegetales en la cuenca, según datos de Infante (2004) es de selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, selva baja caducifolia inundable. Miranda y Hernández (1963) reportan comunidades de manglar, palmar, vegetación riparia, ruderal y de dunas costeras, tular-popal, acahual, y pastizal; también se tiene presencia de humedales herbáceos y arbóreos de agua dulce. En cuanto a la vegetación transformada Travieso-Bello et al. (2006) indican la presencia de malezas, cultivos agrícolas, pastizales, matorrales y reporta la selva baja caducifolia como el ecosistema más modificado por la actividad agrícola-pecuario, al ser predominante en la cuenca (Travieso-Bello, 2000). Por otro lado, la zona marina se caracteriza por la presencia de algas, pastos y una pequeña zona arrecifal (Travieso y Moreno, 1998).

El manglar ocupa un área aproximadamente de 190 ha, con un rango de altura de 5 a 15 m. Las especies que se encuentran en la zona son *Rhizophora mangle* (mangle rojo) *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo) (Novelo, 1978, Rico-Gray, 1978; Hernández y López, 1998) (Figura 38). La periferia de laguna está dominada por *Avicennia germinans* (Rico-Gray y Lot, 1983).

En el periodo 1981-2010 se redujo el área cobertura de mangle un 33.8% de 398 ha a 263 ha. En superficie de mangle del 2005-2010 se perdieron 31 ha y se ganaron ~8 ha de las cuales 0.3 ha pasaron de Agrícola-Pecuaria a Manglar.

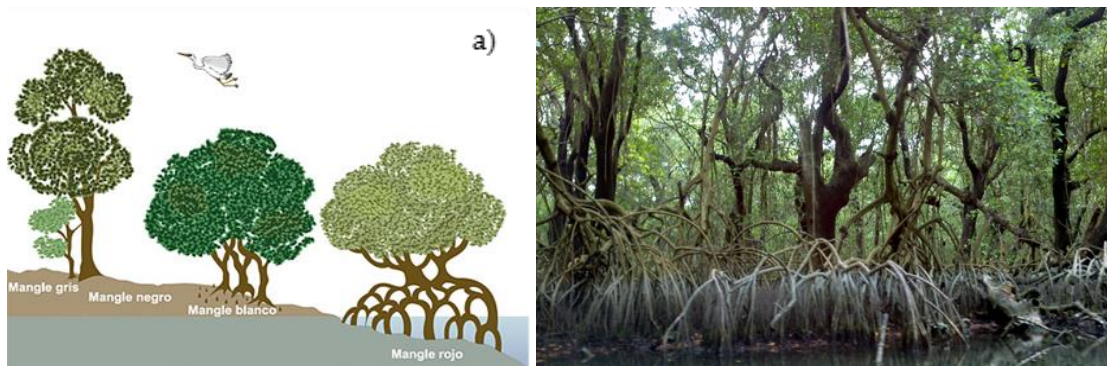


Figura 38. a) Árbol tipo de las cuatro especies de mangle de laguna La Mancha (Tipos de mangles (<http://www.stri.si.edu>). b) Bosque de mangle en laguna la Mancha.

El campo de dunas al norte de la playa es habitat de especies de plantas endémicas fijadoras de dunas como *Chamaecrista chamaecristoides* y *Palafoxia lindenii* (Moreno-Casasola et al. 2011a).

4.5.2 Fauna

La diversidad de fauna en la cuenca ha sido estudiada por diversos autores desde 1963. Dado los alcances de este trabajo solo se mencionarán las especies en peligro de extinción, emblemáticas o endémicas, y se evocara a las especies acuáticas estuarinas principalmente aquellas con valor económico.

González-Romero y Lara-López (2006) hizo una recapitulación de los diversos estudios que se han efectuado en la cuenca sobre anfibios, reptiles y mamíferos, a su vez realizó un estudio en la zona. Encontrando 12 especies de anfibios, 36 de reptiles y 52 de mamíferos. En la Tabla 14 se presenta la distribución de anfibios, reptiles y mamíferos asociados a los ambientes florísticos en la cuenca.

Tabla 14.- Distribución de anfibios, reptiles y mamíferos en relación a los diferentes ambientes presentes en la cuenca de La Macha (tomado de González-Romero y Lara-López, 2006).

GRUPO FAUNÍSTICO	Ambiente							
	SB	SM	DU	MA	VA	PO	HU	CU
Anfibios	7	9	3	4	9	8	3	1
Cocodrilos, tortugas y Saurios	9	10	7	9	6	6	7	5
Serpientes	14	15	9	8	4	9	4	7
Mamíferos pequeños	5	6	4	3	1	6	7	7
Murciélagos	9	12	3	5	3	2	7	3
Mamíferos medianos	13	12	7	8	6	9	5	6
TOTALES	57	64	33	37	29	40	33	29

Los números en las casillas indica el número de especies. Selva baja caducifolia (SB), selva mediana subcaducifolia (SM), dunas costeras (DU), manglar (MA), vegetación acuática (VA), potrero (PO), huertos (HU), cultivos (CU).

Según el estudio González-Romero y Lara-López, (2006) las especies más sensibles a la pérdida de su hábitat son: el sapo borracho (*Rhinophrynus dorsalis*); el tlalconete amarillo (*Bolitoglossa mexicana*); la iguana verde (Iguana iguana); las tortugas de agua dulce (*Trachemys scripta*, *Staurotypus triporcatus*); el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreleti*); la culebra pajarera (*Pseustes poecilonotus*); el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*); el jaguarundi (*Herpailurus yaguarondi*) y el tigrillo (*Leopardus wiedii*). Mientras que, las especies de amplia distribución son el sapo marino (*Bufo marinus*), el tilcampo (*Ctenosaura acanthura*), la boa (*Boa constrictor*), el tilcuate (*Drymarchon corais*), el tlacuache (*Didelphis virginiana*) y el tejón (*Nasua narica*).

En la

Tabla 15 se encuentran las especies de mamíferos, anfibios y reptiles presentes en la cuenca que se encuentran en la NOM-059. González-Romero y Lara-López (2006) hace un listado de las especies en peligro de extinción como: la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), el chupamiel o brazo fuerte (*Tamandua mexicana*), el ocelote (*Leopardus pardalis*) y el tigrillo (*Leopardus wiedii*). También cataloga las especies endémicas: el tilcampo (*Ctenosaura acanthura*) y el huico costeño (*Cnemidophorus guttatus*).

Tabla 15. Especies de mamíferos, reptiles y anfibios de la cuenca La Mancha que se encuentran en la NOM-059.

Nombre común	Especie	Status
Cocodrilo	<i>Crocodylus moreleti</i>	R
Iguana Verde	<i>Iguana iguana</i>	Pr
Iguana Negra	<i>Ctenosaura acanthura</i>	Pr
Tilcampo	<i>Ctenosaura similis</i>	A
Tortuga verde	<i>Chelonia mydas</i>	P
Tortuga lora	<i>Lepidochelys kempi</i>	P
	<i>Trachemys scripta</i>	
Tortuga de agua dulce	<i>Staurotypus triporcatus</i>	Pr
Tlaconete Amarillo	<i>Botiloglossa mexicana</i>	R
Sapo borracho	<i>Rhynophynus dorsalis</i>	R
Oso hormiguero	<i>Tamandua mexicana</i>	A

A: amenazada; R: rara; P: peligro de extinción; Pr: sujeta a protección especial.

Por otra parte Tarabini S. (2006) reporta 44 especies aves acuáticas pertenecientes a 15 familias donde el 51% son aves residentes (garzas, golondrinas, cormoranes, etc.), el 46% migratorias (ibises, cigüeñas, patos, pelícanos, playeros, etc.). Las familias con mayor abundancia son *Ardeidae*, *Charadriidae* y *Scolopacidae*. Según datos reportados el número de especies no presenta una variación significativa en el año, con excepción del mes de octubre, en el que llegan aves migratorias (principalmente *Scolopacidae* y *Charadriidae*) que viajan hacia el sur.

Vargas J. y Ramirez M. (1980) observaron en el cuerpo lagunar pulsos de medusas de nombre común agua mala (*Chrysaora quinquecirrha*) en primavera, otoño e invierno. Estos pulsos se presentan por proceso de estrobilación (reproducción sexual por división) debido a las fluctuaciones de temperatura y salinidad por la abertura y cierre de la barra, y la precipitación pluvial.

Bentos

La comunidad bentónica con mayor abundancia reportada por Aburto-Martínez (1974) se compone por: Crustáceos de orden Isopoda y Amphipoda en el mes de mayo, cangrejo (*Callinectes sapidus*) con mayor abundancia en octubre y noviembre, camarón (*Penaeus aztecus*) en octubre y camarones palemónidos con mayor presencia en junio, julio y octubre. Peces de 12 familias, la especie más abundante en junio es *Anchoa mitchilli* y un pez de agua dulce de la Familia Poecilidae, en agosto, octubre y noviembre se tiene mayor presencia de

mojarras en estado larvarios. Y por el caracol *N. reclinata* que tiene mayor abundancia de los meses de abril a agosto.

Crustáceos

Como parte de la fauna del zooplancton Alvarez-Silva (1988) reporta 12 especies de copépodos, siendo *Acartia tonsa* y *Tortanus setacaudatus* las especies dominantes. Crustáceos de mayor tamaño están representados por balanos, camarón pistola, camarón palemónido, cangrejo ermitaño, jaibas *Callinectes sapidus* y *C. rathbunae*; cangrejos como *Goniopsis cruentata*, *Aratus pisonii*, *Uca spp.*, *Cides cordatus*, *Pachygrapsus gracilis*, *Pinnotheres ostreum*, *Panopeus spp.* y *Eurypanopeus depressus*.

Los crustáceos de importancia económica en el estero son: jaiba azul (*Callinectes sapidus*), cangrejo de mangle (*Ucides cordatus*), camarón peneidos y el camarón café (*Farfantepenaeus aztecuses*) este último más abundante época de lluvias

Moluscos

Flores-Andolais et al. (1988) identificaron los siguientes grupos de moluscos: gasterópodos donde el 56.2% corresponden a ambientes salobres y el 43.7% a marinos; bivalvos donde el 69% son salobres, 61.5% infaunales (vive en el fango) y el 84.6% suspensívoros filtradores (filtradores). La zona norte es reportada con mayor porcentaje de moluscos, le sigue la zona sur, y finalmente el Crucero La Mancha. La mayor abundancia de las especies de importancia comercial en bancos los cuales están sujetos a explotación.

Las especies de importancia comercial son: Ostión americano (*Crassostrea virginica*); almeja plana (*Isognomon alatus*); mejillón cuervo (*Ischadium recurvum*); mejillón de agua dulce (*Mytilopsis leucophaeata*) y caracol (*Melongena melongena*). Debido a que estos organismos se alimentan por filtración dependen en gran medida de las condiciones ambientales de la columna de agua. Los pescadores locales han creado bancos de siembra y crecimiento de moluscos en la parte central al sur de la laguna y en el oeste de la zona norte.

Peces

Dadas las características descritas en los apartados anteriores, el estero es utilizado por peces principalmente eurihalinos (soportan amplios rangos de salinidad) para protección, alimentación y reproducción. Por lo anterior la laguna sirve de sustento para la comunidad pesquera local, ya sea, por la pesca de especies que usan el estero como parte de su ciclo biológico o por aquellas criadas a través de acuicultura.

El estero tiene una alta diversidad de especies de peces, Pérez P. (2007) reporta un total de 38 especies, el número de especies encontradas varió de 15 en febrero a 22 especies en julio. Mientras que Martínez et al. (1995) encontró un total de 60 especies en el estero. Las especies endémicas reportadas se encuentran *Bramocharax caballeroi*, *Poecilia catemaconis*,

Poeciliopsis catemaco, *Priapella olmecae* y *Atherinella ammophila*. Por otra parte, Rendón y Páez (1995) identificaron siete especies de ictioplancton siendo las más abundantes *Gobionellus boleosoma* y *Anchoa mitchilli*.

Juárez-Eusebio et al. (2006) reporta que el 55% de las especies observadas en la laguna son peces visitantes donde el 17% son cíclicas y 38% son ocasionales, mientras que el 45% restante está compuesto por especies residentes. También observa un predominio de los peces eurihalino de tipo estuarino o marino, concluyendo que la influencia marina es de gran importancia para mantener la ecología lagunar.

La Tabla 16 muestra los peces con valor comercial que son o pueden ser explotados en el estero o en la zona costera, esta información fue obtenida de diversas fuentes como Martínez et al. (2012); Flores Verdugo et al. (2007); Aubriot et al. (2005); Manson y Moreno-Casasola (2005); Juárez-Eusebio et al. (2006); Pérez P. (2007); Eugenia et al. (1989); Aubriot et al. (2005); SAGARPA (2014) y Diario Oficial (2014).

Tabla 16. Peces con interés comercial que utilizan la laguna o sus límites.

Nombre común	Especies	Origen	Boca Lagunar
Lisa blanca, lebrancha, liseta	Mugil curema	ME	A
Lisa Rayada	Mugil cephalus	ME	A
Pargo mulato, pargo gris	Lutjanus griseus	M	
Mojarra rayada	Eugerres plumieri	M	A/C
Mojarra blanca	Diapterus auratus	M	A/C
Mojarra trompetera	Gerres cinereus	E	C
Mojarras	Diapterus evermanni, Diapterus olisthostomus, Diapterus rhombeus, Eucimostomus melanopteros	E	
Robalos chucumite	Centropomus parallelus	E	C
Robalo blanco	Centropomus undecimallus		A/C
Sargo, chopá	Archosargus probatocephalus	M	A
Cherna	Epinephelus sp.	M	
Anchoa	Anchoa mitchilli	ME	A
Cojinuda	Caranx chrysos	M	
Pámpano	Trachinotus sp.	M	
Burriquete	Anisotremus surinamensis	M	A
Lenguado	Citarichthys spilopterus		C
Barracuda	Sphyraena barracuda	M	A
Perca	Lutjanus apodus		A
Jurel	Caranx sp.		
Pez gato	Ictalurus sp.	E	A/C
Bronco Rayado	Bairdiella ronchus	E	

M:marino; E: estuarino; ME:marina con dependencia estuarina; C: Cerrada; A:abierta; A/C: abierta y cerrada

Los peces explotados en La Mancha principalmente de origen marino están regulados a través de recomendaciones de SAGARPA emitidas en el Diario Oficial de la Federación (2014). La pesquería local explota cardúmenes de liseta y lisa rayada las cuales cuentan con un plan de manejo para su explotación en el Golfo de México establecido por

la SAGARPA en 2014. A continuación, se realiza una descripción del ciclo de vida de las especies con mayor importancia económica en la laguna, esto con el fin de conocer la relación río-laguna-mar. Las lisas pasan la mayor parte de su vida en el estero, migran a aguas costeras a desovar en otoño e invierno, se alimentan de detritus, algas filamentosas y de algunos moluscos y crustáceos (Yáñez-Arancibia, 1987, López, 1982), llegan a medir 120 cm y pesar 8 kg.

Anchoa mitchilli se identificó como la especie más importante por su abundancia, frecuencia de aparición y distribución en la laguna La Mancha (Pérez P., 2007) es un recurso pesquero de gran interés (Yáñez-Arancibia, Linares, y Day, 1980, Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez 1983, Alvarez-Guillén et al. 1985). Tolerancia amplios rangos de salinidad por lo que puede migrar en condiciones diferenciadas, se alimenta de zooplancton y sus migraciones están regidas por la abundancia de alimento (copépodos (Fischer, 1978).

Otro recurso pesquero es el Ronco rayado (*Bairdiella ronchus*) el cual se distribuye en zonas costeras, estuarinas y de manglar. Crece hasta unos 35 cm, habita en fondos someros arenosos o fangosos, y es carnívoro (Chao, 1978; Cervigón et al., 1992; Cervigón, 1993) se alimenta en época seca de peces y en época de lluvia de crustáceos. Barrios (1981) clasificó a esta especie como eurihalina. Las hembras se reproducen todo el año, pero tienen mejor desarrollo con altas salinidades (época de seca), aunque de diciembre a febrero es cuando se presenta mayor abundancia de hembras.

El robalo (*Centropomus parallelus*) también es un organismo eurihalino, se ha observado que la salinidad influye de forma determinante en su crecimiento, se alimentan con crustáceos y peces. Son organismos catádromos costeros, lo que quiere decir viven en agua de baja salinidad, pero necesita agua salada para desove, desarrollo embrionario y primeros estadios larvales.

Mojarra rayada (*Eugerres plumieri*) puede alcanzar 40 cm de longitud y 1 kg de peso. Se alimenta de insectos acuáticos, crustáceos, micro bivalvos y detritus. La destrucción de los bancos bivalvos puede causar la reducción de la población. Se adapta al agua salobre, dulce y marina.

Observaciones

- La cuenca La Mancha tiene gran diversidad de biota incluyendo especies en peligro de extinción (tortuga golfina, ocelote, tigrillo, etc.), endémicas (tilcampo) y vulnerables a la pérdida de hábitad (cocodrilo, iguana, tortugas, etc.).
- En bosque de mangle ha disminuido un 33 % su área de cobertura de 1981 a 2010.
- En el entorno lagunar habitan cuatro especies de mangle que resguarda especies de fauna enlistadas en la NOM-059 (cangrejos, peces, iguanas, tortugas, serpientes, etc.) y especies con valor económico como el cangrejo de mangle y camarón.
- La Mancha es parte de la ruta migratoria de aves acuáticas neotropicales, la laguna es habitada por 51 % de aves residentes y 46 % migratorias. Se ha demostrado que las aves no son un indicador de la salud de un cuerpo lagunar, sino de su entorno.
- Los cambios de salinidad y temperatura en la laguna generan blooms de medusas principalmente en época de secas y nortes, lo cual supone un peligro para la población pesquera y vacacionistas, ya que el contacto con los filamentos genera una irritación en la piel.
- En laguna la mancha hay gran diversidad de crustáceos, moluscos y peces con valor económico.
- El bento tiene una gran abundancia de organismos con valor económico, así como, de especies que sirven de alimento a crustáceos y peces con importancia pesquera. Por lo que, en las estrategias de manejo debe ser considerado como un hilo conductor para mantener el equilibrio del ecosistema.
- La zona norte de la laguna presenta mayor abundancia de moluscos, debido a que tienen la influencia directa de agua marina. Los pescadores locales han creado bancos de siembra y crecimiento de moluscos en la parte central al sur de la laguna y en el oeste de la zona norte. Debido a que estos organismos se alimentan por filtración dependen en gran medida de las condiciones ambientales de la columna de agua.
- Hay mayor diversidad de peces visitantes que residentes en la laguna, en sus distintas etapas de vida. Y en cuanto a las especies comerciales dominan las de origen marino que soportan un gran rango de salinidad. Por lo cual la apertura de la boca es un factor fundamental para la pesquería.
- En la época de lluvia en condiciones de boca abierta se observan la mayor abundancia en especies comerciales tanto riveriñas como lagunares, esto se debe a la influencia de agua marina trae consigo larvas, oxigena la columna de agua y reactiva el sistema, así como a la abundancia de nutrientes de origen terrígeno que ayuda a la productiva primaria.
- Aunque no hay una época única de desove, predomina la época de lluvia. Por otro lado, las especies de peces comerciales presentan patrones cíclicos adaptados a los cambios ambientales de la laguna.
- Se puede observar un buen estado ambiental en el sistema estuarino-lagunar La Mancha, esto debido a indicadores ecológicos como lo son la amplia cobertura vegetal, la gran biodiversidad de especies de fauna y flora, aunado a esto el sistema presta servicios ecosistémicos como lo son la pesca, el ecoturismo y el paisaje.

En la Tabla 17 se presenta el análisis FODA de la biota de la cuenca la mancha.

Tabla 17. Análisis FODA de la biota de la Cuenca La Mancha

Fortalezas	Debilidades
Se tiene conocimiento científico de la fauna local (endémicas, peligro de extinción, etc.) y su ciclo de vida. La zona es parte de la ruta migratoria de diversas especies.	Blooms de especies peligrosas para uso de la laguna como zona de recreación. Especies peligrosas para la actividad pesquera. La mayoría de las especies comerciales son marinas.
En la cuenca habitan especies de importancia comercial para la población local. La población pesquera administra bancos de siembra de moluscos. Conocimiento de los ciclos de las especies comerciales.	La abundancia de las especies comerciales se asocia a la salinidad. Perdida de área de mangle. Explotación de especies endémicas y en peligro de extinción.
Oportunidad	Amenaza
Reforestación de mangle. La explotación de las especies bentónicas con importancia comercial. Conservación de los ecotonos para la explotación autosustentable. Aprovechamiento sostenible los recursos pesqueros Ampliar el conocimiento de las especies comerciales.	Disminución del área de los ecosistemas. Bioacumuladores de contaminantes por organismos sésiles de importancia comercial. Azolve de las zonas de siembra de especies con interés comercial. La boca cerrada por prolongados periodos de tiempo o permanentemente que ocasione una disminución de salinidad y condicione la abundancia de peces comerciales. La boca abierta por largos periodos de tiempo o permanentemente y se pierdan especies de agua estuarina. Sobre explotación de los organismos.

4.6 Parámetros fisicoquímicos y contaminación del estero

Conocer el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y de contaminación del vaso lagunar resulta fundamental para una estrategia de manejo efectiva, ya que se busca preservar los valores normales y la salud del sistema por lo que es necesario determinar el tipo, la fuente y la forma de propagación de contaminantes a la que se ve expuesta el estero.

Contreras E. et al. (2005) encontraron la mayor productividad cuando la barra está cerrada, lo que difiere de los hallazgos de Barreiro-Güemes y Balderas-Corté (1991) que hallaron que la productividad primaria es mayor en condiciones de boca abierta y tiene un gradiente descendiente de la boca al arroyo Caño Gallegos, indican que cuando la boca se encuentra cerrada la productividad es baja y homogénea en todo el cuerpo lagunar.

La Mancha registra valores de oxígeno por debajo de los 2.0 mg/l (de hipóxico a anóxico) en la región de Caño Grande donde se observa una gran cantidad de materia orgánica y poco movimiento del agua según Barreiro-Güemes y Balderas-Cortés (1991). La Tabla 18 se presenta un resumen de los parámetros fisicoquímico de la laguna en época de lluvias y secas en condición de boca abierta y cerrada según los estudios de Contreras E. et al. (2005).

Tabla 18. Parámetros fisicoquímicos de laguna La Mancha.

Temporada	Lluvia	
	abierta	cerrada
Salinidad (PSU)	22	16
OD (ml/l)	3.3	2.5
pH	7.3	7.58
Amonio (μM)	7.24	8.47
$\text{NO}_2 + (\text{NO}_3)_2$ (mM)	0.6	1.65
fosfato (mM)	8.66	5.73
clorofila a (mg/m^3)	11.3	3.04
PP ($\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$)	29.84	158.6

OD: Oxígeno disuelto; pH: Potencial de hidrogeno; NO_2 : Nitrito; $(\text{NO}_3)_2$: nitratos; PP: productividad primaria. **
 Datos tomados de Contreras E., et al. (2005).

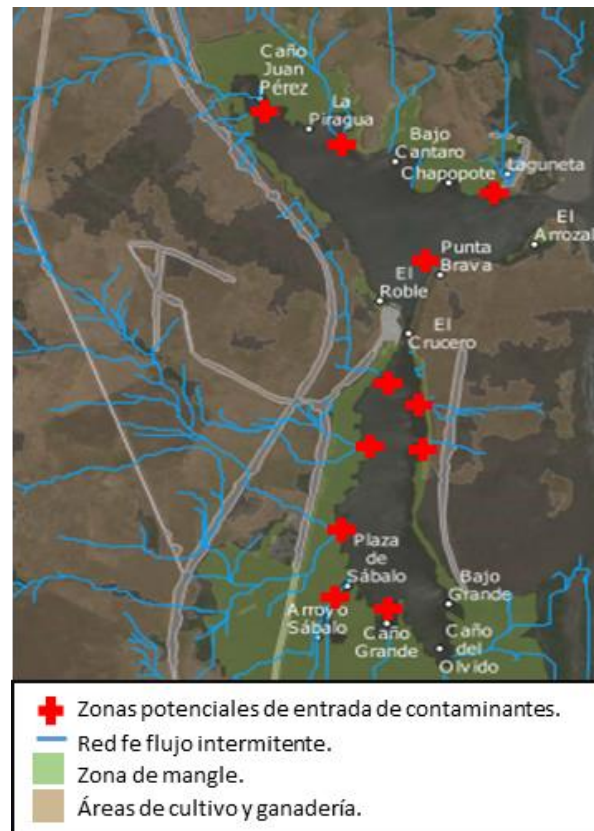


Figura 39. Zonas potenciales de entrada de contaminantes vía flujo superficial.

Con base en la red de flujo intermitente y en la distribución zonas urbanas, ganaderas y de cultivo aledañas a la laguna se detectaron 11 zonas con potencial para la entrada de contaminantes a la laguna por medio del flujo superficial de las cuales 7 se ubica en el cuerpo sur y 4 en la zona norte de la laguna (ver Figura 39). Las actividades antes mencionadas, al realizarse en la periferia estuarina o cerca de la red hídrica cuenca arriba, aportan descargas líquidas (aguas residuales, pecuarias, agrícolas, etc.) y sólidas (basura, desechos de dragados, etc.) al cuerpo lagunar; lo que provoca alteraciones en las cadenas tróficas y contaminación.

Según los hallazgos de Parissi C. (1990) la laguna no es apta para ser usada en la producción de moluscos, dado que no cumple los límites permitidos de coliformes fecales, los cuales aumentan su concentración en época de lluvias al incrementar el escurrimiento. La mayor concentración de coliformes se da en la desembocadura del arroyo Caño Gallegos y se encontró que la contaminación proviene del ganado y aves de corral.

Observaciones

- La apertura y cierre de la boca es el factor principal que determina el comportamiento fisicoquímico del ecosistema estuarino.
- El cierre de la barra que impide la entrada de aguas costeras y determina bajas importantes en OD, salinidad, pH y clorofila.
- La laguna presenta variaciones en sus parámetros fisicoquímicos tanto espacial como temporal, por ejemplo, los valores máximos de productividad primaria y salinidad suceden durante las épocas de lluvias y nortes, en la zona cercana a la boca cuando esta comunicada con el mar.
- Los resultados de la producción primaria evidencian la importancia del aporte de las aguas de origen costero hacia la laguna.
- Se detectaron 11 zonas potenciales de entrada de contaminantes en la laguna.
- La laguna tiene una alta concentración de coliformes fecales provenientes principalmente del ganado y aves de corral, por lo que no es apta para la producción o pesca de moluscos de consumo directo.

4.7 Población

Conocer las características de la población local resulta fundamental, ya que, es el hilo conductor para la planeación de estrategias de gestión y manejo rumbo a la sustentabilidad ecológica y el desarrollo de una comunidad. Este estudio nos ayudara a conocer la capacidad de los habitantes de la laguna para hacer frente a los cambios, por la variación espacio temporal en la dinámica de la laguna La Mancha.

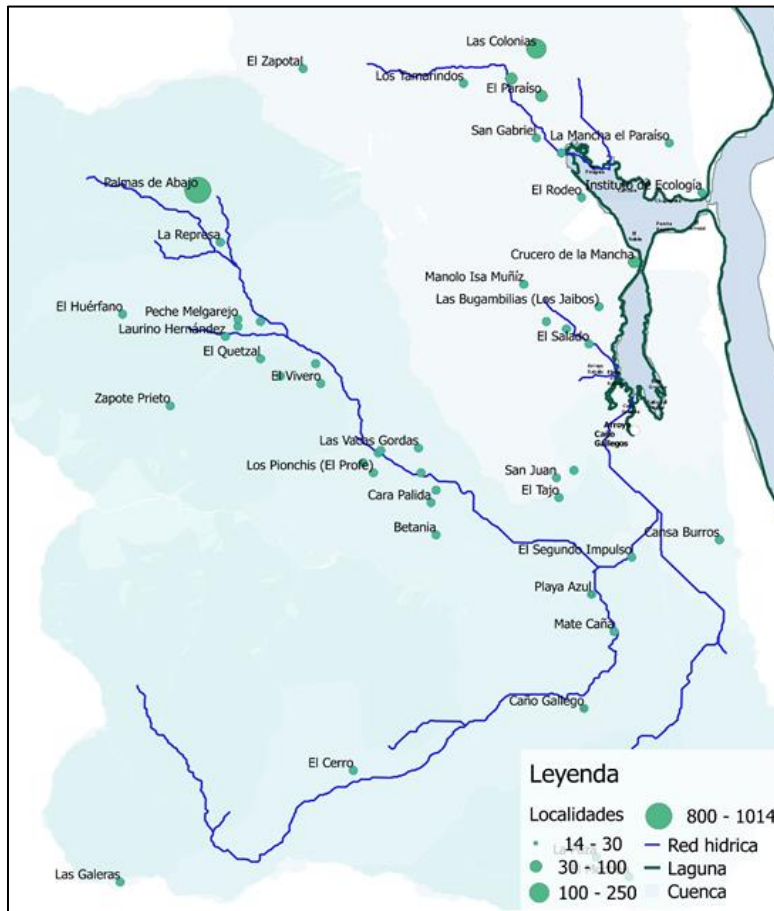


Figura 40.- Localidades rurales y urbanas de la cuenca La Mancha.

Para esta sección se emplearon datos por localidad del censo poblacional de INEGI de 2010. En la Figura 40 se muestran las 49 localidades rurales y urbanas de cuenca La Mancha, se observa que los establecimientos urbanos están asociados a la red hídrica, son comunidades poco pobladas, solo nueve localidades tienen más de catorce habitantes (Tabla 19) (INEGI, 2010), estas poblaciones también están asociadas al uso de suelo agrícola pecuaria lo que se puede ver en la Figura 36.

En la Tabla 19 se presentan los desarrollos urbanos en la cuenca con una población mayor a catorce habitantes dado un total de 1438 pobladores, Palmas de Abajo es la localidad más poblada con 1014 habitantes de los cuales 65 % tiene entre 15 y 64 años, le sigue La Colonia con 201 habitantes, las poblaciones restantes tiene de 14 a 64 habitantes.

Por otro lado, INEGI 2010 reporta la densidad poblacional de las comunidades restantes por debajo de 7 habitantes o no tienen censos actualizados.

Tabla 19.- Localidades con mayor población en la cuenca La Mancha, 2010. Datos INEGI 2010.

NOM_LOC	Long	Lat	Altitud	PobTot	Po0_14	Pob15_64	Pob65_Mas
Palmas de Abajo	-96.435833	19.590833	72	1014	223	661	109
Crucero de la Mancha	-96.3875	19.582778	17	37	7	28	2
Caño Gallego	-96.393056	19.532778	17	14	6	6	2
La Montaña	-96.4175	19.560278	19	14	6	8	0
El Pequeñín	-96.426667	19.57	40	19	6	10	3
Playa Azul	-96.392222	19.545556	17	18	5	11	2
Las Colonias	-96.398333	19.606667	17	201	65	120	16
El Paraíso	-96.397778	19.601389	17	64	18	43	3
Las Rocas	-96.401111	19.603333	17	57	17	36	4
Total				1438	353	923	141

Lat: Latitud; Long:longitud; PobTot: población total; Po0_14 : población entre 0 y 14 años; Po15_64: población entre 15 y 64 años; Pob65_Mas: población de más de 65 años.

El 40.8% de la población total esta económicamente activa, lo que significa que son mayores de 16 años con un trabajo remunerado o en busca de éste. El 38% es económicamente inactivo, esto incluye personas mayores de 16 años que trabajan en el hogar, estudiantes o que por algún motivo no se emplean (Tabla 20). El índice promedio de juventud poblacional es del 52%.

Tabla 20.- Económica de las principales localidades de La Mancha.

NOM_LOC	PEA (%)	PE_INAC (%)	P_OCU (%)
Palmas de Abajo	39.3	41.2	37.1
Crucero de la Mancha	59.5	21.6	59.5
Caño Gallego	28.6	35.7	28.6
La Montaña	50.0	14.3	50.0
El Pequeñín	42.1	26.3	42.1
Playa Azul	38.9	38.9	38.9
Las Colonias	41.8	33.8	38.3
El Paraíso	50.0	23.4	48.4
Las Rocas	42.1	31.6	42.1
Total		40.8	38.0

PEA : Personas económicamente activas; PE_INAC: Personas económicamente inactivas; P_OCU: Personas ocupadas.

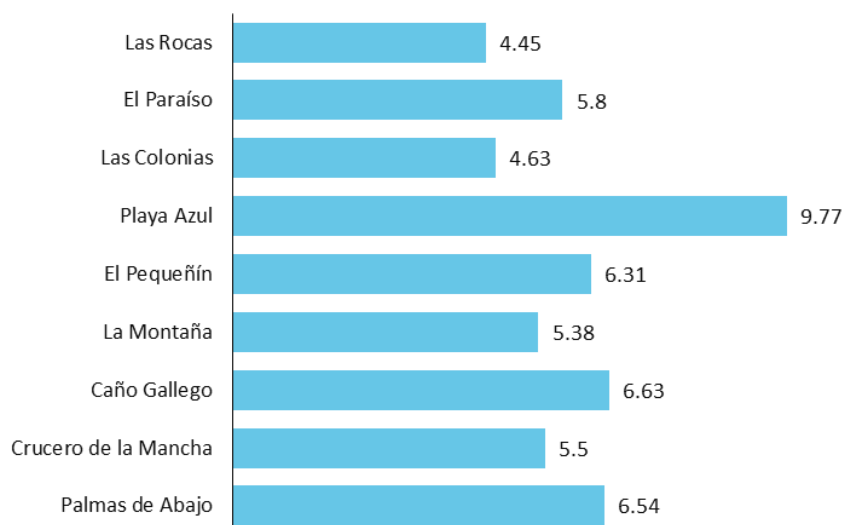


Figura 41.- Grado promedio de escolaridad por localidad en la cuenca La Mancha.

El índice de grado de escolaridad se aplica a la población mayor a 15 años, siendo, la suma de escolaridad por habitante entre el número de habitantes. El grado promedio de escolaridad en la zona es de 6 años (Figura 41), la población de Playa azul tienen el mayor grado de escolaridad con 9.77 años.

Tabla 21.-Características educativas por localidad en la cuenca La Mancha.

Comunidad	P15YM_AN (%)	P15YM_SE (%)	P15PRI_CO (%)	P15SEC_CO (%)	P18YM_PB (%)
Palmas de Abajo	8.3	6.6	13.5	11.2	15.2
Crucero de la Mancha	5.4	10.8	13.5	8.1	16.2
Caño Gallego	7.1	7.1	14.3	7.1	14.3
La Montaña	0.0	0.0	14.3	0.0	7.1
El Pequeñín	15.8	21.1	0.0	21.1	15.8
Playa Azul	0.0	0.0	11.1	11.1	33.3
Las Colonias	16.9	11.9	14.9	10.0	4.0
El Paraíso	15.6	12.5	9.4	9.4	14.1
Las Rocas	12.3	12.3	14.0	3.5	5.3

P15YM_AN : Población de 15 años y más analfabeta; P15YM_SE: Población de 15 años y más sin escolaridad; P15PRI_CO: Población de 15 años y más con primaria completa; P15SEC_CO: Población de 15 años y más con secundaria completa; P18YM_PB: Población de 18 años y más con educación pos-básica.

El 9% de la población es analfabeta, el 9.1% no tiene escolaridad, el 23% terminó la primaria, el 11% concluyó la secundaria y solo el 13 tiene escolaridad mayor a la básica. Los datos por localidad se muestran en la Tabla 21, donde Playa Azul no tiene población analfabeta y el 33% tiene escolaridad superior a la básica, por el contrario, La Colonia es la comunidad con mayor analfabetismo con un 17%. Palmas de Abajo tiene la mayor infraestructura escolar ya que cuenta con 1 preescolar, 1 primaria y 1 secundaria (Ruelas-Monjardín, 2006)

Tabla 22. Población con acceso a servicios de salud pública por localidad.

Nom_loc	PsinDer	Pder_SS
Palmas de Abajo	562	430
Crucero de la Mancha	24	13
Caño Gallego	7	7
La Montaña	9	4
El Pequeñín	12	7
Playa Azul	8	8
Las Colonias	116	85
El Paraíso	45	19
Las Rocas	42	15
Total	825	588

PsinDer: Población sin derecho a servicios de salud; Pder_SS: Población derechohabiente a servicios de salud.

El 40% de la población tiene servicios médicos en alguna institución de salud pública o privada como: el Instituto Mexicano del Seguro Social, el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado, Petróleos Mexicanos, Seguro popular, Seguro Médico para una Nueva Generación u otras. Mientras que el 57% no tienen derecho a recibir servicios de salud en ninguna institución pública o privada (Tabla 22). El 8.5% de la población presenta algún tipo de discapacidad física, mientras que la fecundidad de la población femenina es de 2.6 hijos.

Se contabilizó un total de 578 viviendas con un promedio de 3 habitantes, donde el 4% tiene piso de tierra, el 98% cuenta con servicio de luz, el 77% tiene agua entubada, 94% posee sistema de drenaje conectado a la red pública, fosa séptica, barranca, grieta, río, laguna o mar. Solo el 75% de las viviendas cuentan con los servicios agua, luz y drenaje. La mayor parte de la población de las comunidades el Crucero de la Mancha, Caño Gallegos, La montaña, el Pequeñín y Playa Azul no cuenta con agua entubada (Tabla 23).

Tabla 23.- Viviendas con/sin servicios de electricidad, drenaje y agua por localidad en La Mancha.

NOM_LOC	VITOT	TVHA	P_OCU	V_PISD	V_2YMD	V_C_ELE	V_AGUD	V_DREN	V_C_SER
Palmas de Abajo	405	314	3	303	199	305	251	301	250
Crucero de la Mancha	21	13	3	12	5	13	0	13	0
Caño Gallego	5	5	3	4	1	5	1	4	1
La Montaña	5	3	5	3	0	3	0	2	0
El Pequeñín	6	5	4	5	1	5	1	4	1
Playa Azul	6	5	4	5	5	5	2	5	2
Las Colonias	71	58	3	57	34	58	52	53	48
El Paraíso	43	24	3	21	10	23	21	22	18
Las Rocas	16	16	4	15	9	16	16	14	14
Total	578	443	3	425	264	433	344	418	334

VITOT:total de viviendas; TVHA:total de viviendas habitadas; P_OCU: Promedio de ocupantes por vivienda; V_PISD: viviendas con piso diferente de tierra; V_2YMD: Viviendas con más de dos dormitorios; V_C_ELE: viviendas con electricidad; V_AGUD: Viandas con agua entubada; V_DREN: Viviendas con drenaje (fosa séptica o algún, drenaje, etc.) V_C_SER: viviendas con electricidad, agua y drenaje.

El drenaje es un problema en la localidad ya que no existen en la cuenca plantas de tratamiento por lo que las descargas van a los afluentes. Por ejemplo, en Palmas de abajo los desechos urbanos van a una fosa que tiene una superficie de 25X35 m y una profundidad de 4 m que se habilitó en 2004, actualmente se encuentra al tope de su capacidad por lo que se desahoga mediante un canal que va a dar a la laguna de La Mancha. El desarrollo antrópico en la cuenca La Mancha (Figura 40) paso de cubrir un área 0.3% a 11% de 1981 a 2010.

Tabla 24. Hogares por localidad en cuenca La Mancha.

NOM_LOC	TotHog	HogJef_M	HogJef_F
Palmas de Abajo	307	224	83
Crucero de la Mancha	13	9	4
Caño Gallego	5	4	1
La Montaña	3	3	0
El Pequeñín	5	3	2
Playa Azul	5	3	2
Las Colonias	58	48	10
El Paraíso	24	16	8
Las Rocas	16	12	4
TOTAL	436	322	114

TotHog: Total de hogares; HogJeg_M : hogares con jefes masculinos; HogJef_F: Hogares con jefes femeninos.

Los hombres son jefes del 73% de los hogares y el 27 % de los hogares son llevados por mujeres. Dicha situación se da debido a varios fenómenos sociales, uno de los cuales es la emigración de los varones en busca de oportunidades.

En el mes de abril de 2014 se visitaron varias comunidades (Las Rocas, Crucero La Mancha, Las Colonias, El Paraíso, etc.). Se observó poca infraestructura en las localidades, calles sin pavimentar, liberación de agua de desecho hacia la vía pública, falta de alumbrado público.

4.7.1 Valores económicos de La Mancha

La sociedad de la cuenca está asociada económicamente a las actividades de los siguientes sectores:

1. Primario: Agricultura (Caña de azúcar, tomate, pepino, melón, sandía, naranja, limón, mango y maíz), ganado (bovino, porcino y caballo), pesca (robalo, ostión, pulpo, mero, etc.) y explotación petrolera y gas (PEMEX).
2. Secundario: en industrias principalmente ingenios azucareros y la generación de energía (Laguna Verde), construcción, etc.
3. Terciario: prestadores de servicios de ecoturismo en laguna La Mancha; comercio como restaurantes localizados alrededor de la laguna, en la playa el Paraíso y en la carretera.

Como ya se mencionó, la laguna es utilizada por la cooperativa pesquera local y constituyen su principal sustento, también por la población que presta servicios de ecoturismo principalmente en semana santa y en el mes de octubre cuando llegan aves acuáticas debido a su ruta migratoria. El turismo proviene principalmente de los estados de Veracruz, Puebla y CDMX.



Figura 42.- A) Playa Paraíso La Mancha, B) banco de moluscos en laguna La Mancha.

Observaciones

- Se observa una relación entre los establecimientos urbanos y red hídrica que abastece a la laguna La Mancha.
- Hay poco desarrollo urbano y la sociedad está dispersa en 49 localidades, la mayoría son ranchos como menos de 14 personas, solo Palmas de Abajo y La colonia tienen una población mayor a 200 habitantes, esta tendencia se debe a que la actividad principal es agrícola-pecuaria.
- La baja escolaridad se asocia en general a estratos de pobreza, embarazos a temprana edad o a personas con algún tipo de discapacidad. Tener baja escolaridad disminuye las posibilidades de emplearse y desarrollarse en el sector secundario o terciario por lo que se considera como un indicador de la vulnerabilidad de una comunidad.
- El 40% de la población mantiene la economía local y de ellos depende la economía familiar.
- El perfil laboral de la población local está dado por el sector primario por la producción de caña, mango, maíz, ganado bovino y pesca, en empresas que van desde las microempresas familiares (abarrotes, restaurants, etc.) hasta grandes empresas (Ingenio la Gloria).
- Este estudio ayudará a conocer la capacidad de los habitantes de la laguna para hacer frente a los cambios, por la variación espacio temporal en la dinámica de la laguna La Mancha.
- La población local es dependiente de la dinámica de la cuenca ya que sus ingresos vienen principalmente de la actividad primaria por lo que cambios en la producción agrícola-pecuaria, disminución de la pesca, desecación, la contaminación de los afluentes afecta la economía de la población, esto aunado a la vulnerabilidad actual de la población por emigración, falta de servicios de salud, drenaje, baja escolaridad.

Tabla 25. Análisis FODA de la población de la Cuenca La Mancha

Fortalezas	Debilidades
Acceso a servicios públicos	Bajo índice de escolaridad
Propietarios de predios	El 60 % no cuenta no cuenta con servicios de salud
Poca población por localidad	Baja infraestructura
Población joven 52%	Falta de sistema de drenaje
Bajo índice de natalidad	Solo el 40% de la población esta económicamente activa
Usan la laguna como fuente de ingresos Pobladores prestan servicio de ecoturismos	Solo un sector de la población se beneficia de los servicios económicos de la laguna
Oportunidades	Amenaza
Incrementar la infraestructura escolar	Enfermedades sanitarias por el uso de agua contaminada.
Regular los servicios públicos (una red funcional de drenaje con planta de tratamiento)	Contaminación ambiental Pérdida de paisaje.
Especialización de la población en actividades secundarias y terciarias	Flujo de aguas residuales con alto contenido de organismos nocivos para la salud
Incremento de porcentaje de las mujeres económicamente activas	Cambio de uso de suelo Emigración de la población por falta de empleo
Incrementar el porcentaje de ecoturismo en la zona	
Campañas publicitarias para promover el ecoturismo en La Mancha.	

Capítulo 5 **Fase de caracterización y análisis del estero con datos de campo**

En este capítulo se presenta un enfoque social y ambiental de laguna La Mancha a partir de datos de campo obtenidos en el periodo noviembre del 2013 a febrero del 2015, la perspectiva de este capítulo es lagunar y marina. Primero se presentan los resultados de la entrevista realizada a los pescadores de la cooperativa La Mancha en abril del 2014. Luego los resultados de la hidrodinámica lagunar. Y por último los procesos morfodinámicos de la playa.

5.1 Pescadores de La Mancha como grupo de enfoque

Con el objetivo de desarrollar una metodología para evaluar los escenarios de manejo en la laguna integrando a la población pesquera, se realizó un estudio social con un enfoque cuantitativo y cualitativo a través de una encuesta dirigida a la población pesquera en la cuenca La Mancha para conocer los usos y costumbres, y la interacción e influencia de los pescadores en la laguna, así como las posibles soluciones y como interpretan las acciones aplicada hasta el momento.

La encuesta se aplicó en el mes de abril de 2014 y se conformó por 41 preguntas repartidas en 5 Temas: 1) **Antecedentes**, el objetivo de esta dimensión es conocer los precedentes de los pescadores y de sus familias, por lo que se aplicaron 4 preguntas generadoras. 2) **Oficio de pescadores**, esta sección tenía como objetivo obtener información sobre la percepción real de los habitantes de las zonas ante los peligros ambientales y la vulnerabilidad que presentan ante cambios económicos, asimismo se buscó conocer la experiencia del entrevistado en el oficio de pescador y el impacto que tiene la pesca en su sustento, la sección se conformó por 20 preguntas. 3) **Experiencia con la boca de la laguna La Mancha**, en este apartado se buscaba comprender la dinámica de la población pesquera y la boca lagunar para lo cual se aplicaron 6 preguntas. 4) **Daños en la pesquería**, con el objetivo de entender la evolución de la pesquería en la zona y como percibe la población los impactos negativos en esta actividad. 5) **Acciones locales de prevención** se emplearon 3 preguntas generadoras para ver el empoderamiento de la población ante problemáticas locales, la disposición para involucrase socialmente y la percepción que tiene ante las acciones que se realizan o han realizado en la zona.

Mediante una muestra aleatoria de 36 pescadores se obtuvo el perfil de la población pesquera, el promedio de edad es de 49 años con 28 años en el oficio de pescador donde el 85% son hombres y 15% mujeres que ocasionalmente ayudan a sus esposos en la jornada de pesca, tienen familias con 3.7 dependientes y viven principalmente en las localidades Las Colonias, Palmas de Abajo, Las Rocas y El Crucero.

En la Tabla 26 se muestra la percepción que tienen los pescadores de vivir en la cuenca La Mancha, en general ven como ventaja vivir cerca de la laguna, pero como desventaja la falta de empleo.

Tabla 26. Percepción de la población pesquera de vivir en la zona.

Ventajas	Desventajas
La producción pesquera.	No hay apoyo para la pesca.
Laguna es una fuente de alimento.	Baja producción pesquera.
Turismo en semana santa.	Poco turismo.
Los servicios ecosistémicos que presta la laguna.	Poco empleo.
Vida tranquila.	Contaminación de la laguna.
	Cercanía a laguna verde.

La laguna estuarina da servicio a “La Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera La Mancha de S.C.L” la cual cuenta actualmente con 120 miembros (solo 50% está activo) y a la comunidad local que pesca para autoconsumo. De los entrevistados el 75 % perteneces a la cooperativa local, el 21 % no perteneces a ninguna organización pesquera (son pescadores de autoconsumo o mujeres) y el 4 % perteneces a dos cooperativas (El Farallón y La Mancha).

El 70% cuentan con otras fuentes de ingresos: el 35% se dedica a la agricultura; el 17% a la ganadera y un 14% al turismo (Figura 43). El arte de pesca más comunes es la atarraya el 81.5 % la usa (Tabla 27).

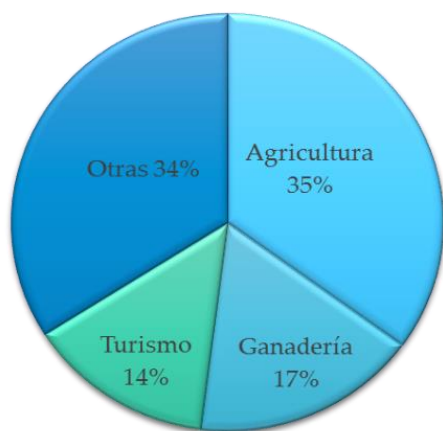


Figura 43. Otras fuentes de empleo para los pescadores.

Tabla 27.-Arte de pesca usada en el estero

Piola y anzuelo	Redes	Buceo
7.40%	33.30%	11.10%
Siembra	Atarraya	otro
0.00%	81.50%	18.50%

Se determinó una predominancia por pescar en la laguna, ya que el 78% realiza esta actividad dentro de la misma y un 21% en el mar (Figura 44 A). El 42% pesca todo el año y un 25% solo cuando la boca está abierta. El 17% pesca en el litoral y el 13% prefieren como zonas de pesca la boca lagunar y el mangar (Figura 44b). Obtienen principalmente jaiba, ostión, almeja, camarón, robalete y algunas otras especies marinas (ver Tabla 28). La mayoría de las embarcaciones usadas en la laguna son pequeñas pangas de dos personas.

Tabla 28. Organismos de valor comercial que se capturan reportados por pescadores en la Mancha. Abril 2014

Nombre local	Laguna	Nombre local	Mar
Peces	Época	Peces	Época
Chucumite	Todo el año	Cabrilla	SI
churro	Todo el año	Cazón	Mayo
Lebrancha	Todo el año	Cojinuda	Agosto
Lisa	Todo el año	Conejo	Mar-Jun
Loro	SI	Huachinango	SI
Mojarra	Todo el año	Jurel	Todo año
Pargo	Todo el año	Mojarra	Todo año
Robalo	Todo el año	Pámpano	Mar-Jun
Ronco	SI	Pargo	May-Oct
Sandía	Boca abierta	Peto	Todo año
Tiburón	Boca abierta	Pez bobo	May-Ago
Mantarraya	Boca abierta	Robalo	May-Oct
Crustáceos		Ronco	May-Oct
Camarón	Todo el año	Sargo	SI
Jaiba	Todo el año	Sierra	Todo año
Cangrejo azul	Lluvias	Molusco	
Bivalvos		Pulpo	Lluvia
Almeja	6 meses (octubre-abril)		
Ostión	6 meses (mayo)		

SI: sin información; Mar:marzo; May: mayo; Oct: octubre; Jun: junio

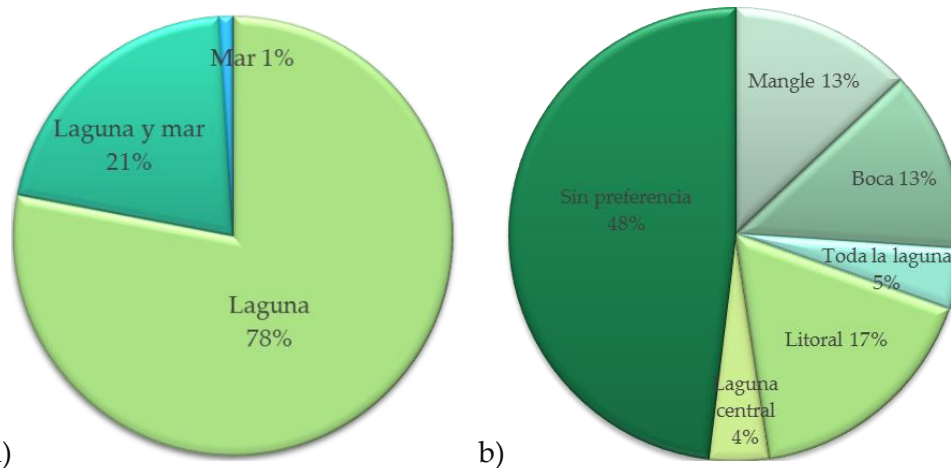


Figura 44. a) Zonas de pesca de la cooperativa local. b) Área de pesca dentro de laguna La Mancha.

En la laguna cultivan almeja y ostión con vedas de 6 meses y son productos de gran importancia económica, ya que cada pescador que pertenece a la cooperativa puede capturar 500 unidades. La jaiba es otro de los productos que capturan frecuentemente reportan entre 8 y 15 kg por pescador. Estos productos son cuidados por los propios pescadores quienes se turnan para evitar las capturas furtivas, también ponen multas a quienes violan las vedas o capturan más de la cuota diaria.

El volumen de pescado obtenido en la laguna está diferenciado entre los que pescan para autoconsumo o para comerció en condiciones de boca abierta y cerrada. Para consumo se

reporta pesca de 3 a 5 kg, mientras que para comercio se tienen capturas de 10 a 40 kg, las tallas van de 15 cm a 1 m. Cuando la boca lagunar está abierta se tiene el mayor volumen y talla en pesca.

En el mar se pesca 1 o 2 km alejados de la línea de costa con 4 pescadores por lancha, reportan jornadas con capturas de $\frac{1}{2}$ o 1 tonelada de producto, el tamaño de peces es de 40 cm a 1 m. Pero esta actividad está restringida por la falta de equipo, actualmente se tienen dos embarcaciones capaces de salir a mar.

Los pescadores comercializan su producto de acuerdo con el volumen de captura por lo que va desde los restaurantes locales, rancherías o en las localidades como las Rocas, Las Colonias, Palmas de Abajo, y cuando se tiene un volumen importante lo distribuyen en Chachalacas y ciudad Cardel.

Mencionan que en promedio diariamente ganan entre 150 y 300 pesos, aunque esto puede aumentar de acuerdo con la abundancia y disponibilidad de peces. El ciento de almeja y ostión en general lo venden en 50 pesos, los demás productos varían con la oferta y demanda.

5.1.1 Relación de los pescadores con la boca lagunar

Según los datos arrojados en las encuestas el 50% del año permanece cerrada la boca de La Mancha. Indican que se realizan de 1 a 3 aperturas antropogénicas anuales ya que tarda en cerrarse un promedio 3 meses. Para abrir, la cooperativa convoca a sus miembros para decidir si es conveniente hacerlo, esto de acuerdo con las condiciones ambientales de la laguna (olor, contaminación, muertes de peces, etc.) y la abundancia de peces comerciales, una vez tomada la decisión todos los miembros de la cooperativa deben asistir o se aplica una multa. La apertura se hace con picos y palas, tarda entre 10 y 60 minutos en comunicarse la laguna con el mar mediante el canal de acceso, esto depende del tirante de agua en la laguna y de las condiciones la barra de arena (ancho y altura).

Los meses de abril y mayo son el periodo donde anualmente se abre la boca de la laguna, la segunda o tercera apertura, como se mencionó anteriormente, se hace de acuerdo con las condiciones en la tasa de captura de peces y ambientales.

El 68% percibe una disminución progresiva en la pesca, el 40% se lo adjudica al cierre de la boca y otro 40% al azolve del estero (Figura 45-b). Por otro lado, el 46.5% percibe la boca abierta como el factor primordial para el incremento de la pesquería (Figura 45-a).

UNAM

Tesis de Maestría

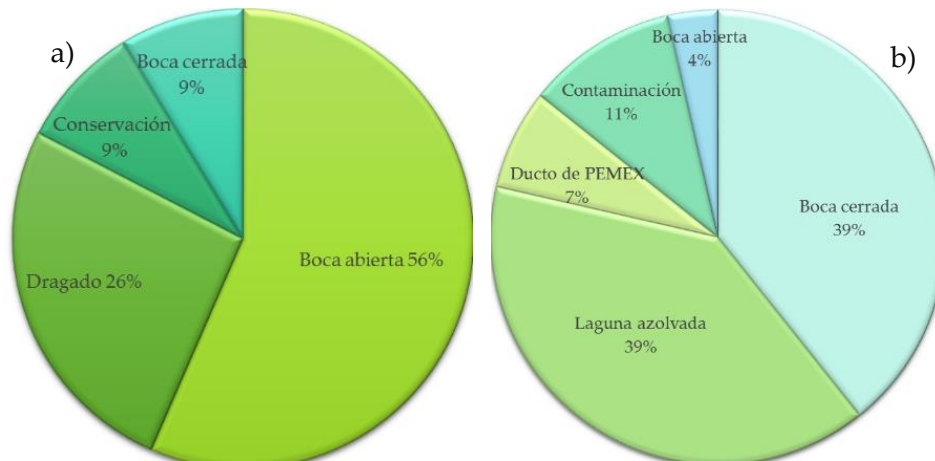


Figura 45. a) Factor benéfico para el aumento en biomasa de la pesquería. b) Factor que afecta a biomasa de la pesquería, según la percepción de la población.

Los pescadores reportan un considerable daño en su economía familiar debido a la disminución de en la biomasa de pesca. El 60% de especies que capturan son provenientes de del mar, y solo pueden entrar en temporada de boca abierta. El 82% considera que la comunidad pesquera puede contribuir a aumentar la biomasa de captura y proponen la siguiente lista de acciones:

1. Aumentar la frecuencia de apertura de la boca lagunar.
2. Cuidar ellos mismos de la laguna.
3. Abrir permanentemente la boca.
4. Lograr acuerdos entre los pescadores.
5. Colocar escollera en la boca.
6. Dragar la laguna.
7. Tener una injerencia total sobre la apertura y cierre de laguna, disminuyendo los periodos de cada fase.
8. Buscar apoyo gubernamental para proyectos productivos.
9. Mantener las vedas de ostión, almeja, cangrejo y jaiba.
10. Dejar su dinámica natural.
11. Cultivar de especies en la laguna y rotar el cultivo de lugar.

El 32% de la población pesquera percibe como negativas las protecciones ambientales a las que está sujeta la laguna, entre las razones están:

- Un enfoque exclusivo de protección al manglar.
- Las regulaciones afectan a la pesquería por ende su económica.
- Un incremento de visitantes lo que contamina la laguna.
- No son tomados en cuenta en las regulaciones.

Observaciones

- La comunidad de pescadores está compuesta principalmente por hombre con un promedio de edad de 49 años.
- Se observa poca especialización en la pesca en el mar.
- El 78% los pescadores utilizan la laguna para pescar, el 39% de la comunidad percibe la boca cerrada como el principal factor que afecta la pesquería.
- El 56% de la población menciona que la boca abierta es la condición que más beneficia a la pesquería, por lo que se advierte que a través de la apertura de la boca de la laguna la población busca una solución a la disminución en la captura peces.
- Todos los años la población se reúne de una a tres veces para abrir la boca lagunar, Psuty et al., (2009) reportan periodos cada vez más prolongados donde la boca permanece abierta.
- Se reporta una alta mortandad de fauna debido a los cambios bruscos de salinidad y de profundidad provocados por la intrusión de agua salada cada vez que se abre la boca por parte de la población. Bajo este escenario la capacidad de recambios de agua al interior del estuario no se podría garantizar naturalmente, ya que los pescadores inducen la apertura de la boca, pues es una práctica transmitida de generación en generación que se lleva acabó sin un protocolo de temporalidad.
- Los pescadores ven la estabilización permanente de la boca lagunar y el dragado del interior de la laguna como los vectores principales para el aumento en la biomasa captura de peces, debido a las características estuarinas de la laguna la estabilización de la boca no garantizaría un aumento en la tasa de pesca.
- El equilibrio sistema estuarino-lagunar se podría considerar susceptible al cambio en la frecuencia de apertura de la boca estuarina-lagunar generada por pescadores de la zona, dicha acción antropogénica puede ser una amenaza debido a que modifica la dinámica natural del sistema.

En la Tabla 29 se presenta el análisis FODA del sector pesquero local, englobando la información recabada con miras a plantear estrategias de manejo en La Mancha.

Tabla 29. Análisis FODA de la pesquería en laguna La Mancha Veracruz

Fortalezas	Debilidades
<p>La cooperativa está bien establecida, tiene buena comunicación para la toma de decisiones y está organizada para cuidar de pesca furtiva y de violaciones a las vedas.</p> <p>La cooperativa tiene su propio local con espacio para un cuarto frío.</p> <p>Tienen vedas para especies como jaiba, ostión, almeja y cangrejo.</p> <p>Los pescadores siembran, rotan y establecen la tasa de captura del cultivo de ostión.</p> <p>La cooperativa se está especializando en la pesca en el mar.</p> <p>Algunos socios tienen restaurantes donde se comercializa la pesca.</p> <p>Los pescadores tienen mercado para la venta de su producto.</p> <p>Prestan servicios de ecoturismo en la laguna</p> <p>Protección como sitio RAMSAR y una ANP.</p>	<p>Solo se tienen dos embarcaciones para pescar en el mar.</p> <p>No todos los socios cuentan con pangas para pescar en la laguna</p> <p>Hay pocos jóvenes en la actividad pesquera.</p> <p>Diminución en la producción pesquera.</p> <p>Pesca furtiva de los cultivos de ostión y almeja.</p> <p>Los pescadores no cuentan con seguro médico.</p> <p>No siempre tiene semillas de ostión.</p> <p>Poca inserción de mujeres en la actividad, las cuales no son miembro de la cooperativa</p>
Oportunidades	Amenazas
<p>Apoyos del gobierno al sector pesquero (empleos temporales, financiamiento de equipo, ayuda para desarrollo de proyectos pesqueros, etc.).</p> <p>Desarrollo de proyecto de acuicultura para aumentar y sostener la producción.</p> <p>Elaboración de un plan de manejo con enfoque al desarrollo de la comunidad pesquera.</p> <p>Aumentar la población femenina y de jóvenes en la actividad</p> <p>Empoderamiento de la población pesquera para proteger la laguna y aumentar la biomasa de pesca.</p> <p>Incrementar la industria de ecoturismos que traerá un derroche económico a la zona (restaurantes, comercios, pesquería, etc.)</p>	<p>El asolvamiento de la laguna por el aporte terrígeno (limos y arcillas) y litoral (arena), y por la presencia del oleoducto que obstruye la dinámica lagunar.</p> <p>Cambio de uso de suelo en los márgenes de la laguna (agricultura, ganadería, desarrollo urbano)</p> <p>Asolvamiento de los bancos ostrícolas.</p> <p>Contaminación por coliformes fecales, pesticidas y agroquímicos.</p> <p>Disminución del tirante de agua debido en parte a la desviación del cauce del arroyo Caño Gallegos para actividades de agricultura</p> <p>Cercanía a Laguna Verde, ya que puede darse un accidente nuclear y contaminar de manera permanente la laguna</p>

5.2 Hidrodinámica lagunar con datos de campo

A través de los estudios que se han desarrollado en el estero autores como Contreras E., et al. (2005) y Matus P., et al., (1992) identifican a la salinidad como uno de las propiedades que regulan el funcionamiento de la laguna, la cual se mide en PSU que se lee como Unidades Prácticas de Sal equivalente a partes por mil (‰) y representa los gramos de sales disueltas en un kilogramo de agua. Para la clasificación de las condiciones de salinidad se emplea el siguiente criterio: agua dulce (<0.5 PSU), oligohalino (0.5 a 5 PSU), mesohalino (5 a 18 PSU), polihalino (18 a 30 PSU) y euhalino (30 a 40 PSU).

Otra de las propiedades fisicoquímicas que describe el comportamiento hidrodinámico del vaso lagunar es la temperatura ya que varía de acuerdo con la radiación solar, la conducción de calor, el influjo de agua de mar o ríos, la evaporación y por los procesos químicos y biológicos. Al ser La Mancha una laguna somera, se desprecia la presión como un posible factor que afecta a la densidad, por lo cual, solo está en función de la (T° y S), en general, estas variables son independientes entre sí, por lo tanto, el gradiente de densidad se genera de forma indistinta con los cambios de salinidad o temperatura y se define como masa por unidad de volumen (kg/m^3). Otras variables que se analizan son la marea, la velocidad de corriente y el pH

5.2.1 Dinámica de la boca lagunar

Conocer el comportamiento y variación in situ de los parámetros físicos de la masa de agua (S , T° , pH, velocidad de corriente, marea y densidad del fluido) en la boca del estero permite entender la interacción del vaso lagunar con el mar en un determinado tiempo; y con este propósito se realizaron dos monitoreos en la boca lagunar en los que se obtuvieron las series de tiempo de ambas variables.

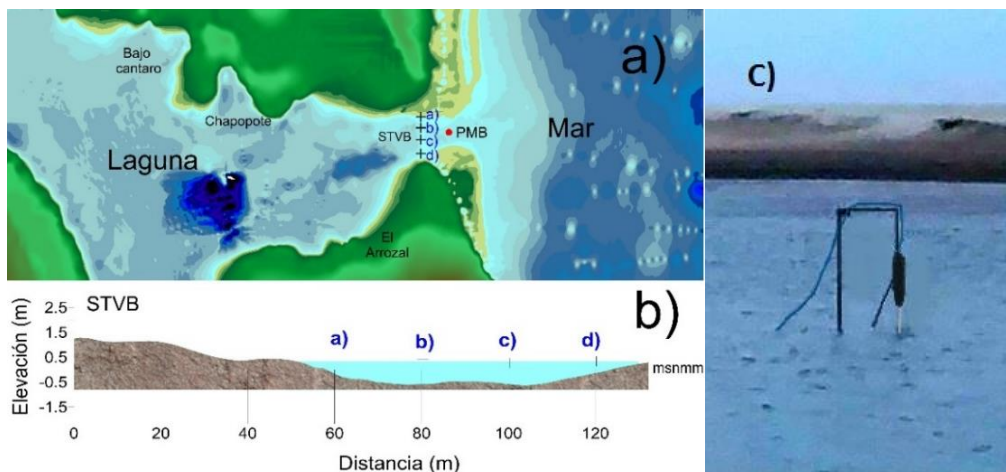


Figura 46. a) Localización de los puntos de muestreo. En mayo se muestreo un punto en el canal de marea (PMB) y en noviembre se muestrearon cuatro puntos sobre una sección transversal en la boca (STVB). b) Se muestra la STVB con los 4 puntos muestreados en mayo 2014. c) fotografía del perfilador de velocidad instalado en el canal de marea tomada en mayo de 2014.

El primer muestreo se llevó a cabo del 30 de abril al 2 de mayo de 2014 (temporada de secas) se monitoreó un punto en la boca (PMB) cada 30 minutos a una profundidad de 15 cm. Se empleó un perfilador de velocidades (Vectrino II) para obtener la corriente en el canal de la boca, también se usó un sensor multiparamétrico (HANNA) para medir las variables de (T° , S y pH); la localización del punto se puede ver en la Figura 46. Se inició el muestreo a las 15 h del 30 de abril y se concluyó a las 13 h el 2 de mayo. Es importante mencionar que tres días antes de la medición los pescadores de la zona abrieron la boca.

El segundo muestreo se realizó el 06 noviembre de 2014 (temporada de nortes) y se monitorearon cuatro puntos localizados sobre una sección transversal en la boca (STVB) (ver Figura 46). Se midieron las variables de S, T° y densidad con un CTD (CastAtway-CTD) con una frecuencia de muestreo de 30 minutos de 8:30 h a las 18:00 h. La marea se obtuvo mediante un sensor de nivel de agua (Mini_diver) el cual se colocó en el canal de marea.

La STVB se estableció en campo de acuerdo a los rasgos morfológicos de la boca, el ancho se determinó por el espejo de agua y para la ubicación se usó como criterio el límite oeste del canal de la boca en línea con la barrera litoral norte y sur (ver Figura 11 y Figura 46).

Temporada de secas

La variación de las elevaciones en el estero genera procesos de advección, convección, dispersión entre otros y se da principalmente por la marea la cual ocasiona una corriente hacia dentro del estero en pleamar (llenante) y a contracorriente en bajamar (vaciante), la velocidad de la corriente está dada por la sección transversal de la boca y no es dependiente de la diferencia de elevación. Dicho lo anterior, en esta sección se parte de la hipótesis que “al ser un estero somero y tener una boca estrecha, la velocidad de la corriente por marea es suficiente para mezclar totalmente la columna de agua por convección forzada, por lo que no existe un gradiente vertical de salinidad, temperatura, pH y densidad”, lo que significa que la masa de agua es homogénea en lo vertical y un punto de muestreo puede representar el comportamiento de los parámetros en la boca.

En la Figura 47 se presenta el comportamiento en el tiempo de los parámetros físicos medidos en la boca junto con la fluctuación de la marea. La amplitud de la marea para los 3 días de medición va de -0.4 m a 0.2 m, el primer día se midió en vaciante, en el segundo día en pleamar y en el tercer día en marea llenante. Se observa que la fluctuación de la temperatura es dependiente a la radiación solar ya que oscila de acuerdo con la hora del día, esto es, la temperatura aumenta en el transcurso del día hasta alcanzar su máximo alrededor de las 15 h cuando empieza a descender la magnitud. En lo referente a la salinidad y el pH fluctúan de acuerdo con la fase de la marea presentando las magnitudes menores en vaciante cuando la masa de agua es estuarina, mientras que en llenante o pleamar aumenta su magnitud a valores típicos marinos.

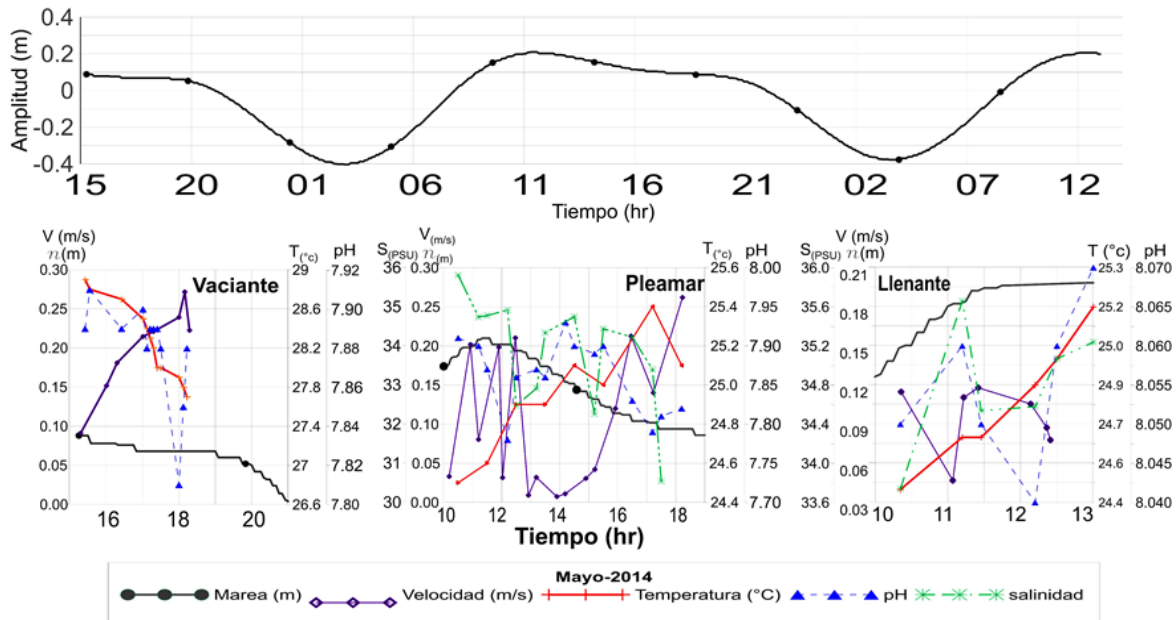


Figura 47. Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos (T° ; S; pH, Velocidad) del canal de la boca lagunar.

En esteros someros y estrechos, la velocidad de la corriente de marea se ve reducida por la fricción de fondo por lo que en marea vaciante la velocidad tiende a ser menor que en marea llenante, en caso de la boca de La Mancha este comportamiento es contrario ya que las mayores velocidades ocurren en corriente de reflujó (vaciante) con magnitudes de 0.31 m/s y 0.26 m/s el día uno y dos respectivamente. El tercer día la velocidad observada es de 0.12 m/s en llenante esta disminución en la velocidad puede deberse a que 5 días antes del muestreo la boca lagunar fue abierta artificialmente, por lo que la laguna estaba en proceso de vaciando mediante una corriente de salida que contrarrestaría la corriente de marea (Figura 47).

Tabla 30.- Estadísticos de la serie de tiempo de los parámetros de salinidad, temperatura y pH.

pH.				Parámetro Estadístico
$T(^{\circ}C)$	$S_{(PSU)}$	pH	$V_{(m/S)}$	
26.0	34.3	7.9	0.18	Media
24.5	30.5	7.8	0.08	Min
28.9	35.8	8.1	0.31	Max

V: Velocidad; S: Salinidad; pH: Potencial de hidrogeno;
 T° :temperatura.

Tabla 31. Coeficientes de correlación de las variables físicas del canal de marea del estero.

T°	pH	V	S	Parámetros
-0.8	0.5	-0.6	0.6	Marea
-0.6	0.5	-0.3	1	S
0.5	-0.6	1	-0.3	V

V: Velocidad; S: Salinidad; pH: Potencial de hidrogeno;
 T° :temperatura.

La boca lagunar se caracterizó con: una salinidad de 34.3 PSU; pH de 7.9; temperatura de 26 °C y una velocidad de corriente de 0.18 m/s. el rango de temperatura va de 24.5°C a 28.9 °C, la salinidad tiene un mínimo de 30.5 PSU y un máximo de 35.8 PSU, el pH fluctuación de 7.8 a 8.1 y la velocidad tuene un mínimo de 0.08 m/s y un máximo de 0.31 m/s (Tabla 30).

Se calculó una matriz de correlación para ver la interdependencia de las variables fisicoquímicas medidas en la boca, una correlación de magnitud 1 indica que una variable responde a la otra, cuando es positiva habla de un comportamiento paralelo, mientras que una correlación negativa indica que se comportan de manera inversa.

En la Tabla 31 se presentan los coeficientes de correlación de las variables físicas de la boca, la salinidad y el pH tienen un factor de correlación de 0.5, mientras que la salinidad y la temperatura tienen un coeficiente de correlación de -0.6. La temperatura depende principalmente de las fluctuaciones de la marea, ya que tienen un factor de correlación de -0.8. Por otro lado, la salinidad y la marea tienen correlación de 0.6 lo que indica que la salinidad en la boca puede estar influenciada por factores como la salinidad intrínseca del estero o la evaporación.

Temporada de nortes

Como se mencionó, en noviembre de 2014 se muestreó el comportamiento temporal in situ de la marea, temperatura, salinidad y densidad en cuatro puntos a lo largo de la sección transversal de la boca (Figura 46).

En la Figura 48 se presenta el comportamiento en el tiempo y en el espacio de las variables físicas con las fluctuaciones de la marea en la boca del estero. Se observa la influencia de la marea en intercambio de aguas entre el sistema estuarino y el mar. La marea va de bajamar a pleamar con una elevación máxima de 20 cm en el ciclo de muestreo.

En bajamar la densidad y salinidad en los cuatro puntos muestreados presentaron la menor magnitud de todo el muestreo, debido a que la corriente de reflujo del sistema estuario-lagunar tiene una mayor influencia que el mar. En llenante los parámetros de salinidad, temperatura y densidad incrementaron su magnitud pero presenta un comportamiento fluctuante, esto podría deberse a un corrientes de reflujo de la laguna, debido a pulsos propios de este tipo de sistemas, aunque en general los valores son superiores a los encontrados en bajamar por lo que vemos la influencia del agua de mar en la laguna (Figura 48).

En los puntos de muestreo b) y c) de la Tabla 32Tabla 46 se ve una fluctuación en los parámetros medidos esto pudiera deberse a que son los puntos más cercanos al canal de marea por lo que existe mayor mezcla por las corrientes de flujo y reflujo.

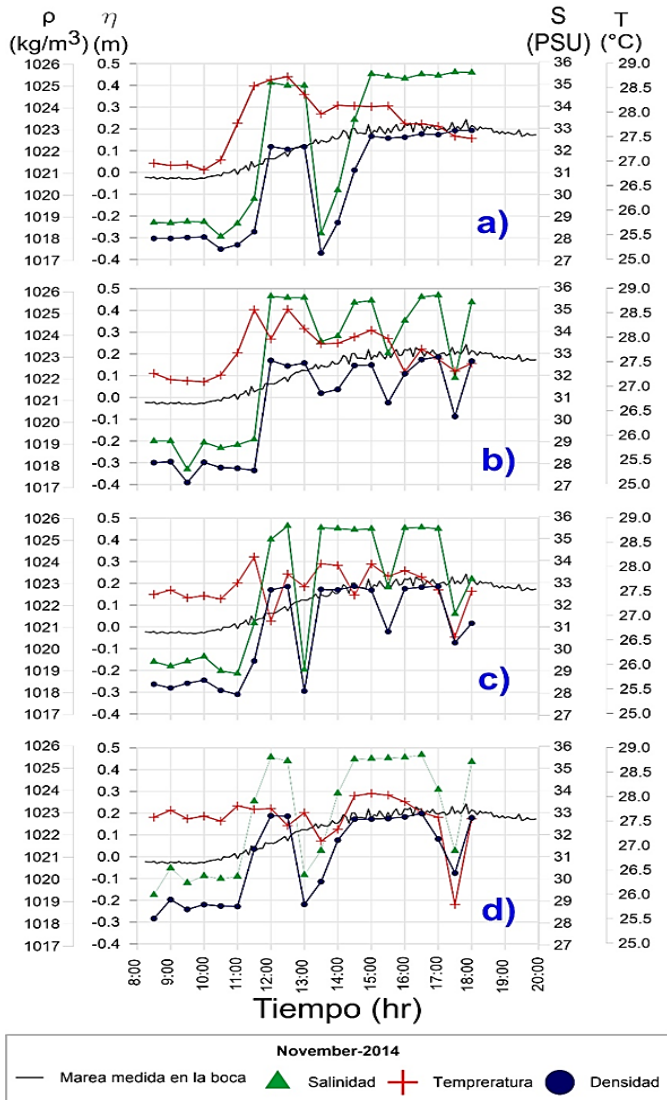


Figura 48. Variación espacial y temporal de la salinidad, temperatura y densidad en la sección transversal de la boca laguna La Mancha, Ver.

Tabla 32. Estadísticos de los parámetros físicos de la boca lagunar.

Parámetro	T(°C)	S(PSU)	ρ(kg/m ³)
Media	27.7	32.6	1020.7
Min	25.8	27.7	1017.2
Max	28.7	35.6	1023.0
Punto a			
Media	27.8	32.3	1020.5
Min	26.8	28.1	1017.3
Max	28.7	35.5	102.0
Punto b			
Media	27.7	32.6	1020.7
Min	27.3	28.9	1017.8
Max	28.6	35.6	1023.0
Punto c			
Media	27.6	32.6	1020.7
Min	26.6	29.1	1018.1
Max	28.1	35.5	1022.9
Punto d			
Media	27.6	32.9	1020.9
Min	25.8	31.3	1020.3
Max	28.1	35.6	1023.0

T: temperatura; S: salinidad; ρ: densidad

Tabla 33. Coeficientes de correlación de las variables físicas por punto medido.

T° & S	S & ρ	ρ & T°	serie
0.405	0.998	0.342	Punto a
0.512	0.997	0.449	Punto b
0.352	0.997	0.450	Punto c
0.307	0.998	0.252	Punto d

T°: temperatura; S: salinidad; ρ: densidad.

El mínimo de temperatura es de 25.7 °C a las 17:30 hr en el punto d) con un máximo de 28.7°C a las 12:30 hr para el punto a) y una media de 27.5°C para todo el registro. La Salinidad mínima es de 27.7 PSU para el punto b) a las 9:30 hr, la máxima salinidad se presenta a 16:30 en el punto c) con una magnitud de 35.6 PSU. Los valores de densidad en la boca van de 1017.3 (Kg/m³) a 1023.0 (Kg/m³) con una media de 1020.7 (Kg/m³).

Observaciones

- En abril la temperatura depende ampliamente de las condiciones de la radiación solar y de la marea, ya que fluctúa de acuerdo con las horas del día y el estado de la marea.
- En el mes de abril las velocidades con mayor magnitud se observan en marea vaciante esto puede deberse a que la laguna estaba en un proceso de vaciado ya que unos días antes del muestreo la comunidad pesquera abrió la boca.
- Para abril las variables fisicoquímicas presentan una baja correlación, esto puede deberse al desplazamiento de agua estuarina una huella fisicoquímica por lo que no se percibe una señal definida y a la radiación solar que genera evaporación cambiando las propiedades del agua en la boca.
- En época de nortes (noviembre, 2014) los parámetros de salinidad, temperatura y densidad en condiciones de boca abierta de forma antropogénica presentan una variabilidad que está en función a la onda de marea, ya que se observa en intercambio de aguas entre el sistema estuarino y el mar.

5.2.2 Dinámica del cuerpo lagunar

Con el fin de conocer las condiciones fisicoquímicas y su variación estacional se dividió el estero en 13 zonas de acuerdo con sus características batimétricas y morfológicas, en cada área se designó un punto de muestreo el cual se monitoreó de forma trimestral entre abril de 2014 y febrero de 2015. Se registraron los valores superficiales de pH, temperatura, salinidad y densidad (Figura 49). A su vez, en noviembre 2014 y febrero 2015 del punto 2 al 12 se midió el perfil vertical de la salinidad, temperatura y densidad.

Para medir la salinidad, pH y temperatura se empleó un sensor multiparamétrico HANNA, para la densidad se usó un CTD CastAtway y la ecuación empírica de densidad (13).

$$\sigma = (-0.93 + 0.8149S - 0.000482S^2 + 0.0000068S^3) \tag{14}$$

$$\sigma_m = (\sigma - 1) + 1000 \tag{15}$$

donde σ es la densidad abreviada del agua de mar, S es la salinidad medida y σ_m es la densidad calculada.

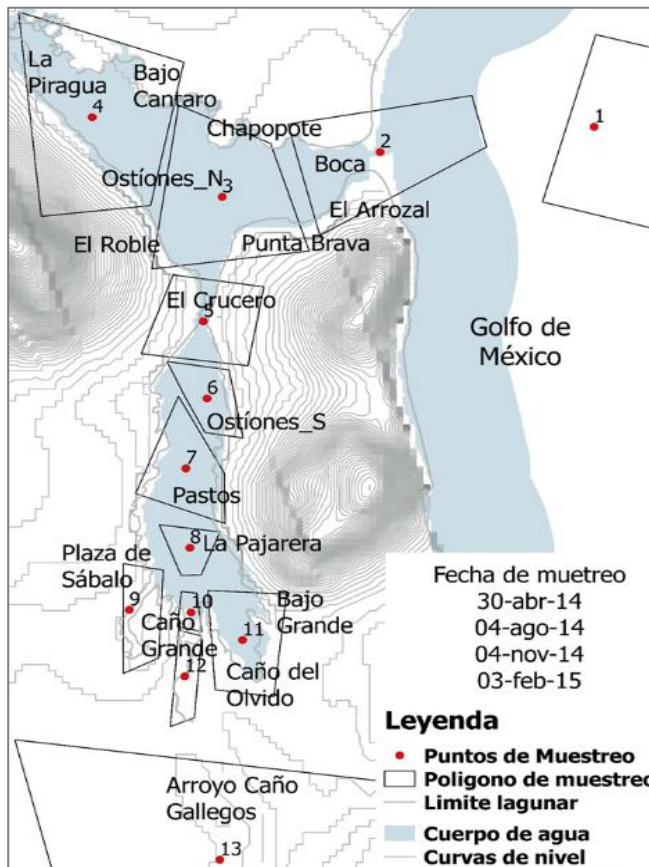


Figura 49. Puntos de muestreo de los parámetros de fisicoquímicos en el estero La Mancha.

Tabla 34. Coordenadas UTM de la red de muestreo de parámetros fisicoquímicos en laguna La Mancha.

X_UTM	Y_UTM	Nombre
776421	2168208	Mar
774963	2168150	Boca
774244	2167927	Ostiones_N
773661	2168337	La piragua
774166	2167300	El crucero
774183	2166912	Ostiones
774071	2166545	Pastos
774093	2166148	La Pajarera
773871	2165805	Plaza de Sábalo
774091	2165821	S_Caño de Grande
774349	2165678	Caño del Olvido
774075	2165488	Caño Grande
774229	2164562	A_Caño Gallegos

Tabla 35- Condición de la boca lagunar en el muestreo

Abril- abierta	Agosto -abierta
Noviembre - abierta	Febrero- cerrada

Variación estacional y puntual de los parámetros fisicoquímicos superficiales

En la Figura 50 se observa la variación espacial y temporal de la temperatura, pH, salinidad y densidad. El pH en época de estiaje (abril) presenta la menor variación espacial con una media de 7.7 y desviación estándar (DsvEst) de 0.09; para los meses de agosto y noviembre con la boca lagunar abierta el pH disminuyó gradualmente de la boca al arroyo Caño Gallegos con una media de 7.82 y 7.85 con DsvEst de 0.24 y 0.25 respectivamente a excepción del punto 11 el cual presenta un incremento en su magnitud, por ultimo para época de nortes (febrero) el pH se mantuvo constante con un valor ~8.3 con máximos en la boca y La Piragua (punto 2 y 4)(ver Figura 50 y Tabla 36).

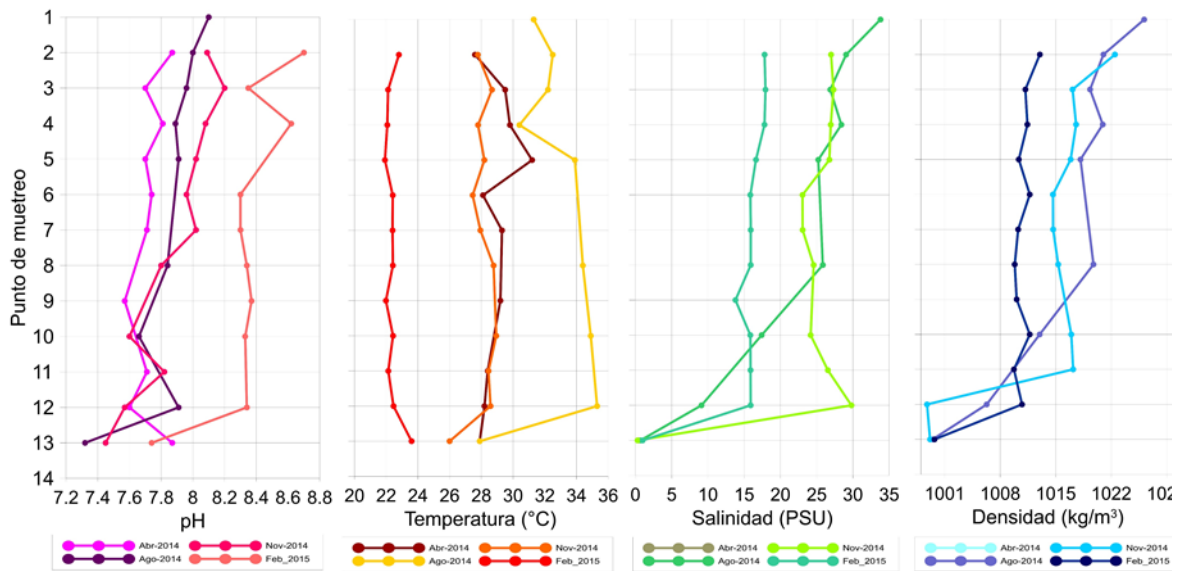


Figura 50. Parámetros fisicoquímicos por punto de laguna La Mancha, para los meses: abril 2014; agosto 2014; noviembre 2014 y febrero 2015.

La temperatura muestra un comportamiento temporal diferenciado. En abril, un mes cálido (Figura 18), se tiene una media de 29 °C. La temperatura aumenta de la boca a la zona central de la laguna presentando un máximo en el estrechamiento lagunar (punto 5) a partir del cual se tiene un decaimiento hacia el arroyo Caño Gallegos. En agosto la media es de 32.5°C con una varianza de 5.8, los valores mínimos se presentan en la boca del estero, el arroyo Caño Gallegos y en La Piragua donde al ser época de lluvias se tiene aporte por el arroyo Caño Juan Pérez (ver Figura 16). En el mes de noviembre la temperatura muestra un comportamiento similar a la descrita para el mes de abril con una media de 28.8°C, con mínimos en la boca y el arroyo Caño Gallegos. Por ultimo para el mes de febrero se observa una temperatura constante con una media de 22.3 °C (ver Figura 50 y Tabla 36).

En el mes de agosto (época de lluvias) la media de salinidad es de 20.9 PSU con DsvEst de 11, se observa en la Figura 50 un patrón de salinidad descendiente de la boca lagunar en dirección al arroyo Caño Gallegos lo que indica que la zona sur de la laguna está

influenciada del escurrimiento superficial, mientras que la zona norte se ve afectada por agua de mar, lo que concuerda con lo reportado por Barreiro-Güemes y Balderas-Corté (1991). En la gráfica se aprecia que en noviembre la salinidad se mantiene constante en la zona norte de la laguna con un valor ~ 28 PSU (polihalina) y a partir del punto 5 disminuye el contenido de sales en la zona sur pasando de mesohalino (~ 17 PSU) ha agua dulce en la desembocadura del arroyo (punto 13). Por último, en febrero se tiene poca variabilidad espacial dado que la masa de agua presenta características mesohalina en todo el vaso lagunar, con una media de 14 PSU, este comportamiento está determinado por el aporte de agua dulce por los afluentes, la obstrucción de la boca lagunar por una barra de arena y el esfuerzo cortante del viento sobre la superficie laguna que genera procesos de mezcla.

Tabla 36. Parámetros estadísticos de las variables fisicoquímicas del estero.

		pH	Tem	Sal	Dens
Abr-14	Media	7.71	29.07		
	DsvEst	0.09	1.05		
	Varianza	0.01	0.98		
Ago-14	Media	7.82	32.54	20.92	1015.4
	DsvEst	0.24	2.57	11.09	8.70
	Varianza	0.05	5.78	10.55	66.30
Nov-14	Media	7.85	28.08	23.25	1012.8
	DsvEst	0.25	0.87	8.34	7.39
	Varianza	0.05	0.68	62.54	49.11
Feb-15	Media	8.30	22.36	14.77	1009.7
	DevEst	0.23	0.46	4.70	3.39
	Varianza	0.05	0.19	20.08	10.46

Tem: temperatura; Sal : salinidad; Dens: densidad;
DsvEst: desviación estándar

Tabla 37. Matriz de correlación de los parámetros fisicoquímicos.

		Tem	Sal	Dens
Abr	pH	-0.303	SD	SD
Ago 14	pH	0.407	0.829	0.826
	Tem	1.000	0.163	0.175
	Sal	0.163	1.000	0.998
Nov 14	pH	0.213	0.540	0.753
	Tem	1.000	0.828	0.412
	Sal	0.828	1.000	0.636
Feb 15	pH	-0.652	0.890	0.895
	Tem	1.000	-0.801	-0.765
	Sal	-0.801	1.000	0.975

Tem: temperatura; Sal : salinidad; Dens: densidad.

En términos generales, la densidad muestra un comportamiento similar a la salinidad esto es debido a la alta correlación de estas dos variables en el muestreo de agosto, noviembre y febrero con valores de 0.998, 0.636 y 0.975 respectivamente. Cabe destacar que la salinidad también tiene una buena correlación con el pH, mientras que con la temperatura tiene buena correlación solo en noviembre y febrero (Tabla 37).

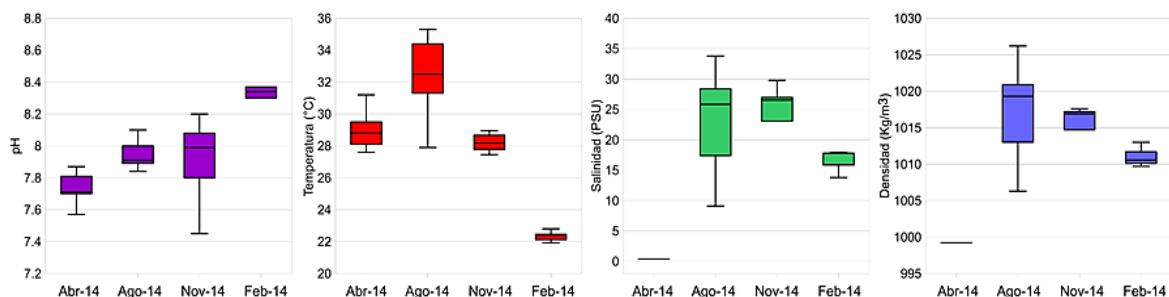


Figura 51.- Distribución de los parámetros fisicoquímicos por temporada de muestreo de laguna La Mancha.

Con el fin de conocer la variabilidad de las propiedades fisicoquímicas por época en la Figura 51 se presenta la comparación de los estadísticos máximo, mínimo, mediana y el percentil 25 y 50. En la gráfica se observa una tendencia del pH a incrementar a lo largo del año presentando la mayor heterogeneidad en noviembre donde el 50% de la muestra está entre 7.8 y 8.1, la menor dispersión se observa en febrero donde el pH se concentra entre 8.3 y 8.4. La temperatura lagunar va de 22°C a 34 °C y presenta los máximos en el mes de agosto donde el 50 % de la muestra está entre 31 y 34 °C, mientras que en febrero se tiene poca variación la muestra está concentrada entre los 22 y 23°. La salinidad y la densidad tienen un comportamiento similar con tendencia hacia lo polihalino en agosto y noviembre, mientras que para febrero se presenta poca dispersión en los valores.

Para el ciclo anual 2014 -2015 la laguna presentó un pH de 7.95 con DsvEst de 0.31, la temperatura es de 27.6 °C con una DsvEst de 3.9, la salinidad es de 19.28 PSU DsvEst de 9 y una densidad de 1012 kg/m³ con DsvEst de 7,15.

Observaciones

- En agosto y abril se observa la influencia de agua dulce en valores de pH, mientras que en noviembre la variación del pH está regido por el agua marina.
- En el mes de agosto (época de lluvias) para la salinidad, densidad y pH se observa un patrón descendiente de la boca lagunar en dirección al arroyo Caño Gallegos lo que indica que la zona sur de la laguna está influenciada del escurrimiento superficial, mientras que la zona norte se ve afectada por agua de mar.
- la mayor variabilidad espacial de temperatura se observa en agosto debido a la gran temporada de lluvias, mes cálido, con la boca lagunar comunicada con el mar
- En noviembre las propiedades fisicoquímicas se mantienen constante en la zona norte de la laguna y a partir del punto 5 disminuye hasta la desembocadura del arroyo.
- En febrero se tiene poca variabilidad espacial dado que la masa de agua presenta características todo el vaso lagunar, este comportamiento está determinado por el aporte de agua dulce por los afluentes, la obstrucción de la boca lagunar por una barra de arena y el esfuerzo cortante del viento sobre la superficie laguna que genera procesos de mezcla.
- Para el ciclo anual 2014 -2015 la laguna presento un pH de 7.95 con DsvEst de 0.31, la temperatura es de 27.6 °C con una DsvEst de 3.9, la salinidad es de 19.28 PSU DsvEst de 9 y una densidad de 1012 kg/m³ con DsvEst de 7,15.

Variación vertical de laguna la Mancha en nortes

En noviembre 2014 con el estero comunicado con el mar y febrero 2015 con la boca lagunar cerrada, se monitoreó la estratificación vertical de la salinidad, temperatura y densidad en las estaciones de medición de la Figura 49. La variación vertical de la temperatura se conoce como termoclina y se clasifica de acuerdo con su perfil, para la salinidad se usaron los rangos descritos en la sección 0. Dado que las zonas profundas en la laguna son principalmente los canales de circulación y las zonas someras son las áreas cercanas al mangle, los perfiles de verticales se presentan en dos grupos: por un lado, se tiene la boca lagunar, EL Crucero y Caño grande; el segundo grupo lo componen los puntos restantes del muestreo.

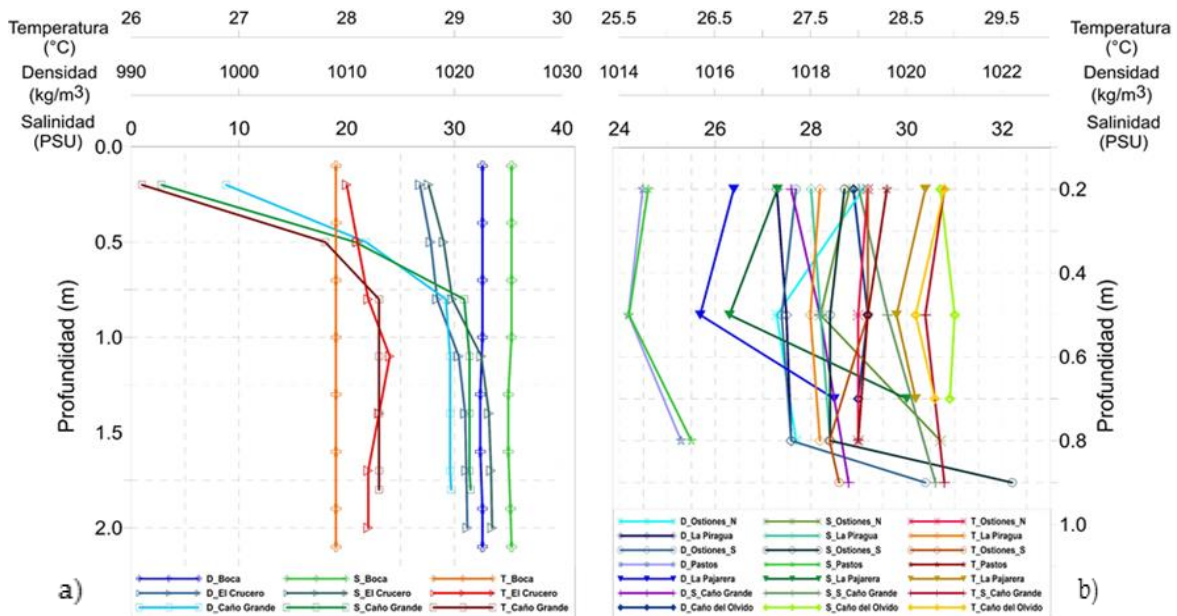


Figura 52.-Variación vertical de temperatura, densidad y salinidad en noviembre 2014 de laguna La Mancha.

En la Figura 52-a se presentan los resultados del muestreo vertical de noviembre, al analizar las propiedades de los perfiles verticales se observa, en Caño Gallegos, una estratificación vertical en dos capas que va de agua dulce a salobre, en los primeros 20 cm se presenta una capa oligohalina (~0 PSU) que pasa a mesohalina a los 50 cm (18 PSU) y a polihalina (32 PSU) a los 75 cm a partir de donde se mantiene constante la salinidad, el perfil de temperatura se comporta como termoclina invertida, la densidad superficial es de ~1000 kg/m³ mientras que en el fondo va a valores de ~1020 kg/m³ esta variación en dos metros de profundidad. En lo referente a El Crucero que es el canal de comunicación de la zona sur y norte la temperatura se comporta como un perfil inverso, se observa una estratificación en forma de cuña salina que va de polihalina en la superficie a euhalino en el fondo, es perceptible una capa de agua menos densa en la superficie que la del fondo por lo que se asume un proceso de mezcla. Finalmente, en la boca el perfil es homotermal y

euhalino lo que representa que la zona está regida por agua marina. Por lo anterior se asume una circulación regida por la densidad del flujo donde el influjo de agua salada es por el fondo y la circulación del agua dulce es superficial, también se observa que la capa de agua de mar tiene mayor espesor que la lámina de agua dulce, por lo que, los procesos de mezcla se dan rápidamente pasando de agua dulce a mesohalina.

En la Figura 52-b se muestra los valores de densidad, salinidad y temperatura en los puntos 3, 4 y 6-8 con profundidades menores a 1 m (se localizan espacialmente en la Figura 49 y sus coordenadas en la Tabla 34) se tiene un perfil de termoclina de superficie y de cuña salina polihalina que presentan una estratificación, alrededor de los 0.5 cm hay una disminución salinidad y densidad en las zonas centrales de la laguna (punto 3, 6, 7 y 8) valores que incrementan hacia el fondo, esto podría deberse a procesos de evaporación o la entrada de la marea. Contrario a lo visto los perfiles 2, 5 y 12 las propiedades físicas presentan menor magnitud en la zona norte, seguida por la zona central sur, los valores más altos se dan al sur en los puntos 10 y 11.

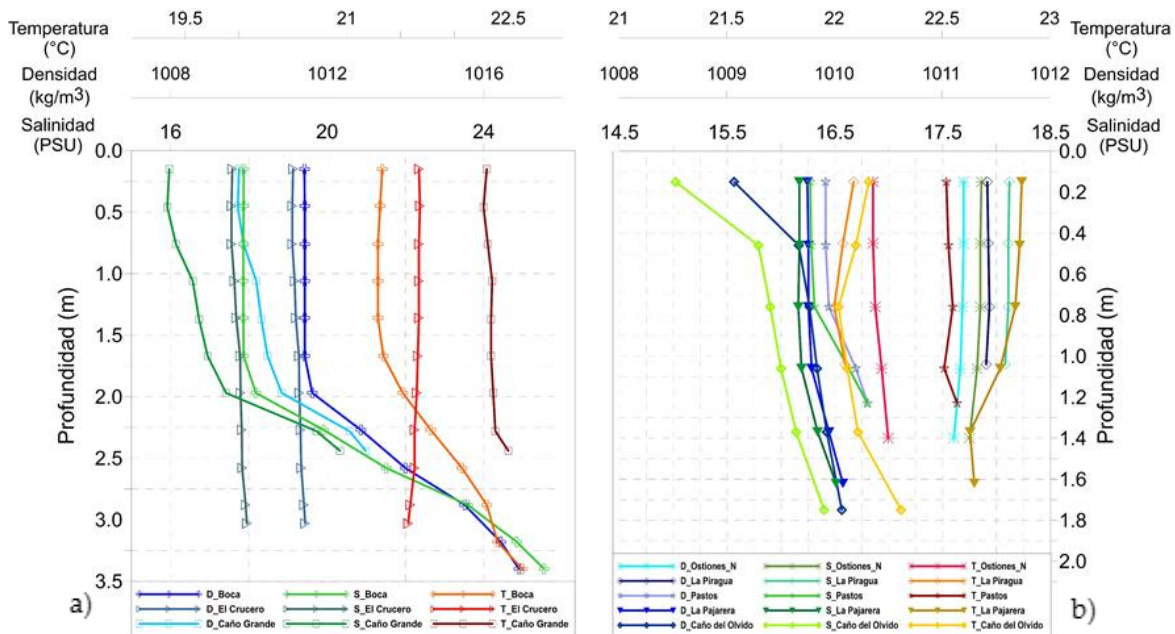


Figura 53.-Grafica de variación vertical de laguna La Mancha, para el mes de febrero 2015.

Cabe destacar Caño del Olvido ya que presenta un comportamiento a típico con valores cercanos al agua de mar con alta salinidad y densidad aunada alta temperatura, debido a la lejanía de este punto de la boca lagunar se considera a la temperatura y al viento como los vectores que propician estas condiciones ya que promueven una alta evaporación superficial, al ser una área somera y sin influencia directa del río y el mar se potencializan los procesos mencionados por lo que esta zona resulta de gran interés ya que puede

propiciar importantes flujos de convección. Se debe tener en cuenta que noviembre es un mes de nortes, seco y frío, por lo que no se presentan los máximos de evaporación y el viento generan procesos de mezcla, aun así, se ve una clara estratificación y una fuerte influencia de la temperatura (por medio de la evaporación) sobre la salinidad, por lo que se espera que en meses sin viento y cálidos este comportamiento de estratificación se acentúe.

Por otra parte, en la Figura 53a se presenta la variación de las propiedades fisicoquímicas (puntos 2, 5 y 12) medidas en el mes de febrero con la boca lagunar cerrada. Entre las peculiaridades está la disminución de magnitud de todos los parámetros con referencia a lo observado en noviembre; un incremento de 1 a 1.5 m en la profundidad lagunar; el comportamiento de estratificación de dos capas en arroyo Caño Gallegos y en la zona de la boca mientras que El Crucero presenta un perfil homotermal con una salinidad constante de ~18 PSU, en los puntos 2 y 12 los parámetros se mantiene constantes hasta los 2 m de profundizada donde se ve un cambio de masa de agua debido al aumento en la salinidad, temperatura y densidad. En los tres perfiles la salinidad tiene un comportamiento polihalino (16 a 24 PSU) y la densidad tiene un rango de 1009-1016 kg/m³).

A su vez en la Figura 53b se presentan los puntos 3,4, 7, 8 y 11 los cuales presentan un perfil vertical homogéneo en las tres propiedades, a excepción de Caño del Olvido que presenta un perfil de cuña salina.

Febrero se caracteriza por un cuerpo de agua estuarino con poca dispersión en vertical y longitudinal, pero es perceptible la estratificación del flujo. Dado que es época de nortes, invierno y la boca está cerrada, la laguna pierde calor por el viento que genera un esfuerzo cortante en la superficie el cual promueve flujos de mezcla y la pérdida de calor en la superficie.

Observaciones

- En noviembre las zonas profundas de la laguna tienen una circulación regida por la densidad del flujo donde el influjo de agua salada es por el fondo y la circulación del agua dulce es superficial, también se observa que la capa de agua de mar tiene mayor espesor que la lámina de agua dulce, por lo que, el proceso de mezcla se da rápidamente pasando de agua dulce a mesohalina.
- En noviembre las zonas someras tienen un perfil de termoclina de superficie y de cuña salina polihalina, las magnitudes bajas se presentan en la zona norte seguida por la zona central sur y los valores más altos al sur de la laguna. En la vertical se tiene con una disminución del valor de los parámetros a los 50 cm esto podría deberse a procesos de evaporación en la superficie lo que incrementa las propiedades o la entrada de la marea.
- Caño del Olvido tiene valores cercanos al agua de mar debido a la lejanía de este punto de la boca lagunar se considera a la temperatura y al viento como los vectores que propician estas condiciones ya que promueven una alta evaporación superficial, al ser un área somera y sin influencia directa del arroyo se potencializan los procesos mencionados por lo que esta zona resulta de gran interés ya que puede propiciar importantes flujos de convección.
- En muestreo de noviembre se realizó a finales de la época de lluvia, principio de nortes y en época invernal, se ve una clara estratificación y una fuerte influencia de la temperatura sobre la salinidad, por lo que se espera que en meses sin viento y cálidos este comportamiento de estratificación se acentúe.
- Febrero se caracteriza por un cuerpo de agua con poca dispersión en vertical y longitudinal, pero es perceptible la estratificación del flujo. Dado que es época de nortes, invierno y la boca está cerrada, la laguna pierde calor por el viento que genera un esfuerzo cortante en la superficie el cual promueve flujos de mezcla y la pérdida de calor en la superficie.
- En febrero el viento sobre la superficie extrae calor a la masa de agua por lo que aumenta la salinidad de estrato desencadenando un flujo de convección llevando consigo oxígeno al fondo y al estar cerrada la boca se presenta hay un proceso de eutrofización generando calor por lo que aumenta la temperatura en el fondo. Este comportamiento puede propiciar zonas muertas con baja productividad y como consecuencia disminución del volumen útil lagunar. Al aumentar el calor en el fondo se genera una disminución del transporte convectivo de oxígeno el fondo de la laguna.
- En la laguna se tiene una circulación en dos capas que se rige por la entrada de agua de mar y agua dulce, en la superficie no se ve un patrón estable, mientras que en el fondo la circulación va de agua salada a mesohalina.

Variación espacial de pH, salinidad y temperatura en nortes

En noviembre del 2014 y febrero 2015 se realizó un arrastre superficial a lo largo y ancho del estero para monitorear los parámetros de salinidad, temperatura y pH usando un multiparamétrico HANNA, la localización de cada punto se adquirió a través un GPS.

En la Figura 54 se muestra el cuerpo lagunar comunicado con el mar a través de la boca, se tiene un flujo y reflujo de corrientes inducidos por efectos de la marea diurna y por la descarga fluvial. Como se observó la boca permite la renovación de agua y los flujos inducidos por marea condicionan la distribución de salinidad de la laguna. Los valores de temperatura superficial de la laguna van de 28 °C a 30 °C decrece en las cercanías del arroyo Caño Gallego y Caño Juan Pérez esto pudiera deberse a la convección forzada de agua dulce que entra continuamente al estero y genera la disminución de temperatura.

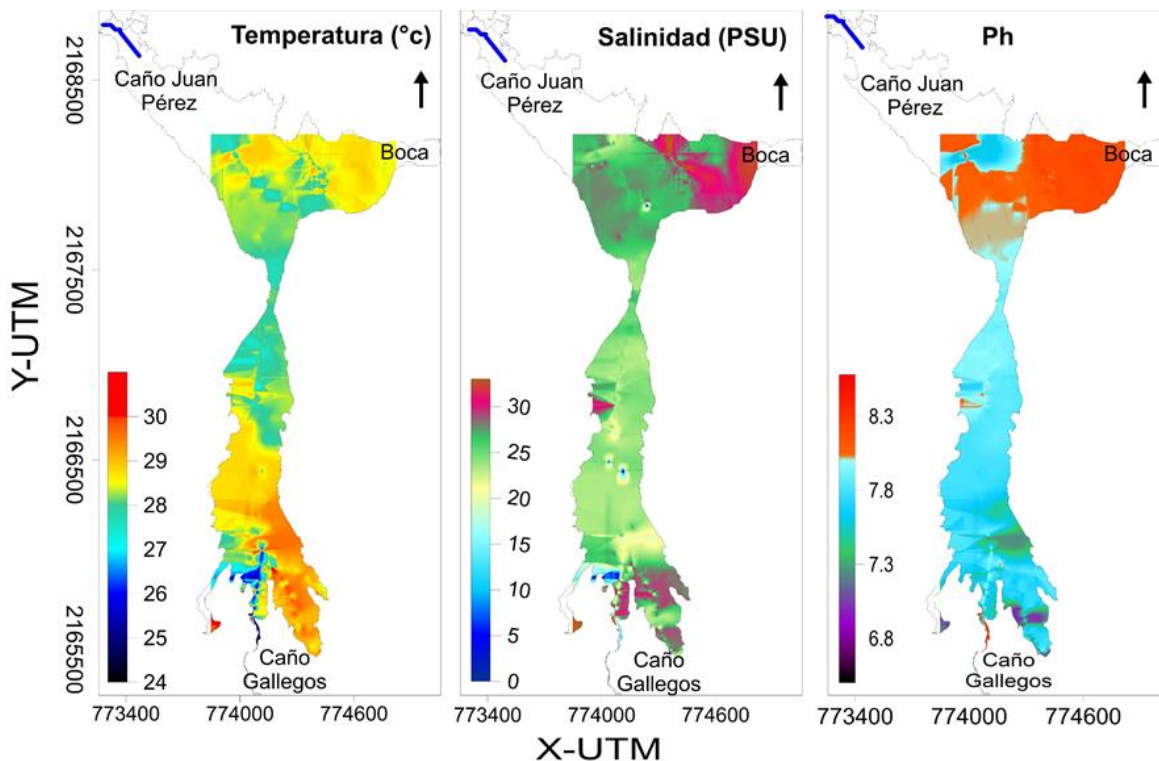


Figura 54.- Distribución espacial y superficial en laguna La Mancha de los parámetros físicos de salinidad, temperatura y Ph. Esta comunicada con el mar, en época de nortes, mes noviembre de 2014.

La concentración de salinidad en la laguna se estratifica de sur a norte, siendo agua dulce en el arroyo Caño Gallegos con valores de salinidad menores a 0.5 PSU, oligohalina con valores de 0.5 PSU en la parte sur cercana a la desembocadura de arroyo Caño Gallegos, en el cuerpo de agua sur en general tiene un comportamiento polihalino (>18 PSU) hasta llegar ser euhalino con una concentración de 33 PSU en la boca (Figura 54). La distribución espacial es la esperada ya que los valores más altos se encuentran en la boca y disminuyen a medida que se alejan de esta, la cantidad de sal que entra y sale es controlada por los flujos de marea

lo cual es una característica de las lagunas estuarina. También se ve el efecto del calentamiento y evaporación en la zona somera al sureste de la laguna (Figura 54).

Los valores de pH en las zonas costeras tienden a ser alcalinos con un rango de 7.5 a 8.4, el pH presenta un comportamiento similar al descrito para la salinidad. El pH está altamente relacionado con la temperatura, cuando la temperatura aumenta el valor de pH disminuye, esto explicaría el descenso de pH en la zona sur donde se presenta un incremento de temperatura.

En condiciones donde la cuenca lagunar está aislada del mar como es el caso en la Figura 55 la variabilidad en está dada por aporte de agua dulce y la evaporación. Los cambios espaciales y magnitud del pH, temperatura y salinidad son inferiores a los observados 3 meses antes (noviembre 2014).

El pH de la laguna oscila principalmente entre 8.3-8.7, estos valores altos pueden deberse a la baja temperatura superficial que va de 20° C a 24° C aproximadamente 6° C por debajo de los registros de temperatura de noviembre. La variación de salinidad espacial tiene un rango de 15 PSU a 18 PSU para toda la laguna, a excepción de la descarga de agua del arroyo Caño Gallegos donde se registraron valores de 2 PSU este por arriba de los registrados (<0.5 PSU) en noviembre (Figura 55).

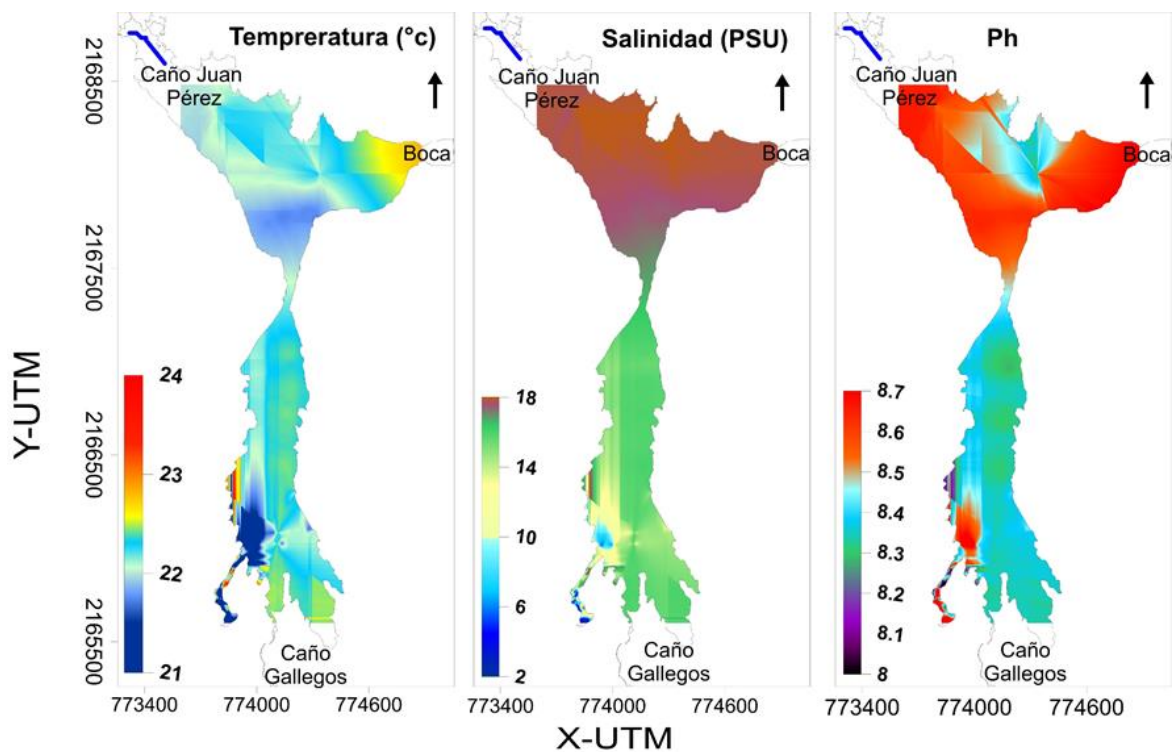


Figura 55. Distribución espacial y superficial de los parámetros físicos de salinidad, temperatura y Ph en laguna La Mancha, sin estar comunicada con el mar, en época de nortes, febrero 2015.

Al ser una albufera la salinidad tiende a ser homogénea en lo vertical y longitudinal esto se debe a la poca profundidad y a la agitación producida por el viento. Con lo anterior se puede inferir que al no tener aporte marino la laguna busca el equilibrio hídrico, siendo los flujos difusión, convección, advección y mezcla altamente importantes (Figura 55).

Observaciones

- El arroyo Caño Gallegos y Juan Pérez inyectan agua dulce por convección forzada provocando variación en los patrones de salinidad, temperatura y pH lagunar.
- El lagunar tiene una graduación en los parámetros de salinidad de sur a norte, los cuales van de agua dulce a euhalinos.
- Otro factor ambiental que provoca el cambio en los parámetros lagunares es la evaporación, ya que provoca flujos convectivos e incrementa la salinidad, temperatura lo que genera un decaimiento en el pH.
- La condición de la boca lagunar (abierta o cerrada) rige los procesos en la laguna y condiciona la biota.

5.3 Procesos en la playa La Mancha

El litoral costero sufre cambios ocasionados por factores naturales y/o inducidos por el hombre que provocan transgresión o regresión de la costa (Castañón-Moreno, 1995; Tavares 1996 citado en Peña-Cortés et al., 2008), por lo que para la creación de un PMLM es necesario conocer los ambientes costeros (Cupul-Magaña et al., 2006) y evaluar la vulnerabilidad de la laguna ante la erosión o transgresión de la playa. La celda litoral de La Mancha se caracteriza por ser altamente dinámica presentando periodos de transgresión y de regresión, está delimitada por dos promontorios rocosos, como fuente sedimentaria tiene el cordón de dunas móviles al norte y la boca de la laguna al sur (Figura 56 y Figura 11). La barra litoral es de arenas finas de origen biogénico como terrígeno poco humificadas producto de plantas, bancos de moluscos, aportes del arroyo y dunas, con alta permeabilidad (Travieso-Bello, 2006). También se localiza cobertura vegetal principalmente de plantas de dunares.

Dentro de las variables que moldean la línea de costa se encuentra la geología de la zona que dicta el patrón de rocas presentes en la playa, fondo marino y tierra adentro; la morfología que depende el viento, el oleaje, la marea y las corrientes, los cuales erosionan, transportan y depositan sedimento en distintas escalas de tiempo (Sánchez V., 2011). Las características y distribución del sedimento ayudan a evaluar la estabilidad de playa, entender la interacción entre los ambientes costeros y permite estimar el transporte sedimentario.



Figura 56.- Vista de playa La Mancha, foto de 04 de agosto de 2014.

Según Komar (1976) la forma más común para determinar los cambios en la playa es mediante el monitoreo del perfil de playa el cual actúa como un mecanismo natural de disipación de energía de las olas que protegen a la parte posterior de la playa de la acción del oleaje. Las características texturales del sedimento nos indican el origen y las condiciones de transporte y depositación (Folk y Ward 1957). Sahu (1964) propuso una serie de ecuaciones lineales discriminantes para determinar los ambientes sedimentarios basados en las condiciones de energía.

En esta sección se presenta la evolución de la línea de costa por medio de imágenes satelitales para el periodo (2005-2010), el cambio morfológico de la playa de noviembre 2013 a febrero de 2014, las características texturales y los ambientes sedimentarios.

5.3.1 Evolución de la línea de costa por medio de análisis de imágenes de satélite

Para la evolución de la línea de costa en La Mancha se usó el método *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) del U.S Geological Survey (USGS)* (Thieler et al., 2008; García y Vallejo, 2012; García y Cáceres, 2012) empleando imágenes satelitales del espectro visible las cuales se obtuvieron de Google Earth, Bing y OpenStreetMap para el periodo 2005-2015 (Tabla 38). Las imágenes se procesaron y analizaron mediante el software libre QGIS versión 2.12.

Tabla 38.- Fecha de imágenes satelitales para análisis de evolución de línea de costa en La Mancha, Veracruz.

Número	Fecha	Número	Fecha
1	Abr_05	8	Jun_12
2	Ene_08	9	Nov_12
3	Oct_09	10	Dic_13
4	Jun_11	11	Oct_14
5	Ago_11	12	Abr_14
6	Sep_11	13	Nov_14
7	Dic_11	14	Feb_15

Primero se corrigió la geoposición de las imágenes satelitales, posteriormente se vectorizó la línea de costa cero usando como criterio el cambio de vegetación entre las dunas estabilizadas y dunas móviles (Figura 57 y Figura 11). A continuación, se tomaron diez puntos sobre la línea costa cero (Tabla 39). Por último, se midió el ancho de playa utilizando los puntos sobre la línea cero y la línea de transición de playa-mar (línea de rompiente) por fecha (Figura 57).

Tabla 39.- Posición geográfica de los transectos en playa La Mancha, Ver.

Número	X_UTM	Y_UTM	Distancia entre %puntos (m)
0	775390	2169105	0
1	775344	2169070	142.38
2	775212	2169020	135.19
3	775114	2168920	212.06
4	774999	2168750	172.94
5	774925	2168590	239.4
6	774910	2168350	167.26
7	774912	2168180	204.72
8	774973	2167990	142.18
9	775018	2167850	249.21

UTM: coordenadas en distancia universal transversal de Mercator.

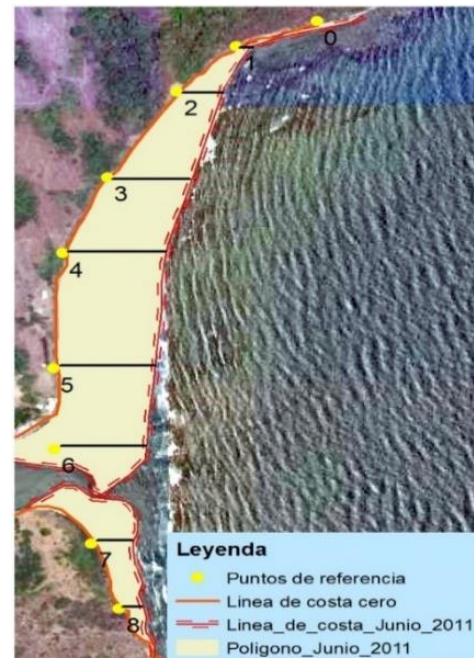


Figura 57.- Localización de puntos de referencia en playa La Mancha.

Para cada imagen se calculó el área de playa usable (superficie entre dunas móviles y línea de rompiente) empleando polígonos de la zona norte y sur cuando la boca se encuentra abierta (Figura 57) o de la superficie total cuando la playa tiene continuidad. A partir de la digitalización anterior se determinó el estado de la boca lagunar usando tres criterios: abierta cuando la boca se encontraba completamente franca al mar; semicerrada si la boca presentaba un estrecho canal de acceso (5 a 40 m), y cerrada si se encontraba obstruida completamente por una barra arenosa.

Resultados

La celda litoral La Mancha tiene una longitud ~1.7 km N-S con una orientación que va de 14.5° a 24° NE, la geoforma oscila de subrectangular a cóncava, por la presencia temporal del canal de la boca lagunar que tiene un ancho ~0.1 km la celda se divide en playa Paraíso con una distancia N-S de ~1.1 km y playa sur de ~0.45 km.

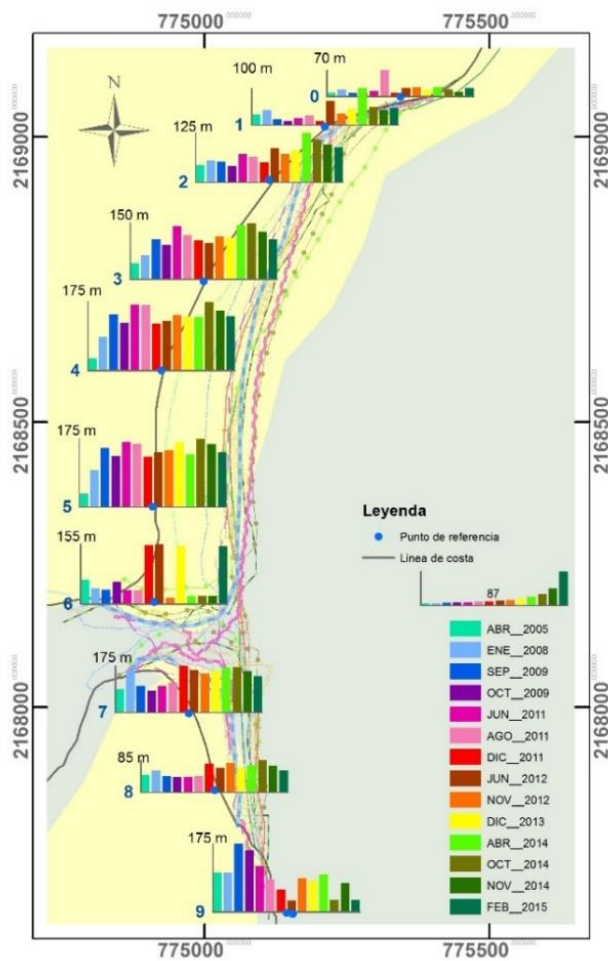


Tabla 40. Evolución temporal de la superficie de playa La Mancha para el periodo 2005-2015.

FEB_15	0.171
NOV_14	0.168
ABR_14	0.152
OCT_14	0.171
DIC_13	0.121
NOV_12	0.146
JUN_12	0.15
DIC_11	0.13
SEP_11	0.125
AGO_11	0.134
JUN_11	0.149
OCT_09	0.114
ENE_08	0.121
ABR_05	0.062

■ Área (km2)

Figura 58. Evolución temporal de la longitud de playa para el periodo 2005-2015.

En la Figura 58 se observa la longitud de playa en diez secciones para el periodo 2005-2015, en general, la playa tiene una dinámica de acreción, en enero de 2005 se midió en dirección O-E 42.9 m de longitud promedio de playa, en fechas posteriores se ve un incremento en la longitud promedio alcanzado 100.9 m en febrero del 2015. El crecimiento de la zona litoral se corrobora con el área de playa calculada (ver Tabla 40), teniendo en 2005 una superficie de 0.062 km² contra 0.171 km² en 2015 lo que representa un incremento de 175% de área. Por otro lado, las secciones 4, 5 y 7 de playa presentaron el mayor incremento en longitud para todas las fechas analizadas, mientras que la sección 6 muestra fluctuaciones de longitud a lo largo del registro (ver Figura 58), esto se atribuye a que esta sección se encuentra en la frontera norte de la boca lagunar por lo que se ve afectada por la dinámica de apertura y cierre de la misma. En ciertas épocas la playa presenta un comportamiento fluctuante entre pérdida (oct-2009, dic-2011 y feb-2015) y ganancia (jun-2011 y oct-2014) de superficie de playa lo anterior se debe a la acción del oleaje y la deriva litoral norte-sur (ver Figura 58 y Tabla 40).

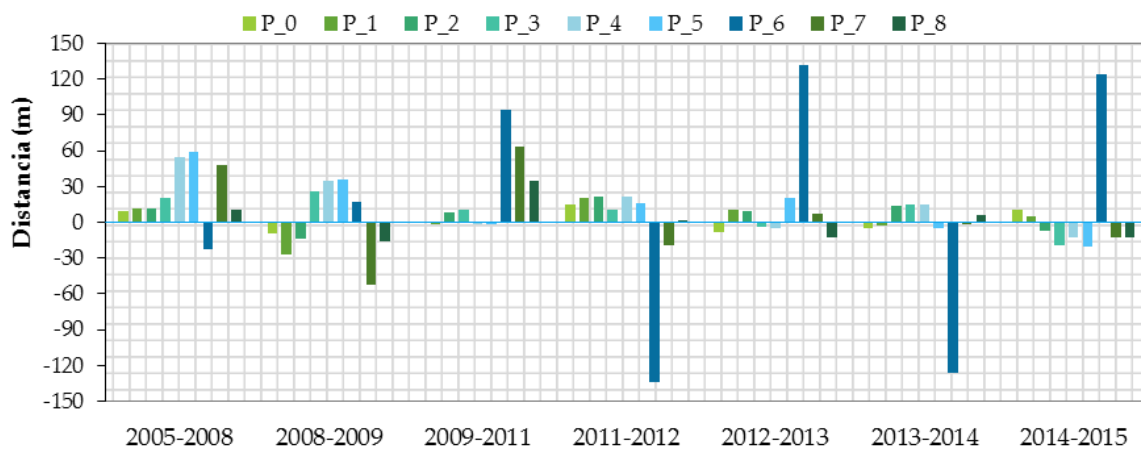


Figura 59.- Balance anual de avance y retroceso de la línea de costa por transecto en playa La Mancha, Ver. Donde P es la contracción de punto y el número hace referencia a la localización de la Figura 57.

En la Figura 59 se presenta el balance entre avance y retroceso de la línea de costa por transecto para periodos anuales (ver localización en Figura 57). En todas las épocas se encontró mayor magnitud de cambio en la zona central de la playa (P_4-P_7). Por otro lado, en el intervalo de tiempo 2009-2011 la playa Paraíso no presentó un cambio significativo en la longitud de playa, sin embargo, en la sección que se encuentra al sur de la boca se observa un crecimiento de playa en dirección O-E de 64 m alcanzando una longitud máxima de 118 m. El periodo 2014-2015 muestra un retroceso de la línea de costa exceptuando P_0 y P_6. El segmento de playa P_6 presenta la mayor variación de cambio anual de todo el registro.

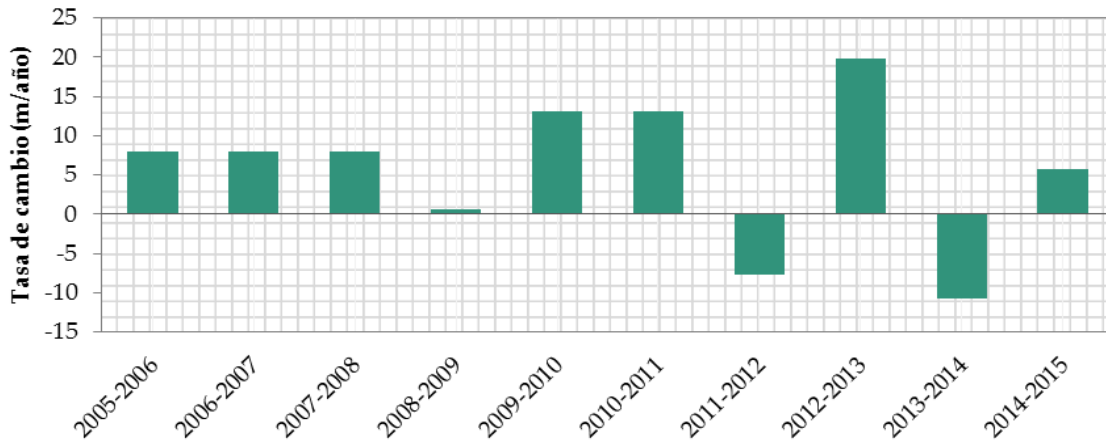


Figura 60.- Promedio de tasa de cambio anual de línea de costa para la playa La Mancha, Ver.

La tasa de crecimiento promedio para el periodo 2005-2015 es de 5.8 m/año. En intervalo 2008-2009 se considera que la playa se mantuvo estable, los periodos con retrogradación en la línea de costa son 2011-2012 y 2013-2014. El año comprendido entre 2012-2013 presentó la mayor tasa de acreción con 19.8 m/año contra los -10.6 m/año del periodo 2013-2014 (Figura 60).

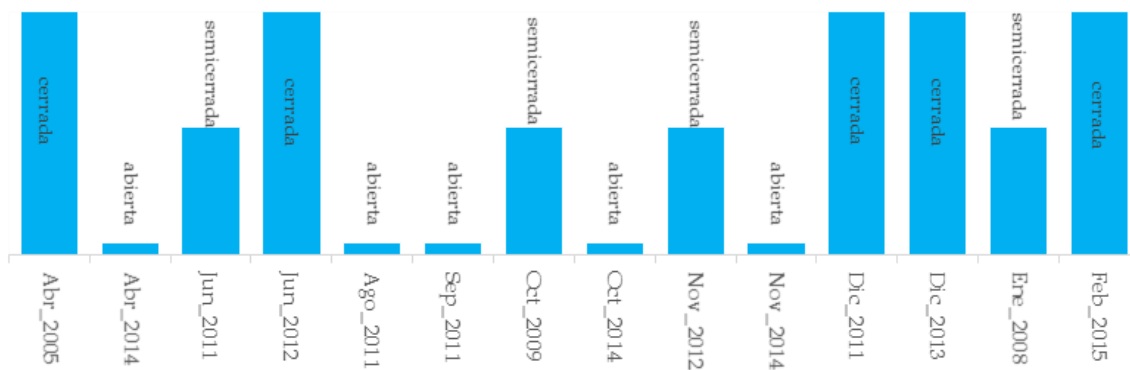


Figura 61.-Boca de laguna La Mancha para el periodo 2005-2015.

El proceso de cierre de la laguna se da por la formación de una flecha de arena en la frontera norte del canal de acceso que se extiende hasta cubrir completamente la boca (Figura 58). Por otro lado, no se ve un patrón para determinar en qué mes del año se abre la boca, pero se encontró abierta entre agosto-noviembre (Figura 61).

Observaciones

- La playa tiene un proceso fluctuante en avance y retroceso de la línea de costa, pero en el periodo 2005-2015 el balance es hacia la progradación, con una tasa de acreción de 5.8 m/años con un crecimiento promedio de playa de 58 m lo que se refleja en una ganancia en superficie de playa de 0.109 km².
- En la playa existe una deriva sedimentaria de norte a sur, se observa en la frontera norte del canal del canal de acceso de la boca la formación de una flecha sedimentaria, la cual crece hasta cerrar el canal.
- La boca de la laguna se encuentra abierta de agosto a noviembre, cerrada en diciembre, y en los meses de enero a septiembre no se observa un patrón claro.

5.3.2 Caracterización de los procesos morfológicos y sedimentarios

Morfología de playa La Mancha

Método

Para la descripción morfológica de la playa se efectuaron cuatro levantamientos topográficos: tres en temporada de nortes (noviembre 2013, noviembre 2014 y febrero 2015) y uno en temporada de secas (mayo 2014). En cada levantamiento se realizaron tomaron cuatro perfiles de playa con dirección perpendicular a la línea de costa desde la zona de lavado a la zona de dunas estabilizadas y la sección transversal de la boca lagunar (STVB), para la STVB de uso como criterio la longitud N-S del espejo de agua y los límites norte y sur del cordón litoral, los puntos se localizan en la Figura 62.

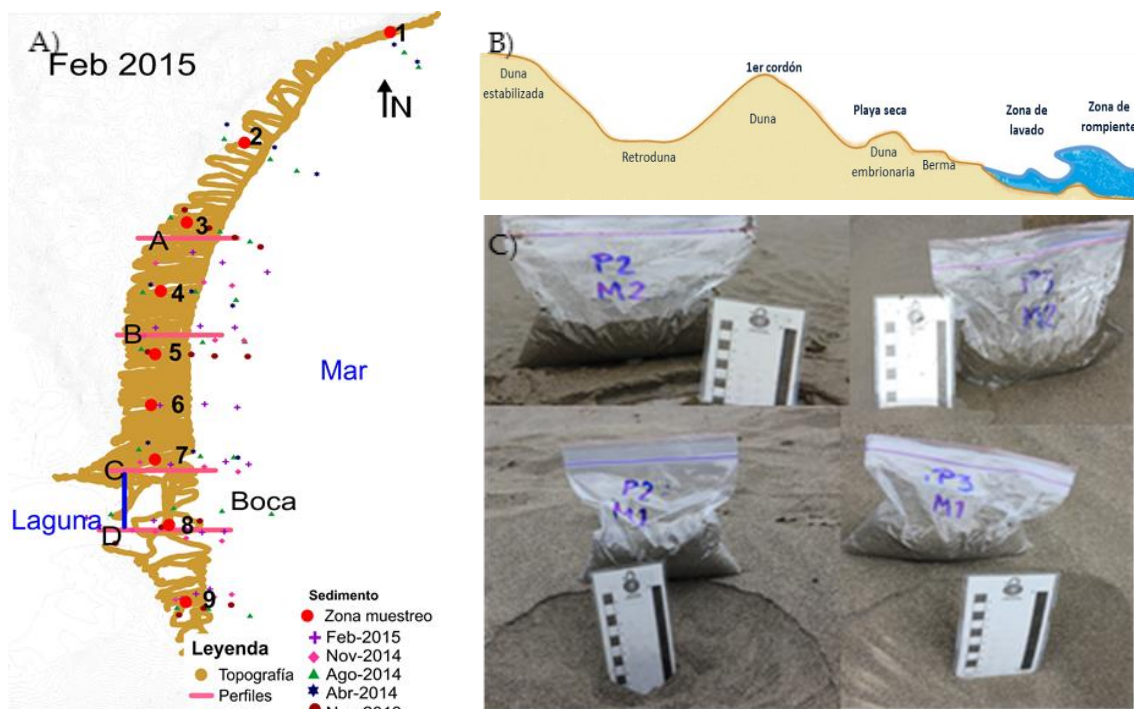


Figura 62. Esquema del sitio de muestreo. A) Vista en planta de playa La Mancha, en coordenadas UTM WS1984 zona 14; B) Localización de puntos de muestreo de sedimento en el perfil de playa; C) fotografía de muestreo en playa.

Para referir las cotas del terreno al nivel medio del mar, los valores de los GPS diferenciales se corrigieron con la altura geodésica de la estación UVER-Boca del Río de la Red Geodésica Nacional Activa. Posteriormente se obtuvo la altura geoidal del modelo digital de elevación GGM10 proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Por último, se calculó la altura ortométrica por medio de la ecuación 16.

$$H=h - N \quad (16)$$

donde: H es la altura ortométrica, h: es la altura geodésica y N es la altura geoidal.

Una vez obtenidos los datos puntuales corregidos, se emplearon sistemas de información geográfica en el procesamiento de la información y generación de el modelo de elevación de la playa para cada muestreo. Para crear el modelo de elevación y perfiles de playa por fecha se utilizó el método de interpolación Kriging con una resolución espacial de 1 m el cual ha sido ampliamente usado.

De los perfiles de playa se obtuvo la pendiente y se calculó con la ecuación 17:

$$b = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} \tag{17}$$

Para la descripción de la morfología se utilizó el número de Iribarren (Iribarren y Nogales, 1949), ampliamente utilizado en la literatura el cual está definido por la ecuación:

$$Ir = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_{sh}}{L}}} \tag{18}$$

donde α es el ángulo de inclinación del perfil; H_{sh} es la altura de ola en rotura, L es la longitud de onda. Valores mayores a 2 representan playas reflejantes, dentro del rango 0.23 a 2 son intermedias y valores menores a 0.23 son playas disipativas.

El parámetro adimensional de caída de grano fue propuesto por Dean (1973), se basa en el oleaje y en el sedimento y está definido por:

$$\Omega = \frac{H_{sh}}{w_s T_p} \tag{19}$$

donde w_s es la velocidad de caída del sedimento y T_p es el periodo pico y la H_{sh} . La velocidad caída de la arena fue estimada a partir del diámetro nominal del sedimento y HEC-18 (1993). Masselink (1994) propuso que valores de Ω menores de 2 para playas reflectivas, entre 2 y 5 intermedias y mayores de 5 para playas disipativas.

Tanto para la formulación de Iribarren y Dean se utilizaron datos de oleajes reportados en la sección de oleaje, los diámetros sedimento se calculan y reportan en la sección de granulometría.

Resultados de la morfología

Como ya se mencionó, la playa está delimitada por un cordón de dunas móviles al norte, la boca de la laguna y un promontorio rocoso al sur y es fuente de sedimentos para la laguna (Figura 56 y Figura 11).

Tabla 41. Área superficial de la celda litoral La Mancha

MES	NOV-2013	MAY -2014	NOV-2014	FEB- 2015
ÁREA(KM²)	0.120848	0.151742	0.168113	0.170540

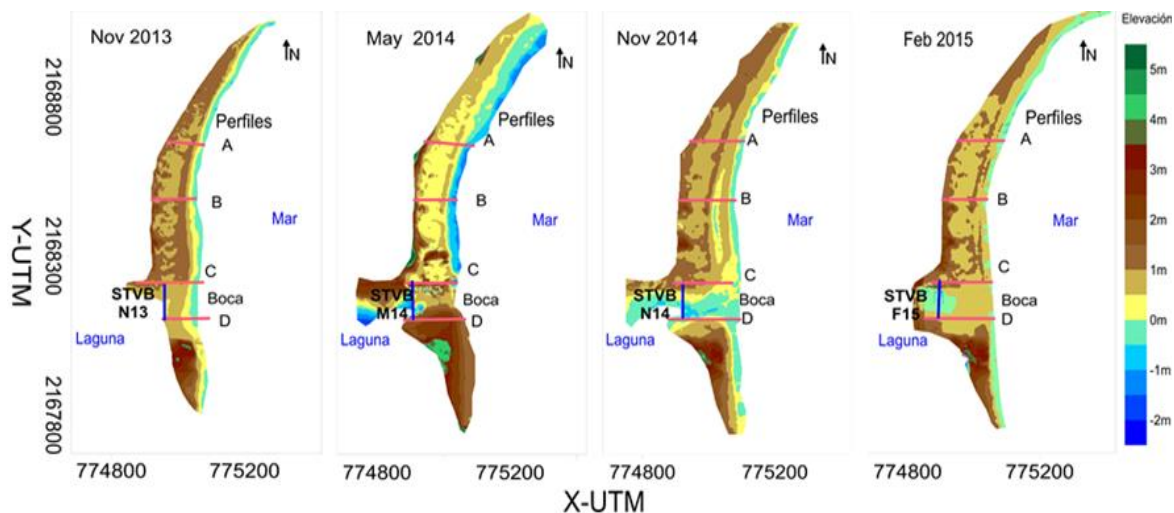


Figura 63. Evolución de perfiles de playa en La Mancha, para un ciclo noviembre 2013-febrero 2015.

En el periodo del muestreo se presentó un incremento en área de playa de 0.12 km^2 a 0.17 km^2 lo que representa una ganancia tierra-mar del 41% (Tabla 41). En los meses de noviembre del 2013 y febrero del 2015 la boca lagunar estuvo cerrada por una barra arenosa la cual presentó un ancho en dirección O-E de 96 m y 161 m respectivamente, el ancho de la barra se midió perpendicularmente desde la STVB hasta la frontera del cordón litoral con el mar. Por otro lado, la boca estuarina se encontró abierta en mayo del 2014 y noviembre del 2015 con un ancho O-E en el canal lagunar 140 m y 173 m respectivamente, en canal de acceso se midió perpendicular a la STVB hasta alcanzar el límite Este de los perfiles C y D de la Figura 63.

La STVB es altamente dinámica entre épocas, por ejemplo, la longitud N-S varió en un rango de 40 a 100 m para los cuatro meses de medición (Figura 64). En noviembre del 2013 (STVB -Nov13) la altura de la STVB estuvo en el rango de 0.6 a 1 msnm, lo anterior porque el canal lagunar estaba obstruido por una barra arenosa; mientras que el mes de mayo del 2014 (STVB -May14) se tuvo una elevación de 2.5 m como máxima y -1.3 m la mínima; en noviembre 2014 (STVB -Nov14) se calculó una altura máxima de 1.5 m y mínima 0.8 m; por ultimo en febrero del 2015 (STVB -Feb15) se presentó un rango de altura de -0.5 a 1msnmm. La boca y el canal de acceso en STVB -Nov13 se encuentran azolvados, mientras que en la STVB -May14 la boca tiene una longitud N-S de 80 m con un fondo sinuoso y un tirante hidráulico de 1.3 m. Por otro lado en STVB -Nov14 la boca se desplaza en dirección sur 40 m y tiene una longitud N-S de 70 m con un tirante hidráulico de 0.7 m y por último en STVB -Feb15 la boca tiene una longitud N-S de 40 m con una tirante de 0.5 m, para éste mes el canal de acceso se encuentra totalmente azolvado por la formación de una barra arenosa como se puede ver en la Figura 63.

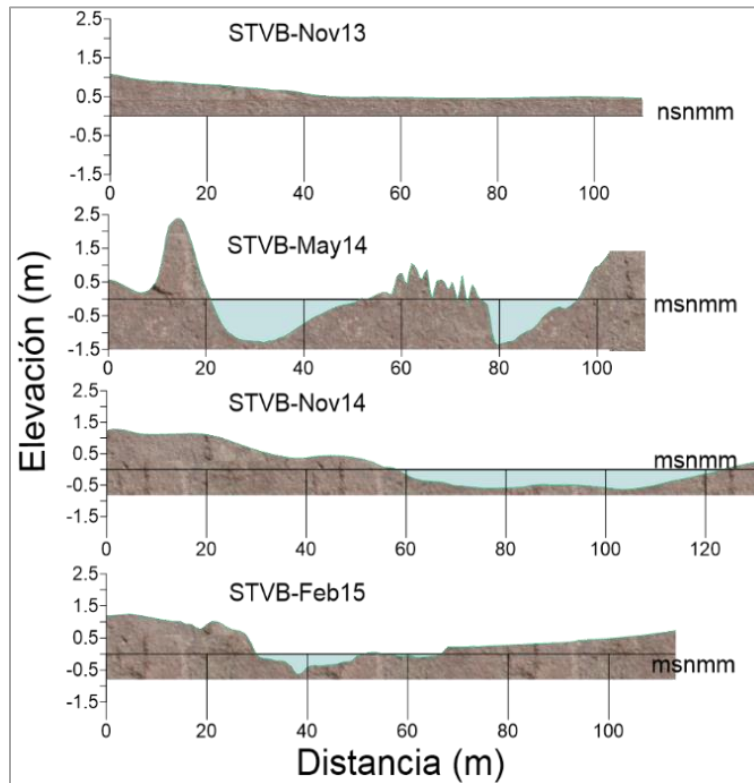


Figura 64. Sección trasversal de la boca estuarina La Mancha, para los meses de noviembre de 2013, mayo 2014, noviembre 2014 y febrero 2015.

En la Figura 65 y Tabla 42 se presenta la evolución temporal de los perfiles de playa para la época nortes (noviembre 2013 y 2014 así como febrero 2015) y secas (mayo 2014) localizados en la Figura 63, a continuación se hace una descripción por época y perfil considerando la longitud del perfil, la elevación y se presentan 2 pendientes, la del perfil y de la zona entre playa seca y mar. En Noviembre de 2013 se calculó una pendiente promedio de -0.007 para el cordón litoral el cual mostró formaciones de dunas; el perfil A tuvo una pendiente de -0.008 m con una longitud de 111 m y la zona de playa presentó ~ -0.04 de pendiente; el transecto B muestra características similares con una distancia de perfil de 137 m y una pendiente de -0.007 con -0.04 de pendiente de playa; la sección C se encuentra en el márgenes norte de la boca con una pendiente de perfil y de playa de -0.007 y -0.01 respectivamente; y D presentó una longitud de 100 m con 0.5 m de elevación y pendiente de -0.007 . Para la época de secas las formaciones de dunas presentaron mayor elevación respecto a noviembre pero menor frecuencia en el perfil para el cual se calculó una pendiente promedio de -0.009 ; en los perfiles A y B se estimó ~ -0.01 de pendiente, 112 m y 125 m de longitud; el perfil C mostró una pendiente de -0.02 , longitud de 147 m; finalmente el perfil D tuvo un incremento en longitud con respecto noviembre de 73 m con una pendiente de 0.005 esta ganancia se podría explicar por el transporte litoral que tiene una dirección predominante de norte a sur, así como por transporte terrígeno debido a la apertura

de la boca lagunar por parte de los pescadores a finales del mes de abril de 2014. En noviembre de 2014 el cordón litoral presentó una pendiente promedio de -0.005 y longitud de 190 m, lo que representa una ganancia de 50 m con respecto a mayo; la zona de playa del perfil A y B tuvieron: pendiente de -0.04 y -0.05 y longitud de perfil de 156 y 170 m; se calculó una pendiente de -0.006 y 0 con largo de 220 y 215 m para los transectos C y D. Para el mes febrero 2015 el cordón litoral tuvo una pendiente -0.0015 , los perfiles A y B midieron 125 y 124 m con una pendiente -0.003 t -0.001 , mientras que los transectos C y D la longitud fue de 163 y 183 m.

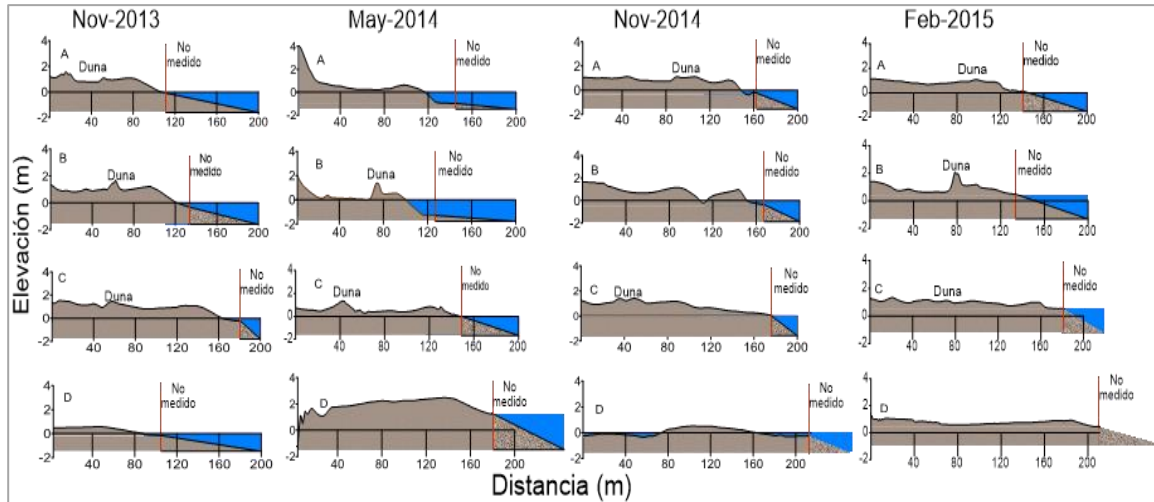


Figura 65. Perfiles de playa por temporada de muestreo en La Mancha Ver.

Los perfiles A, B y C presentan la mayor variación de pendiente por temporada, en mayo 2014 las pendientes de la zona de playa son de mayor magnitud que en noviembre 2013 esto se explica por el paso de la temporada de nortes que genera oleaje más energético y deja perfil agudo. Mientras que para noviembre de 2014 que es final de la temporada de lluvias y principios de nortes las pendientes decrecen con respecto a mayo esto puede darse debido a la redistribución de sedimento en el perfil la época de lluvias (Tabla 42).

Tabla 42.- Pendiente y longitud de los perfiles de playa por temporada en La Mancha.

Perfil	Nov_13		May_14		Nov_15		Feb_15	
	Distancia	Pendiente	Distancia	Pendiente	Distancia	Pendiente	Distancia	Pendiente
A	111	-0.008	111	-0.010	155	-0.005	124	-0.003
B	136	-0.007	125	-0.014	169	-0.008	122	-0.001
C	164	-0.007	147	-0.019	220	-0.006	163	-0.003
D	103	-0.007	176	0.005	215	0.000	183	0.000

En la Tabla 43 se presentan los parámetros usados para la clasificación morfológica de la playa, la pendiente empleada es solo de la sección de playa seca a zona de rompiente; encontramos, según las características de Iribarren, que en la celda predomina un perfil morfológico intermedio seguido por zonas disipativas, con una rotura por descrestamiento

y voluta, estas características corresponden a playas compuesta principalmente por arenas finas a medias que presenten una barra con cambios morfológicos moderados de playa, y alturas de ola medias.

Tabla 43. Clasificación morfológica del perfil, para playa La Mancha

Hs(m)	1.45	Tp(s)	7.12	Lo	79.24	Noviembre 2013	
Perfil	b	Ir	Rotura	Perfil	Ω	Perfil	
			Masselink y Hughes (2003)				Masselink (1994)
A	0.04	0.30	Descrestamiento	Intermedia	2.91	Barra transversal y corriente de retorno	
B	0.04	0.30	Descrestamiento	Intermedia	3.71	Barra y playa rítmica	
C	0.01	0.10	Descrestamiento	Disipativo	3.40	Barra y playa rítmica	
D	0.05	0.35	Voluta	Intermedia	3.71	Barra y playa rítmica	
Hs	0.77	Tp	5.80	Lo	52.45	Mayo 2014	
Perfil	b	Ir	Rotura	Perfil	Ω	Perfil	
A	0.06	0.40	Voluta	Intermedia	2.48	Terraza en marea baja	
B	0.05	0.34	Descrestamiento	Intermedia	3.16	Barra transversal y corriente de retorno	
C	0.04	0.25	Descrestamiento	Intermedia	2.90	Barra transversal y corriente de retorno	
D	0.01	0.07	Descrestamiento	Disipativo	3.16	Barra transversal y corriente de retorno	
Hs	1.37	Tp	7.30	Lo	83.29	Noviembre 2014	
Perfil	b	Ir	Rotura	Perfil	Ω	perfil	
A	0.04	0.26	Descrestamiento	Intermedia	3.43	Barra y playa rítmica	
B	0.05	0.37	Voluta	Intermedia	4.36	Canal y barra longitudinal	
C	0.01	0.06	Descrestamiento	Disipativo	4.00	Barra y playa rítmica	
D	0.04	0.28	Descrestamiento	Intermedia	4.36	Canal y barra longitudinal	
Hs(m)	0.70	Tp(s)	5.60	Lo	48.9	Febrero 2015	
Perfil	b	Ir	Rotura	Perfil	Ω	perfil	
A	0.03	0.22	Descrestamiento	Disipativo	2.35	Terraza en marea baja	
B	0.02	0.15	Descrestamiento	Disipativo	2.99	Barra transversal y corriente de retorno	
C	0.02	0.15	Descrestamiento	Disipativo	2.74	Terraza en marea baja	
D	0.04	0.29	Descrestamiento	Intermedia	2.99	Barra transversal y corriente de retorno	

b: pendiente; Ir número de Iribarren; Ω parámetro de Dean; Hs: altura significante, Tp: periodo pico; Lo: longitud de onda

Dado que la formulación de Iribarren depende de la pendiente de playa y solo se tiene el perfil hasta la zona de rompiente de la playa se utilizaron los datos batimétricos cercanos a la costa del lecho marino del mes de agosto 2014, esto para validar los resultados de la pendiente en los perfiles A, B, C y D, ver Figura 66. Las pendientes encontradas tienen una magnitud de 0.004 y 0.005 (m/m), los cuales caen dentro de los valores calculados en la Tabla 42, por lo que se asume que los datos calculados representan el comportamiento del litoral costero de La Mancha.

Por otro lado, usando el parámetro de Dean (1973) se encontró que la playa morfológicamente es intermedia y el tipo de perfil cambia de acuerdo a la época ambiental; en noviembre del 2013 se observó una playa rítmica con barra; mientras que en época de secas predominó un perfil de barra transversal y corriente de retomo; para noviembre del 2014 se presentó un perfil morfológico de playa rítmica y barra, y canal y barra longitudinal; finalmente en febrero de 2015 se presentó un perfil de terraza en marea baja, y barra transversal y corriente de retorno (Tabla 43).

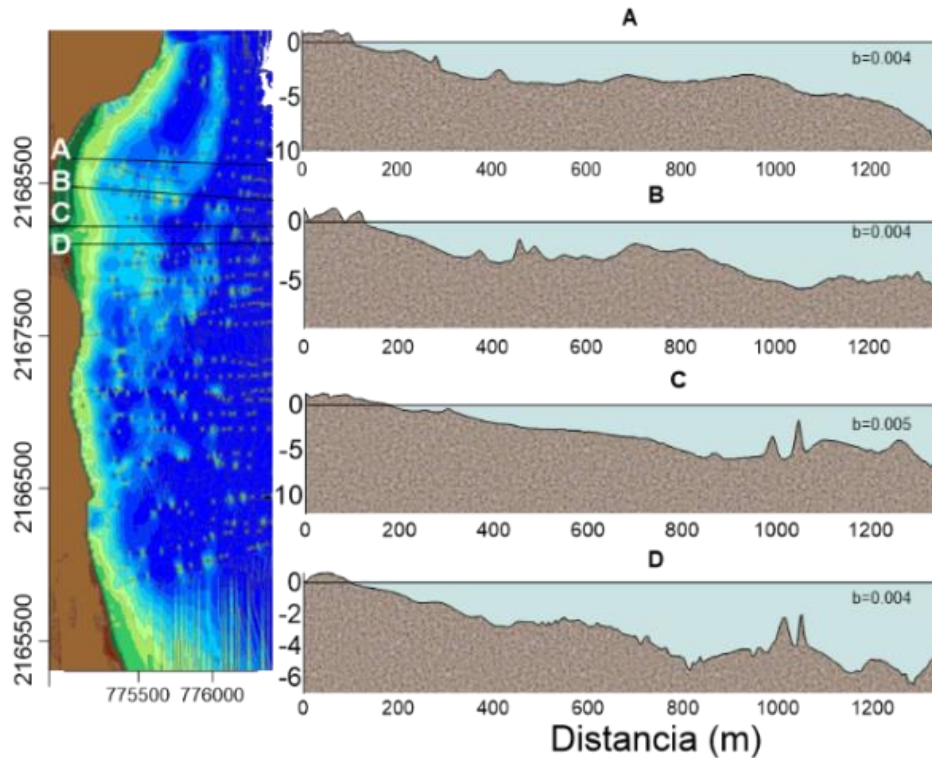


Figura 66. Perfiles del lecho marino en playa La Mancha, para el mes de agosto 2014.

La playa muestra formaciones de dunas embrionarias, con un perfil de playa disipativo en las cercanías a la boca lagunar para noviembre 2014 y febrero del 2015, en consecuencia, playa La Mancha presenta un comportamiento estable.

A lo largo del periodo de muestreo la playa experimentó cambios en volumen y forma con una tendencia a la acreción con una ganancia de superficie de 41%, lo que corrobora lo encontrado a partir de imágenes de imágenes de satélite 2005-2015 donde se observó incremento de 58 m de longitud de playa para el periodo 2005-2015 y una ganancia en área del 175%; estos resultados contrastan con lo encontrado por Martínez *et al.* (2012) quien reporta una tendencia erosiva en la playa La Mancha para el periodo de 1995 a 2006 con una disminución de 85 m de longitud en las zonas cercanas a la boca. Por lo anterior la playa se considera una playa resiliente, mientras se mantenga la fuente de sedimentos y los agentes transportadores de éste; se debe reasfaltar esto se concluyó después de analizar la época de recuperación de la zona de playa, la cual se da antes de la alimentación por el dragado que se realiza actualmente en la zona central de la laguna.

Observaciones

- Playa la Mancha para el periodo nov-13 a feb-15 presento un incremento en área del 41%.
- En periodos de nortes se forma una barra arenosa en la boca de la laguna, la cual, desaparece en periodo de seca y lluvias.
- La barra de arena que obstruye que canal de acceso de la boca lagunar, presenta un máximo de 161 m y una altura entre 0.5 y 1.5 m, esto resulta de gran relevancia dado que es el obstáculo que debe romper la carga hidráulica de la laguna para abrir la boca de forma natural.
- El oleaje de la zona presenta una rotura principalmente por descrestamiento y voluta. Los perfiles de playa tienden a ser intermedios los cuales varían temporalmente de acuerdo con la clasificación de Masselink (1994).
- La playa de La Mancha tiene la capacidad de recuperarse naturalmente ante eventos extremos, mientras se mantenga la fuente de sedimentos y los agentes trasportadores de sedimentos.

Caracterización del sedimento

Para el análisis granulométrico se realizaron cinco muestreos, de cuatro monitoreos se hace referencia en la sección anterior, el quinto se muestreo en agosto del 2014. Se colectaron un total de 91 muestras de arena a lo largo de 9 perfiles sedimentarios indicados en la Figura 62-A). En cada zona se tomó una media de 3 muestras de sedimento a 5 cm de profundidad en rompiente, lavado y zona seca (ver Figura 62-B y C), las zonas de muestreo se definen a continuación:

1. Zona de rompiente, es la franja donde el oleaje rompe, disipa la mayor cantidad de energía.
2. Zona de lavado, es la franja de playa donde el agua de mar asciende y desciende.
3. Zona de seca, es la franja de la playa que interactúa con el mar bajo condiciones extrémales.

El procesamiento de las muestras sedimentarias se llevó a cabo en el laboratorio de Costas y Puertos del Instituto de ingeniería de la UNAM. Primero se secó el sedimento con una cámara de aire RETSCH TG200 y se tomaron 100 g de cada muestra para procesar mediante un CAMSIZER de RETSCH el cual hace un análisis dinámico de imágenes del sedimento, mide simultáneamente la distribución granulométrica y la forma de las partículas. El análisis dinámico de imágenes está basado en la tecnología de doble cámara y permite caracterizar sólidos de un tamaño de 20 μm a 30 mm.

De cada muestra se obtuvo una curva de distribución de probabilidad acumulada o distribución granulométrica, que se basa en la separación las partículas de sedimento en tamaños, de la cual se obtiene los cuartiles en porcentaje (Φ_5 , Φ_{10} (D90), Φ_{16} , Φ_{24} , Φ_{50} (D50), Φ_{84} , Φ_{90} y Φ_{95}) respecto al volumen y al número de partículas y las siguientes características texturales:

- Factor de forma (b/l3), describe numéricamente la relación entre los ejes de una partícula.
- Redondez (SYMM), considera la angularidad relativa de sus esquinas y aristas.
- Esfericidad (SPHT), es la relación que existe entre el área superficial con respecto a una esfera, mediante la ecuación de Wadell (1933), donde los rangos de valores van de 0 a 1.

En el posprocesamiento se utilizó la clasificación del tamaño de grano propuesta por Wentworth (1922) donde D es el diámetro de la partícula.

Tabla 44). La ec. (20) es empleada para la conversión del tamaño de grano de mm a phi.

$$\phi(\varnothing) = -\log_2(D) \quad (20)$$

donde D es el diámetro de la partícula.

Tabla 44. Clasificación del sedimento por el tamaño de grano Wentworth 1922 (modificado de CEM, 2001).

Wentworth (1922)	Tamaño (mm)	Tamaño (phi)
Gránulos	4.00	-2.0
	3.36	-1.75
	2.83	-1.5
	2.38	-1.25
Arena Muy Gruesa	2.00	-1.0
	1.68	-0.75
	1.41	-0.5
	1.19	-0.25
Arena Gruesa	1.00	0.0
	0.84	0.25
	0.71	0.5
	0.59	0.75
Arena Media	0.5	1.0
	0.42	1.25
	0.354	1.50
	0.297	1.75
	0.25	2.0
Arena Fina	0.21	2.25
	0.177	2.5
	0.149	2.75
Arena Muy Fina	0.125	3.0
	0.105	3.25
	0.088	3.5
	0.074	3.75
Finos	0.0625	4.0

Para la caracterización del sedimento se utilizó la metodología de Folk y Ward (1957), que describe los siguientes parámetros estadísticos del sedimento:

- Mediana: es la tendencia central de la distribución y corresponde al 50 % de la frecuencia acumulada (D50).
- Media (Mz): es un parámetro característico de la muestra y está dado por:

$$Mz = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad (21)$$

- La Desviación estándar nos muestra el grado de clasificación granulométrica. Cuando hay más intervalos en la distribución granulométrica la clasificación es menor. Representa el tipo de agente de transporte y es una medida de su grado de fluidez o viscosidad.

$$\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad (22)$$

donde σ_I es la desviación estándar y ϕ representa el percentil del sedimento.

Tabla 45. Rangos del grado de clasificación Folk y Ward (1957).

Rango	Clasificación	Rango	Clasificación
$\sigma < 0.35$	Muy bien calificada	$1.00 < \sigma < 2.00$	Pobrementemente clasificada
$0.35 < \sigma < 0.50$	Bien clasificada	$2.00 < \sigma < 4.00$	Mal clasificada

0.50 < σ < 0.71	Moderadamente bien clasificada	$\sigma > 4.00$	Muy mal clasificada
0.71 < σ < 1.00	Moderadamente clasificada		

- Asimetría muestra si la distribución es simétrica o asimétrica con respecto a la moda y la media. Las distribuciones con asimetría positiva poseen una cola de finos, mientras que las de asimetría negativa tienen una cola de materiales gruesos.

$$Sk_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (23)$$

donde Sk_I es la asimetría y ϕ representa el percentil de la muestra de sedimento.

Tabla 46. Rangos de asimetría, Folk y Ward (1957).

Rango	Clasificación	Rango	Clasificación
0.3 < Sk < 1.0	Muy asimétrica positiva	-0.1 < Sk < -0.3	Asimetría negativa
0.1 < Sk < 0.3	Asimétrica positiva	-0.3 < Sk < -1.0	Muy asimétrica negativa
0.1 < Sk < -0.1	Simétrica		

- La curtosis compra la clasificación en el centro de la distribución y en los extremos o colas:

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})} \quad (24)$$

donde Sk_I es la asimetría y ϕ representa el percentil de la muestra de sedimento.

Tabla 47. Rangos curtosis, Folk y Ward (1957).

Rango	Clasificación	Rango	Clasificación
$K_G < 0.67$	Muy planicúrtica	1.11 < K_G < 1.50	Leptocúrtica
0.67 < K_G < 0.90	Planicúrtica	1.50 < K_G < 3.0	Muy leptocúrtica
0.9 < K_G < 1.11	Mesocúrtica	$K_G > 3.0$	Extremadamente leptocúrtica

Con los parámetros estadísticos calculados se caracterizó el ambiente depositacional en el área de estudio utilizando las funciones discriminantes propuestas por Sahu (1964). Este autor supone que la distribución del tamaño de grano refleja la viscosidad y la energía del ambiente de depósito y que cada ambiente de depósito tiene un rango de condiciones de energía en función de la localidad y tiempo. Para diferenciar entre los cuatro ambientes existentes (playa, marino, somero y fluvial) Sahu estima un valor específico del cual se parte para indicar el ambiente depositacional que se tiene.

Para distinguir los procesos que rigen el ambiente depositacional en La Mancha se utilizaron las ecuaciones Y_1 , Y_2 y Y_3 , las cuales discriminan entre un proceso eólico y un ambiente litoral (playa), entre playa y un ambiente depositacional marino somero agitado y entre un ambiente fluvial y un ambiente marino somero. Tales ecuaciones son las siguientes:

$$Y_{1_{Eo:Pl}} = -3.5688Mz + 3.7016\sigma_I^2 - 2.0766Sk + 3.1135K_G \quad (25)$$

si Y_1 es ≤ -2.7411 indica depositación eólica y si es mayor a este valor el ambiente litoral (playa) es el predominante (Sahu, 1964).

$$Y_{2Pl:Zs} = 15.6534Mz + 65.7091\sigma_l^2 + 18.1071Sk + 18.5043K_G \quad (26)$$

si $Y_2 \geq 63.3650$ indicar depositación en aguas someras agitadas y si es ≤ 63.3650 predomina un ambiente depositacional de playa (Sahu, 1964).

$$Y_{3Zs:Fl} = 0.2852Mz - 8.7604\sigma_l^2 - 4.8932Sk + 0.0428K_G \quad (27)$$

si $Y_3 < -7.419$ la muestra se identifica como de depósito fluvial y si $Y_3 > -7.419$, ésta corresponde a un ambiente marino somero.

Granulometría

La distribución del tamaño de grano del 10%, 50% y 90 % del sedimento de la playa para el periodo nov-2013 a feb 2015 se presenta en la Figura 67, cada porcentaje representa la porción del sedimento que es retenido. La porción de sedimentos finos está contenida en el D10 donde el 29 % del sedimento está entre 3 phi y 2.8 phi lo que representa arena muy fina, el D50 va de 2.6 a 1.6 phi (de arenas fina a media) con una cola hacia los sedimentos gruesos; el D90 representa la porción del sedimento grueso y va de arena media a gruesa (2 phi a 0.4 phi) con cola hacia los finos donde el 22 % es arena media.

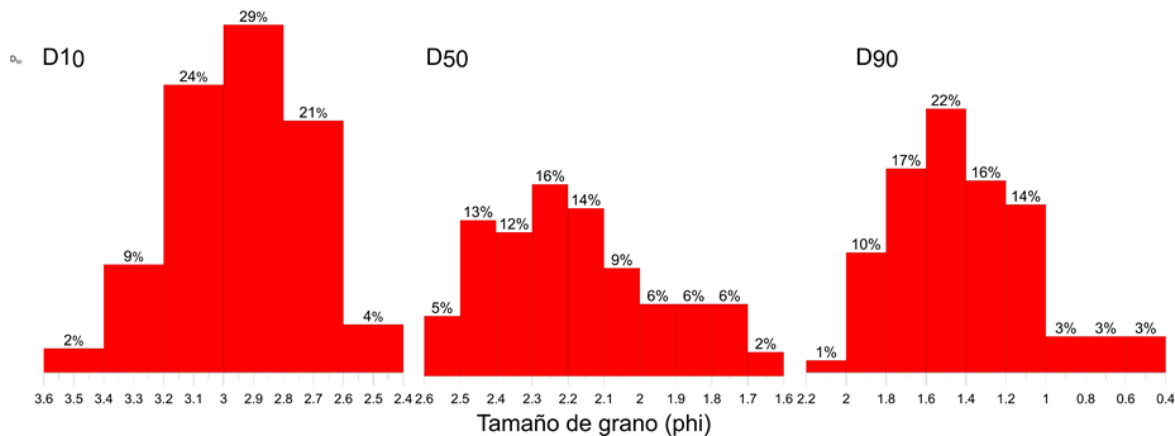


Figura 67. Histogramas de frecuencia del tamaño de grano para el 10, 50 y 90 % del sedimento en el periodo nov-2013 a feb 2015 de playa La Mancha.

Playa La Mancha se caracteriza por contener principalmente arena fina de ~ 2.94 phi con una distribución que va de 3.6 phi a 0.4 phi (arena muy fina a arena gruesa); con densidad de 2.2 g/cm^3 que tiene una dispersión de 0.9 g/cm^3 a 2.8 g/cm^3 lo que cae entre el rango de densidades de las arenas ($1.6\text{-}2.65 \text{ g/cm}^3$), esto es algo que se esperaba ya que como se vio en la sección 4.1 esta zona tiene suelos Regosol calcárico; una fuente de sedimento eólico que se compone de cuarzo (2.65 g/cm^3), calcita (2.72 g/cm^3), feldespatos (2.54 g/cm^3) y sedimento biogénico ($< 2.05 \text{ g/cm}^3$), y sedimento marino con una fracción de calizas ($\sim 1.6 \text{ g/cm}^3$). Los parámetros texturales de sedimento muestran una esfericidad alta de 0.82 y el rango de esfericidad va de 0 a 1. La redondez del grano es de 0.87 por lo que usando la clasificación para arenas de Powers (1982) la arena está bien redondeada. El factor de forma

es de 0.71 por lo que según Spalletti (1976) se encuentra en el campo de unión entre las cuatro geometrías (formas de la partícula) de la clasificación de ZINGG (1935), lo que es frecuente en las partículas sedimentarias (Tabla 48).

Tabla 48.- Estadísticos texturales de playa la mancha.

	\bar{x}	Mín	Máx	DSV
Mz	2.18	1.63	2.64	0.24
σ_1	0.60	0.41	0.99	0.12
S_{kl}	-0.01	-0.3	0.16	0.08
K_G	1.10	0.85	1.56	0.11
Q_s	2.2	0.94	2.8	0.3
SPHT	0.82	0.70	0.8	0.05
SYM				
M	0.87	0.82	0.89	0.01
b/l	0.72	0.69	0.75	0.01
D90	1.41	0.44	2.07	0.34
D50	2.94	2.45	3.51	0.22

\bar{x} : media; DSV: desviación estándar;
 Q_s : densidad.

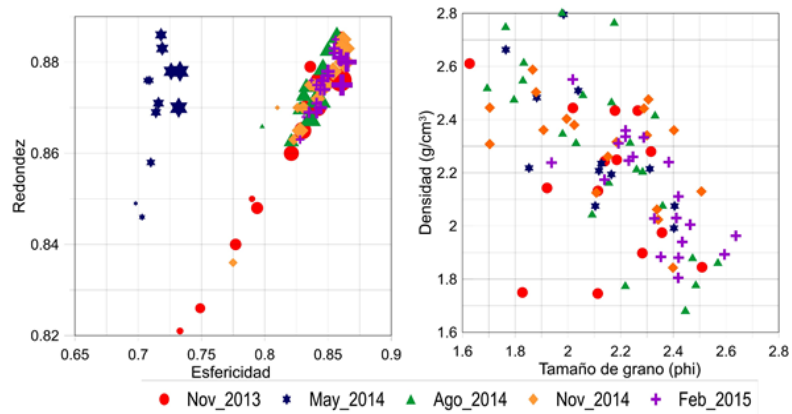


Figura 68- Promedio por perfil de los parámetros texturales SPHT vs SYMM y D50 vs tamaño grano, de playa La Mancha.

En la Figura 68 se muestra la relación de la esfericidad versus redondez para los 5 periodos de muestreo teniendo un comportamiento lineal donde la mayor porción de la muestra presenta valores mayores a 0.85 de symm y SPHT, a excepción de mayo donde se ve una alta redondez pero una menor esfericidad, por lo que las partículas de este mes tienden a ser subredondeada y menos trabajadas que el sedimento del resto de los muestreo, lo anterior es un indicio de dos fuentes de sedimento que alimentan la playa. Por otro lado la gráfica de tamaño de grano contra densidad muestra un asociación entre tamaño de grano y densidad donde partículas finas están asociadas a densidades menores y al aumentar el diámetro de la partícula aumenta la densidad, este comportamiento podría explicarse por la presencia de un campo de dunas móviles en parte norte de la playa que provee de sedimento a la celda litoral, las dunas se caracterizan por tener una gran porción de sedimentos finos con una baja densidad que se transporta por acción del viento (Figura 11).

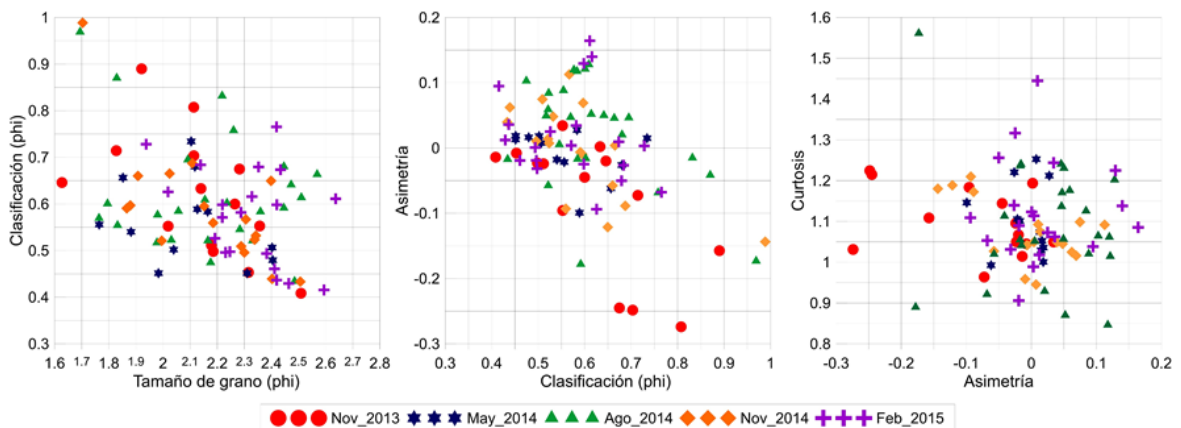


Figura 69. Gráficas bivariantes entre media-clasificación, clasificación-asimetría, y asimetría-curtosis.

En la Figura 69 se presenta las gráficas bivariantes de dispersión de los parámetros del tamaño de grano para los cinco muestreos; la media del tamaño de grano (Mz) contra la clasificación (σI) se observó tres agrupamiento, el primero donde el 67 % del sedimento en tosa las fechas de muestreo es moderadamente bien clasificadas, en el segundo el 21 % son arenas finas bien clasificadas, y por último el 12 % son arenas moderadamente clasificadas y solo se presenta en el muestreo de nov-2013 y agosto del 2014.

En la gráfica de clasificación vs asimetría, el 79% de la muestra es simétrica-moderadamente bien clasificada, el 10% de la muestra es asimétrica negativa-moderadamente bien seleccionados (se presentan en el mes de nov-2013), y el 12% presenta una asimetría positiva-moderadamente seleccionada; por ultimo vemos en la gráfica de asimetría contra curtosis que tenemos que el 59% de la muestra es mesocúrtica- simétrica, el 30% es leptocúrtica-simétrica, el 3% es planicúrtica-asimétrica negativa estas últimas se presenta en su mayoría en el muestreo de agosto.

Tabla 49. Media de los parámetros estadísticos por temporada.

Muestreo	Mz	σI	S_{kl}	K_G	D_{90}	D_{50}	Q_s
nov-13	2.13	0.62	-0.09	1.10	1.31	2.17	2.1
may-14	2.10	0.56	0.01	1.10	1.39	2.10	2.3
ago-14	2.15	0.62	0.02	1.10	1.37	2.14	2.2
nov-14	2.13	0.61	0.01	1.08	1.36	2.14	2.3
feb-15	2.32	0.57	0.02	1.12	1.59	2.31	2.1

x: media; DSVE: desviación estándar; Q_s : densidad; SPHT: esfericidad; SYMM: redondez; b/l: factor de forma.

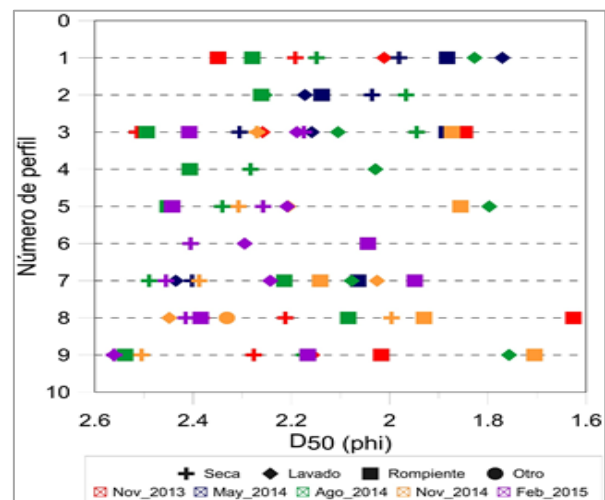


Figura 70. Gráfica de D50 y número de perfiles para las cinco temporadas de muestreo.

Recordando que la playa La Mancha es micro mareal con un régimen de oleaje menor a 1 m y un perfil de playa intermedio con tendencia a ser disipativo, por lo que los cambios de baja magnitud pueden reflejar cambios importantes en los procesos, con base en esta premisa en la Tabla 49 se presentan las características del sedimento por temporadas; en nov-13 (finales de lluvia, inicio de nortes) se tiene un tamaño de grano de 2.13 phi con un D_{90} de 1.3 phi y una densidad de 2.16 g/cm³; en mayo (secas) tenemos un tamaño de grano de 2.1 phi lajeramente mayor al de noviembre y un D_{90} menor con 1.39 phi con una densidad de 2.31 g/cm³ dichas características implican que el mecanismo de transporte es más energético en secas que en nortes, en otras palabra en noviembre el viento rige el transporte

y en secas el oleaje; en época de lluvia (agosto) el diámetro del sedimento es de 2.15 phi con un D90 de 1.37 phi y una densidad 2.31 g/cm³ por lo que el tamaño característico del sedimento es menor en noviembre y mayo, pero el D90 es mayor que en época de secas al igual que la densidad por lo que se presume que el principal mecanismo de transporte es el flujo superficial con dirección tierra-mar que tiene la capacidad de transportar sedimento más fino y denso que el viento. En nov-2014 el comportamiento de la celda es similar a la descrita para nov-2013; por último, en feb-2015 que es época de nortes se tiene un diámetro de 2.3 phi con un D90 de 1.59 phi el cual es inferior a todos los meses de muestreo, en este mes la boca lagunar estaba cerrada por el transporte sedimentario es continuo y dado a que es un periodo de nortes podría indicar una fuente sedimentaria eólica.

El transporte de sedimento se puede inferir a partir del tamaño de grano, ya que se espera que entre mayor sea la distancia que viaja el sedimento de la fuente madre éste tenga un diámetro menor. En la Figura 70 se presenta la variación del tamaño de grano por perfiles en las cinco temporadas de muestro, se muestra la zona de rompiente, lavado y seca. En el mes de nov-2013 la sección norte y sur de la celda litoral se encuentra comunicada, el tamaño de grano en la rompiente aumenta en dirección norte a sur, el sedimento de la zona de lavado decrece de norte a sur, en la zona seca no se observa un patrón definido; en cuanto a los perfiles, el perfil 1 que se localiza debajo del promontorio rocoso norte tiene una dirección de transporte de la zona de seca a rompiente, mientras que el perfil 3 que se encuentra en la zona central de playa presenta una dirección de rompiente a seca al igual que los perfiles 8 y 9. En mayo se encontró un transporte de norte a sur ya que el tamaño de grano en rompiente, lavado y seca decrecen en esta dirección, el perfil 1 el tamaño de grano va de lavado a rompiente y de lavado a seca, en la transecto 2 se tiene una dirección de seca a rompiente, mientras que para el transecto 3 y 7 los sedimentos van de rompiente a zona de seca. En Agosto se ve la inversión del transporte en la celda ya que el sedimento aumenta su tamaño de norte a sur y los transectos de la celda norte se tiene un gradiente de diámetro que va del frente de playa (zona de lavado) a la playa seca y del frente de playa a rompiente pero el sedimento de la zona de seca tiene mayor diámetro que la rompiente; por otro lado la celda sur presenta el mismo comportamiento que la norte pero el sedimento de la zona de rompiente tiene un diámetro mayor que el de la zona seca; ésta variación en la distribución del sedimento en la temporada puede deberse al flujo por escurrimiento superficial provocado por las lluvias de la temporada. En nov-14 se observan los perfiles tienen una dirección de rompiente a seca y el transporte va sur a norte. Finalmente, en feb-15 el transporte en los perfiles 3 y 5 va de seca a rompiente y los perfiles del 6 al 9 van de rompiente a seca, el tamaño de grano decrece del perfil 7 al 3 y del 7 al 9.

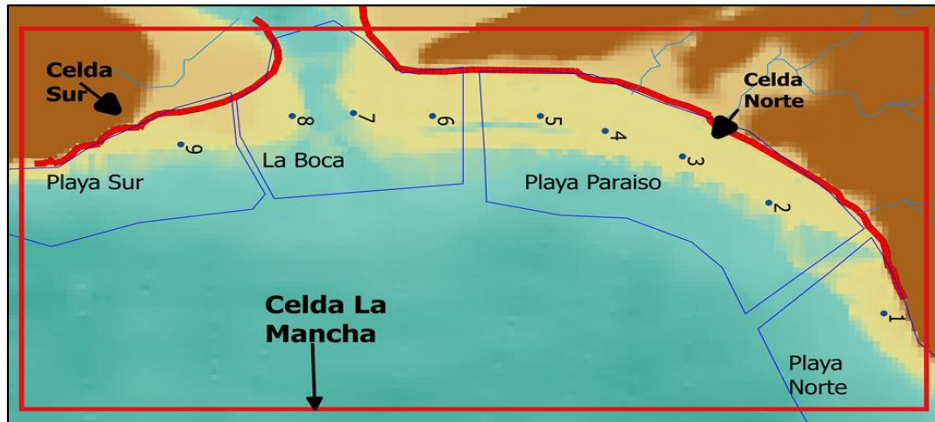


Figura 71. Zonas sedimentarias de playa La Mancha.

Por todo lo anterior sedimentariamente la playa presenta 4 zonas diferenciadas de sedimentación: playa norte la cual se ve altamente influenciada por el sedimento eólico; playa Paraiso que tiene influencia eólica, flujo superficial y oleaje; La Boca se ve influenciada por el oleaje y por la condición morfológica de la boca lagunar, y playa sur la cual tienen influencia del oleaje (ver Figura 71).

Los resultados del análisis de las funciones discriminantes mostraron para Y1 valores donde el 62% de las muestras corresponden a un ambiente eólico y el 38% a un ambiente de playa; mientras que Y2 muestra que el 100% del sedimento corresponde a un ambiente marino somero y 0% a un ambiente de playa; finalmente Y3 dio como resultado el 97% marino somero y el 3% fluvial; por lo anterior se determina que las funciones Y1 y Y3 pueden caracterizar la playa La Mancha.

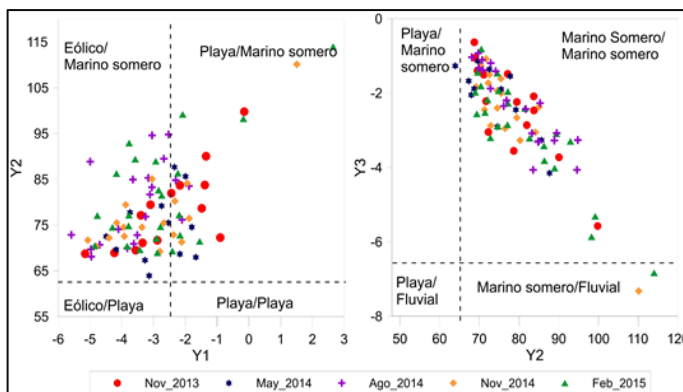


Figura 72.- Relación de ambientes dado por las funciones discriminantes Y1 -Y2, y Y2-Y3 en playa La Mancha.

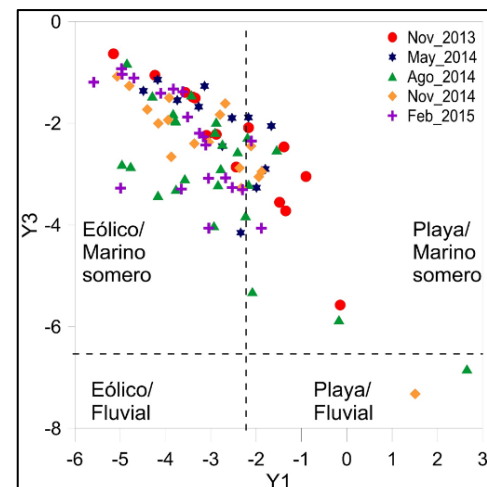


Figura 73. Relación de ambientes dado por las funciones discriminantes Y1 -Y3 en playa La Mancha.

Mediante la relación grafica de las funciones discriminantes se puede ver el ambiente sedimentario al que pertenece el material de la playa, en la figura 73 se muestran Y1 vs Y2 donde el sedimento es eólico-marino somero y playa-marino somero; mientras que Y2 vs Y3 que el sedimento es marino somero y una porción fluvial, dado que no se refleja de manera efectiva el ambiente sedimentario de la playa con las relaciones empleadas se usó la relación Y1-Y3 (figura 72) la cual contiene los 4 ambientes donde se observa una porción de sedimento (eólico, playa, marino somero y fluvial) en la gráfica se ve que el ambiente reinante en la celda es eólico/marino somero, con un porcentaje menor se tiene sedimento de playa/ marino somero y solo el 3% es sedimento de playa/fluvial.

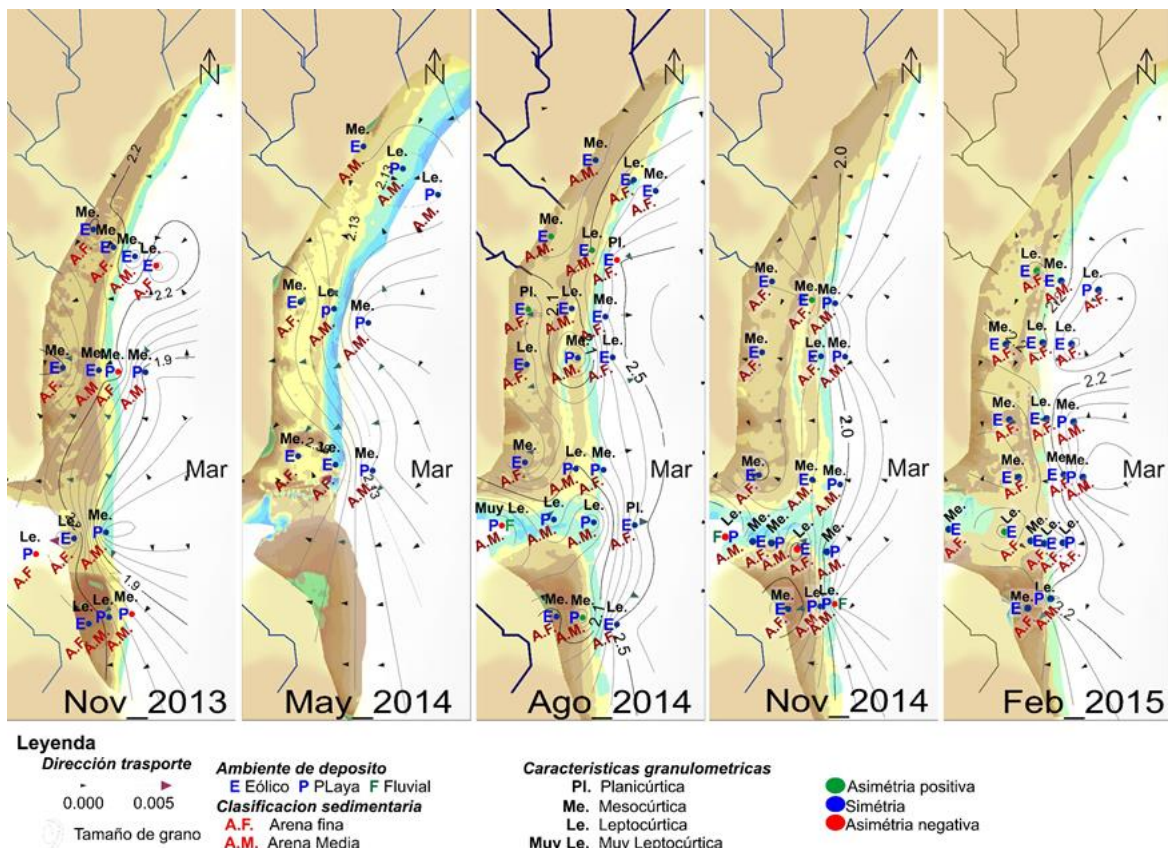


Figura 74. Caracterización por temporada de muestreo de la celda litoral La Mancha que va de noviembre del 2013 a febrero del 2014.

Con base a lo observado y con el objetivo de identificar las zonas de la playa La Mancha susceptibles a ser erosionada o impactadas por acciones antropogénicas se presenta en la Figura 74 la caracterización de la celda litoral por muestreo, donde se presentan los escurrimientos, el estado morfológico de la boca lagunar, las isóneas de distribución del D50, la dirección de transporte, y por punto de muestreo se presenta el tamaño característico, clasificación, asimetría, ambiente de depositación y tipo de sedimento. En la gráfica, el mes de noviembre en la parte norte de la celda predomina un ambiente eólico principalmente en

la zona de lavado y seca con arena fina, mientras que en la rompiente se tiene arena media con un ambiente de playa, la zona sur el porcentaje de sedimento marino con arena media es mayor, por otro lado, en época de seca se observa una tendencia a arena media en la zona norte con un ambiente de playa, al sur predomina el sedimento eólico, esto es algo esperado ya que el transporte va de norte a sur. En lluvias se presenta un flujo superficial que va de tierra a mar por lo que el sedimento de la zona seca y rompiente predominan, en la celda norte el sedimento es principalmente eólico esto por la presencia de dunas en la parte norte y oeste; en la zona de La Boca se presentan sedimentos marinos y fluviales esto por el escurrimiento y la barra vertedora y bordo de reflujo que se localiza en el centro de la laguna (Figura 11). En febrero que es plena época de nortes predomina el ambiente eólico en la parte seca y de lavado, y en la rompiente un ambiente marino.

Con relación a lo encontrado en este estudio se determina que la apertura y cierre de la boca no es el principal factor que interviene en los procesos sedimentarios de la playa, ya que esta depende principalmente del flujo sedimentario que genera el oleaje, el viento y el escurrimiento superficial, por lo que para una estrategia de conservación de la playa debe garantizarse el flujo del sedimento de estos 3 sectores principalmente.

Se determina que el cierre de la boca es de origen natural, debido a la formación de una barra arenosa generada por el transporte sedimentario eólico y litoral; diversos autores (Espinosa Contreras, 2003, Martínez et al., 2012 y García Gil, 2006) reportan que la frecuencia de apertura de la boca La Mancha depende de las avenidas o el incremento en el tirante hidráulico porque induce la ruptura de la barrera arenosa. La morfología de la boca en este estudio fue obtenida bajo un escenario donde la frecuencia de apertura fue inducida por condiciones antropogénica por lo que no necesariamente corresponde a la morfología generada por una apertura natural de la boca; aunque se debe tener en cuenta que para la apertura de la boca la carga hidráulica de la laguna debe supere la barrera litoral, la cual llega alcanzar un ancho de ~180 m y ~1 msnm, para que esta ropa de forma natural (ver la sección)

Observaciones

- Los resultados obtenidos manifestaron que la sedimentología de la playa La Mancha es altamente dinámica.
- La playa está formada por arena fina moderadamente bien clasificada.
- La celda litoral La Mancha no tiene un transporte sedimentario principal ya que varía de acuerdo con la época de año y al forzamiento a la que se ve sometida (viento, oleaje, flujo superficial)
- Los ambientes sedimentológicos principales son eólico y somero marino.
- La playa muestra una adecuada alimentación de sedimento y transporte neto fuerte o unidireccional lo que desencadena en la unión de los segmentos del cordón litoral.

Capítulo 6 Fase de valoración

En la fase de valoración se utilizaron: las observaciones de cada capítulo, los análisis FODA y las demandas de la población pesquera (ver sección 5.1), con lo anterior se determinaron: las problemáticas de la cuenca, los sectores afectados o en conflicto, los procesos naturales que interviene y las necesidades sociales; a continuación, se propusieron las estrategias de mitigación basadas en las demandas de la industria pesquera local y en las implementadas en diversos planes de manejos, y se evaluaron dichas propuestas. Por último, se realizó la modelación numérica del sistema arroyo-laguna-mar para cada alternativa de manejo en la que se considerara necesaria.

De acuerdo con lo observado en este trabajo, la población la cuenca La Mancha es rural, dependiente de la dinámica de la cuenca, sus ingresos provienen principalmente de la actividad primaria, y se ven afectados directamente por los cambios en la producción agrícola-pecuaria, disminución de la pesca, desecación y la contaminación de los afluentes.

Tabla 50. Matriz de análisis de conflicto de las actividades desarrolladas en cuenca La Mancha.

Actividades en cuenca La Mancha		AGR	AUR	TSP	TE	CEN	PR	PC	PD	OPC	DD
Agropecuario	AGR	0									
Asentamientos urbanos	AUR	1	0								
Turismo de sol y playa	TSP	3	1	0							
Turismo ecológico	TE	3	3	1	0						
Conservación de espacios naturales	CEN	3	3	0	0	0					
Pesca riverera	PR	3	3	2	3	3	0				
Pesca costera	PC	3	2	2	3	3	0	0			
Pesca deportiva	PD	3	2	2	1	1	0	0	0		
Obras de protección costera	OPC	0	0	3	3	3	1	0	1	0	
Disposición de desechos	DD	3	3	3	3	3	3	3	3	2	0

Los números indican la calificación del conflicto donde: 0 = ausencia de conflicto; 1= conflicto de baja intensidad; 2= conflicto de intensidad media; 3= conflicto intenso. Modificado de Ávila et al. (2003).

En la Tabla 50 se presentan los resultados del análisis de los sectores en conflicto en La Mancha, siendo las actividades DD y AGR las que representan mayor conflicto, seguido por CEN y AUR.

En la Tabla 51 se desglosan las propuestas de manejo para cada problemática que afecta directa o indirecta al ecosistema y la población, partiendo de las problemáticas descritas en las tablas 1 y 2, así como, las detectadas en los capítulos 4 y 5.

Tabla 51.- Propuestas de manejo para las problemáticas detectadas en la cuenca La Mancha.

Problemática	Propuesta de manejo
Población	
Bajo índice de escolaridad.	Incrementar la infraestructura escolar.
60 % de la población no cuenta servicios de salud.	Disminuir el riesgo de enfermedades sanitarias por medio de tratamiento de desechos.
Emigración de la población por falta de empleo y oportunidades.	Especialización en actividades secundarias y terciarias.
	Incrementar el porcentaje de mujeres económicamente activas.
	Generar empleo a través del ecoturismo, promoviendo esta actividad a nivel nacional con campañas publicitarias.
Ausencia de drenaje en la mayoría de las localidades.	Implementar una red de drenaje y plantas de tratamiento de aguas residuales (PETAR).
Enfermedades sanitarias por el uso de agua contaminada.	Implementación de PETAR.
Agropecuario	
Agricultura expansiva por monocultivos.	Rotación de cultivos.
Perdida de territorio y fertilidad del suelo.	Reforestación y conservación de los nichos ecológicos.
Turismo	
Bajo flujo de turismo, condicionado a turismo regional y a las vacaciones oficiales.	Implementar campañas de turismo nacionales e internacionales usando redes sociales y organizaciones de turismo ecológico.
Ausencia de sanitarios y regaderas.	Habilitar sanitarios con una planta de tratamiento.
Ausencia de socorristas en la zona.	Promover el servicio de socorristas para la seguridad del turismo.
Laguna sin condiciones para la actividad de nado por olor, color y presencia de organismos nocivos para la salud.	Dragado de la laguna y el canal de acceso. Apertura de la boca lagunar para la recirculación del agua. Implementación de una PETAR.
Pesquería	
Poca especialización en pesquería costera.	Especialización en pesca costera e/o inserción de mujeres y jóvenes en pesca.
Disminución en la tasa de captura de peces.	Estabilización de la boca con escolleras en la boca lagunar.
	Implementación de una PETAR para disminuir la contaminación
Disminución del área efectiva de pesca.	Dragado del estero y remoción de vegetación circundante y fondo.
Contaminación por coniformes fecales y agroquímicos.	Implementación de una PETAR.
Dependencia a la salinidad de organismos comerciales.	Apertura de la boca lagunar.
Azolve en las zonas de siembra de especies sésiles.	Dragado del estero.
Falta de equipo para la pesca en mar y laguna.	Apoyos del gobierno al sector pesquero (empleos temporales, financiamiento de equipo, ayuda para desarrollo de proyectos pesqueros, etc.).
Falta de seguro médico y de vida.	Programa gubernamental para protección al sector primario.
Laguna	
La boca cerrada por prolongados periodos o permanentemente condiciona la abundancia de peces comerciales y eutrofización del sistema.	Estabilización de la boca con escolleras en la boca lagunar
	Dragado de la boca lagunar. Apertura de la boca de forma antropogénica.
La boca abierta por largos periodos o permanentemente genera pérdida de especies estearina y salinización.	Cerrar la boca lagunar de forma antropogénica.
	Colocación de una esclusa en la boca.
Eutrofización del sistema por flujo de aguas residuales con alto contenido de sustancias y organismos nocivos, así como por arrastre de sedimento y nutrientes.	Implementación de una PETAR.
	Introducción de químicos, oxigenar el agua.
	Remoción de lodos del lecho lagunar.
Sobreexplotación de especies.	Regulación en la captura de especies.
Reducción de la capacidad del embalse.	Incremento del caudal fluvial y/o dragado del estero.
Desplazamiento del 85 % de volumen con la boca abierta.	Dragado del estero.
Alta tasa de evaporación de la laguna.	Incremento del caudal fluvial o marial.
Arroyo	
Uso intensivo de agua.	Cambio en usos y costumbres.
Contaminación por agroquímicos y coniformes.	Estabilización de la boca e implementación de una PETAR.

En las Tabla 52 se presentan los cinco planes de mitigación recurrentes, las zonas en donde se implementarían, así como, los sectores beneficiados y las amenazas. Para leerla se da el siguiente ejemplo:

Amenaza: azolve del vaso lagunar (3).

Plan de mitigación: estabilización de la boca mediante escolleras (a).

Zona de implementación: playa y laguna.

Sector beneficiado: directo: pesquero y turístico; indirecto: generar trabajo a la población local por la construcción de la infraestructura, disminución el riesgo sanitario de la población y conservar servicios ecosistémicos como la recreación y la pesca.

Tabla 52. Flujo de los planes de mitigación propuestos para La Mancha.

Amenaza	Plan de mitigación	Implementación	Sector beneficiado
<p>➔ 1. Eutrofización el sistema (a, c y e)</p> <p>➔ 2. Erosión de playa (a)</p> <p>➔ 3. Azolve de laguna (a, b, c)</p> <p>➔ 4. Inundaciones (e)</p> <p>➔ 5. Contaminación (a, c, d y e)</p> <p>➔ 6. Sequias (c)</p> <p>➔ 7. Pérdida de resiliencia del sistema lagunar(a, b, c y e)</p> <p>➔ 8. Pérdida de especies locales (a, c y e)</p>	<p>➔ a) Estabilización de la boca (1,2,3,5,8)</p> <p>➔ b) Dragado del vaso lagunar (1, 3, 4 y 7)</p> <p>➔ c) Incremento del caudal fluvial (1, 3, 5, 6, 7 y 8)</p> <p>➔ d) Desarrollo de ecoturístico y pesquero</p> <p>➔ e) Planta de tratamiento: (1, 4, 5, 6,7 y 8)</p> <p>➔ f) No hacer nada</p>	<p>➔ Playa (a y b)</p> <p>➔ Laguna (a, b, c y e)</p> <p>➔ Infraestructura (a y e)</p>	<p>▲ Económico</p> <ul style="list-style-type: none"> •Pesquería •Agricultura •Turismo •Ganadería •Infraestructura <p>▲ Social</p> <ul style="list-style-type: none"> •Acceso a servicios •Seguridad social •Fuente de empleo •Conservar uso y costumbres <p>▲ Humano</p> <ul style="list-style-type: none"> •Disminuir el riesgo de decesos •Salud <p>▲ Ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> •Conservar la diversidad •Resiliencia de sistema • Servicios ambientales

Para evaluar la viabilidad de las estrategias de mitigación y sus impactos en la dinámica del sistema se recurre a la modelación numérica de escenarios, para lo cual, se utilizó la variabilidad mensual de los componentes físicos, químicos, sedimentarios, morfológicos, etc., estudiados en el capítulo 4 y 5 (ver Tabla 53).

Tabla 53.- Variación mensual de la magnitud en los parámetros físicos, químicos, sedimentarios y morfológicos

	ene	feb	mar	abr	may	jun	Jul	ago	sep	oct	nov	dic
Gasto hidráulico	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	amarillo	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Temperatura	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Evaporación potencial	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Precipitación media	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Ciclones tropicales	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Viento	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Altura significativa	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Salinidad	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Nitratos y nitritos	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Clorofila a	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Coliformes fecales	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Longitud playa	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Periodo pico	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Nortes	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Temperatura agua	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Productividad primaria	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Oxígeno disuelto	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo
Meses húmedos	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde	verde	verde	verde	verde	rojo	rojo

El color indica la magnitud donde: verde =mínima; amarillo=intermedio; rojo= máxima; blanco= sin valor.

6.1 Modelación de los escenarios de manejo en La Mancha

Se utilizó el modelo de tercera generación Delft3d en su versión de código abierto para modelar el comportamiento hidrodinámico de laguna La Mancha bajo los escenarios de la Tabla 54. Delft3d cuenta con varios módulos entre los cuales destaca el módulo FLOW (flujo), WAVE (oleaje), MOR (morfología) Y WAQ (calidad de agua). El modelo hidrodinámico resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes asumiendo Bussines y se basa en diferencias finitas para la resolución de las ecuaciones en el dominio con las condiciones iniciales y de frontera utilizando el método de RANS (Reynolds Averages Navier Stokes). El modelo incorpora los esfuerzos de Reynolds para la resolución de las modulaciones turbulentas.

En la Tabla 54 se presenta los escenarios y variables modelados hidrodinámica de laguna La Mancha.

Tabla 54. Escenarios y variables modeladas en la plataforma Delft3d.

Escenario Procesos	Condiciones normales	Estabilización de la boca	Dragado de laguna	Incremento de caudal
Marea				
Gasto				
Salinidad				
Densidad				
Viento				
Oleaje				
Sedimento				

Para la implementación del modelo se partió de determinar el dominio de cálculo, la topobatimetría, las condiciones iniciales y de frontera, para pasar a la calibración, validación y resultados.

6.1.1 Dominio de cálculo

Para el dominio de cálculo se emplearon coordenadas esféricas, con mallas rectangulares y cumpliendo la ortogonalidad de las celdas; la discretización se realizó mediante un esquema escalonado con la anidación de mallas. Para el módulo FLOW se utilizaron dos mallas anidadas; la primera abarca la zona costera de laguna La Mancha (ZCLM) que tiene 9912 elementos siendo de 84 X 118 con una resolución de 0.0005 grados (~55 m). La segunda malla de laguna La Mancha (LM) cuenta con 72046 elementos 221X326 es para resolución de flujo con detalle de 0.000125 grados de resolución (~ 13 m), ver Figura 75. Para el módulo WAVE también se usaron 2 mallas anidadas en la zona costera la primera cercana al nodo del WWIII donde se obtuvieron los datos oleaje para la zona (ZCLM2), con una resolución

de 0.0006 grados con 5151 elementos de 51X101; la segunda malla cubre la zona costera de La Mancha (LM2) con una resolución de 0.000125 grados con 8991 elementos de 81X111.

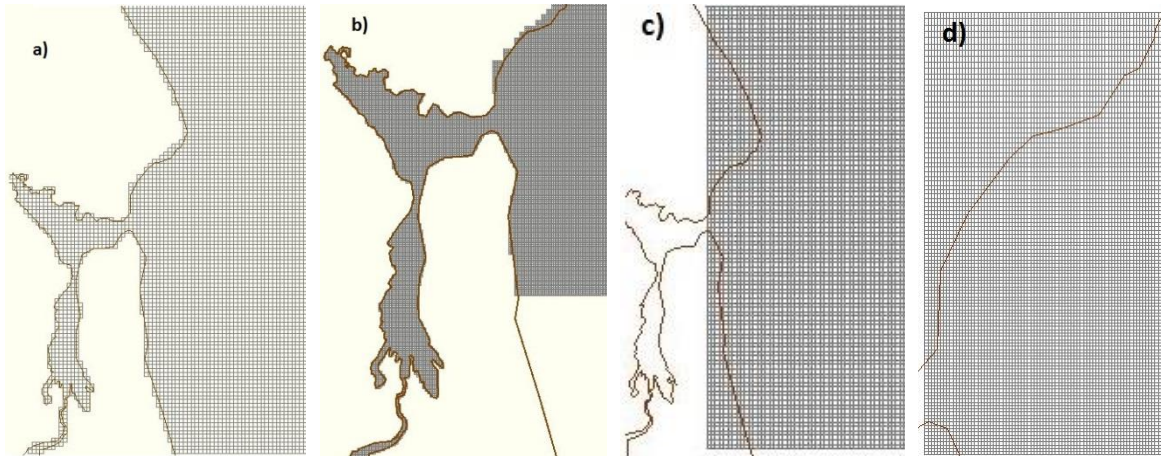


Figura 75- Mallas de cálculo laguna La Mancha. a) malla ZCLM de 55 m de resolución. b) malla 13 m de resolución. c) dominio de cálculo para el módulo WAVE malla con 66 m de resolución. d) Malla de oleaje de la zona costera de La Mancha con una resolución de 13 m.

La calidad de la malla se comprobó mediante un número de Courant < 10 , donde la ecuación se escribe como:

$$CFL = \frac{\Delta t \sqrt{gH}}{(\Delta x, \Delta y)} < 10 \quad (28)$$

donde CFL es el número de Courant, Δt es el paso de tiempo usando 0.5, 0.1 y 0.05 min, g la gravedad; H es el tirante medio, Δx es el tamaño de la celda en dirección x y Δy es el tamaño de celda en dirección Y .

6.1.2 Topobatimetría

Para las cuatro mallas se realizó una combinación de información batimétrica del modelo GEBCO 08 y datos medido *in situ* en laguna La Mancha (noviembre del 2014) y la zona costera (agosto de 2014), así como datos de terreno del MDT LIDAR de 5 m (ver Figura 76 a y b). Para el acoplamiento de los datos se usó como criterio el nivel medio del mar, por lo que, los valores de elevación se integraron mediante la altura optométrica de la boca de la laguna la cual fue medida en el mes de noviembre del 2014 y a partir de esta se corrigieron los valores del terreno del MDT LIDAR 5m (para una mayor descripción de la corrección de la altura ortométrica ver sección 5.3.2); a su vez, para los datos de la laguna y el mar se hizo una corrección por marea mediante la serie de tiempo de elevación provocada por dicho forzamiento en el periodo de muestreo así como por la sobre elevación que genera la lancha

~0.70 m. Para la incorporación de la batimetría con la malla de modelación, se realizó una interpolación triangular para cada nodo del dominio.

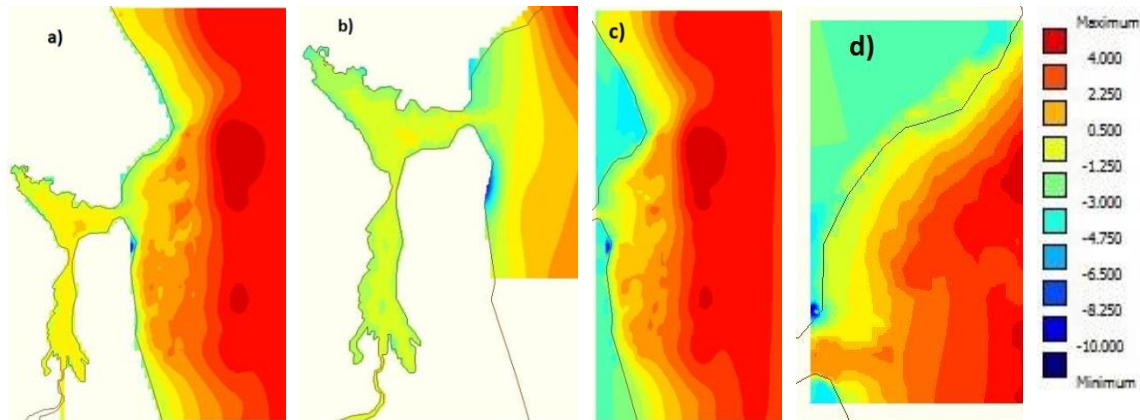


Figura 76- a) Batimetría de laguna y zona costera de La Mancha con una resolución de 55 m para cual se usaron datos medidos *in situ* en la laguna (noviembre-2014) y mar (agosto 2014) con información tomada del modelo GEBCO-08. b) Batimetría con una resolución de 13 m con datos medidos en laguna en La Mancha (noviembre-2014) y mar (agosto 2014). c) Batimetría de la zona costera de la Mancha compuesta a partir de los datos medidos en agosto de 2014 y el modelo GEBCO-08. D) Batimetría de la zona costera medida en agosto del 2014.

6.1.3 Condiciones de frontera e iniciales

Para el módulo FLOW se emplearon 4 fronteras abiertas al Norte, Este, Sur y arroyo Caño Gallegos (ACG), en la frontera Este se usó la serie de tiempo del pronóstico de marea obtenido en la sección 4.2.2; en el Sur y Norte se empleó una frontera Neuman con pendiente cero y para la frontera suroeste se utilizaron los gastos promedios mensuales obtenidos en la sección 4.2.2. Mientras que para el WAVE se usaron 3 fronteras abiertas Norte, Este y Sur con los estados de mar de la Tabla 12.

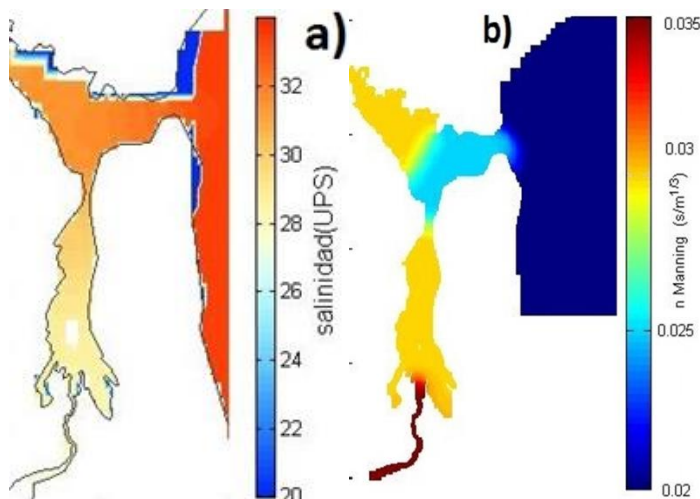


Figura 77. Mapa de la condición inicial a) salinidad; b) rugosidad.

Tabla 55. Condición de frontera para el ACG.

	Gasto	Salinidad
octubre	1.8 m ³ /s	0.02 PSU
diciembre	0.5m ³ /s	0.02 PSU

Tabla 56. Condiciones iniciales de viento.

Velocidad	Dirección
4 m/s	18 °
10 m/s	10°

Como condiciones iniciales para el módulo FLOW se usó: la cama de salinidad medida en noviembre 2014 (ver sección 5.2.2 y Figura 77-a), la rugosidad de Manning (Figura 77-b), nivel de agua y velocidades cero; en la superficie se empleó una cama de viento constante para lo cual se usaron los vientos dominantes descritos en la sección 4.3.1 y el gasto mensuales del arroyo Caño Gallegos (ver sección 4.2.2). Como constantes se usó gravedad 9.81 y densidad 1025 kg/m³. Mientras que para el módulo WAVE se usó como condiciones iniciales los resultados hidrodinámicos del modelo FLOW, así como la cama de viento empleada en el módulo FLOW.

En la malla ZCLM el tiempo de calentamiento se observó de 16 hrs mientras que en la malla LM el tiempo de calentamiento del modelo fue de 6 hr con un paso de tiempo de 0.5 y 0.1 minutos respectivamente, las condiciones de frontera se tomaron de la simulación LM. Para el módulo WAVE la estabilización del modelo se tomó a partir de las 2 horas.

6.1.4 Armado del modelo

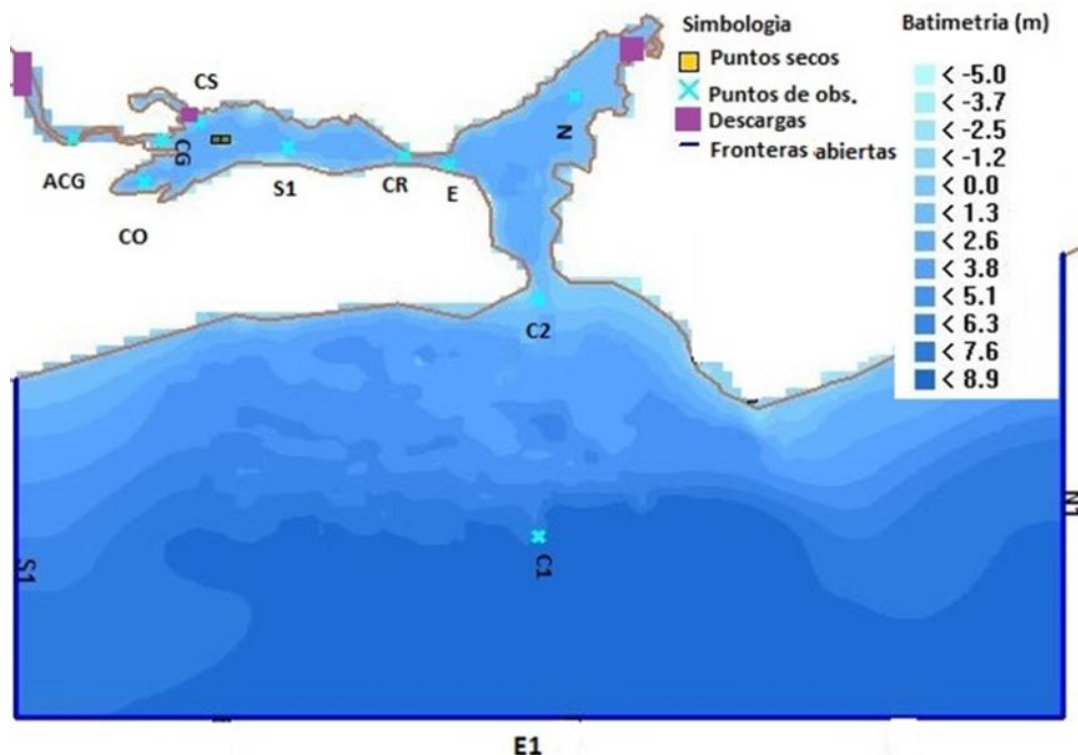


Figura 78. Características del modelo numérico DELFT3D para la Mancha.

En la Figura 78 se observa el modelo armado en la plataforma de Delft3D, el cual cuenta con 10 puntos de observación, tres descargas de afluentes terrestres, tres fronteras abiertas.

6.1.5 Calibración

La calibración del modelo busca reproducir las condiciones hidrodinámicas y físicas observadas en laguna La Mancha en el mes de noviembre del 2014 (ver sección 0), para lo cual se variaron los parámetros de calibración mediante ensayo y error, teniendo como forzante principal la marea astronómica. La modelación se realizó cubriendo los meses de octubre a diciembre 2014 con el propósito de garantizar la estabilidad del modelo una vez pasado el tiempo de calentamiento, se colocaron 10 puntos de observación, así como, las descargas ponderadas del arroyo Juan Pérez y Sábalo.

6.1.6 Validación

Para validar los resultados del modelo se utilizaron los niveles de la superficie libre de agua medido en la boca lagunar del 4 al 7 de noviembre del 2014 y se compararon con los niveles resultantes del módulo de marea teniendo un coeficiente de determinación r^2 de 0.9 (Figura 79).



Figura 79.- Validación de la marea en laguna la mancha utilizando el modelo Delf3d con datos de medidos en la boca de laguna La Mancha en noviembre del 2014.

6.1.7 Resultados de la modelación de escenarios con Delft3d

Los resultados obtenidos del modelo son: series de tiempo para los diez puntos de observación, así como, mapas de la variación temporal en todo el dominio.

Hidrodinámica de laguna La Mancha

La hidrodinámica de La Mancha se modeló del 1 de octubre al 31 de diciembre del 2014, los parámetros fueron: marea, gasto fluvial, salinidad, viento, oleaje y morfología.

Marea y gasto

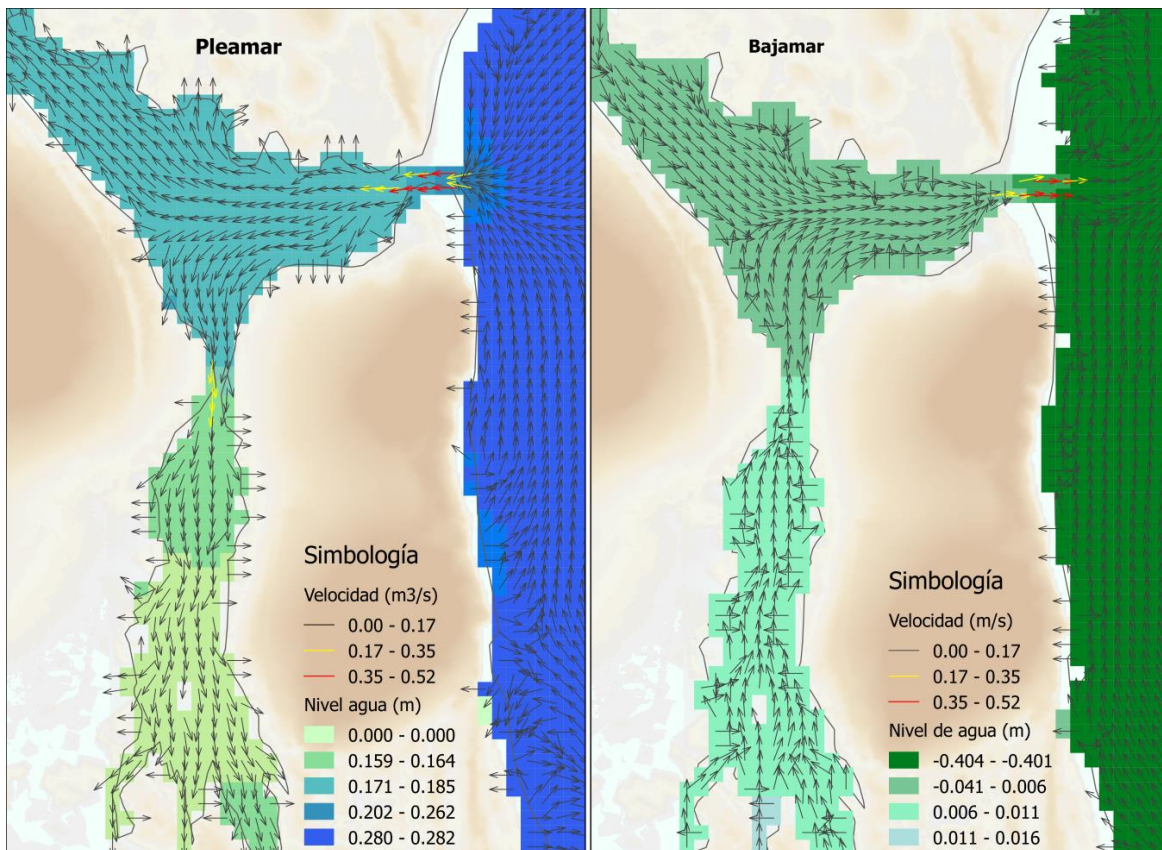


Figura 80. Resultados de velocidad y elevación del nivel del mar para pleamar y bajamar el 25 de noviembre.

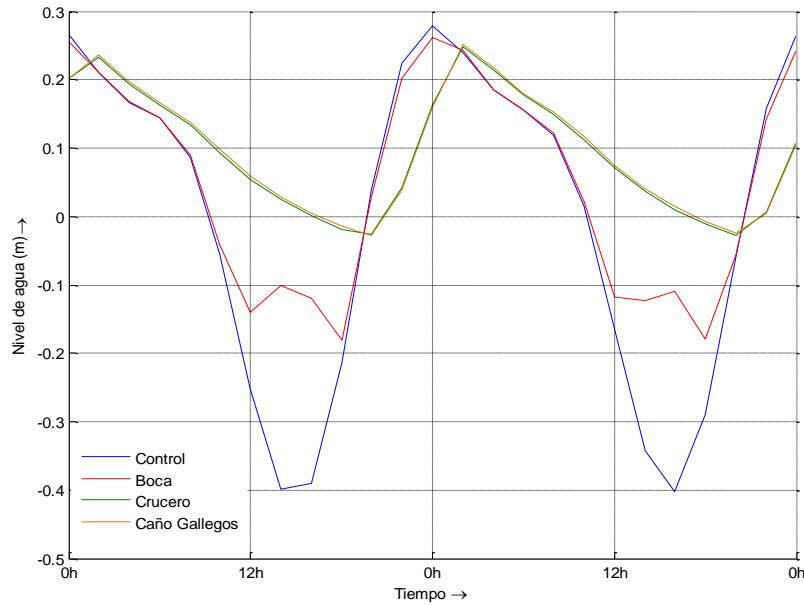


Figura 81. Variación de elevación del nivel del mar en los puntos de observación.

Tabla 57. Resultados de velocidad, nivel de agua, descarga y velocidad para los puntos de observación.

Pleamar				
Punto de observación	Fecha	Nivel de agua (m)	Descarga (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
Control	25/11/2014 00:00	0.279	4.920	0.012
Boca	25/11/2014 00:00	0.261	11.151	0.373
Norte	25/11/2014 02:00	0.246	0.008	0.000
Crucero	26/11/2014 02:00	0.248	0.554	0.010
Caño Gallegos	27/11/2014 02:00	0.251	0.594	0.012
Bajamar				
Control	25/11/2014 16:00	-0.401	9.667	0.025
Boca	25/11/2014 18:00	-0.179	2.354	0.378
Norte	25/11/2014 20:00	-0.033	0.084	0.001
Crucero	26/11/2014 20:00	-0.028	2.480	0.059
Caño Gallegos	27/11/2014 20:00	-0.024	0.895	0.026

Oleaje

El estado de mar modelado se tomó de la Tabla 12, en la figura 82 se presenta la propagación de un oleaje con un H_s 0.6 m, T 5.2 s y dirección 62° .

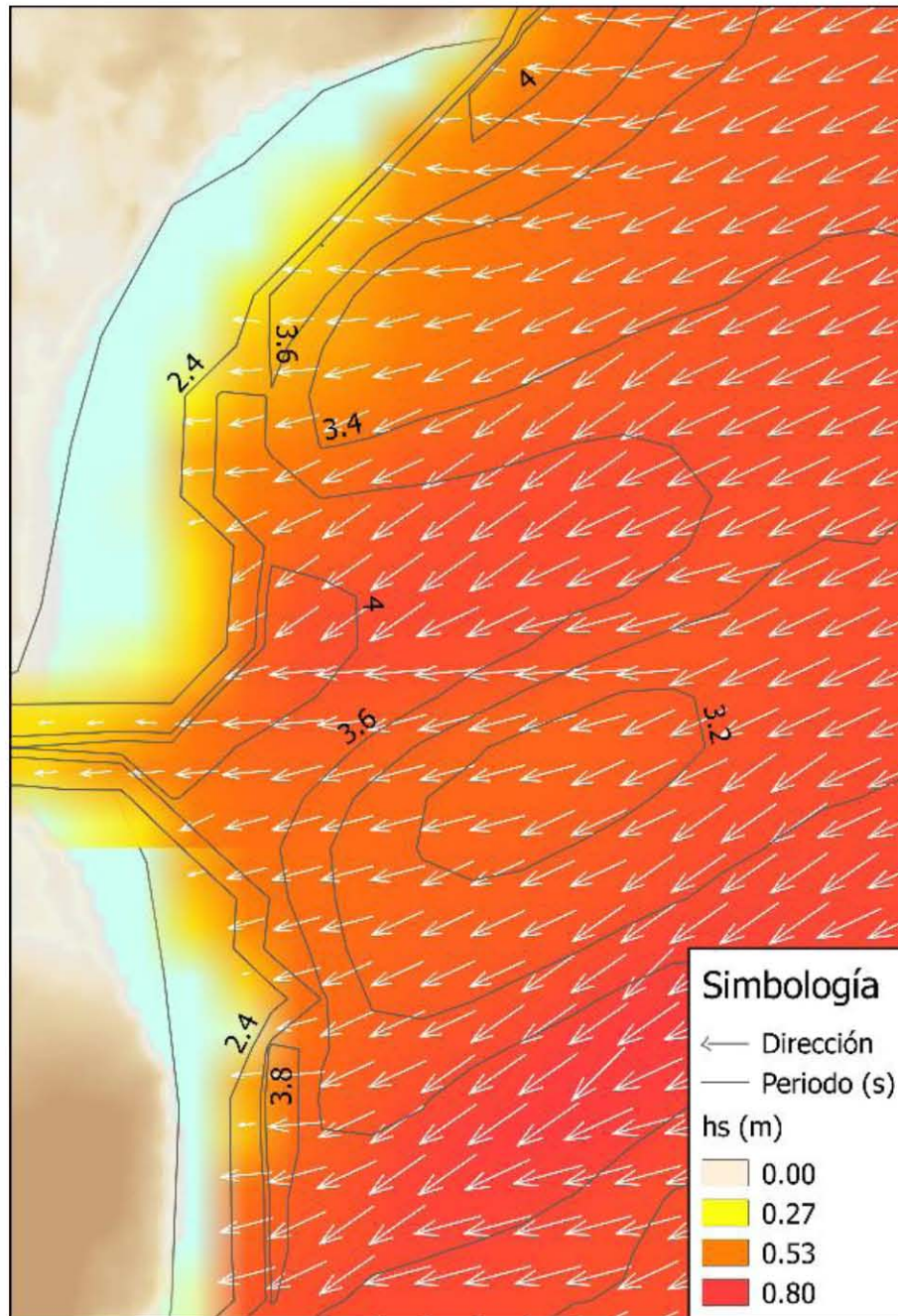


Figura 82. Resultados de la propagación de oleaje en playa La Mancha.

Viento

El viento modelado se tomó de la sección de la sección de la caracterización del viento.

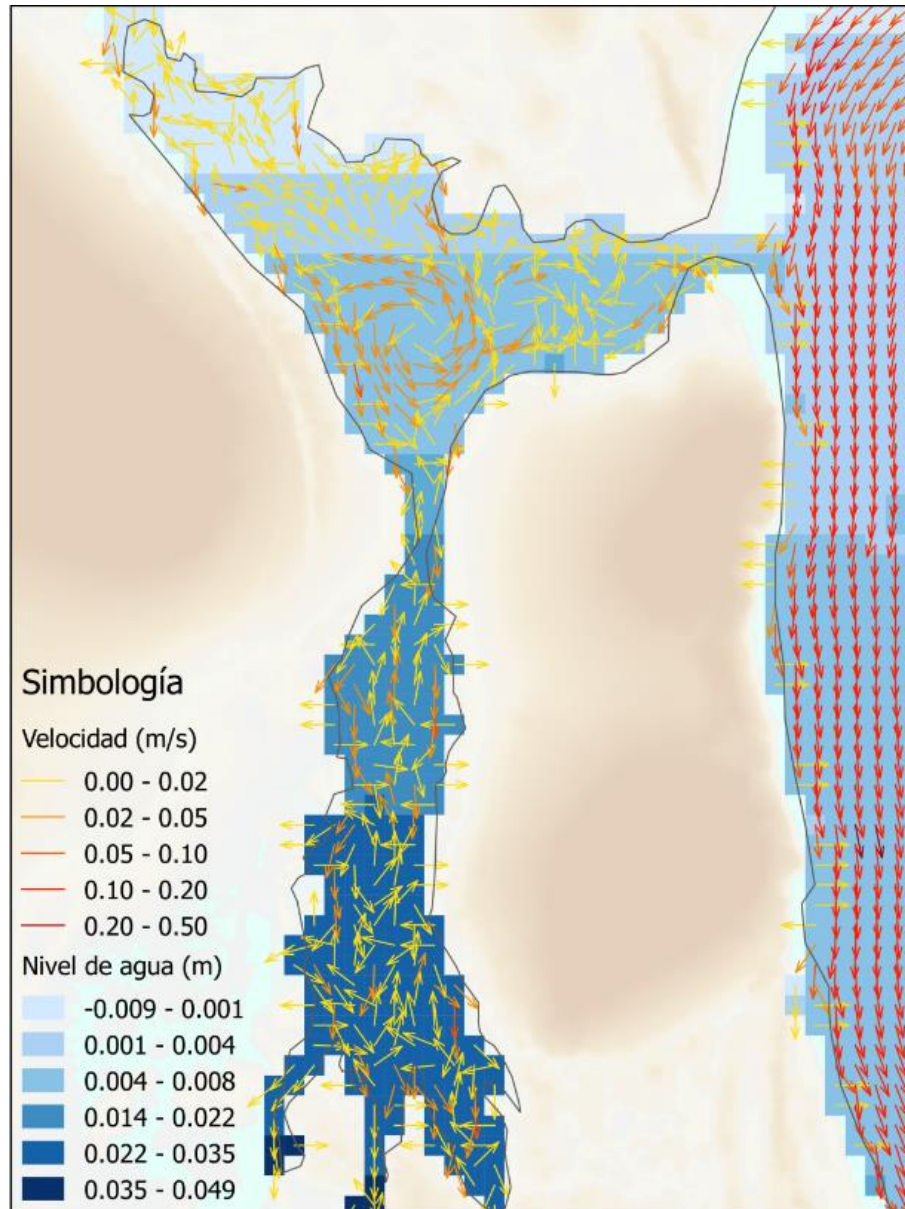


Figura 83. Resultado de la propagación de viento sobre laguna La Mancha.

Modelación hidrodinámica de las variables de gasto, marea, viento y salinidad

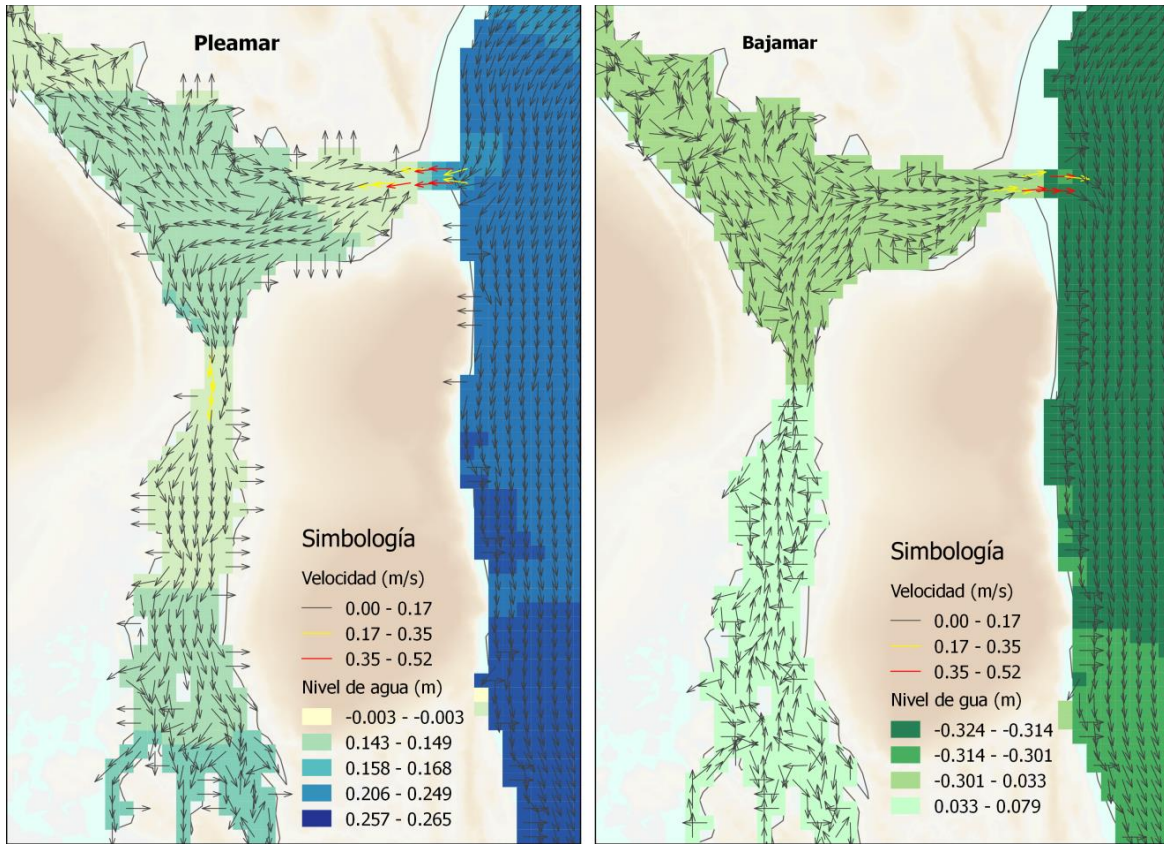


Figura 84. Resultados de velocidad y elevación del nivel del mar para pleamar y bajamar el 25 de noviembre.

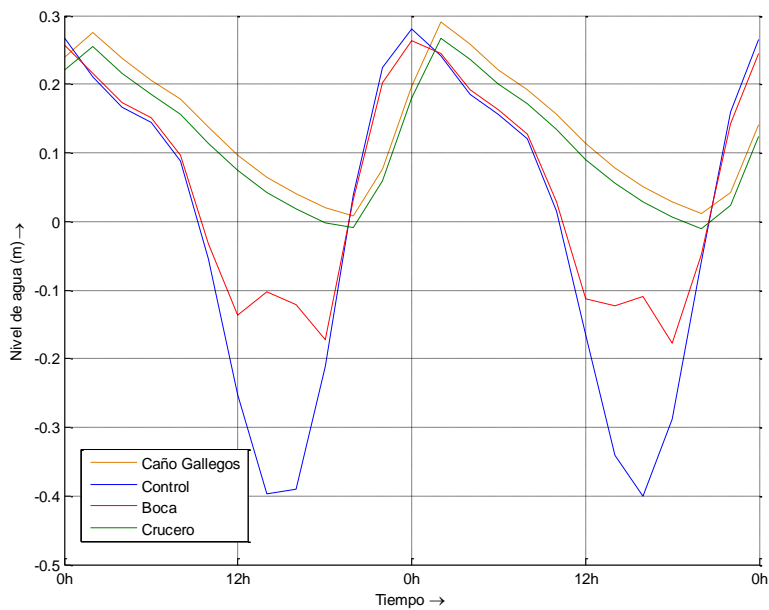


Figura 85. Variación de elevación del nivel del mar en los puntos de observación.

Tabla 58. Resultados de velocidad, nivel de agua, descarga, velocidad y salinidad para los puntos de observación.

Punto de observación	fecha	Nivel de agua (m)	Descarga (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	salinidad (ppt)
Pleamar					
Control	24/11/2014 00:00	0.27	84.54	0.20	34.00
Boca	24/11/2014 00:00	0.26	8.83	0.30	33.98
Crucero	24/11/2014 02:00	0.25	4.49	0.08	15.63
ACG	25/11/2014 02:00	0.28	1.01	0.02	2.14
Bajamar					
Control	24/11/2014 14:00	-0.40	76.16	0.20	34.00
Boca	24/11/2014 12:00	-0.14	4.08	0.47	22.17
crucero	24/11/2014 20:00	-0.01	1.67	0.04	9.93
ACG	24/11/2014 20:00	0.01	0.91	0.03	1.57

Ampliación del canal de marea y mayor calado en la laguna.

Con base a la necesidad de los lugareños de estabilizar la boca por medio de una estructura marítima (escollera, compuerta, etc.) y dragar la laguna, se modelo bajo un escenario donde la boca se ampliará ~120 m en la horizontal y se dragará entre 50 cm y 1 m para un calado promedio de 1.5 m respetando la morfología actual. En la modelación hidrodinámica de este escenario se usaron los parámetros descritos en la Tabla 59.

Tabla 59. Condiciones iniciales

Salinidad	Condición inicial de cama (PSU)	Rugosidad	Condición inicial de cama
Densidad	1022 kg/m ³	Viscosidad	1 m ² /s
Marea	Variable	gasto	0.07 m ³ /s

a) Forzamiento por marea

Asumiendo que la configuración del flujo en la laguna está dominada principalmente por la marea se forzó el modelo con la elevación de agua generada por marea. Se observa que la velocidad de flujo alcanza su máxima en el Crucero y la boca lagunar en pleamar con magnitud ~0.3 m/s², también se aprecia las velocidades disminuyen en la parte norte de la laguna al oeste y en la zona sur al este y oeste del arroyo Caño Gallegos. En este modelo al aumentar el tirante disminuye la fricción generada por el fondo e incrementa el gasto de entrada a la laguna, por lo que se observa un desfase de la onda astronómica entre la boca y el arroyo Caño Gallegos y una disminución de las velocidades, pero no una atenuación significativa de la elevación de la onda (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

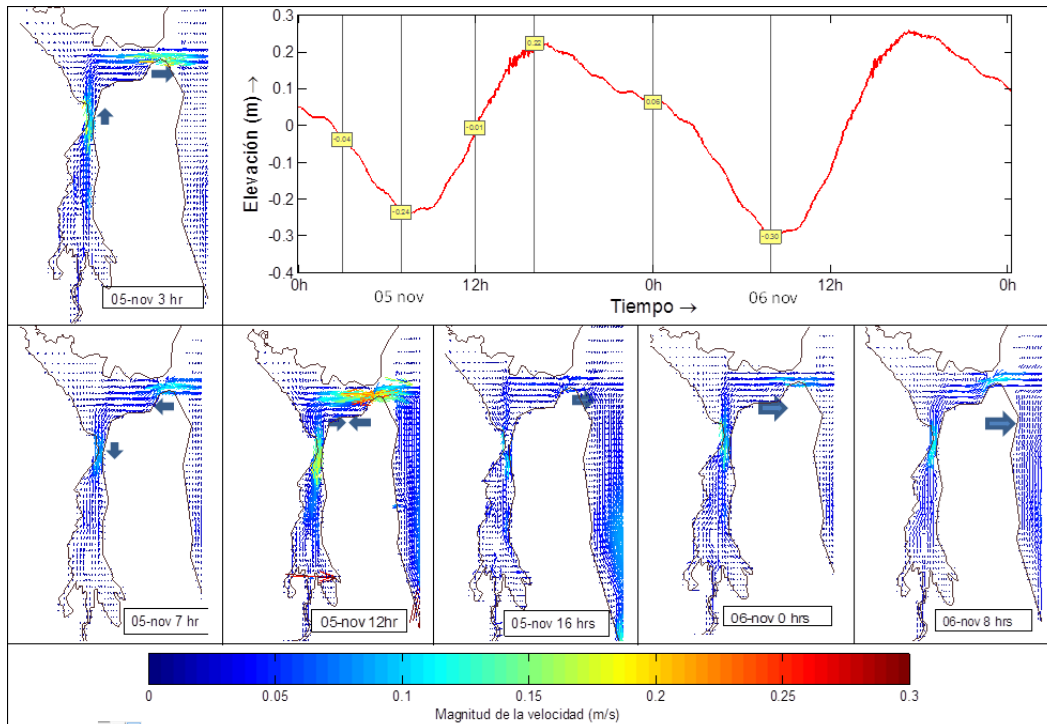


Figura 86. Variación de los parámetros de velocidad, gasto y elevación del nivel del mar.

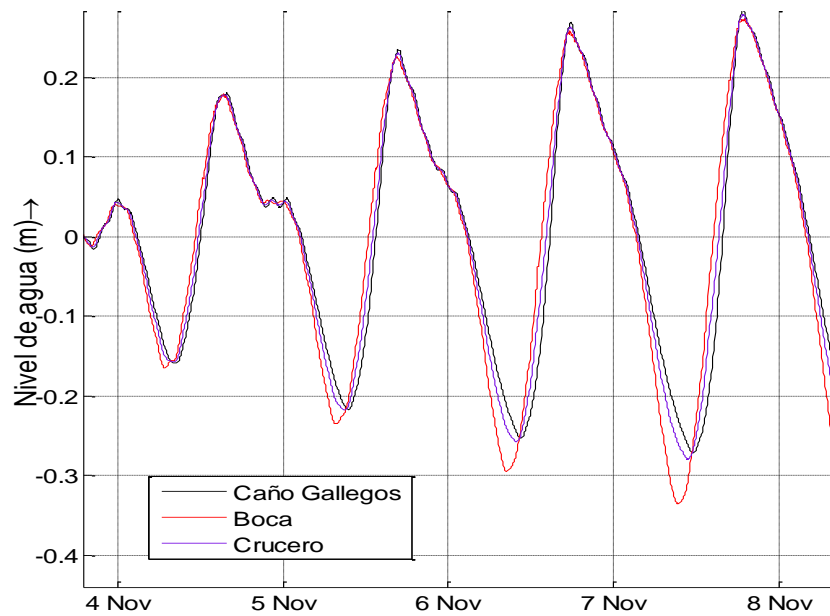


Figura 87. Suoerficie libre de agua en Caño Gallegos, el Crucero y La boca lagunar.

b) Forzamiento por marea y por gasto fluvial

Anudando al forzamiento por marea descrito anteriormente se modelo el gasto mensual calculado para el arroyo Caño Gallegos, así como, el gasto de 0.03 m³/s para Caño Juárez y Caño Sábalo (ver Figura 16).

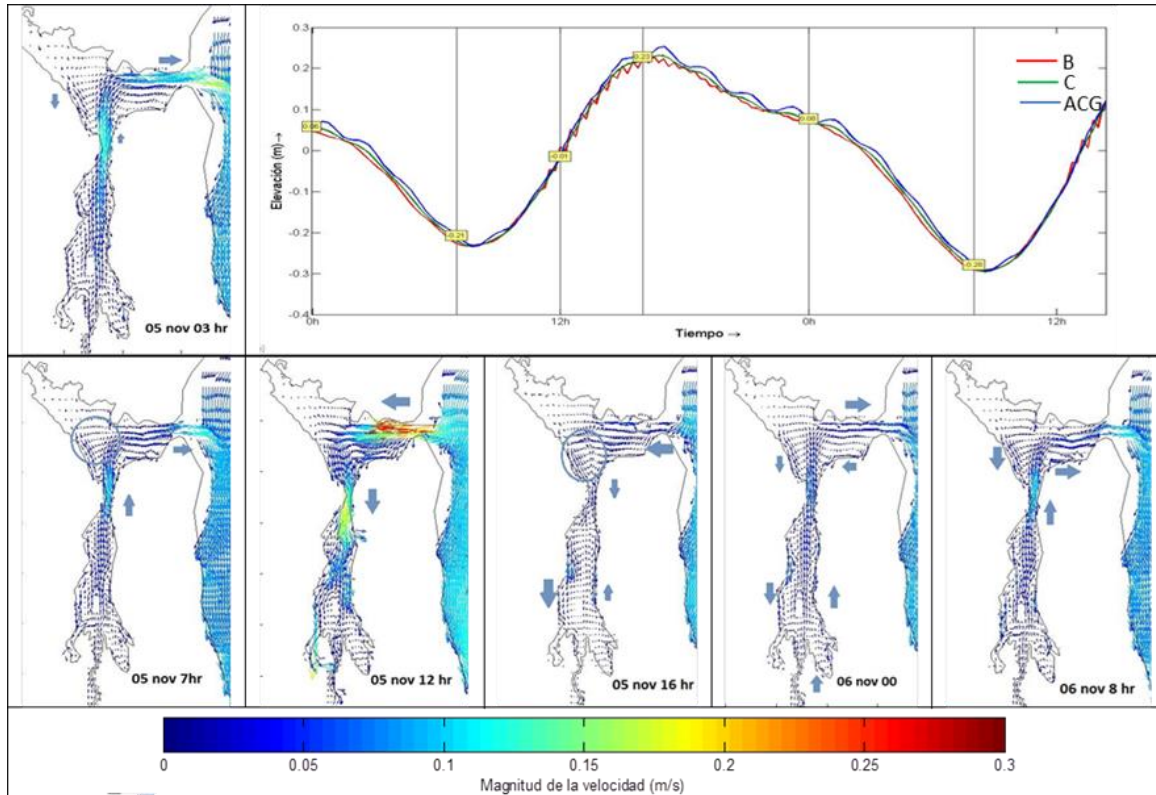


Figura 88.- Velocidad de flujo generada por el caudal fluvial y marea, del 5 y 6 de noviembre del 2014.

Bajo este escenario la diferencia de elevación de la superficie generada por marea y el gasto de entrada arroyos, la magnitud de la velocidad no presentan cambios significativos, pero se observa variación en la dirección de los vectores de velocidad, esto se puede observar en la figura 88 donde se aprecia el 5 de noviembre a las 7 hrs un giro con dirección ciclónica y en pleamar el 5 de nov a las 17 pero con dirección anticiclónica. Lo anterior se ocurre en zonas de 0.05 m/s velocidad por lo que se puede asumir condiciones de calma que permite la formación de estos giros.

c) Forzamiento por marea, gasto y viento.

Como se mencionó la modelación se da en época de nortes por lo que se agregó el forzante por viento para conocer el efecto de éste en el funcionamiento hidráulico de la laguna y 0.3 m³/s gasto bajo las condiciones de marea descritas en esta sección. Para el viento se utilizó un rango de magnitud de 2.5 y 10 m/s con dirección del N, NNE, NE, la cual es característica de la zona en época de nortes (ver sección 4.3.1).

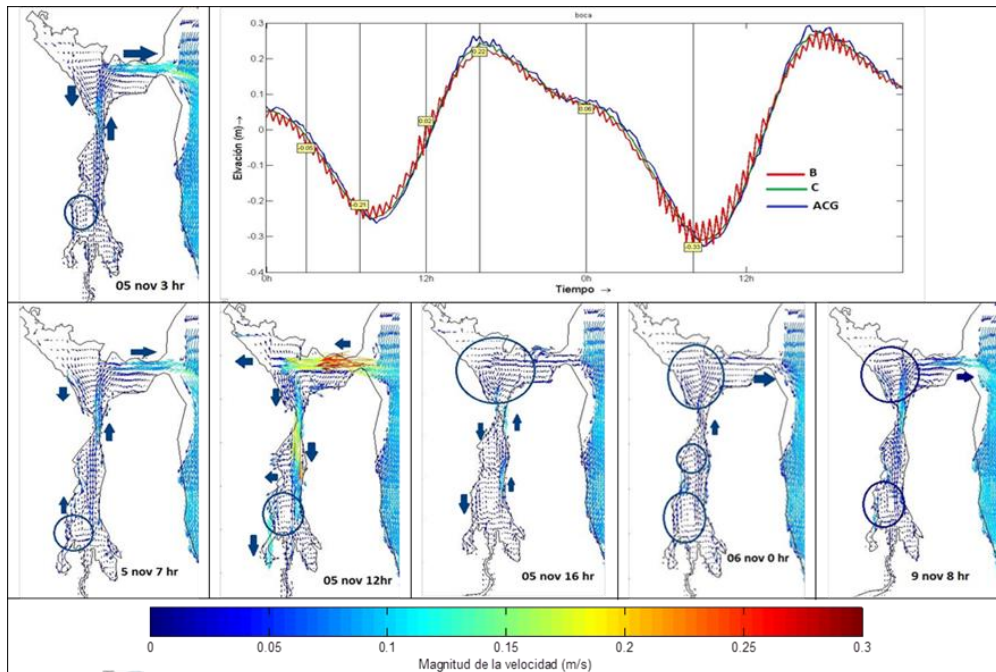


Figura 89.- Mapa de velocidad del flujo generada pro marea, gasto fluvial y viento del 5 y 6 de noviembre.

La Figura 89 muestra la configuración del flujo en la superficie de la laguna en un ciclo de marea que va de bajamar-pleamar-bajamar. En la gráfica se muestran en cada fase giros en la superficie lagunar, así como variación en la dirección del flujo con respecto a la fase de marea. El viento genera un incremento de velocidad de 0.02 m/s.

d) Resultados de salinidad para el escenario b) y c)

En los escenarios b) y c) se utilizó el módulo de salinidad para estudiar la variación de la concentración de sales influenciada por marea y un gasto de descarga de 1.5 m³/s de afluentes fluviales (escenario b); en el punto c) se vio la variación provocada por marea, viento y un gasto de entrada de 0.3 m³/s.

En la Figura 90 se aprecia el comportamiento de la salinidad en el cuerpo lagunar bajo en condiciones de: gasto fluvial normal; e incremento en la magnitud del gasto de 0.1m³/s y efecto del viento en la lámina de agua. Se observa que el gasto de entrada de los arroyos en noviembre no es suficiente para mantener las condiciones polihalinas (18 PSU) correspondiente al estuario, pero, cuando el caudal fluvial se incrementa en magnitud 0.1 m³/s se observa una menor intrusión salina en presencia de viento sostenidos de 2 a 10 m/s del N y NE.

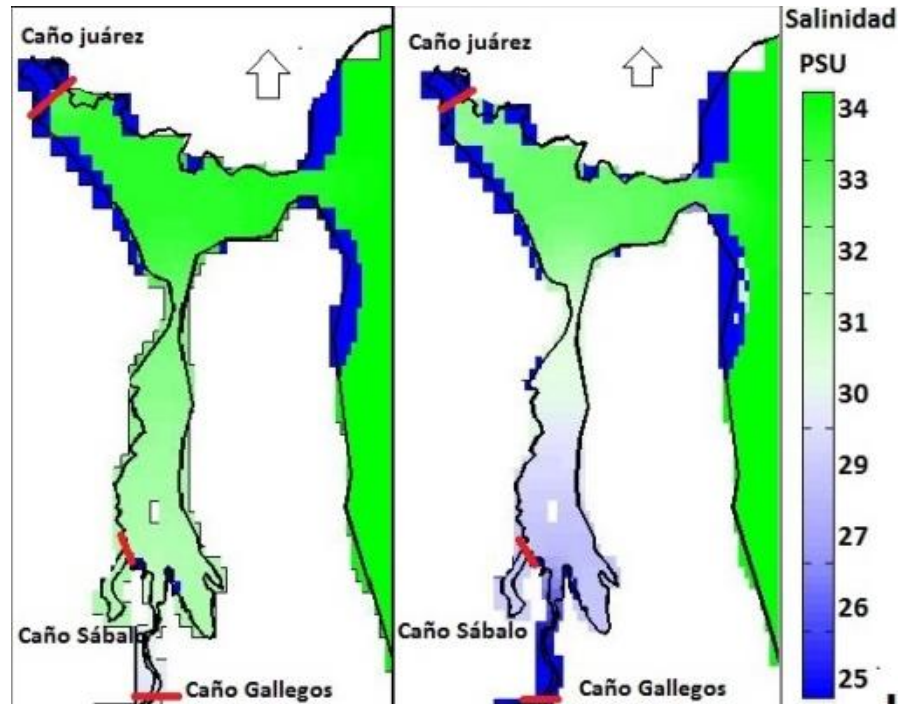


Figura 90. Variación de salinidad espacial y temporal bajo los escenarios b y c. a) serie de tiempo de la fluctuación de sales en El Crucero y Caño Gallegos. b) Mapa de salinidad sin viento y con un gasto de 0.15 m³/s, y mapa de salinidad con viento y con un gasto de entrada de 0.3 m³/s para el 26 de noviembre del 2014.

Observaciones

- La modelación numérica representa de manera afectiva la hidrodinámica de la laguna, por lo que resulta una importante herramienta para modelación de escenarios.
- La marea es el principal forzante de la laguna, seguido por el caudal fluvial y el viento.
- La marea tiene un desfase en dirección boca-arroyo caño Gallegos de 40 min a 4 hrs.
- En todas las modelaciones se observó un mayor retraso de la onda de marea en bajamar que en pleamar, esto se debe a que el espesor de capa limite en el fondo es mayor que la profundidad.
- El estrechamiento de la laguna llamado El Crucero actúa como el principal disipador de energía.
- La boca lagunar y El crucero se presentan los flujos de mayor magnitud.
- El viento genera giros en la superficie y cambia la dirección del flujo, esto resulta importante para las zonas de calma donde se genera un proceso de turbulencia y mezclado.

Capítulo 7 **Recomendaciones de manejo y gestión para laguna La Mancha**

Con base en la información procesada en los capítulos anteriores, en esta sección se enumeran diversas acciones de manejo en la laguna, y el grado de conservación del sistema.

7.1 Incremento en el gasto de entrada de agua dulce a la laguna

7.1.1 Interconexión de río Agua fría con Arroyo Caño Gallegos

Para garantizar el funcionamiento hidráulico de la laguna se considera incrementar el gasto de aportación del arroyo Caño Gallegos a la laguna por medio de la interconexión del río Agua Fría y el arroyo Caño Gallegos (Figura 91) para desviar un porcentaje del gasto de Agua Fría. Se proponen dos alternativas de interconexión:

Int. a: Una interconexión de longitud ~ 0.77 km que uniría río Agua Fría en el kilómetro 27.25 con arroyo caño gallegos en el kilómetro 3 (Figura 91).

Int. b: Una interconexión de longitud ~ 1.85 km que uniría río Agua Fría en el kilómetro 30 con arroyo caño gallegos en el kilómetro 5.6 (Figura 91).

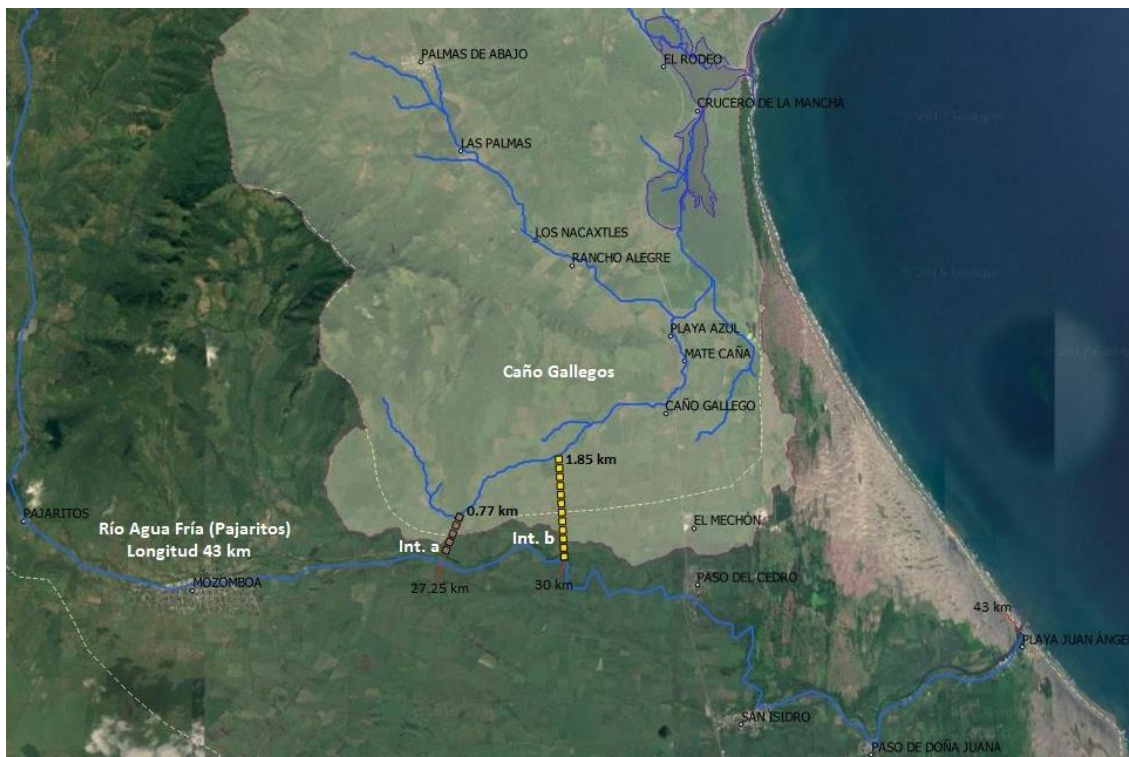


Figura 91. Alternativas de interconexión entre el río Agua Fría y el arroyo Caño Gallegos.

Esta alternativa beneficiaría directamente a 11 localidades rurales (Caño Gallegos, Playa Azul, etc.) e indirectamente a 37 localidades de la cuenca Caño La Mancha, en el sector socioeconómico, ambiental, de salud, etc., y se mantendría los servicios ecosistémicos

estuarinos ya que se incrementaría el tirante de la laguna, prevalecerían las condiciones hidrodinámicas estuarianas, se contrarrestaría el volumen de pérdida por evaporación, incrementaría la biomasa de organismos estuarinos de interés comercial, así como se retrasaría la salinización del arroyo y los campos de cultivo.

Con esta alternativa se afectaría la disponibilidad de agua de las poblaciones Paso de Cedro, San Isidro y Paso de Doña Juana, también se afectaría la recarga de agua del acuífero de Agua Fría y las zonas de cultivo.

Esta alternativa tendría que evaluarse desde el punto de vista hidráulico, económico y social, se prevé que generaría beneficios directos a laguna La Mancha, pero a largo plazo podría tener un impacto negativo sobre la zona costera San Juan Ángel.

7.1.2 Optimización de riego

Cultivos con mayor rentabilidad

Desde el 2013 se ha depreciado el cultivo de caña en el mercado mundial, al ser este cultivo el de mayor producción en la cuenca, la población productiva se ve afectada económicamente. A su vez, se deben tener en cuenta los volúmenes de agua que se necesita para el riego, así como los agroquímicos, y la descarga de los residuos a los tributarios del arroyo.

Por lo cual, se propone cambiar el cultivo de caña por cultivos más rentables y de mayor demanda en el extranjero como el aguacate, arándano, ajonjolí, brócoli, berenjena, café, chile, coliflor, espárrago, frambuesa, fresa, higo, jamaica, limón, melón, mango, nuez, naranja, nopal, papaya, pepino, tomate, sandía y zarzamora.

Otro cultivo rentable debido a la demanda en la industria cosmética es el lavandin y la lavanda que tiene un manejo sencillo y que no requiere excesivos cuidados.

Implementación de sistemas de riego eficiente

Se propone incentivar a la comunidad agrícola a cambiar el sistema tradicional de riego rodado por un sistema de riego por multi compuertas, aspersión, microaspersión, goteo y drenaje. La alternativa de riego a elegir dependerá del tipo de cultivo, el terreno, fuente de agua y presupuesto.

Para esta medida se debe:

- Crear talleres de información, con el objetivo de presentar a la comunidad agrícola alternativas de sistemas riego eficiente de acuerdo con el cultivo de interés (principales cultivos en la cuenca caña de azúcar, tomate, pepino, melón, sandía, naranja, limón, mango y maíz), así como, las ventajas y desventajas de estos.

- Crear talleres de capacitación en el funcionamiento, instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de riego.
- Crear talleres para enseñar a gestionar y bajar recursos de las convocatorias federales y estatales, por el ejemplo, la convocatoria a nivel nacional de SAGARPA.
- Impartir talleres para buscar alternativas de comercialización.
- Complementado por un seguimiento del rendimiento agrícola.



Figura 92.- Ejemplos de sistemas de riego eficientes, imágenes tomadas de la web en 2016.

Con esta alternativa se podría beneficiar ~56 % de la superficie de la cuenca, la cual, está dedicada a la actividad agrícola-pecuaria; también se puede alcanzar un ahorro hasta del 75% de agua, con un incremento en rendimiento y bajado el costo de producción. Aunado a esto se espera la reducción en lixiviación y erosión del suelo disminuyendo el arrastre de sedimento a la laguna y aumentando el gasto de entrada de agua a la laguna.

Las desventajas es el costo inicial de los sistemas de riego, la poca capacitación de los agricultores que podría desencadenar el abandono de estas prácticas de riego.

7.2 Tratamiento de aguas residuales, de cultivo y tributarias

7.2.1 Implementación sistemas de tratamiento de agua residuales de bajo costo

De acuerdo con el censo del INEGI 2010 en la cuenca La Mancha se encuentran 49 localidades, con baja densidad poblacional y dispersas (sección 4.7), las cuales descargan aguas residuales a hondonadas y cuerpos de agua donde el agua se infiltra, se evapora y/o escurre causando malos olores, lo anterior limita los usos del agua y es una fuente de enfermedades.

A continuación, se plantean alternativas de procesos de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades, las cuales son bajo costo de inversión, operación y mantenimiento.

Zanjas de infiltración o de lixiviación capilar

Unos sistemas de tratamiento como el método de zanjas de infiltración o de lixiviación capilar, como proceso complementario para tratar los efluentes de las fosas sépticas. Este sistema se utiliza para el tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en pequeñas comunidades de países occidentales, en forma tradicional, se han utilizado sistemas de tratamiento que incluyen una fosa séptica y un campo conformado por zanjas de infiltración; estas unidades también han sido utilizadas en forma individual, por lo cual el uso de las zanjas de infiltración no es nuevo.

Sistema Doyoo Yookasoo

Proceso que es una variante del proceso de lodos activados por contacto fijo sumergido con el cual se mejora el proceso de tratamiento, se simplifica la operación y se obtienen efluentes de alta calidad, para su reusó, intercambio o disposición.

Recomendaciones

- Desviar el agua de caño gallegos para tener un tratamiento de coliformes y de pesticidas antes de entrar a la laguna
- Crear la red de drenaje en la cuenca la mancha donde el agua de riego se pase por la planta de tratamiento antes de ser entrada a la laguna
- Tratamiento del agua tributaria antes del ingreso a la laguna, disminuiría el aporte de sedimento y nutrientes, pero controlaría la entrada de contaminantes
- Aumento de nutrientes dimensión de oxígeno tratamiento con ionización y colorante natural azul, ayuda a prevenir el desarrollo de algas

7.3 Desazolve del vaso lagunar

Desazolvar la laguna iniciando por la zona de limos y arcillas y al final la boca, mediante la extracción de sedimentos del fondo, disminuye la liberación de nutrientes desde el fondo. El tiempo de recuperación de un sistema lagunar se calcula entre 7 y 10 años. También en la literatura mencionan para tratar el sedimento por medio de composteo, para usarlo en las zonas aledañas a la laguna donde se ha pastoreado, para la recuperación del relieve y propiciar la reforestación natural.

Actualmente está pactado un programa de dragado en la laguna, el cual ha resultado poco efectivo debido a la logística, si es cierto que resulta de gran importancia esta acción para recuperar el calado de laguna. En este trabajo se propone que se inicie en la zona sur, y se realice a finales de la temporada seca, para evitar en medida de lo posible la suspensión de sedimento en toda la columna de agua, al iniciar la temporada de lluvia se oxigenaría y lavaría el sistema.

7.4 Estabilización de la boca

El poner escolleras en boca se ve como una posibilidad inviable debido a la tasa de transporte litoral y eólico y a la batimetría de la zona.

7.5 Estabilización de la boca y dragado de la laguna

La acción conjunta de la apertura y estabilización de la boca de comunicación, con el dragado de canales interiores en el canal de acceso y vaso principal, permitirá el restablecimiento de la comunicación con el mar y, con esto, el intercambio de flujos de materia y energía (nutrientes, flora y fauna, marea) del cual dependen los ambientes estuarinos y se benefician los marinos adyacentes.

Si la boca lagunar se estabilizara y se dragara la laguna a una profundidad media de 1.5 m, el caudal por marea incrementaría lo que pudiera generar mayor intrusión de peces comerciales. En la modelación numérica de estas condiciones se observa que la carga de marea y la disponibilidad de sales es mayor que la actual, por lo que el gasto de entrada de los arroyos en noviembre no es suficiente para mantener las condiciones polihalinas (18 PSU) correspondiente al estuario (Figura 90). Cuando el caudal fluvial se incrementa en magnitud 0.1 m³/s se observa una menor intrusión salina en presencia de viento sostenidos de 2 a 10 m/s del N y NE.

Para estabilizar la boca lagunar y mantener las condiciones estuarinas se debe:

- Incrementar el calado de la laguna a una profundidad media de \sim 1.5 m
- Ampliar el ancho de la boca a una longitud mayor a 100 y menor a 200 m.
- Un calado en el canal de marea $>$ 1.5 m
- Garantizar un escurrimiento mensual en el arroyo Caño Gallegos \sim 0.5 m³/s, por lo que se recomienda considerar la posibilidad de desviar agua de algún afluente.
- Un caudal para Caño Sábalo y Caño Juárez $>$ 0.1 m³/s.
- Limpiar los cauces antes de la época de lluvia para mantener el un flujo del agua en la laguna e incrementar el proceso de renovación de agua.

Por lo anterior y debido a la poca disponibilidad de agua dulce no se recomienda la estabilización de la boca lagunar, ya que eso tendría como repercusión la pérdida de la fauna de la laguna, la euhalinización de la laguna, los arroyos y el suelo, también se debe considerar que la laguna se caracteriza por tener una alta tasa de evaporación por lo que esto pudiera incrementar la concentración de sales en la laguna.

Capítulo 8 **Referencias**

- Aburto-Marín, A., 1974. *Contribución al estudio de la fauna bentónica y su variación estacional en la laguna de La Mancha, Municipio de Actopan, Ver.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. Xalapa. Veracruz. México.
- Álvarez-Guillén, H., Yáñez-Arancibia, A., y Lara-Domínguez, A. L., 1985. Ecología de la boca del Carmen, Laguna de Términos: El hábitat y estructura de las comunidades de peces. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol*, 12, 107-144.
- Alvarez-Silva, C., 1988. Contribución al estudio de los Copépodos de la Laguna de La Mancha, Veracruz, México 1981-1982. *Memorias del IX Congreso Nacional de Zoología* 13 al 16 de octubre de 1987. Villahermosa, Tabasco, México. 2: 165-175.
- Aubriot, L., Conde, D., Bonilla, S., Hein, V., y Britos, A. 2005. Vulnerabilidad de una laguna costera en una Reserva de Biosfera: indicios recientes de eutrofización. *Taller Internacional de Eutrofización de Lagos Y Embalses*, 65–85.
- Avila-Serrano, G. E., Santa Rosa del Río, M. A., Anfuso-Melfi, G., Benavente-González, J., Guardado-France, R., González-Yajimovich, O., Velázquez-González, E. K. 2009. Variaciones sedimentarias y transporte litoral en Playa de la Victoria, Cádiz, España. *Ciencias Marinas*. 35, 259–269.
- Baliero W, Biasco E, Conde D, Cortazzo R, Fossati M, Gorfinkiel D, Lorenzo E, Menafrá R, Píriz C y I Roche, 2006: Estudio de Base sobre el Estado del Manejo Costero Integrado en Uruguay: práctica, capacitación e investigación. Proyecto “Sustentabilidad de la Zona Costera Uruguaya” AUCC-CIDA, Universidad de la República, Montevideo / Dalhousie University, Halifax. 28 pp.
- Balvanera, P., H. C., 2011. Los servicios ecosistémicos. *Biodiversitas*, 94, 7–11.
- Barragán, J., 2001. The Coasts of Latin America at the End of the Century. *Journal of Coastal Research* 174: 885-899.
- Barreiro-Güemes., M. T. y J. Balderas-Cortés. 1991., Evaluación de algunas comunidades de productores primarios de la laguna de la Mancha, Veracruz. *Anal. Inst. Cienc. del Mar y Limnol*. 182:229-245.
- Barrios, D. M., 1981. *Estudio bioecológico de las capturas de peces con redes agalleras en la Ciénaga Grande de Santa Marta.* Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Blanco P. M., 2009. Biología Pesquera De La Guitarra Pinta, *Zapteryx exasperata* Jordan y Gilbert 1880, En La Costa Central De Sonora, México. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada Baja California, CICESE, 2014. "Predicción de Marea". Recuperado en junio del 2014, de <http://predmar.cicese.mx/calmen.php>.
- Cervigón, F., 1993. Los peces marinos de Venezuela, volumen II. Editorial Fundación Científica Los Roques, Caracas, 497 pp.
- Cervigón, F.; R. Cipriani; W. Fischer; L. Garibaldi; M. Hendrickx; A. Lemus; R. Márquez; J. Poutiers; G. Robaina y B. Rodríguez., 1992. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de las aguas salobres de la costa septentrional de Sudamérica. FAO, CCE y NORAD, Roma, 513 p.
- Chamochumbi, Ch., Walter, 2005. "La Resiliencia en el Desarrollo Sostenible: algunas consideraciones teóricas en el campo social y ambiental", public. en Campo Latino <http://www.campo-latino.org> y Ecoportal <http://www.EcoPortal.net>, Lima
- Chao, L. N., 1978. A basis for classifying western Atlantic Sciaenidae Teleostei: Peciformes. U.S. Dep. Commer., NOAA. Tech. Rep. NMFS Circ. 415: 1-64
- Chua, T.-E., 1993. Essential elements of integrated coastal zone management. Ocean y Coastal Management, 211-3, 81-108. <https://doi.org/10.1016/0964-56919390021-P>
- Cicin-Sain, B., y R.W. Knecht, 1998. Integrated Coastal and Ocean Management. Concepts and Prac- tices. Island Press, Washington, 517 p
- Coello, S., 2008. Propuesta de: Política Costera del Ecuador Costas vivas y saludables para el Desarrollo de Manejo de Recursos Costeros. 8 pp. URL: http://simce.ambiente.gob.ec/sites/default/files/documentos/belen/Política_costera_de_Ecuador.pdf Consultado: 23 septiembre 2013.Nacional. Presidencia de la República del Ecuador Programa
- Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora en coordinación con Azteca Sonora, S. y S. n.d. Jornada Ecologica "Limpiemos Nuestro México."
- Comision Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo., 1998. Nuestro Futuro Comùn, Madrid: Alianza
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2011. Convocatorias Para Concursos De Adquisiciones, Arrendamientos, Obras Y Servicios Del Sector Publico. Diario Oficial.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO, 2008. "Manglares de México". México.
- CONABIO-SEMAR, y Acosta-Velázquez, J., 2008. Fotografías del sitio prioritario La Encrucijada , Chiapas ., 1-12 pp.

- Contreras E., F., Rivera G., E., y Segura A., R., 2005. Nutrientes y productividad primaria fitoplanctónica en una laguna costera tropical intermitente La Mancha, Ver. del Golfo de México. *Hidrobiológica*, 15 3, 299–310.
- Cowardin, L. M., 1978. Wetland classification in the United States. *J. For.* 7610 :666-668.
- Cupul-Magaña, L. A., Mösso-Aranda, C., Sierra, J. P., Martí, E., Ferman-Almada, J. L., Rodilla, M., Sánchez-Arcilla, A., 2006. Caracterización y patrones de distribución de los sedimentos superficiales en Bahía Cullera, España. *Ciencias Marinas*, 324, 617–629.
- Day, JR., J.W. Y A. Yáñez-Arancibia, 1982. "Coastal lagoons and estuaries: Ecosystem approach." *Ciencia Interamericana. Ciencias del Mar, OEA, Washington, D.C.*, 221-2: 11-26.
- Dayton, P.K., V. Currie., T. Gerrodette, B.D. Keller., R. Rosenthal Y D.V. Tresca. 1984. Patch dynamics and stability of some California kelp communities. *Ecological Monographs* 543:253-289.
- Dean, R.G., 1973. Heuristic models of sand transport in the surf zone. *Proc. of the Conf. on Engineering Dynamics in the surf zone*, 208-214.
- Diario Oficial., 2014. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de Lisa Mugil cephalus y Lebrancha Mugil curema, en las costas de Tamaulipas y Veracruz.
- Espinosa Contreras, F., 2003. Dinamica Espacio–Temporal De Nutrientes En La Laguna De La Mancha, Veracruz, México. Retrieved from <http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI10606.pdf>
- Eugenia, M., Cendejas, V., y Hernández, M., 1989. Peces de sistemas lagunares y ciénegas.
- Fischer, W., 1978. *FAO Species Identification Sheets for Fishery Purpose. Western Central Atlantic Fishing area 31. Rome, FAO*, 1-5.
- Flores-Andolais, F., Garcia-Cubas, A., y Toledano-Granado, A. 1988. Sistemática y algunos aspectos ecológicos de los moluscos de la laguna La Mancha, Veracruz, México. *Instituto de Ciencias Del Mar Y Limnología*.
- Flores-Verdugo, F. J., Agraz Hernández, C., y Benítez Pardo, D., 2007. Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación. *Perspectivas Sobre Conservación de Ecosistemas Acuáticos En México, Figura 1*, 147–166.
- Flores-Verdugo, F., R. Briseño D., F. González F. y O. Calvario M., 1995. Balance de carbono en un ecosistema estuarino de boca efímera de la costa Noroccidental de México Estero El Verde, Sinaloa 137- 160. In: González-Farías, F y J. De la Rosa Eds. *Temas de oceanografía biológica en México. Vol II. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada B. C. México*. 685 p.

- Folk, R. y Ward, W., 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27, 1, 3-26.
- Galvin, C. J., Jr., 1971. Wave climate and coastal processes, in A. T. Ippen, ed., *Water Environments and Human Needs*. Cambridge, Mass : M.I.T. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, 44–78.
- García Díaz, D., Vallejo Villalta, I., 2012. Caracterización y modelos de funcionamiento del sistema playa-duna en el Parque Nacional de Doñana Huelva, España. En: *Tecnologías de la Información Geográfica en el contexto de Cambio Global*. CSIC, Madrid, pp. 61-69.
- García Elena., 1980. Manejo integral de lagunas costeras para el aprovechamiento óptimo de los recursos, 11–13.
- García Gil, G., 2006. “El ambiente geomorfológico”. In P. Moreno-Vasasola (Ed). *Entornos Veracruzanos: la costa La Mancha*. Instituto de Ecología, pp. 127-136. Xalapa Ver. México.
- García, D. y Cáceres, L.M., 2012. Análisis de la evolución de la flecha del Rompido entre 1956 y 2009 mediante Digital Shoreline Analysis System DSAS. En: *I Congreso Iberoamericano de Gestión Integrada de Áreas Litorales*. Universidad de Cádiz, Cádiz, pp. 646-656.
- García., E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. *Inst. Ceofis. Univ. Na. Aulón. México*. 246 pp.
- Geissert K., D. (2006). Procesos y Cambios. In P. Moreno-Casasola (Ed.), *Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha*. pp. 576. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver. México.
- Gobierno del Estado de Sonora., 2006. Declaratoria que se establezca como área natural protegida bajo categoría de zona sujeta a conservación ecológica donde se encuentra el Esterod el Soldado y áreas aledañas. Hermosillo.
- González-Romero, A., y Lara-López, M., 2006. Los Anfibios, Reptiles Y Mamíferos. In P. Moreno-Casasola Ed., *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*. Instituto de Ecología, A. C., pp. 407–418. Xalapa, Ver. México.
- Google Earth, fecha de consulta 13 de abril del 2014.
- Gunderson, L. H.; Holling, C. S. et al., 2007. “Resilience in ecosystems, institutions and societies”, Discussion Paper 95. Estocolmo, Beijer International Institute of Ecological Economics
- Hayes. J. B., 1979. Sandstone diagenesis - the hole truth. In Scholle y Schluger 1979.

- Hernández T, H. y López P, J., 1998. Cambios a pequeña y gran escala en la cobertura del manglar de La Mancha, Veracruz: un conflicto entre el uso del suelo y el régimen de propiedad. Res. VII Congreso Latinoamérica de Botánica y XIV Congreso Mexicano de Botánica. México, D. F.
- Hildebrand, L., 2002. Integrated Coastal Management: Lessons Learned and Challenges Ahead. Discussion Document for Managing Shared Water/Coastal Zone. Ontario: International Conference.
- Infante D.M., 2004. *Germinación y establecimiento de Annona glabra Annonaceae y Pachira aquatica Bombacaceae en humedales, La Mancha, Actopan*. Tesis de Maestría, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, 124 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI 2014. "Elevación de terreno". Recuperado en mayo de 2014, de <http://www.inegi.org.mx>.
- Juárez-Eusebio, A., Rojas-Galaviz, J. L. y Zárate-Lomelí, D., 2006. Los Peces. In P. Moreno-Casasola Ed., *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver. México.
- Knecht, R.W. y J. Archer., 1993. Integration in the US Coastal Management Program. England: Elsevier Science Publishers. *Ocean and Coastal Management* 21: 183-199.
- Komar, P.D., 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice- Hall, 429 pp.
- Komen, G. J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann and P. A. E. M. Janssen, 1994. *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*. Cambridge University Press, 532 pp.
- Lankford, R. R., 1977. Coastal lagoon of Mexico. Their origin and classification. In: Wiley, M. ed. *Estuarine Processes*.
- López, C. J., 1982. *Descripción de la unidad de pesquería de la Lisa Mugil cephalus Linnaeus, 1758 y de la Lebrancha Mugil curema Valenciennes, 1836 del Golfo de México*. Tesis profesional para optar el título de Biólogo. Fac. de Ciencias. UNAM. México.
- Lowry, K. y H. J. M. Wickremeratne, 1989. Coastal Area Management in Sri Lanka. Canada. *Ocean Yearbook* 1: 263-293.
- MacDonald, L. H., A. W. Smart Y R.C. Wisma, 1991. "Monitoring guidelines to evaluate effects of forestry activities on streams on The Pacific Northwest and Alaska". US. *Evarion mental Protection Agency*.
- Mandelli, E., 1981. On the hydrography and chemistry of some coastal lagoons of the Pacific coast of Mexico. 81-95. In: *Coastal lagoon research, present and future*. UNESCO Tech. Papers in Marine Science 33. 348 p.

- Manson, R., y Moreno-Casasola, P. 2005. Servicios ambientales que proporciona la zona costera. *Estrategias Para El Manejo Costero Integral: El Enfoque Municipal*, 1, 319–348.
- Márquez, W., Portillas, M. Á., González, R. M., González, R., Ibáñez, R., Jhonson, J., Psuty P., N. 2005. Saneamiento, Rehabilitación Y Manejo De La Laguna La Mancha, Mpio. De Actopan, Ver.
- Martínez, J., Gordo, J. A., Santana, J. M., Veloso J. J. 1988. Dinámica sedimentaria en la playa de las canteras Las Palmas de Gran Canaria. *Revista de obras públicas*. 145-152.
- Martínez, M. L., Vázquez, G., López-Portillo, J., Psuty, N. P., García-Franco, J. G., Silveira, T. M., y Rodríguez-Revelo, N. A., 2012. Dinámica de un paisaje complejo en la costa de Veracruz. *Investigación Ambiental*, 41, 151–160. Retrieved from <http://www.revista.inecc.gob.mx/article/view/190/140>
- Martínez, T., M. E. N. B. Ramírez L. y J. Rojas G., 1995. Análisis comparativo de los componentes ictiofaunísticos de la laguna de La Mancha en los últimos veinte años. Res. XIII Congr. Nal. de Zool. 78. En: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 2003. Ecosistemas costeros mexicanos. CD ROM, UAM-I. México.
- Masselink, G. y Hughes, M. G., 2003. *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. New York, Oxford University Press.
- Masselink, G. y A. D. Short., 1994. Morphodynamics of macrotidal beaches. *Journal of Coastal Research*, 9: 785-800.
- Matus P., J., Cardenas B., A., y Barreiro G., M. T., 1992. Influencia de los factores climáticos sobre las variaciones espacio-temporales de algunos parámetros hidrológicos en la laguna de La Mancha, Ver. *Congreso Nacional Oceanografía*, 5.
- Matus P., J., Contreras G., B., Morales C., S. y Castro H., C., 1994. Dinámica sedimentológica en secas, lluvias y nortes en la laguna de La Mancha, Veracruz, México. Res. III Congreso de Ciencias del Mar.
- Mee, L. D., 1978. Coastal lagoon. *Chemical Oceanography*.
- Miranda, F. y Hernández Xolocotzi, E., 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28:29-179.
- Moreno-Casasola, P., D. Infante-Mata y C. Madero Vega., 2011. Germinación y supervivencia de dos especies de acahuales de selva baja importantes para restaurar dunas costeras. *Ciencia Foresta* 11:19.
- Moreno-Casasola, P., Salinas-Pulido, M. G., Amador-Zaragoza, L. E., Cruz, H. H., Juárez-Eusebio, A., Ruelas-Monjardín, L., Peralta, L. A., 2006. Plan de Manejo Comunitario La Mancha-El Llano. En busca de un desarrollo costero sustentable. *Estrategias Para El Manejo Integral de La Zona Costera: Un Enfoque Municipal*, 1179–1204.

- NOAA- http://www.ndbc.noaa.gov/station_page.php?station=lmbv4.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-059-ecol-2001, 2001. "Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo". Recuperado en 2016, de <http://www.profepa.gob.mx/inno-vaportal/file/435/1/4%20NOM-059-SEMARNAT-2001.pdf>.
- Novelo R., A., 1978. La vegetación de la Estación Biológica El Morro de la Mancha, Veracruz. *Biótica* 3.
- Ochoa, E. 1995. Manejo costero integrado en Ecuador. En: Programa de Manejo de Recursos Costeros. Guayaquil, 417 pp.
- Oficina Técnica de la Devesa-Albufera. 2010. L' Albufera De Valencia Y Su Devesa.
- Ortiz-pérez, M. A. 2005. Características Físicas De Las Costas : Base Para Su Regionalización. El Caso de la Costa Veracruzana, 81–96.
- Parissi C., M., 1990. Análisis de coliformes fecales en 2 lagunas costeras del estado de Veracruz, por medio de la técnica de filtro de membrana. Universidad Veracruzana.
- Peña-Cortés, F., Ailio, C., Gutiérrez, P., Escalona-Ulloa, M., Rebolledo, G., Pincheira-Ulbrich, J., Hauenstein, E., 2008. Morfología y dinámica dunaria en el borde costero de la región de la araucanía en Chile. Antecedentes para la conservación y gestión territorial. *Revista de Geografía Norte Grande*, 41, 63–80. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022008000300004>.
- Pérez P., H. E., 2007. *Ecología de las Comunidades de Peces en Lagunas Costeras del Litoral de Veracruz, México*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Powers, M., 1982. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal Sedimentary Petrology*, 23: 117-119.
- Pritchard, D. W., 1967. What is an Estuary: Physical Viewpoint. Pp. 3-5 in: *Estuaries*, G.H. Lauff editor. American Association for the Advancement of Science AAAS Publication No. 83. Washington, DC: AAAS. 757 pp.
- Psuty, N.P. M.L. Martínez, J. López-Portillo, T.M. Silveira, J.G. García-Franco y N.A. Rodríguez, 2009. "Interaction of alongshore sediment transport and habitat conditions at Laguna La Mancha, Veracruz, México", *Journal of Coastal Conservation* 12:77-87.
- RAMSAR, 2013. "Lista de Humedales de Importancia Internacional". Recuperado en 2013, http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-documents-list-anno-mexico/main/ramsar/1-31-218%5E16517_4000_2.

- Rendón, R., M. I. y M. Páez R., 1995. Composición, abundancia y variación estacional del ictioplancton en la laguna de La Mancha, Veracruz. Res. XIII Congr. Nal. De Zool. 103. En: Castañeda L. O. y F. Contreras E. 2003. Ecosistemas costeros mexicanos. CD ROM, UAM-I. México.
- Rico-Gray, V., 1983. Producción de hojarasca del manglar de la laguna de La Mancha, Ver. Biotica 83: 259-301.
- Rodríguez, H. n.d. Medio ambiente y pesca en Veracruz.
- Ruelas-Monjardín, L. C., 2006. La Situación Socioeconómica. In P. Moreno-Casasola Ed., *Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha*. pp. 576. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver. México.
- SAGARPA., 2014. Segunda Sección. D.O.F. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:SEGUNDA+SECCIO+N+SECRETARIA+DE+AGRICULTURA+,+GANADERIA+,#0>.
- Sahu BK. 1964. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. J. Sedimen. Petrol. 40: 73–83.
- Sánchez V., M. A., 2011. Zonas costeras y procesos costeros, Escuela Su.
- Sánchez, A., Carriquiry, J., Barrera, J., López-Ortiz, B. E., 2009. Comparación de modelos de transporte de sedimento en la Bahía Todos Santos, Baja California, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 61, 13-24.
- Sánchez, A., Choumiline, E., López-Ortiz, B. E., Aguiñiga, S., Sánchez-Vargas, L., Romero-Guadarrama, A., Rodríguez-Meza, D., 2010. Patrón de transporte de sedimento en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, inferido del análisis de tendencias granulométricas. Latin America Journal of Aquatic Research. 38, 167-177.
- Séller, B.D. Y B. D. Causey., 2005. Linkages between the Florida Keys National Marine Sanctuary and the South Florida Ecosystem Restoration Initiative. Ocean and Coastal Management 48:869-900.
- Silva, R., Govaere, G., Salles P., Baurista, G. y Díaz, G., 2002. Oceanographic Vulnerability to hurricanes on the Mexican coast. Proc. 28th International Conference on Coastal Engineering, World Scientific, Singapore.
- Spalletti, L. A., 1976, The axial ratio C/B as an indicator of shape selective transportation. Journal of Sedimentary Petrology 46:243-8.
- Tarabini, S., 2006. Las Aves Acuáticas Y Vadeadoras. In P. Moreno-Casasola Ed., *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*. Instituto de Ecología, pp. 339–354. Xalapa, Ver. México.

- The WAMDI Group., 1988. The WAM Model - A third-generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography*, 18, pp. 1775-1810.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ergul, A., 2008. Digital Shoreline Analysis System DSAS version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change. U.S. Geological Survey Open-File Report, 2008-1278.
- Torres Alfosea, F. J., 2000. Propuesta metodológica para la ordenación de espacios litorales aplicación a la comarca de la Marina Alta. *Investigaciones Geográficas*, 24, 37-54. Retrieved from <http://www.cervantesvirtual.com/portal/IIGG/catalogo.shtml>.
- Travieso B., A. C. y Moreno C., P., 1998. Biodiversidad en relación al paisaje de La Mancha, Actopan, Veracruz. Res. VII Congreso Latinoamericano de Botánica y XIV Congreso Mexicano de Botánica. México, D. F.
- Travieso-Bello, A. C. y Campos, A., 2006. Los componentes del paisaje. En: M. P., ed. *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*. Instituto de Ecología A.C., pp. 139-148. Xalapa, Ver. México.
- Travieso-Bello, A. C., 2000. *Biodiversidad del paisaje costero de La Mancha, Actopan, Veracruz*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ecología y Manejo de Recursos Naturales. Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Veracruz, México, 119 pp.
- Twilley, R. R., 1995. Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments. Pp. 43-62, in Hall, C. ed.: *Maximum power*. University of Colorado Press, Boulder, Colorado.
- Universidad Autónoma de México, 1990. Atlas Nacional de México. Oceanografía Física 1. Mapa IV.9.1.
- Vargas J., M., y Ramirez, M., 1980. Algunos aspectos biológicos y ecológicos de *Chrysaora quinquecirrha* Scyphozoa: Semaestomeae en la laguna de la Mancha, Veracruz, México. Resumen IV Congreso Nacional de Zoología.
- Vidal Zepeda. R., 2005. Las regiones climáticas de México 1.2.2. Instituto de Geografía. UNAM. Disponible URL: www.igeograf.unam.mx México. P. 123 - 147.
- Villalobos, F. A., De La Parra, V. R., Galván P. B. E., Cacho R O. J. y Izaguirre P. M. A., 1984. Estudio hidrobiológico de la laguna de la Mancha, Municipio de Actopan, Veracruz. 1979-1980. Cuadernos de divulgación, INIREB 15, pp. 51.
- WAMDIG, 1988. The WAM model - A third generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography*, 18, 1775-1810.
- Wentworth CK., 1922. A scale of grade and class term for clastic sediment. *J. Geol.* 30: 377-392.

- Winkler L., J. L., 2012. Evaluación Del Impacto En Los Sitios Naturales Considerando Aspectos Ambientales Para El Aprovechamiento Eco Turístico. In Estudio de Turismo y Competitividad en México pp. 110–118.
- World Bank, 1993. The World Bank annual report 1993 English. Washington DC; World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/708501468331060052/The-World-Bank-annual-report-1993>.
- Yáñez-Arancibia A., 1987. Lagunas costeras y estuarios: Cronología, criterios y conceptos para una clasificación ecológica de sistemas costeros. *Revista de La Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 39:1973, 35–54. Retrieved from <http://repositorio.fciencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/142868/39VLagunasCosteras.pdf?sequence=1>.
- Yáñez-Arancibia, A., y Lara-Domínguez, A. L. 1983. Dinámica ambiental de la Boca de Estero Pargo y estructura de sus comunidades de peces en cambios estacionales y ciclos de 24-hrs. Laguna de Términos, sur del Golfo de México. *Annales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología del Universidad Nacional Autónoma de México*, 10, 85-116.
- Yáñez-Arancibia, A., Linares, F. A., y Day, J. W., 1980. Fish Community Structure And Function In Terminos Lagoon, A Tropical Estuary In The Southern Gulf Of Mexico. In *Estuarine Perspectives* pp. 465–482. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404060-1.50044-7>
- Zingg, Th., 1935. Beiträge zur Schotteranaly se: Min. Petrog. Mitt. Schweiz., 15:39-140.